

金融市場のクラッシュのリスクを判断する尺度の検討

西 山 昇

1. はじめに

リスク (risk) とは何か? さまざまなとらえ方があるが、ここでは金融分野以外にも適用可能な「リスクとは、人が何かをおこなった場合、その行為にともなって (あるいは行為しないことによって) 将来こうむる損害 (damage) の大きさとその確率を掛け合わせたもの」⁽¹⁾ とする。これに従えば「金融の世界でのリスクとは、投資の意思決定 (人為的な企て) から帰結する損失 (金額)」を意味する。言い換えると (一般的な) リスク = (損害の大きさ) × (確率) として定式化できる。

コーポレートファイナンスに対応するパーソナルファイナンスの観点からは、リスクリテラシーのひとつとして、「リスク指標」が確率的な考え方に基づいて算出されていることへの理解が大事だろう。本稿で議論するのは、クラッシュのリスクを計測する評価尺度である。リスクとはリターンに対応する言葉であり、確率的な数値で評価される。ポートフォリオ理論において、期待リターンとは株式収益率 (株価変化率) の任意の期間をとった過去データの平均、期待リスクとは期待リターンと同じ期間の株式収益率 (株価変化率) をとった過去データの標準偏差として計算される。両者はリターンとリスクのトレードオフ (二律背反) の関係として知られている。

標準偏差とは、平均 (標準化した場合ゼロ%) からの変化幅の尺度であり、 1σ (シグマ = 標準偏差) あたりの平均からの偏差の大きさ (%) の基準を指す。 1σ は、ゼロを中心としてプラス側とマイナス側の両方に同じ幅だけ変化することになり、変化のばらつきの確率は約68%と解釈される。例えば、リスクが3%なら約68%の確率で収益率はプラス、マイナス3%の範囲内に存在したと解釈される。期待 (予想リスク) は実務的には過去のデータ (実績) から推定される (図1)。

このリスク尺度としての標準偏差の前提は左右対称となる標準正規分布である。これまでのポートフォリオリスク管理は、正規分布から多少かい離していたとしても標準正規分布を前提に議論してきた。これはサンプル数が増加すれば、正規分布に近似する統計的な特性である「大数の法則」を尊重することからきている。ところが、これまで発生した資産価格が急落するクラッシュのケースでは、この前提が崩れていることが観察される。最近ではマーケットクラッシュのような何の前触れもなく発生する現象を Black Swan 的なイベントと呼ぶ。それらは何百年に一度、稀に発生する大地震のような事象をさす。その

(1) 今田高俊, 2011「リスク社会の到来と課題—ソリューション研究の視点から—」東京工業大学大学院社会理工学研究科, リスク・ソリューションに関する体系的研究 2010年度報告書

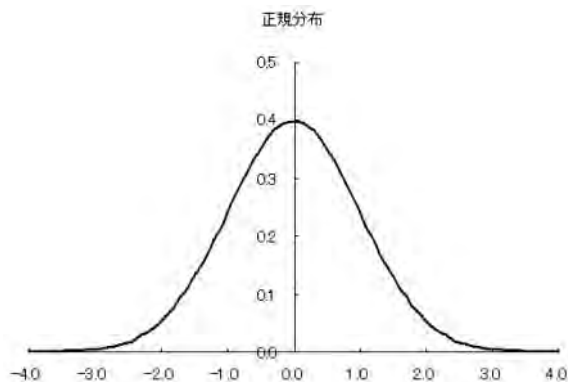


図1 標準正規分布（平均 0，標準偏差 1）のグラフ

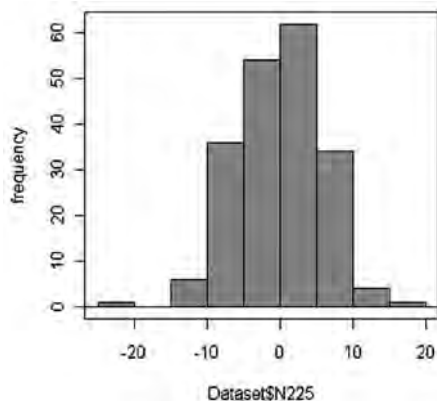


図2 Nikkei225ヒストグラム

ため過去に発生したことの無い想定外の事象を想定することの難しさが長期的課題として認識されている。

過去データから算出された月次データ（1994年1月～2010年6月（月次データ，198サンプル））をプロットしたグラフ（図2）の形状は正規分布からカイ離している。

