

## 特集 学会賞

# 巨大災害リスクとCATボンドリターンの時系列分析

— 保険市場と資本市場におけるCATボンドの可能性

Time Series Analysis of the Catastrophic Risk and the CAT Bond Returns:  
The Potentials of CAT Bond in the Reinsurance Market and the Capital Market

あいおいニッセイ同和損害保険(株) 投融資部 株式投資室  
課長補佐 冨田 有哉 / Tomoya TOMITA

### キーワード (Key Words)

巨大災害リスク (Catastrophic Risk)、CATボンド (Catastrophe Bond)、保険リンク証券 (Insurance Linked Securities)、時系列分析 (Time Series Analysis)、再保険市場 (Reinsurance Market)、資本市場 (Capital Market)

### 〈要約〉

本稿はSwiss Re社のCATボンドインデックスを用いてCATボンドリターンと伝統的資産（株、債券）のリターンについての時系列分析を行い、さらに巨大災害の発生とCATボンドリターンの関連性についての分析を行ったものである。CATボンドは伝統的資産との相関が低く、比較的低リスクで安定した高いリターンが得られるということを示すことができた。また、グレンジャー因果性・インパルス応答関数・分散分解というVARモデルの有用なツールを使用し、CATボンドリターンと伝統的資産のリターンとVIX指数との変数間の動学的関係の分析を行った結果、CATボンドリターンはそれらの影響をほとんど受けないことがわかった。つまり、CATボンドは伝統的資産とは異なる資本市場とは独立した動きをするため、CATボンドを保有することによって高いポートフォリオ分散効果を得ることができると言える。実際、巨大災害の発生により元本を毀損することもあるが、2008年の金融危機の影響は比較的軽微であった。CATボンドは再保険市場の引受キャパシティを補完するツールとして期待されているだけでなく、投資対象としても魅力的な商品であり、資本市場においても大きな期待ができる。

### 目次

1. 序論
  - 1.1 はじめに
  - 1.2 問題意識と研究の方法
2. 研究対象の背景
  - 2.1 巨大災害リスク
  - 2.2 再保険市場
  - 2.3 CATボンド市場
3. データと分析手法
  - 3.1 使用データ
    - 3.1.1 レベルデータ
    - 3.1.2 階差データ
  - 3.2 時系列分析の手順
    - 3.2.1 単位根検定
    - 3.2.2 共積分検定
4. VARモデルによる実証分析
  - 4.1 VARモデル
    - 4.1.1 VARモデルに用いる変数
    - 4.1.2 グレンジャー因果性分析
    - 4.1.3 インパルス応答分析
    - 4.1.4 分散分解分析
  - 4.2 実証分析結果の考察
5. 巨大災害リスクとCATボンドリターンの分析
  - 5.1 CATボンドリターン分析
  - 5.2 巨大災害とCATボンドリターンの変化
6. まとめ
  - 6.1 結論
  - 6.2 今後の研究課題

## 1. 序 論

### 1.1 はじめに

地震大国である我が国においては、東日本大震災を教訓とし、現行の地震保険制度の見直しを含め、地震リスクファイナンスの手法の拡充が必要とされている。我が国では再保険への依存度が高いが、資本市場を活用したCATボンダについては注目が集まっている。CATボンドは再保険の機能を補完することが期待でき、保険市場と資本市場を結びつけて双方の市場を活性化させる可能性をも秘めているからである。

そこで本稿では、保険市場と資本市場におけるCATボンダの役割について調べた上で、時系列分析の手法を用いてCATボンダのリターンについての研究を行い、巨大災害リスクとCATボンダのリターンとの関連性を調べることにした。保険のヘッジ機能としてのCATボンダの有効性のみならず、巨大災害発生におけるCATボンダの特性や、伝統的資産との比較によるCATボンダの投資対象の側面についても分析を行い、パーソナルファイナンスにおける有効性についても研究を行った。本稿が我が国の巨大災害リスクに対するリスクファイナンスの今後の在り方について考える上での一助となれば幸いである。

### 1.2 問題意識と研究の方法

CATボンドは株式や債券等の伝統的資産との相関性が低く、安定した高いリターンが得られると言われているが果たして本当だろうか。



図表1 CATボンド価格と株価の推移

(出所) Bloombergより筆者作成

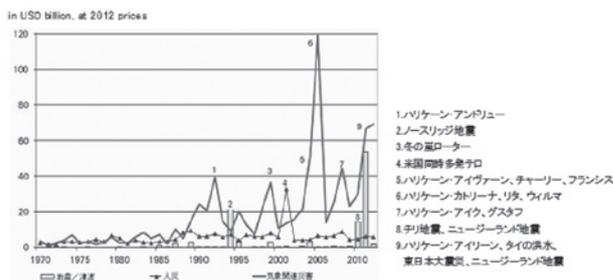
図表1は米国株の株価とCATボンダの価格のインデックス指数を比較したものである。金融危機の時期の動きを見てみると、経済状況の影響を受けないと考えられているCATボンドも株価と同じような動きをしており、相関性が高いようにも思われる。本稿では、時系列分析の手法を用いて「CATボンドは伝統的資産との相関性が低く、安定した高いリターンが得られる」という仮説に

ついでに検証を行い、CATボンダのリスク・リターンの特性や伝統的資産（株、債券）との関係性を見出し、投資家心理がCATボンドへの投資に及ぼす影響も併せて考察した。そして、市場リスクとは異なる巨大災害リスクがCATボンダのリターンにどのような影響を及ぼすかについて研究を行った。

## 2. 研究対象の背景

### 2.1 巨大災害リスク

図表2より1990年以降、巨大災害による損害額が拡大していることがわかる。損害額が拡大している背景には、都市化傾向の強まったことでの人口集中によるリスクの集積と、経済発展に伴う資産の増加が考えられる。また、気象関連災害の損害の拡大傾向については、地球温暖化等の地球環境問題による異常気象が起きている可能性も否定できない。2000年代以降も新たに米国同時多発テロ、SARSや新型インフルエンザ等のパンデミックが巨大災害として認知され、未だに認知されていない潜在的な巨大災害リスクも存在するとも考えられる。

