

IMES DISCUSSION PAPER SERIES

マーケットストレス発生メカニズムの
解明に向けて

吉藤 茂

Discussion Paper No. 97-J-14

IMES

INSTITUTE FOR MONETARY AND ECONOMIC STUDIES
BANK OF JAPAN

日本銀行金融研究所

〒100-91 東京中央郵便局私書箱 203 号

備考：日本銀行金融研究所ディスカッション・ペーパー・シリーズは、金融研究所スタッフおよび外部研究者による研究成果をとりまとめたもので、学界、研究機関等、関連する方々から幅広くコメントを頂戴することを意図している。ただし、論文の内容や意見は、執筆者個人に属し、日本銀行あるいは金融研究所の公式見解を示すものではない。

マーケットストレス発生メカニズムの解明に向けて

吉藤 茂*

要 旨

本論文では、マーケットストレス発生メカニズムの解明に向け、その解決の糸口を見出すことを目的に、種々の分析を網羅的に取扱った。本稿ではまず、マーケット毎に相場変動の特性を抽出し、ストレスの起き易さとの視点でマーケット分類が可能かどうか試みる。更に、マーケット参加者間の相互作用（他人の相場観を見て自らの相場観を修正するなど）で相場を生成するモデルを構築し、トレード戦略や他人から受ける影響の程度を変えることにより、上記分類（ストレスの起き易いマーケットとそうでないマーケットという分類）が表現可能か検討してみた。

本論文は中間報告に位置付けられるもので、ここで取扱った個々の分析には未だ詰めるべき課題が残されており、確定的な結論を導き出すには至っていないが、現時点での成果を整理すると以下の2点。85年1月～96年11月の14市場におけるマーケットデータを分析。ストレスの程度は市場により大きく異なり、度数分布表や連結散布図の形状などから、市場分類が可能であることを示した。この市場毎の差違を説明するために、市場参加者間の相互作用で相場を生成するモデルを構築した。同モデルでは、ランダムな過程では生成されないタイプの相場（極端なストレスの発生するマーケットなど）が生成され、ストレス発生メカニズムの解明に向けて、その有効性を示した。

キーワード：ストレス、ベキ法則、アトラクター、複雑さとエントロピー、ボイドモデル、求心行動、衝突回避行動

* 東京三菱銀行 市場リスク管理部

本論文は、吉藤 茂が日本銀行金融研究所研究第1課出向中に作成したものである。作成に当たっては、東京大学大学院総合文化研究科の金子邦彦教授から有益なコメントを頂いた。

目次

1 . はじめに	1
2 . マーケット分類	1
(1) 相場変動を表わす指標	1
(2) マーケット分類 - ストレスの程度 -	3
(3) 2章のまとめと若干の考察	7
3 . 相場発生モデルの構築	11
(1) モデルの概要	11
(2) シミュレーション	13
(3) 3章のまとめ	16
4 . おわりに	17

1 . はじめに

ブラックマンデーやメキシコ通貨危機などのマーケットストレスは如何なるメカニズムで発生するのだろうか？この古くからの問いかけに対し、解決の糸口を見出すことが本稿の目的である。そもそも、為替・金利・株式など様々あるマーケットは、皆等しくストレスに晒されているのだろうか？本稿ではまず、マーケット毎に相場変動の特性を抽出し、ストレスの起き易さとの視点でマーケット分類が可能かどうか試みる。更に、マーケット参加者間の相互作用（他人の相場観を見て自らの相場観を修正するなど）で相場を生成するモデルを構築し、トレード戦略や他人から受ける影響の程度を変えることにより、上記分類（ストレスの起き易いマーケットとそうでないマーケットという分類）が表現可能か検討してみる。

本稿の構成は、以下の通りである。まず、2章で実際のマーケット・データから、相場変動の特性を抽出し、ストレスの起き易さとの視点でのマーケット分類を試みる。次に3章で、市場参加者間の相互作用で相場を生成するモデルを構築、トレード戦略や他人の相場観から受ける影響の程度を変えることで、2章の実証分析より得られた相場変動の特徴が創出可能かどうか検討してみる。最後の4章で簡単な総括を行う。

本ペーパーは中間報告に位置付けられるもので、個々の分析においては、詰めるべき課題も残されており、確定的な結論を導き出すには至っていない。現時点での成果を整理すると、以下の2点に集約出来る。