クラッシュのリスクを計測する際の課題は、正規分布の前提が崩れた場合にどう対応するのかという点である。いくつか対応方法のアイデアはあるが、たとえば正規分布以外の分布を前提にリスク計測の議論を進めることがあげられる。しかし大半の時間が平常時であり、正規分布に沿っている現実をみると、常に非正規分布を採用して分析する実務的な合理性がない。地震などは、べき乗分布に従うとされているが、べき乗分布をどのように活用して予測力を向上させるのかは統計的予測の壮大なテーマのひとつである。

完全に予測することは無理にしてもクラッシュが発生する兆しを捉えること、それは金融の世界にかかわっていれば、必ず関心を持つテーマである。特に金融危機につながるマーケットクラッシュのメカニズムは社会全体への影響が大きいこともあり、注視する必要がある。ふりかえると1998年夏に発生した米国 LTCM (Long-Term Capital Management) 社の破綻、2008年に発生したリーマンショック等がクラッシュとしてあげられる。

LTCM社の破綻において観察されたリスクは、なんの前触れもなく突然“Catastrophic”に表面化する“Extreme”なリスクである。LTCM社の事例は、“Extreme”なリスクに対して金融工学的な正規分布を前提とした伝統的リスク管理手法であるVaR (Value at Risk) のみでは事前に対応できなかったとの議論を喚起した。

LTCM社が破綻した一つの理由として、資本を大きく超過するレバレッジをかけていることが指摘されている。一般的にヘッジファンドの運用スタイルはある程度開示されているものの、パフォーマンスの源泉が「Skill Based (スキルベース)」であるため、各ヘッジファンドは必要最小限の運用情報以外は公開しない。さらに絶対リターン追求を目的としてデリバティブを駆使するため「潜在的リスク」を保有することになり、場合によっては「スタイル」、「リスク・エクスポージャー」を頻繁に、しかも意図的に変更しているケースもあるとされる。

しかしLTCM社のケースについては、レバレッジレベルは高いとされていたものの、意図的にレバレッジを上昇させたのではなく、ロシア危機を発端とした市場の急変が、それまでのレバレッジレベルで問題とならなかったはずのポジション解消の妨げになり、レバレッジが急上昇したというのが実態とされる。

売りたいくても売れない、買いたくても買えない、「流動性の枯渇」が瞬時に発生してLTCM社破綻につながったとされている。急激な「流動性の枯渇」という“Catastrophic”なリスクを金融工学的な観点からリスク管理に導入することは継続的に議論されている課題であり、「流動性」を直接観察してリスク管理に導入する方法も検討されている⁽²⁾。LTCM社の取引における流動性は、証券会社、銀行を直接取引相手とする相対取引が中心であることから、市場取引のように公表された取引量を数値として把握することは困難である。

本研究では、マーケットの流動性も含めた微妙な変化をとらえるため、クラッシュ時に資産間(銘柄間)の相関関係が変化することを利用してリスク尺度としての指標化をおこなう。相関関係の変化はクラッシュに対する先行性を完全に保証するというより、変化の兆候を示す指標として活用できると考える⁽³⁾。ここでヘッジファンドについてひとこと説明すると、ある種の金融ベンチャーである。それまで大手金融機関で活躍していたトレーダー、ファンドマネージャー等が独立して運用を開始することが多い。本稿のデータ分析では、個別ヘッジファンドのパフォーマンスをスタイルごとに集計したインデックスを指標として利用する。個別ヘッジファンドは、正規分布していないものも含まれており、スタイルインデックスごとの相関関係の変化が、投資家同士の投資行動の変化を把握するひとつの指標として利用可能なのかを検討している。

(2) Jorion, Philippe, 1999, “Risk Management Lessons from Long-Term Capital Management”, SSRN (Social Science Research Network) Journal, September 2: 29-46. Chen, Hong, Stein, 2000, “Forecasting Crashes: Trading Volume, Past Returns and Conditional Skewness in Stock Prices,” NBER WORKING PAPER SERIES, May 2000.