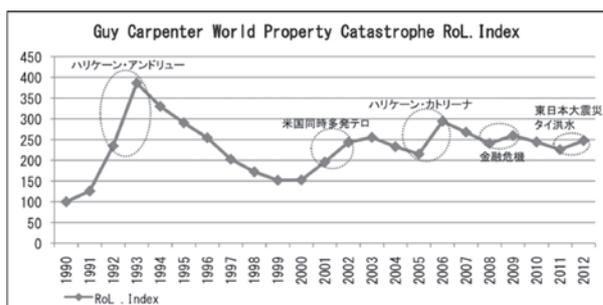


図表2 1970-2012年の巨大災害による保険損害額

(出所) Swiss Re『シグマ調査』より抜粋

### 2.2 再保険市場

再保険市場の引受キャパシティは約2,000億ドルと言われており、資本市場と比較すると小さいマーケットである。



図表3 再保険料率の推移

(出所) Bloombergより筆者作成

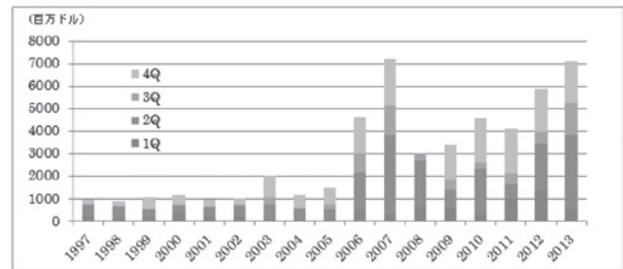
図表3はGuy Carpenter社<sup>1</sup>のGuy Carpenter World Property Catastrophe RoL . Indexであり、再保険料の推移を表したものであるが、1990年以降、巨大災害後の局面において再保険料が高騰していることが読み取れる。このように巨大災害の翌年に再保険料率が高騰する理由としては、保険会社が巨大災害によって資本が毀損し、引受キャパシティが低下してしまうために再保険料率を引き上げることが考えられる。また、金融危機後に再保険料率が高騰していることから、保険会社の資産運用環境の急激な悪化も再保険料率の高騰の要因となっていると考えられる。

ここで、1992年のハリケーン・アンドリューの直後の再保険料の高騰が極めて急激であったことに注目したい。極めて被害総額の大きかったハリケーン・カトリーナを含めて大型ハリケーンが相次いだ2005年、東日本大震災とタイ洪水という大災害が発生した2011年の直後と比較して、被害総額がそれらよりも小さかったハリケーン・アンドリューの直後の再保険料の高騰の方が急激だったことについては違和感がある。この背景としてまず考えられることは、金融工学の発達により、近年における再保険料率の算出がより正確なものになったということが挙げられる。もう一つの背景としては、CATボンドが1990年代半ば以降に再保険市場の引受キャパシティを補完する機能を持つようになり、巨大災害発生後にCATボンドが再保険市場の受け皿となっている可能性が考えられる。つまり、巨大災害発生後に再保険市場の引受キャパシティが枯渇する局面で、CATボンドの発行を拡大することで再保険料の急激な高騰が抑制されているということが考えられる。

### 2.3 CATボンド市場

CATボンドは地震やハリケーン等の巨大災害リスクを証券化し、保険市場から資本市場へリスク移転を行うスキームである。

CATボンドは1994年にハノーバー再保険が世界で初めて発行を行い、その後米国を中心に普及するようになった。CATボンドの発行者の多くが保険会社（再保険会社）であるが、保険会社は巨大災害リスクを再保険会社ではない投資家とリスクシェアリングできるようになり、投資家も高い利回りが期待できるようになる。



図表4 四半期ごとのCATボンド発行状況 (1997年～2013年)

(出所) GUY CARPENTER 『Catastrophe Bond update』より筆者作成

図表4は四半期ごとのCATボンド発行状況(1997年～2013年)である。2001年米国同時多発テロ、2005年ハリケーン・カトリーナといった大災害の直後に発行額が増加していることが確認できる。これは巨大災害によって再保険市場における引受キャパシティが低下して再保険料が高騰してしまったため、巨大災害リスクのリスク移転を再保険市場からCATボンドを利用した資本市場へ機動的にシフトさせたと考えるのが妥当であろう。2008年はリーマンショックにより第4四半期の発行はゼロとなり、その後の発行も激減してしまったが、2011年はニュージーランド地震、東日本大震災、米国トルネードと大災害が重なったため、2012年の発行は約60億ドルにまで大幅増加し、2013年は2007年の水準にまで回復した。

## 3. データと分析手法

### 3.1 使用データ

本稿では、Swiss Re社が週次で算出しているSwiss Re Cat Bond Total Return Indexを用いてCATボンドのリターンを求め、分析を行うこととした。このインデックスは2002年1月4日を基準日とし、基準値を100としたものであるが、図表1で使用したSwiss Re Cat Bond Price Return Indexにクーポン収入を加えたインデックスでもある。

CATボンドのリターンと伝統的資産(株、債券)のリターンについての時系列分析を行うため、株については米国の主要株価指数の1つであるS&P500の株価インデックスを用いることとし、債券についてはBloombergが算出している残存期間1年～10年(2014年1月17日時点の平均デュレーション3.88年)の米国債(Treasury)インデックスを用いることとした。なお、本稿のVARモデルによる実証分析では使用しないが、米国ハイイールド債については、Barclays社のハイイールド債インデックスを用いることとした。

ここで、上記の各インデックスについてそれ

<sup>1</sup> 大手再保険ブローカー会社。

ぞれ金利収入や配当の再投資を考慮したTotal Return（以下、TR）を用いることに注意したい。TRを用いる理由は、ファイナンスにおいてリターンの分析を行う際、分析対象期間に受け取った金利収入や配当は全額再投資を行うことを前提として考えることが多いからである。

また、市場のセンチメントとCATボンドのリターンとの関連性を見るため、投資家心理を判断する材料としても使用されるVIX<sup>2</sup>指数のインデックスを用いることにした。

使用データの期間については、Swiss Re社のCATボンドインデックスの基準日である2002年1月4日から2013年11月1日まで週次データを取得し、分析を行うこととした。なお、使用データについては全てBloombergから取得し、以降下記略称を使用する。