85年1月～96年11月の14市場におけるマーケットデータを分析。ストレスの程度は市場により大きく異なり、度数分布表や連結散布図の形状などから、市場分類が可能であることを示した。

この市場毎の差違を説明するために、市場参加者間の相互作用で相場を生成するモデルを構築した。同モデルでは、ランダムな過程では生成されないタイプの相場（極端なストレスの発生するマーケットなど）が生成され、ストレス発生メカニズムの解明に向けて、その有効性を示した。

2 . マーケット分類

(1) 相場変動を表わす指標

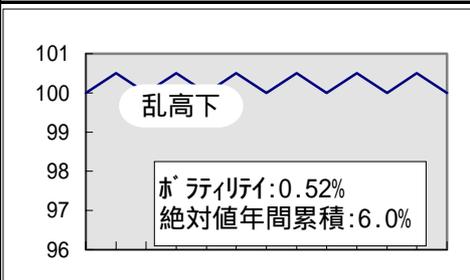
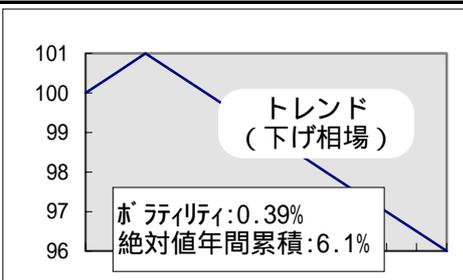
本節では、まず分析をするに当たり、相場変動の特性が現れる指標は何か検討を加える。結論から先に述べると、以下の2点に鑑み、本稿では“収益率絶対値の年間累積値”¹を分析の対象とすることとした。

¹ 月次ベース収益率の絶対値を取り、それを1年間分累積したもの。

ディーラーにとってのリスクと投資家にとってのリスクは違うのでは...？

相場変動の程度は、ボラティリティにより計測されることが多いが、このボラティリティは、トレンドの影響を除去した上で計算される。ポジション = 0 をベースに自らの相場観でポジションを自由に増減させるディーラーにとって、乱高下する相場はリスクであり（収益チャンスでもあるが...）、この意味において、ボラティリティはリスク指標に成りうる。一方、基本ロングポジションである投資家にとって、最大のリスクはトレンドを持った下げであり²、トレンドが除去されたボラティリティにあまり意味はなく、相場変動を表わす別のパラメータが必要なのではないか、と考えられる。図表 1 に、1 期間当たりの相場変動幅が 50 銭である 2 つの相場パターンを表示してあるが、ボラティリティはトレンドを持つパターンで低く計算されるのに対し、収益率絶対値の年間累積値を計算すると、両者はほぼ同様の値を取ることがわかる。投資家のリスクを考えると後者の指標により相場特性が現れると考えられよう³。

図表 1：ディーラー VS 投資家

	ディーラー	投資家
ポジション	ゼロをベースに自由に増減	基本はロング・ポジション
タイム・ホライズン	短期	長期
リスク		

ストレスが発生しやすいマーケットとは...？

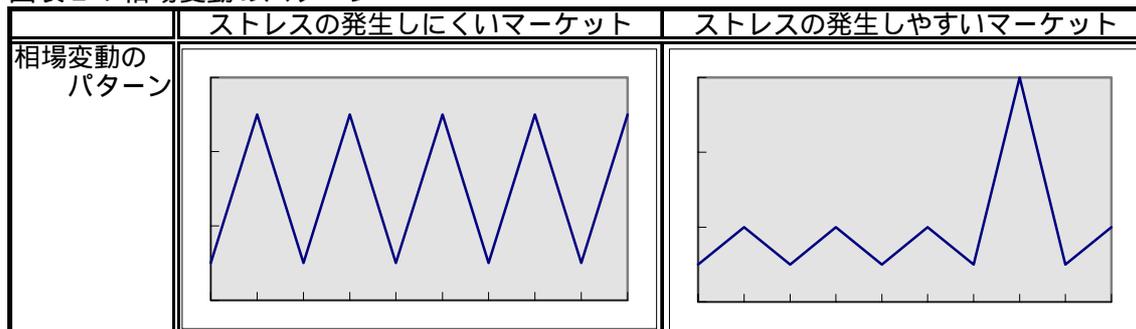
後述する「複雑系」の概念を拝借すると、相場変動をエネルギーの発散現象と捉える（地