(3) 以下を参照。西山昇, 1999, 「主成分分析を利用した次元縮小によるリスクコントロールについての一考察(Ⅱ)」東京工業大学大学院社会理工学研究科価値システム専攻リサーチペーパーシリーズ, No.5. 西山昇, 2000, 「絶対リターン戦略のリスクマネジメント」JAFEE (日本金融・証券計量・工学会) 第14回夏期大会予稿集

2. リスク管理の基本的考え方

2.1 リスクイベントとしてのクラッシュ

歴史を振り返ると金融危機につながった（つながる可能性が高かった）代表的なものに、次の3つがあげられる。(1)1987年のブラックマンデー、(2)1998年のLTCM（巨大ヘッジファンド）の破たん、(3)2007年のサブ・プライムに端を発したリーマンショック。これらのクラッシュの背景にあるのは、投資の基本としての裁定（アービトラージ）の考え方である。裁定とは、安く買って、高く売る（順番は逆でもよい）ことである。

(1)1987年のブラックマンデー—株式先物を売り建てることでインデックス型のポートフォリオをヘッジしていた。ヘッジする量とタイミングをルール化するのにデルタヘッジという手法が生まれる。やがてポートフォリオ・インシュアランスと呼ばれる株式現物ポートフォリオと株式先物の割高、割安を判断して自動的に現物・先物を自動発注する手法が発展した。ブラックマンデーは、なんらかのきっかけ（マクロ経済、取引所のトラブル等）から最初の現物株ポートフォリオの売りによる値下がりから発生した。現物株が先物より割安になり、ヘッジのために先物がさらに売られる。本来は、ここで割安な現物株が買われるはずなのだが、システムが先物の割高を判断して先物が売られる。マーケット全体の先物が、買われるはずの現物よりも優先して売られる。そこで先物がさらに割安になり、割高になった現物が売られる。そして先物が割高になり売られるという、現物と先物がスパイラルな売りの状態になったのがブラックマンデーのメカニズムとされている。

(2)1998年のLTCM（巨大ヘッジファンド）の破たん—LTCMは債券アープ（アービトラージ取引）に分類されるヘッジファンドであり、ノーベル賞級の科学者がスタッフとして名前を連ねるヘッジファンドでもあった。破たんの原因となった取引は「債券コンバージェンス取引」である。これも裁定取引のひとつであり、組み合わせとしては、割安なロシア国債を買い、割高な米国社債を売る戦略である。売りと買いのポジションをセットして解消するため利幅が小さく、一瞬のうちに利益が確定する。利幅が小さいためレバレッジをかけて大きくするのが一般的であった。そこで発生したのがロシア危機である。割安としてポジションを組んでいたロシア国債が大幅に値下がりを開始したことにより、想定していた動きと真逆となり、またたく間に損失が拡大した。さらに流動性の枯渇ともいえる状態で売りたくても売れない状況が続き、最終的にLTCM社は破たんに至ったとされている。

(3)2007年のサブ・プライムに端を発したリーマンショック—サブ・プライムと呼ばれるローン債権をいくつもまとめたプールを仕組債として無相関（とされた）の個別トランシェにわけて販売した事例である。トランシェとは、仮定の箱のようなものであり、それぞれにAAAからCまでの格付けがついている。格付けはデフォルトの可能性を評価したものであり、通常の企業倒産の可能性を評価したものと同様である。AAAはクーポンが低く、安全性が高い。逆にCはクーポンが高く、安全性が低い。個別のローンがデフォルトした場合、その損失はいちばん低い格付けのトランシェ債券から価格が毀損することを約束する。問題は、実際にデフォルトが始まっていると知られてからは、格付けと矛盾する価格形成がなされたことである。その意味は、一番安全と思われていた債券から価格が大幅に