#### 【CATボンドインデックス】

使用データ：Swiss Re Cat Bond TR Index (SRCATTRR Index)、略称：CATTR

#### 【株インデックス】

使用データ：S&P500 TR Index (SPXT Index)、略称：SP500TR

#### 【債券インデックス（米国債）】

使用データ：Treasury TR Index (US10TR Index)、略称：TREASURYTR

#### 【債券インデックス（米国ハイイールド債）】

使用データ：Barclays US Corporate High Yield TR Index (LF98TRUU Index)、略称：USHYBONDTR

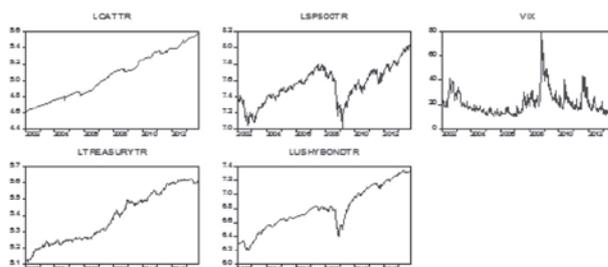
#### 【投資家心理】

使用データ：VIX Index (VIX Index) 略称：VIX

※（ ）内はBloombergティッカー

### 3.1.1 レベルデータ

これらのデータを用いてEViewsを使用し、リターンについての時系列分析を行う。まず最初に、リターンの分析を行いやすくするため、CATTR、SP500TR、TREASURYTR、USHYBONDTRの各データについて対数変換を行った。そこで、対数変換したデータをLCATTR、LSP500TR、LTREASURYTR、LUSHYBONDTRとし、VIXと併せてレベルデータとして取り扱うこととした。各レベルデータをグラフで視覚化したものが図表5であるが、VIX以外のレベルデータについては線形トレンドが確認できる。また、図表6にレベルデータの基本統計量を示した。



図表5 レベルデータのグラフ

	LCATTR	LSP500TR	LTREASURYTR	LUSHYBONDTR	VIX
平均	5.063	7.544	5.387	6.796	20.841
中央値	5.090	7.557	5.378	6.775	18.115
最大値	5.588	8.054	5.625	7.356	79.130
最小値	4.605	7.009	5.110	6.196	10.020
標準偏差	0.282	0.222	0.158	0.310	9.679
歪度	0.130	-0.078	0.100	0.087	2.171
尖度	1.712	2.492	1.547	2.090	9.844
JB検定統計量	44.43	7.28	55.40	22.09	1691.83
P-値	0	0.026	0	0	0
サンプル数	618	618	618	618	618

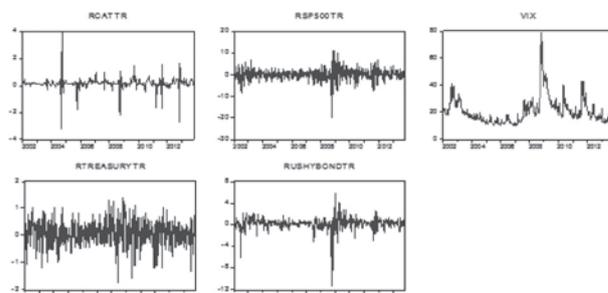
図表6 レベルデータの基本統計量

### 3.1.2 階差データ

リターンの分析を行うため、CATボンド・株・債券のリターンのデータが必要となる。時点 $t-1$ 、 $t$ における証券価格を $S_{t-1}$ 、 $S_t$ とすると、時点 $t$ における対数収益率 $r_t$ は以下の式で表すことができる。本稿においては、リターンを以下の式で近似することとした。

$$r_t = \log S_t - \log S_{t-1}$$

VIX以外はレベルデータを対数変換しており、階差データをリターンと近似することができる。よって、LCATTR、LSP500TR、LTREASURYTR、LUSHYBONDTRの階差データをそれぞれ100倍して%単位にしたものをRCATTR、RSP500TR、RTREASURYTR、RUSHYBONDTRとし、それらを行リターンデータとして取り扱うこととする。



図表7 階差（リターン）データのグラフ

図表7はリターン（対数収益率）のグラフである。RCATTRは他のリターンよりもボラティリティが小さく安定していることが読み取れる。なお、VIXのレベルデータについては以降の分析に必要なため、リターンのデータと期間を合わ

<sup>2</sup> Volatility Indexの略。この数値が高いほど、投資家が市場の先行きに不透明感を持っているとされる。

せた上で、グラフ化するとともに、基本統計量と相関を表記した。

	RCATTR	RSP500TR	RTREASURYTR	RUSHYBONDTR	VIX
平均	0.159	0.104	0.080	0.171	20.853
中央値	0.157	0.217	0.086	0.243	18.120
最大値	3.941	11.415	1.406	5.757	79.130
最小値	-3.246	-20.017	-1.737	-11.301	10.020
標準偏差	0.389	2.549	0.439	1.147	9.682
歪度	-1.487	-0.832	-0.301	-2.487	2.170
尖度	38.119	10.888	4.003	27.804	9.836
JB検定統計量	31933.67	1670.67	35.19	16452.94	1685.57
P-値	0	0	0	0	0
サンプル数	617	617	617	617	617

図表8 階差（リターン）データの基本統計量

※ VIX以外の各リターンデータについての平均・中央値・最大値・最小値は全て%表示

図表8はリターンの基本統計量であるが、RCATTRとRSP500TRを比較すると、RCATTRはRSP500TRよりもリターンの平均は高く、リスクが小さいことがわかる。つまり、CATボンドは株よりも小さなリスクで株よりも高いリターンが得られていることを示している。RCATTRとRTREASURYTRとの比較においては、RCATTRはRTREASURYTRの2倍近いリターンが得られるにもかかわらず、リスクが小さいということがわかるが、CATボンドのリスクが米国債よりも小さいというこの結果は驚くべき結果である。RCATTRとRUSHYBONDTRについては、RCATTRはRUSHYBONDTRのリターンにはわずかに及ばなかったが、リスクについては約1/3であり、リスク対比ではCATボンドのパフォーマンスはハイイールド債を凌駕している。

	RCATTR	RSP500TR	RTREASURYTR	RUSHYBONDTR	VIX
RCATTR	1.000				
RSP500TR	0.095	1.000			
RTREASURYTR	0.030	-0.384	1.000		
RUSHYBONDTR	0.174	0.537	-0.120	1.000	
VIX	-0.095	-0.261	0.170	-0.246	1.000

図表9 階差（リターン）データの変数間の相関

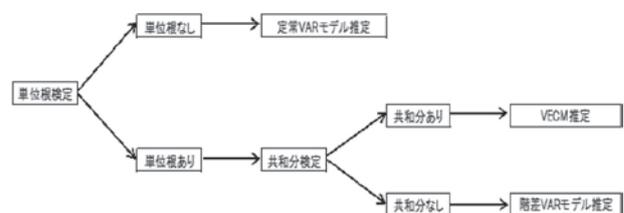
図表9はリターンデータの変数間の相関である。RSP500TRとRTREASURYTRについては負の相関があり、RSP500TRとRUSHYBONDTRについては強い正の相関がある。つまり、リスク資産の株とは対照的に米国債は安全資産に近いものとして位置付けられているが、ハイイールド債については同じ債券でも株に近い投機的な位置付けとして存在しているということが言える。一方、RCATTRについてはRUSHYBONDTRと若干の正の相関があるが、それ以外とは相関がほとんどない。したがって、CATボンドは株や債券（米国債）の伝統的資産との相関が低いということが言えるであろう。また、CATボンドとVIXとの相関が極めて低いということも読み取れる。