² トレンドを持った上げ相場においても、ポジションを膨らませられなかった投資家は、ある意味で、負けであろう。要は、相場の流れが出た時にその流れに乗れないことがリスク。

³ マーケット参加者は、リスクをとることによりリターンを得ている点に注目すると、参加者のリスク観が反映されている指標に、より相場特性が現れると考えられる。投資家にのみ注目すると、乱高下してもレンジの変わらない相場はトレンドの出た相場に比べリスクが小さいとも考えられ、“収益率絶対値の年間累積値”よりも“収益率の単純合計値”の方がリスク指標としては適している可能性もある。但し、本分析においては投資家とディーラーの双方に注目することとし、“収益率絶対値の年間累積値”を採用した。

震と同様の現象と考える)ことも可能。その場合、常に振動しエネルギーを溜め込まないマーケットと普段はあまり動かないが忘れた頃にやって来る大変動でエネルギーを発散するマーケット(つまり、ストレスの発生しやすいマーケット)などのパターンが存在するのでないか、とも考えられる(図表2参照)。この視点に立てば、(蓄積された)エネルギーという感覚で捉えられる指標が有効と思われる。

図表2：相場変動のパターン



(2) マーケット分類 - ストレスの程度 -

前述した相場変動指標(収益率絶対値の年間累積値)を分析対象に、14のマーケットについてその変動特性を調べる。具体的には、短期金利：3市場(日[CD3M]、米[1-0ドル]、独[1-0マルク])、長期金利：3市場(日[JGB]、米[TBOND]、独[BUNDS])、株式：3市場(日[日経平均]、米[NYダウ]、独[DAX])、為替：2市場(円・ドル、ドル・マルク)、商品：3市場(金、WTI、CRB)の14市場の月次データを使用⁴。分析期間は、85年1月～96年11月(原データの時系列推移、及び相場変動指標は付1参照)。

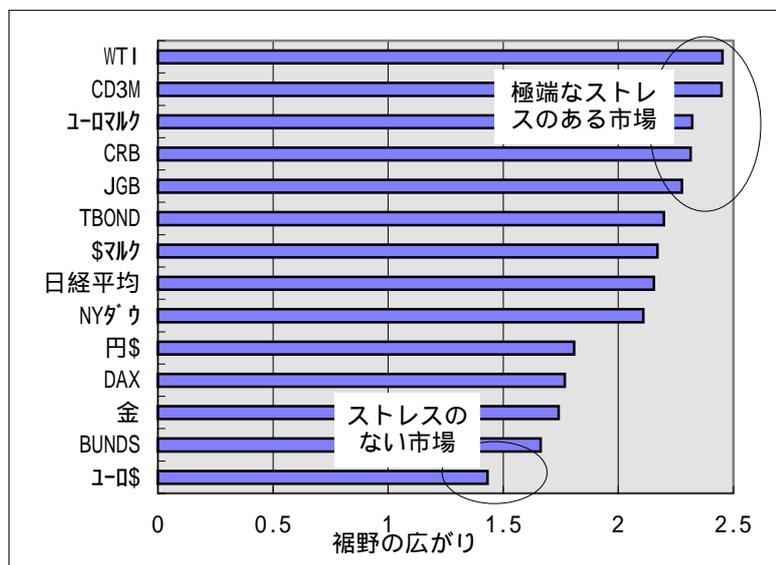
ここでは、相場変動指標分布の裾野の広がり度でストレスの程度を定義する。具体的には、5%タイル点の標準偏差に対する比率⁵が大きいほど、ストレスの程度が激しいと考える。図表3は、同比率の大小で各市場を並べたものであるが、ユーロドルの1.43から、WTIの2.45までワイドなレンジで分布しており、市場毎にストレスの程度が大きく異なることがわかる。この市場別の差違を、より明確にするために別の角度からの市場特性

⁴ データの具体的属性は以下の通りで、精度において若干の問題を抱え(月中平均と月末値の混在)であり、今後の検討課題。CD3M:新発気配、末値。1-0ドル:ロンドン末値。1-0マルク:ロンドン末値。JGB:先物金利、末値。TBOND:末値。BUNDS:平均値(但し1985年はノデータ、1986年～)。日経平均:平均値。NYダウ:平均値。DAX:末値。円ドル:ニューヨーク末値。ドルマルク:ニューヨーク末値。金:ロンドン清算値平均。WTI:先物、末値。CRB:指数、末値。また、金利データはその時々々の金利水準とファイブ・ポイント・スプレッド(期間中一定)を使い、価格ベースの収益率に変換した上で分析を行った。