下がったのである。その理由は、デフォルトリスクの高さからというより、流動性が高いうちに売却したいという投資家の心理に影響されたともいえる。またクレジットデフォルトスワップと呼ばれる保険会社が提供する商品により、トランシェのデフォルトをヘッジしていたにもかかわらず、実際にデフォルトが始まってみると保険会社の財務危機が表面化した。同時期米国において販売された元本保証ではない投資信託のひとつMMF（通常は元本確保される）が高格付けの仕組債を組み込んでいたことで、投資信託の元本を毀損したとのニュースも流れた。高格付けの仕組債は、マーケットに問題がないときは、MMFの有力なリターンの源泉だったことはよく知られている。

この3つの事象は、大きな金融危機につながるリスクがあった意味で大きいイベントだった。これらの出来事は10年のサイクルで発生していた。これらの事象が繰り返される要因として次の3点をあげておきたい。

(1) 分散投資の失敗

ポートフォリオ理論、金融工学理論では、リスク分散することで個別リスクが小さくなるとしていた。しかし結果的に全体のリスク量は減少しておらず、リスクを単に移転・拡散させたにすぎないともいえる。むしろ想定外の部分にリスクが集中していた。

(2) 低相関管理の失敗

仕組債等の商品設計上、各トランシェは、お互い低相関の安全性の高い商品として開発されたものの、その前提が崩れていた。開発、販売者はリスクの大きさを十分に予想できていなかった。

(3) 金融テクノロジーの発展の副次的効果

金融技術の進歩により、金融機関がより大きなリスクを取りに行くことが可能となった。収益をあげるためには潜在的なリスクがあってもBet（賭け）を継続していた。そして最後に破綻することとなった。

これらのクラッシュのメカニズムから想定できるのはマーケットに存在する2つの局面である。ひとつは伝統的なリスク管理方法が通用する「平常時」であり、別のもうひとつの側面は伝統的なリスク管理方法が通用しない「異常時」である。言い換えると平常時とは、「正規分布」の想定内に収まっている状況、異常時とは正規分布が崩れる状況である。

「異常時」に伝統的なリスク管理方法が通用しない理由は、株価リターンの分布が正規分布でなくなると同時に銘柄同士、グループ同士の相関が限りなく1に近づくことで、分散効果がほとんど機能しなくなるためである。また「異常時」が存在することを意識しないままポートフォリオ構築をおこなうため、リスク回避行動が「流動性の枯渇」等の影響により難しくなる。

本稿では「異常時」と「正常時」の状態の変化を把握する方法のひとつとして相関関係の変化を指標化するリスク尺度を検討している。

2.2 リスク管理の基本的考え方

これまで一般的にマーケットの分析は独立した個別要因に分解して説明する方法が採用されてきた。統計的には「説明できる部分」を可能な限り精緻に要因分解して説明力を向上させることに主眼がおかれ「説明できない部分」はすべて誤差部分に押し込めて確率的に消去するという考え方である。さらにモデルの「説明できない部分」をより小さくする

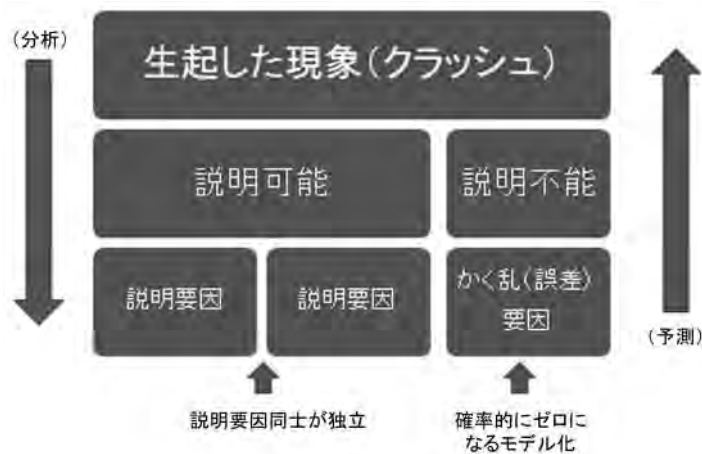


図3 モデルによる分析のイメージ

ことでモデルの有効性を判定する基準としていた（図3左側の下向きの矢印）⁽⁴⁾。

モデルの前提にあるのは、正規分布と大数の法則である。前提が効かない状況の中では、複雑系の考え方のひとつである「自己組織性」の視点からクラッシュのメカニズムを考察することがひとつの方法である。それは誤差項の中に押し込まれて消去されてきた「ノイズ」および「攪乱項」をシステムの「ゆらぎ」の状態として明示的にとらえ直すことである。（図3右側の上向きの矢印）