### 3.2 時系列分析の手順

本稿では、CATボンドのリターンと伝統的資産とのリターン及び市況との時系列分析を行うが、時系列分析を行う際には、時系列データが定常過程<sup>3</sup>か単位根を持つ非定常過程<sup>4</sup>なのかを確認する必要がある。また、非定常過程であっても単位根を持つ変数の線形結合が定常となる共和分の関係が存在するケースもあるため、レベルデータが非定常過程である場合は非定常過程のデータ同士において共和分が存在するかどうかの確認も必要である。そこで、時系列分析については、以下の手順で行うこととしたい。

- ① 各時系列データについて単位根検定（ADF検定、PP検定）を行い、各時系列データが定常過程なのか、それとも単位根をもつ非定常過程なのかを確認する。
- ② 定常過程の場合はレベルデータのまま定常VARモデルによる推定を行うが、非定常過程の場合は単位根同士が共和分関係になっている可能性があるため、各データのレベルデータに対して共和分検定（Johansenテスト）を行い、共和分の存在を確認する。
  - ・共和分がある場合：VECM (vector error correction model)
  - ・共和分がない場合：階差VARモデル
- ③ 非定常である時系列データについては階差データをとって定常変換を行い、共和分の有無によってVECM / 階差VARモデルによる推定を行う。

以上の手順を整理すると、図表10となる。レベルデータが定常の場合は階差データにしてしまうと情報量が落ちてしまうため、原則としてレベルデータで分析を行うこととする。



図表10 時系列分析の手順

(出所) 筆者作成

<sup>3</sup> 本稿における定常過程とは、データの期待値と自己共分散が時間を通じて一定であり、自己共分散が時点には依存せず時間差のみに依存する「弱定常」のことを指す。

<sup>4</sup> 総原系列が非定常過程であり、差分系列が定常過程である場合、その過程を単位根過程と言う。

### 3.2.1 単位根検定

通常の回帰分析においてはデータが定常過程であることを想定するが、経済やファイナンスのデータの多くは単位根を持つ非定常過程であることが多い。時系列データの分析を行うためには定常過程と非定常過程の判別を行う必要があり、それらを判別する方法として単位根検定がある。そこで、使用データについての定常性を確認するため単位根検定を行った。

単位根検定はADF検定（SIC規準）とPP検定を行った。これらの検定における帰無仮説は「過程が単位根過程であること」であり、これが棄却されると定常過程であることが示唆される。検定結果においては、レベルデータに関しては定数項を含むものとし、トレンドがない場合とある場合の2通りの結果を示した。また、階差データに関してはトレンドが除去されるため、定数項がない場合とある場合の2通りの結果を示した。単位根検定の結果は図表11、図表12の通りである。

レベルデータ	ADF検定(SIC規準)		階差データ	ADF検定(SIC規準)	
	定数項あり	定数項+IA項		定数項なし	定数項あり
LCATTR	1.038 (0)	-2.264 (4)	LCATTR	-7.366 (3)***	-9.382 (3)***
LSP500TR	-0.562 (0)	-1.915 (0)	LSP500TR	-25.381 (0)***	-25.407 (0)***
LTREASURYTR	-1.079 (0)	-1.576 (0)	LTREASURYTR	-24.268 (0)***	-25.024 (0)***
LUSHYBONDTR	-0.406 (1)	-2.114 (1)	LUSHYBONDTR	-15.794 (0)***	-16.022 (0)***
VIX	-3.539 (1)***	-3.533 (1)**	VIX	-28.971 (0)***	-28.946 (0)***
1% level ***	-3.441	-3.973	1% level ***	-2.569	-3.441
5% level **	-2.866	-3.417	5% level **	-1.941	-2.866
10% level *	-2.569	-3.131	10% level *	-1.616	-2.569

※( )はSIC規準により選択されたAR項のラグ次数

図表11 ADF検定結果 (SIC規準)

レベルデータ	PP検定(Bartlett kernel)		階差データ	PP検定(Bartlett kernel)	
	定数項あり	定数項+IA項		定数項なし	定数項あり
LCATTR	0.689 (2)	-2.007 (12)	LCATTR	-24.701 (15)***	-24.269 (12)***
LSP500TR	-0.576 (2)	-1.894 (1)	LSP500TR	-25.375 (2)***	-25.406 (3)***
LTREASURYTR	-1.062 (4)	-1.724 (5)	LTREASURYTR	-24.582 (8)***	-25.047 (4)***
LUSHYBONDTR	-0.475 (10)	-2.165 (10)	LUSHYBONDTR	-15.813 (2)***	-16.022 (0)***
VIX	-3.857 (1)***	-3.850 (1)**	VIX	-29.142 (8)***	-29.118 (8)***
1% level ***	-3.441	-3.973	1% level ***	-2.569	-3.441
5% level **	-2.866	-3.417	5% level **	-1.941	-2.866
10% level *	-2.569	-3.131	10% level *	-1.616	-2.569

※( )はNew-West BandwidthのAutomatic selectionにより選択された次数

図表12 PP検定結果

図表11のADF検定（SIC規準）と図表12のPP検定においては、レベルデータの中でVIXだけが1%の有意水準で帰無仮説を棄却することができ、定常過程であると判別された。したがって、本稿ではVIXのレベルデータは定常過程であるものとして取り扱うこととした。

一方、VIX以外のレベルデータについては単位根過程の帰無仮説を棄却することはできなかった。そこで、レベルデータの1次階差を取ったところ、全ての階差データにおいて1%の有意水準で帰無仮説を棄却することができた。よって、階差データは全て定常過程であるものとして取り扱うこととした。

### 3.2.2 共和分検定

共和分検定には一般的なものとして、Engle-GrangerテストとJohansenテストがあるが、本稿の共和分検定については全てJohansenテストで検定を行うこととした。

レベルデータ:線形トレンド (ラグ次数5)	共和分推定式:定数項あり		共和分推定式:定数項+トレンド	
	共和分の個数	P-値	P-値	P-値
トレース検定	None	0.568	0.701	
	At most 1	0.928	0.894	
	At most 2	0.761	0.948	
最大固有値検定	None	0.342	0.545	
	At most 1	0.900	0.787	
	At most 2	0.761	0.948	

図表13 Johansenテスト結果  
(LCATTR, LSP500TR, LTREASURYTR)