⁵ 相場変動指標(収益率絶対値の年間累積値)を大きい順に並べた5%目の数値から平均値を差し引き、標準偏差で除したものの。正規分布であれば、この比率は1.645となる。

と重ね合わせて見る。具体的には、度数分布表、連結散布図⁶の形状について調べてみる。

図表 3：市場別の裾野の広がり



度数分布表の形状

相場変動指標（収益率絶対値の年間累積値）の度数分布表を作成してみると（付2参照）、3つのパターンが存在することに気付く。第1は、ユーロドル市場に代表される様な相場変動の規模が大きくなっても頻度があまり減少しないタイプ（“貧乏ゆすり型”と命名）。第2は、金市場に代表される様な相場変動の規模が大きくなるにつれ頻度が緩やかに減少するタイプ（“臨界状態型”と命名）。第3は、WTI市場に代表される様な相場変動の規模が大きくなると頻度は急速に減少するものの分布の裾野が広いタイプ（“忘れた頃にやってくる型”と命名）。3分類の典型的な度数分布表を図表4上段に示す⁷。

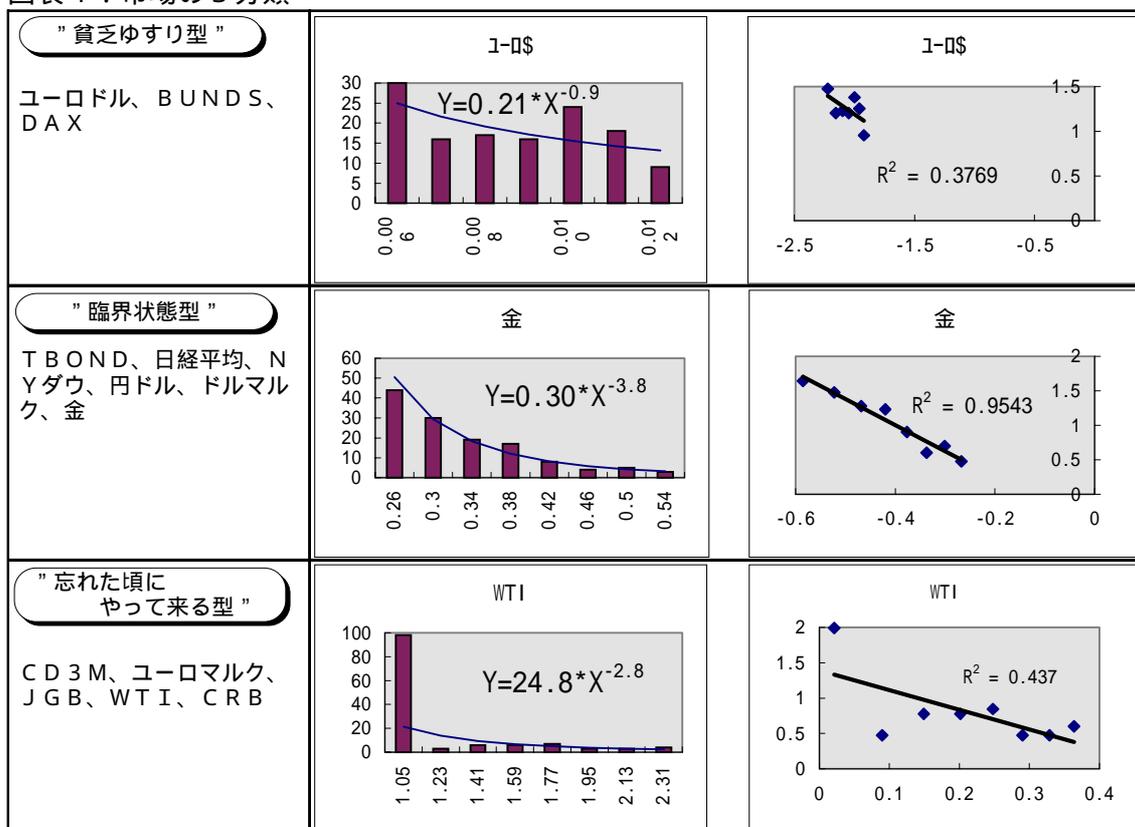
更に、相場変動の規模と頻度の関係を捉え易くするために、両者の対数を取ってみた。図表4右側にその関係を示したが、“臨界状態型”と命名した金市場では、ほぼ右下がりの直線で近似出来ることがわかる。これは、相場変動の規模をXで表わした場合、その頻