マーケットは平衡状態の近傍で形成維持される部分と非平衡状態で形成維持される部分の2タイプの構造をもつとする。平衡状態と非平衡状態の間には「ゆらぎ」が存在しており、「ゆらぎ」を通じて双方の秩序形成がなされるとの立場にたつ⁽⁵⁾。

指標化するにあたりシステム内の相関関係の変化が「ゆらぎ」の生成に影響をあたえたと仮定している。ここで伝統的リスク管理方法が通用する「平常時」を自己組織性でいう平衡状態、伝統的リスク管理方法が通用しない「異常時」を自己組織性でいう非平衡状態ととらえる。平常時と異常時の間には「ゆらぎ」の状態が存在する。「ゆらぎ」の状態を数値的に把握してリスク尺度とする。

「自己組織化」とは、「カオス」とともに複雑系の中でひとつの柱となっている分野であり、外部からのコントロールを受けることなく自発的に自然とそのシステムがある構造を形成し、秩序だった状態に発展していくという意味である⁽⁶⁾。

「臨界現象」とは、ぎりぎりの点、きわどい縁（臨界点）で発生する相転移現象を指している。相転移現象とは、状態が質的に変化する現象である。例えば0度という臨界点において水が氷になるのも相転移現象である。また砂山に砂を落としていくと、ある時点で砂山が突然崩れるのも広義の相転移現象である。図4は、関連の状態に関するイメージ図である。

(4) 高安秀樹・高安美佐子, 2000, 『経済・情報・生命の臨界ゆらぎ—複雑系科学で近未来を読む』ダイヤモンド社

(5) 今田高俊, 1986, 『自己組織性—社会理論の復活』創文社

(6) 香取眞理, 1997, 『複雑系を解く確率モデル—こんな秩序が自然を操る』講談社ブルーバックス

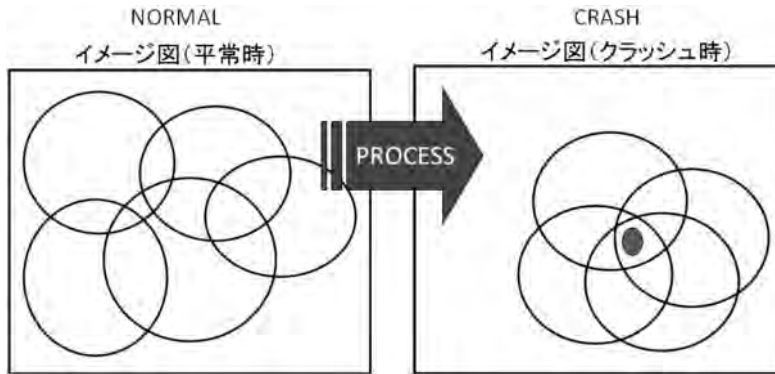


図4 平常時と異常（クラッシュ）時の相関の状態のイメージ図

3. 相関関係の変動の指標化

3.1 相関係数と固有値グラフの形状

具体的に計算する方法は、主成分分析を通じて相関係数行列から計算される固有値のグラフ形状から、リスクレベルを示す「閾値」としての指標を作成する。

以下は相関行列から固有値を計算したシミュレーション結果である。相関は主対角を1として、それ以外の要素はすべて同じ値をとった実在しない仮想的行列から計算している。

図5は、縦軸に固有値の値、横軸に固有値の番号をとって、変数同士のすべての相関が低い場合（ $\rho = 0.1$ ）と高い場合（ $\rho = 0.9$ ）の固有値の値をプロットしたグラフである。（ $\rho = 0.1$ ）と（ $\rho = 0.9$ ）との大きな違いは第一番目の固有値の値であり相関全体が大きくなると第一番目の固有値が上昇すると同時に第二番目の固有値が低下することを示している。