定常過程と判別されたVIX以外のレベルデータLCATTR, LSP500TR, LTREASURYTRの3変数において共和分検定を行った結果は図表13の通りである。3変数のレベルデータが線形トレンドを持つものとし、共和分推定式が線形トレンドを持たない場合と持つ場合の両方の場合について検定を行ったが、双方の場合において3変数間に共和分関係はないものと判断された。よって、図表10に従ってVARモデルで推定を行うこととする。なお、VARモデルの最適ラグ次数がAIC規準で5を採択したため、本検定におけるラグ次数は5とすることにした。

## 4. VARモデルによる実証分析

### 4.1 VARモデル

VAR（ベクトル自己回帰）モデルは、1変量のAR（自己回帰）モデルを多変量に拡張したものである。VARモデルを用いるメリットとしては、複数の変数を用いて予測精度の向上が図れること、変数間の動学的関係の分析を行うことが可能になることが挙げられる。本稿においては、グレンジャー因果性、インパルス応答関数、分散分解というVARモデルの有用なツールを使用し、変数間の動学的関係の分析を行うこととする。

VARモデルの一般化式VAR(p)モデルは以下のように表せる。

$$y = c + \Phi_1 y_{t-1} + \dots + \Phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t$$

VAR(p)モデルは $y_t$ を定数と $y_t$ 自身のp期前までの過去の値に回帰したモデルであり、 $c$ は $n \times 1$ 定数ベクトル、 $\Phi_i$ は $n \times n$ 係数行列、 $\varepsilon_t$ は分散共分散行列 $\Sigma$ のベクトルホワイトノイズ(W.N.( $\Sigma$ ))<sup>5</sup>である。

<sup>5</sup> ホワイトノイズのベクトル表現。ホワイトノイズとは、全ての時点において期待値が0、かつ分散が一定であり、さらに自己相関をもたない弱定常過程のことを言い、多くのモデルの確率的な変動を記述することができる。

#### 4.1.1 VARモデルに用いる変数

前章の単位根検定と共積分検定の結果に基づけば、非定常過程であるVIX以外のレベルデータLCATTR、LSP500TR、LTREASURYTRの3変数において共積分が存在しなかったことから、それらの階差データであるRCATTR、RSP500TR、RTREASURYTRについては階差VARモデルにより推定を行うことができる。したがって、本章ではCATボンドのリターン(RCATTR)、株のリターン(RSP500TR)、債券のリターン(RTREASURYTR)に定常過程であるVIXを加え、この4変数についてVARモデルによる推定を行った。なお、VARモデルにおいては最適ラグ次数がAIC規準で5を採択したため、ラグ次数については5とした。

#### 4.1.2 グレンジャー因果性分析

グレンジャー因果性<sup>6</sup>はデータだけから因果性の有無を判断できる概念であり、ある変数が他の変数の予測の向上に役立つかどうかを判定するツールである。帰無仮説は「ある変数から他の変数(従属変数)へのグレンジャー因果性は存在しない」であり、帰無仮説が棄却されるとグレンジャー因果性が存在することになり、ある変数が他の変数の予測の向上に役立つことを示唆する。

①従属変数: VIX				②従属変数: RSP500TR			
	Chi-sq	df	P-値		Chi-sq	df	P-値
RSP500TR	17.183	5	0.004	VIX	10.895	5	0.054
RTREASURYTR	7.054	5	0.217	RTREASURYTR	7.288	5	0.200
RCATTR	16.469	5	0.006	RCATTR	13.555	5	0.019
All	45.288	15	0.000	All	31.946	15	0.007

③従属変数: RTREASURYTR				④従属変数: RCATTR			
	Chi-sq	df	P-値		Chi-sq	df	P-値
VIX	3.457	5	0.630	VIX	0.297	5	0.998
RSP500TR	3.419	5	0.636	RSP500TR	3.431	5	0.634
RCATTR	6.515	5	0.259	RTREASURYTR	4.782	5	0.443
All	20.994	15	0.137	All	12.263	15	0.659

図表14 グレンジャー因果性 (VARモデル) 検定結果

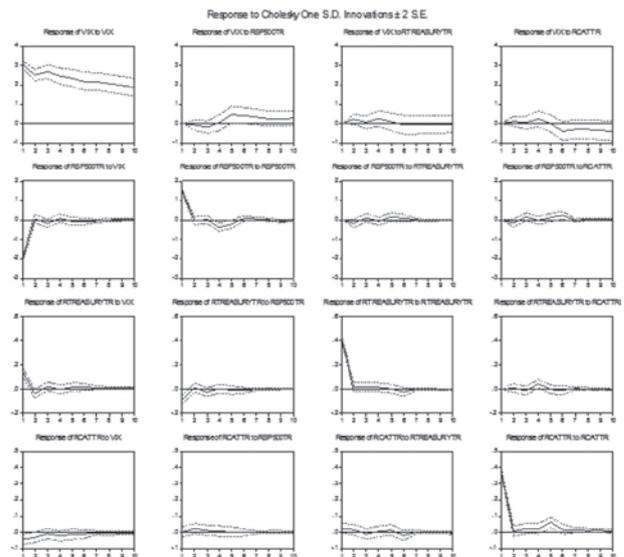
図表14はグレンジャー因果性検定の結果をまとめたものである。検定結果によると、①においてRSP500TRとRCATTRについては5%の有意水準で帰無仮説を棄却することができ、RSP500TRとRCATTRはVIXの予測に役立つという結果が得られた。②においても同様にしてRCATTRはRSP500TRの予測に役立つという結果が得られた。一方、③においては全ての変数がRTREASURYTRの予測に役立たないという結果が得られ、④においても全ての変数がRCATTR

<sup>6</sup> 因果関係の有無はデータだけで判断することが難しいため何らかの経済・ファイナンス理論に基づいて判断することが多いが、Granger (1969) は背後に明確な理論を必要とせずにデータだけから因果性の有無を判断できる概念を提案した。

の予測に役立たないという結果が得られた。④のCATボンドリターンの予測には伝統的資産のリターンもVIXも役立たないという結果については違和感がないが、それ以外の結果については若干の違和感があるため、インパルス応答関数と分散分解についても確認することとしたい。

#### 4.1.3 インパルス応答分析

VARモデルにおいてはインパルス応答関数を用いることで、ある変数に対するショックがその変数やその他の変数の値に与える影響について分析することができる。インパルス応答関数を計算する際には、再帰的構造の仮定が必要になるが、本稿においては外生性の順序は高い順からVIX、RSP500TR、RTREASURYTR、RCATTRとすることとした。なお、ラグの長さの選択基準については「各期の反応が0に収束するラグの長さ」、「累積反応が横ばいになるラグの長さ」を選択することを基準とし、本稿においては10とした。