図6は、縦軸に固有値の値、横軸に相関行列の各要素が0.1から0.9まで0.1ずつ変化する場合をとって最大と最小固有値をプロットしたグラフである。相関が段階的に大きくなる（グラフ横軸の左から右）と固有値の最大値と最小値の差異が拡大することを示している。

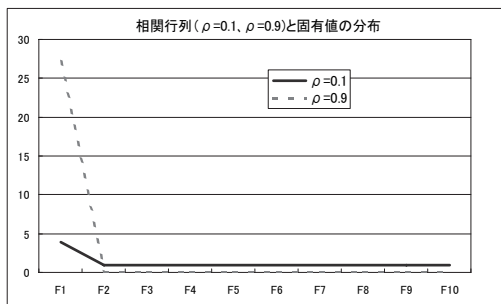


図5

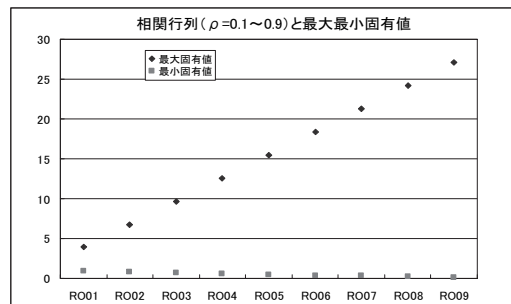


図6

3.2 データ分析とその結果

分析対象データは、1994年1月～2010年6月の月次データであり、ヘッジファンドインデックス（14系列）と日経225インデックス（1系列）の15系列である。（表1）

199401-201006(199Month)								
列1	AVE	STD	AVE/ST	SKEW	歪度	KURT	尖度	
Hedge Fund Index	0.45	2.21	0.20	-0.14		2.38		
Convertible Arbitrage	0.33	2.00	0.17	-2.47	左に裾長、最頻値が右	14.57	FLAT	
Dedicated Short Bias	-0.41	4.84	-0.09	0.68		1.27		
Emerging Markets	0.42	4.41	0.10	-0.71		4.49	FLAT	
Equity Market Neutral	0.16	2.99	0.05	-11.90	左に裾長、最頻値が右	157.38	FLAT	
Event Driven	0.51	1.73	0.29	-2.43	左に裾長、最頻値が右	13.27	FLAT	
Event Driven - Distressed	0.59	1.89	0.31	-2.19		11.43		
Event Driven - Multi Strategy	0.47	1.84	0.26	-1.88		9.52		
Event Driven - Risk Arbitrage	0.27	1.18	0.23	-1.16		5.48		
Fixed Income Arbitrage	0.12	1.66	0.08	-3.86	左に裾長、最頻値が右	24.89	FLAT	
Global Macro	0.73	2.91	0.25	0.19		3.24		
Long/Short Equity	0.51	2.86	0.18	-0.01		3.48		
Managed Futures	0.22	3.39	0.07	-0.03		0.04		
Multi-Strategy	0.33	1.53	0.22	-1.61		5.53		
N225	-0.14	5.91	-0.02	-0.28		0.66		

表1 ヘッジファンドインデックス（14系列）（the Dow Jones Credit Suisse Hedge Fund Index）十日経225（1系列）（1994年1月～2010年6月，月次データ，199カ月）⁽⁷⁾

ヘッジファンドインデックスの系列には、非正規分布のデータが含まれている。

今回の分析では、LTCMの破綻（1998年6～12月）とリーマンショックが発生する期間（2008年6～12月）に注目して固有値をグラフ化している。

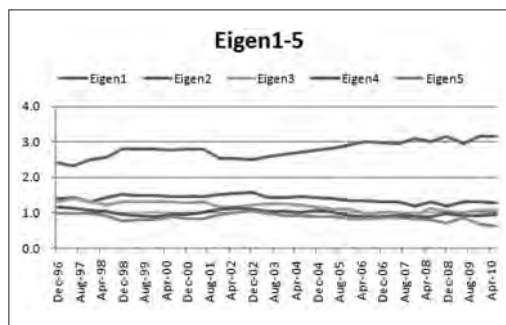


図7

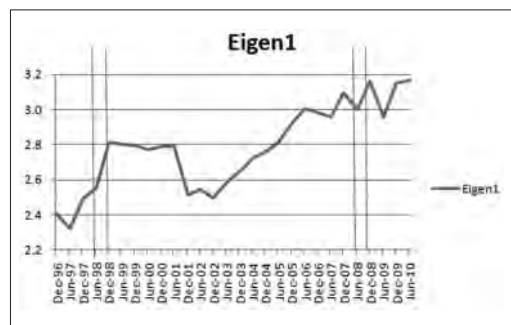


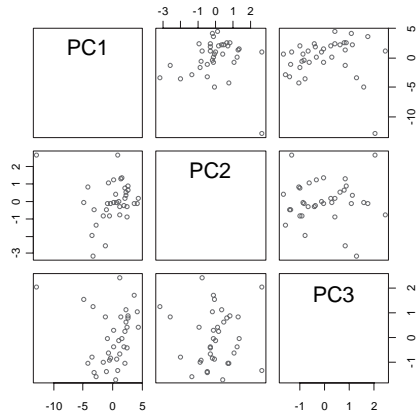
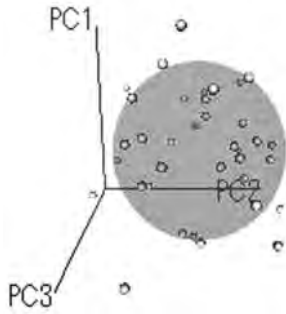
図8

(7) The Dow Jones Credit Suisse Hedge Fund Indexes. (<http://www.hedgeindex.com/>より引用)

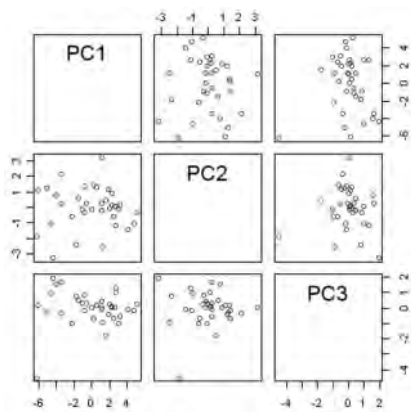
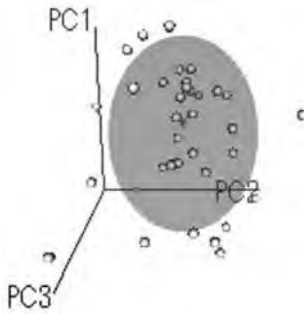
次に主成分の3本の軸に沿ってリーマンショック前後の分布状況の変化を示す。

(シャドローは50%集中だ円)

200807



200808



200809 リーマン破綻

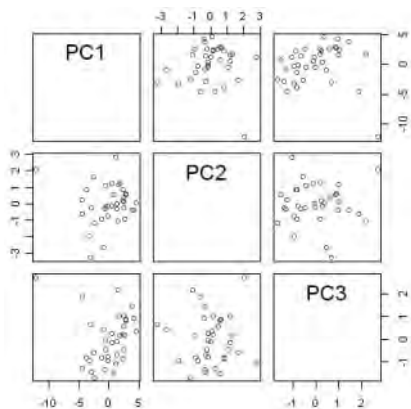
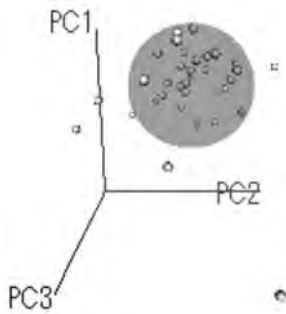


図 9

3.3 結論と課題

固有値の形状変化は、クラッシュのリスクを計測する指標になりうる。しかし指標が閾値を示しても必ずクラッシュが発生するとの指標ではない。また3因子の主成分得点の分布図からは、クラッシュ時にひとつの場所に点が集中する現象が観察された。ただし各点間の距離の指標化については検討課題である。