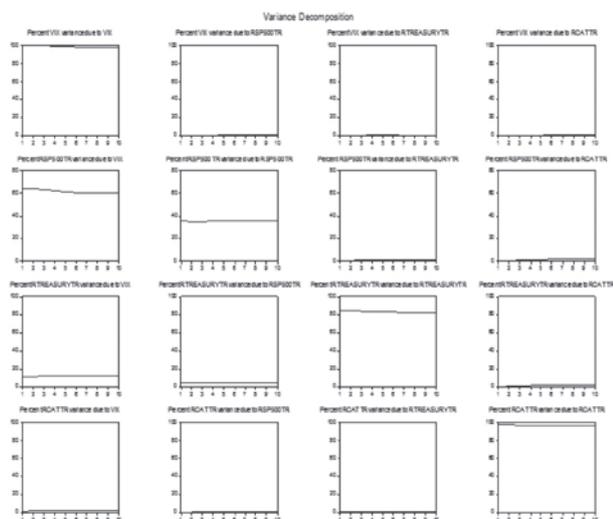
図表15 インパルス応答関数 (VARモデル)

図表15はインパルス応答分析の結果であるが、RCATTRはRSP500TR、RTREASURYTR、VIXの影響をほとんど受けないということがわかる。一方、RSP500TRとRTREASURYTRはVIXの影響を1期間は受けており、特にRSP500TRについては大きな影響を受けていると言える。

#### 4.1.4 分散分解分析

分散分解は、各変数の不確実性において各変数が寄与する割合を計算するものである。インパルス応答関数と異なり、分散分解は予測できない誤差を定量的に解析している。分散分解においてもインパルス応答関数と同様に外生性の

順序が必要であるが、同様にVIX、RSP500TR、RTREASURYTR、RCATTRとした。



図表 16 分散分解 (VARモデル)

図表 16は分散分解分析の結果であるが、VIXがRSP500TRの予測できない変動のうち約60%を説明し、RTREASURYTRの予測できない変動のうち約10%を説明するということが読み取れる。一方、RCATTRにおいてはVIX、RSP500TR、RTREASURYTRは説明力を持たず、VIX、RSP500TR、RTREASURYTRに対してもRCATTRは説明力を持たないことがわかった。つまり、分散分解においても、予測できないCATボンドリターンの変動についてほぼ100%がCATボンドリターンの要因で説明されるという結果になった。

## 4.2 実証分析結果の考察

グレンジャー因果性、インパルス応答関数、分散分解というVARモデルのツールによる一連の変数間の動的関係の分析を行った結果、CATボンドリターンは伝統的資産のリターンやVIX指数の影響をほとんど受けないということがわかった。伝統的資産についてはVIX指数の影響を受けているため、CATボンドリターンがVIX指数の影響を受けないという結果は大変興味深いものである。今回の実証分析結果から、CATボンドリターンは株や債券等の影響を受けず、資本市場とは独立した要因で変動しているということが言える。

## 5. 巨大災害リスクとCATボンドリターンの分析

### 5.1 CATボンドリターンの分析

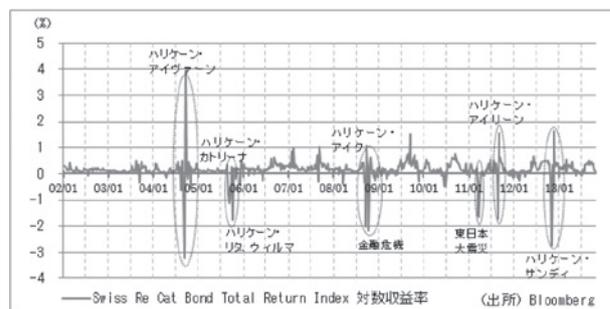
インデックスにおけるCATボンドの年次リターンを求めてみると、ハリケーン・カトリーナ

を始めとした大型ハリケーンが相次いだ2005年、金融危機が起きた2008年、東日本大震災があった2011年で大きく落ち込んだが、それでもプラスを維持し、直近11年間で一度もマイナスに陥ったことがない。また、直近11年間の平均年次リターンを求めると8.47%と極めて高いことがわかる。

また、インデックスにおけるCATボンドのローリングリターン(12ヶ月、24ヶ月、36ヶ月)を算出したところ、保有期間が長ければ長いほどリターンが安定することがわかった。

### 5.2 巨大災害とCATボンドリターンの変化

CATボンドにもリスクが存在する。それは巨大災害発生によるCATボンドの毀損やデフォルトのリスクである。そこで、巨大災害発生時にCATボンドのリターンが一体どのように変化するのか分析を行ってみることとした。



図表 17 CATボンドリターンの1%超下落局面  
(出所) Bloombergより筆者作成

Swiss Re Cat Bond Total Return Indexの対数収益率において、2002年1月4日～2013年11月1日の期間において週次リターンが1%超下落する局面について調べてみた。1%超下落する局面は対象期間において全部で9回あり、図表17の通りである。リターンが1%超下落した期間については、9回のうち6回が甚大な被害をもたらした米国の大型ハリケーンであり、それ以外は2008年の金融危機と2011年の東日本大震災(2週間連続で1%超下落)であることが推測できる。つまり、CATボンドリターンが大幅に下落する要因については巨大災害と金融危機が発生することによるものと考えられる。

ここで、米国に甚大な損害を与えた大型ハリケーン・アイクが金融危機とほぼ同時期に米国を直撃していることに注目したい。図表17よりハリケーン・アイクの発生期間が金融危機とほぼ同時期であったことがわかる。つまり、CATボンドに対する金融危機の影響を考える上で、ハリケーン・アイクの影響も同時に考える必要がある。

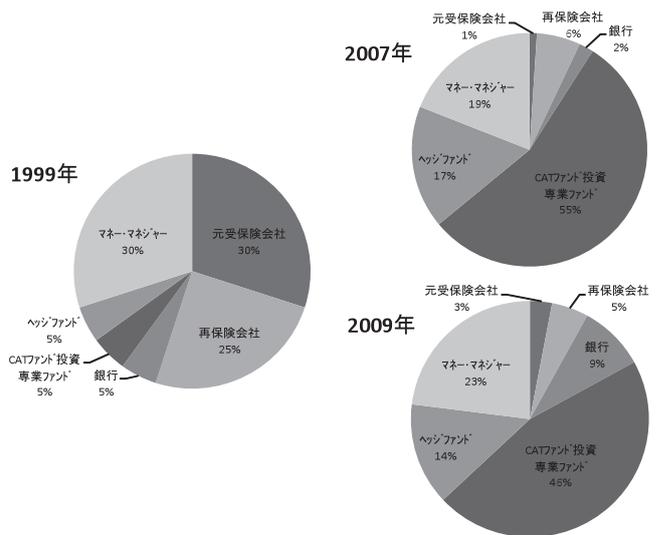
金融危機時にCAT Bondもリスク資産同様に売却された可能性は否定できないが、ハリケーン・アイクによる影響が見過ごされてしまっているがために、金融危機の影響が過大評価され、実際にはCAT Bondは金融危機の影響をそれほど受けていなかった可能性がある。