4. おわりに

本稿においては、クラッシュのリスクを計測するためのリスク尺度の算出を試みた。カオス理論の中にパラフライ効果と呼ばれる、「無視できるくらいのお小さな出来事（蝶の羽ばたき）が、やがて無視できないほどの大きな出来事（暴風雨）になる」との考え方がある。リスク管理の実務経験からは、最初のパタフライ（蝶）のひとつひとつの羽ばたきに注意を向けることは不可能であるが、途中の段階で暴風雨になるか否かの分岐点があると考えている。また実際の業務では、毎日発生するさまざまな事象の中から大きな出来事になる可能性の兆しをとらえて判断、経営陣にソリューションを提案する努力をしていた。本研究においては、データからリスクイベントのレベルを得る指標作成の取り組みを記述している⁽⁸⁾。最近の論調の中には、リーマンショックのようなイベントはレアであり、統計学の限界があり予測が不可能である、との議論もある⁽⁹⁾。

※本稿は、東京工業大学大学院社会理工学研究科、リスク・ソリューションに関する体系的な研究2010年度報告書に掲載した報告を基本にして加筆したものです。

【謝辞】今回、執筆の機会を与您いただきました千葉商科大学「国府台学会」運営委員会の皆さまに感謝いたします。また武田先生との学縁があればこそ得ることができた機会と感じ深く感謝いたします。

【注釈】ヘッジファンドインデックス

- (1) HFI (The DJCS Hedge Fund Index)
9種類のサブインデックス ((2)~(10)) を集計した総合ヘッジファンドインデックス
- (2) CBA (Convertible Arbitrage)
個別のCB (転換社債) をロング, 同銘柄株式をショートする投資スタイル
- (3) DSB (Dedicated Short Bias)
主に株式とデリバティブでショートポジションをとる投資スタイル
- (4) EMK (Emerging Markets)
イマージングマーケットの株式, 債券をロングする投資スタイル

(8) Nishiyama, Noboru, 2001, "One Idea of Portfolio Risk Control Focusing on States of Correlation", *Physica A*, 301: 457-472.

(9) Taleb, Nassim Nicholas, 2007, *The black swan: The Impact of the Highly Improbable*, New York: Random House.

- (5) EMN (Equity Market Neutral)
株式ロングと株式ショートでマーケットニュートラルポジションをとる投資スタイル
- (6) EDV (Event-driven)
企業のイベントによる株価変動をとりにいく投資スタイル
- (7) FIA (Fixed Income Arbitrage)
複数の債券をアービトラージ運用する投資スタイル
- (8) GMC (Global Macro)
世界主要資本市場，デリバティブマーケットでロング・ショートポジションをとる投資スタイル
- (9) LSE (Long/Short Equity)
マーケットニュートラルを目標とせず株式のロング・ショートを組み合わせて，運用する投資するスタイル
- (10) MGF (Managed Futures)
世界中の金融・商品・為替先物で運用する投資スタイル

(Citation for R) 本稿のデータ分析には、フリーソフトウェアRを使用している

〔抄 録〕

本研究は、金融市場における新しいリスク尺度の考察を通じてクラッシュのメカニズムを探り、「想定外」を「想定」できる可能性を検討することを目的とする。最近の20年間に発生した金融危機をふりかえると、金融テクノロジーの発展にともない、新たなリスクが顕在化してきたことが観察される。例えば、かつて発生した巨大ヘッジファンドの倒産に象徴される危機は、取引流動性の枯渇が原因だったと分析されている。デリバティブに代表される金融商品は市場で取引されない相対（あいたい）取引と呼ばれる形態で取引されている。相対取引とは、売り手と買い手が1対1で行う取引形態である。クラッシュ時には、多くの投資家が疑心暗鬼となり、ほぼ同時に取引に殺到することにより、買い手が不在のまま売りたくても売れない状況が発生する。その間に投資家が保有する金融商品の価格（気配）が急落する方向に進み売りが売りを呼ぶ現象がクラッシュである。本研究においては、クラッシュが起りやすい状況を判断するためのリスク尺度を議論する。そのために前提とするメカニズムは、クラッシュが資産同士の相関関係の変動と深く関連する現象と理解することである。クラッシュは相関の高い資産グループ同士が更に大きなグループに大きくまとまっていく過程に発生する「自己組織的な現象」として分析する。

キーワード：クラッシュのメカニズム，相関関係の変化，自己組織的な現象