原因	日付	RCATTR	RSP500TR	RTREASURYTR	RUSHYBONDTR	VIX
①ハリケーン・アイク	2004/9/3	-0.92%	0.58%	-0.37%	0.31%	13.91
	2004/9/10	-3.19%	0.95%	0.44%	0.65%	13.76
	2004/9/17	4.02%	0.45%	0.24%	0.49%	14.03
②ハリケーン・サラナ	2005/9/2	-0.81%	1.13%	0.88%	-0.24%	13.57
	2005/9/9	-1.11%	1.95%	-0.25%	0.08%	11.98
	2005/9/16	-0.58%	-0.25%	-0.38%	-0.23%	11.22
③ハリケーン・ワイルマ	2005/9/30	0.25%	1.14%	-0.33%	-0.06%	11.92
	2005/10/7	-1.75%	-2.63%	-0.02%	-0.26%	14.59
	2005/10/14	0.20%	-0.76%	-0.27%	-1.03%	14.87
④ハリケーン・アイク	2008/9/12	-0.43%	0.81%	0.10%	0.10%	25.66
	2008/9/19	-1.99%	0.30%	-0.19%	-2.25%	32.07
	2008/9/26	1.09%	-3.32%	0.14%	-3.80%	34.74
⑤金融危機	2008/10/3	0.30%	-9.34%	1.42%	-5.73%	45.14
	2008/10/10	-2.16%	-18.14%	-0.63%	-10.69%	69.95
	2008/10/17	-0.61%	4.61%	-0.22%	-2.24%	70.33
⑥東日本大震災	2011/3/11	-0.31%	-1.21%	0.43%	-0.24%	20.08
	2011/3/18	-1.60%	-1.91%	0.48%	-0.09%	24.44
	2011/3/25	-1.64%	2.72%	-0.72%	-0.65%	17.91
⑦東日本大震災	2011/4/1	-0.63%	1.45%	-0.09%	0.38%	17.4
	2011/8/19	0.06%	-4.63%	0.43%	0.42%	43.05
	2011/8/26	-1.73%	4.78%	-0.18%	-0.90%	35.59
⑧ハリケーン・アイリーン	2011/9/2	1.58%	-0.18%	0.43%	1.62%	33.92
	2012/10/26	-0.22%	-1.48%	0.04%	-0.33%	17.81
	2012/11/2	-2.71%	0.18%	0.14%	0.15%	17.59
⑨ハリケーン・サンディ	2012/11/9	0.35%	-2.37%	0.37%	-0.27%	18.61

図表 18 巨大災害発生時におけるリターンの変化

図表18は巨大災害の発生によりRCATTRが1%超下落した局面における前後1週間の各リターンの変化をまとめたものである。④期間がリーマン・ブラザーズが破綻した時期と重なっているため、④期間におけるRCATTRの下落が金融危機とハリケーン・アイクのどちらの影響によるものだったのか考えてみることにした。④期間においては、RCATTRが1.99%下落しているのに対し、RSP500TRは0.30%上昇している。④期間におけるCAT Bondリターンの下落率は極めて大きいことから、もしこれが金融危機による影響であるなら株も下落している可能性が高い。その期間において株は逆に上昇しており、④期間におけるCAT Bondリターンの下落は金融危機の影響によるものと判断することは難しい。週次データであるため、もちろんリターンが他の要因を受けて大きく変化してしまっている可能性は否定できないが、ハリケーン・アイクの被害と発生期間を考えると、④期間におけるその原因はハリケーン・アイクによる影響が大きかったと考えるのが妥当であろう。

一方、⑤期間においてRCATTRは2.16%下落しているが、同期間でRSP500TRが18.14%も下落しており、こちらは金融危機の影響によるものと考えられる。株やハイイールド債と比較すれば、CAT Bondへの金融危機の影響は小さいものだったと言えるだろう。



図表 19 CAT Bondの投資家層の変化  
(出所) Swiss Re『シグマ調査』より筆者作成

自然災害でもない金融危機でCAT Bondのリターンが下落するのはなぜだろうか。図表19はCAT Bondの投資家層の変化を表したものである。1999年には投資家層の過半数以上を元受保険会社と再保険会社が占めており、ヘッジファンドとCATファンド投資事業ファンドは併せてもわずか10%だったが、高いリターンを追求するヘッジファンドやCATファンド投資事業ファンド等がCAT Bondの高いリターンに注目するようになった。CAT Bondの発行がピークだった2007年において投資家層の割合を見てみると、元受保険会社と再保険会社の比率は併せて7%にまで減少している一方で、ヘッジファンドとCATファンド投資事業ファンドについては併せて72%を占めており、2007年には投機筋のCAT Bondのポジションが膨れ上がっていたと考えられる。このような状況の下で2008年に金融危機が起き、損失を被った投機筋が資金手当のためにポートフォリオのリバランスを行う必要に迫られて、CAT Bondを売却せざるを得ない状況に陥った可能性が高い。つまり、CAT Bondがリスク資産として嫌厭されたからではなく、投資家が金融危機によって被った他の資産の損失の補填や流動性危機のためにCAT Bondが余儀なく換金されたと考えられる。金融危機後の2009年にはヘッジファンドとCATファンド投資事業ファンドの比率が併せて60%にまで低下していることもこの理由の裏付けとなる。

## 6. まとめ

### 6.1 結論

本稿で使用したインデックスにおいては「CATボンドは伝統的資産との相関が低く、安定した高いリターンが得られる」という仮説が成り立つことを示すことができたと言える。対象期間における各インデックスとの対比だけで考えれば、CATボンドは株よりも低いリスクで高いリターンが得られ、ハイイールド債の高いリターンには及ばなかったものの、リスク対比のリターンで考えればCATボンドの方がハイイールド債よりもパフォーマンスが優れていることもわかった。また、CATボンドは米国債よりもリスクが小さいという結果も見逃せない。

VARモデルによる実証分析の結果、CATボンドは伝統的資産やVIX指数の影響を受けないということがわかった。株や債券はVIX指数の影響を受けるが、CATボンドに限ってはVIX指数の影響もほとんど受けておらず、資本市場との独立性を示唆している。この結果から、CATボンドは高いリターンが得られるだけでなく、ポートフォリオ分散効果も期待できると言えるだろう。さらに、CATボンド同士でもトリガーが異なるとさえいけば、より大きな分散効果が期待できる。金融危機のような事態が再び起こった場合においては、CATボンドにも影響が及ぶ可能性は否定できないが、CATボンドは金融危機のような状況下においても他の資産と比べれば安定したパフォーマンスが得られるということが本稿の分析結果によってわかった。2008年の金融危機以前はCATボンドにトータル・リターン・スワップが組込まれ、投資銀行等の信用力の高いカウンターパーティーがボンドの裏付けとなる担保を保証していたが、2008年の金融危機によってリーマン・ブラザーズをカウンターパーティーとしたCATボンドがデフォルトしたことから、現在発行されているCATボンドにはこのような信用リスクも排除されており、投資家はCATボンド本来のリスクだけを考慮してCATボンドへの投資を行うことができるようになってきている。

このように投資対象として魅力的であるにもかかわらず、我が国においてCATボンドの普及が進まない要因としては、CATボンドは商品としての馴染みの薄さ、不透明性の高さ、セカンダリーマーケットが発達していないための流動性の低さが考えられる。さらに、発行に際して格付会社や引受会社等の多くの第三者が関与するCATボンドは再保険と比較するとコスト高と言われており、発行者にとってもコスト面で効率化される必要がある。つまり、CATボンドが自由に取引で

きる市場環境を日本においても早急に整備し、発行者はCATボンドの商品の透明性を高めて、投資家がより投資しやすい商品へと改善するための一層の努力が必要である。

また、CATボンドはパーソナルファイナンスにおいても有効であるが、認知度があまりにも低く、個人投資家が投資すらできないような状況にある。CATボンドがパーソナルファイナンスにおいて機能するためには、更なる認知度の向上が必要であり、ファンドの活用等によって個人投資家が自由に投資できるような環境を整備することが不可欠である。

CATボンドは再保険を代替できるほどの規模にまで至っておらず、再保険の機能を補完しているに過ぎないが、CATボンドは再保険市場とは比較にならないほどの莫大な資本市場から資金調達を行うことが可能である。CATボンドは再保険市場の引受キャパシティを補完する保険会社のヘッジツールという側面と、資本市場における魅力的な投資商品としての側面を併せ持ち、再保険市場と資本市場を融合させる役割をも有している。米国においては1990年代前半にハリケーン・アンドリューやノースリッジ地震という巨大災害が発生したことで、CATボンドが普及したという歴史がある。東日本大震災を経験した日本においては、今まさに地震リスクファイナンスが変革の時を迎えているのではないだろうか。今後、官民一体となった地震保険制度の見直しが行われると考えられるが、併せてCATボンドにより我が国の地震リスクファイナンスが発展することを願ってやまない。

### 6.2 今後の研究課題

再保険市場の補完的な役割として資本市場が機能していることが推考されるが、残念ながら再保険料率に関するデータが年次データしか取得できなかったため、これらをデータ分析によって説明することができなかった。再保険料率のデータにおいては再保険ブローカー等がデータを蓄積しており、今後それらのデータが開示されるようになれば研究を行うことができるだろうが、それについては今後の研究に譲ることとした。

また、日本FP学会において東京経済大学の吉田靖教授より、正規性の検定、条件付き相関、他のインデックスとの比較についても検証してみるべきではないかという貴重なアドバイスをいただいた。これらについては今後の研究課題としていきたい。

## 参考文献

- Aon Benfield Analytics. (2013), “2013 Reinsurance Market Outlook”.
- 榎峠弘樹 (2011) 「投資対象としての再保険 (特集 大震災後の経済の諸問題と日本企業の課題)」. 『証券アナリストジャーナル』 49(10): 44-55.
- Froot, K.A., and O’Connell, P.G. (1999), “The pricing of US catastrophe reinsurance”, In *The Financing of Catastrophe Risk*, pp.195-232. University of Chicago Press.
- GUY CARPENTER. (2013), “Catastrophe Bond update: First Quarter 2013”.
- 堀田一吉 (2013) 「巨大災害・巨大リスクと保険制度 (平成24年度日本保険学会大会 シンポジウム 巨大災害・巨大リスクと保険)」 『保険学雑誌』 (620): 23-42.
- Johansen, S. (1988), “Statistical analysis of cointegration vectors”. *Journal of economic dynamics and control*, 12(2): 231-254.
- 可児滋 (2013) 『金融と保険の融合 究極のリスクマネジメント』 きんざい.
- 勝山正昭 (2012) 「保険市場と資本市場の融合: 保険リンク証券のもたらす社会的意義」 『MS&AD 基礎研 review』 (12): 72-87.
- 北岡孝義・高橋青天・矢野順治 (2008) 『EViewsで学ぶ実証分析入門 (基礎編、応用編)』 日本評論社.
- 松浦克己・Colin McKenzie. (2012) 『EViewsによる計量経済分析』 東洋経済新報社.
- 森本祐司 (2000) 『金融と保険の融合について』 金融研究, 4.
- 沖本竜義 (2009) 『経済・ファイナンスデータの計量時系列分析』 朝倉書店.
- 大橋和彦 (2010) 『証券化の知識 (第2版)』 日本経済新聞出版社.
- 大谷光彦 (2011) 『再保険 その理論と実務』 日経BPコンサルティング.
- Swiss Re. (2009), “The role of indices in transferring insurance risks to the capital markets”.
- Swiss Re. (2012), “Natural catastrophes and man-made disasters in 2012”.
- Swiss Re (2012), “Swiss Re Cat Bond Indices Year in Review 2012”.
- 多田修 (2012) 「活況を呈し始めた保険リンク証券への期待: キャットボンドを中心とした動向」 『損保ジャパン総研レポート』 61: 2-29.
- Yago, G. and Reiter, P. (2008), “Financial Innovations for Catastrophic Risk Cat Bonds and Beyond. Milken Institute”.
- 横松宗太 (2011) 「特集記事 自然災害リスクの経済評価手法に関する近年の研究動向」 『自然災害科学』 30(2): 203-232.
- 米山高生 (2012) 『リスクと保険の基礎理論』 同文館出版.
- 四塚朋子 (2008) 「大災害リスクのプレミアム・パズルについて」 『大阪大学経済学』 57(4): 177-188.