⁶ 横軸に前期（あるいは何期前か）の数値、縦軸に当期の数値を取るという簡単な図示法であるが、周期性など推移の特徴が分かり易い。この図示法によれば、トレンドのあるデータ群は直線で、周期性のあるデータ群は楕円で表わされる。

⁷ 実際の分類に当たっては、後述する「頻度Yが規模Xのa乗に反比例する」という関係式で近似した時の決定係数が0.8を超えるものを、まず「臨界状態型」に分類し、残りを度数分布表の形状から「忘れた頃にやってくる型」と「貧乏ゆすり型」に2分類した。

度 Y は X^a (a は任意の定数)に反比例することを意味する⁸。一方、“貧乏ゆすり型”及び“忘れた頃にやって来る型”では、直線への近似が悪い(決定係数が低い)。ここで、決定係数の大きさ⁹と裾野の広がり(5%点/標準偏差比率)を軸とする平面上に14市場をプロットすると、図表5の様になり、3分類が放物線上に並ぶ姿が浮かび上がる。現時点では、この関係が意味するところの解釈は定まっていない(次節にて考察)が、相場変動の1つの特性は抽出出来たと言えよう。つまり、市場には「頻度 Y が規模 X の a 乗に反比例する」という関係が成り立つものとそうでないものがあり、更に後者は極端なストレ

図表4：市場の3分類

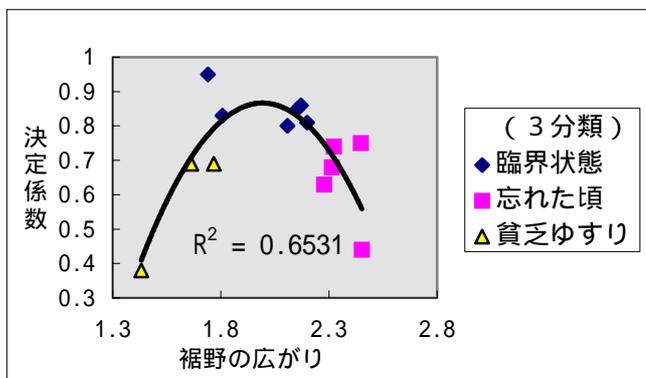


⁸ この関係は、最近注目を集めている「複雑系」の分野では、「べき法則」と呼ばれているものである。“臨界状態”という命名も、ここに由来している。自己組織化臨界とは、外生的ショックを与えることなく内生的要因のみで、ある種の均衡に達している状態を指すが、自然界では自己組織化臨界の状態にある時、ある事象の発生頻度はその規模の何乗かに反比例するという「べき法則」(単純化すれば、大きな地震はめったに起きないが小さな地震はしょっちゅう起きるといった関係)の成り立つことが知られている。本研究の「複雑系」分野への拡張可能性については、後程、考察する。

⁹ 決定係数は間隔尺度(あるいは比尺度)ではないので、これを Y 軸とすることに統計的な意味はないが、両者の関係を視覚的に捉える目的で、軸として採用した。

スが発生するものとストレスのないものに分けられる傾向にあると言えよう。

図表5：決定係数と裾野の広がり



連結散布図の形状

相場変動指標(収益率絶対値の年間累積値)の連結散布図¹⁰を作成してみると(付3参照)、2つのパターンが存在することに気付く。第1は、円ドル市場に代表される様な複雑な挙動を示すタイプ(“ストレンジアトラクター”と命名¹¹)。第2は、WTI市場に代表される様な周期運動を示すタイプ(“リミットサイクル”と命名)。2分類の典型的な連結散布図を図表6に示す。更に、この2分類と裾野の広がりとの関係を図表7に示したが、リミットサイクルを示す市場の裾野が広い(即ち極端なストレスが発生している)という傾向が見て取れる。参考までに、図表6ではアトラクターの挙動の時系列的变化を見る為に、期間を2分割して、86年2月~91年5月のデータを実線で、91年6月~96年11月のデータを点線で表示してある¹²。“リミットサイクル”について眺めると、どのマーケ

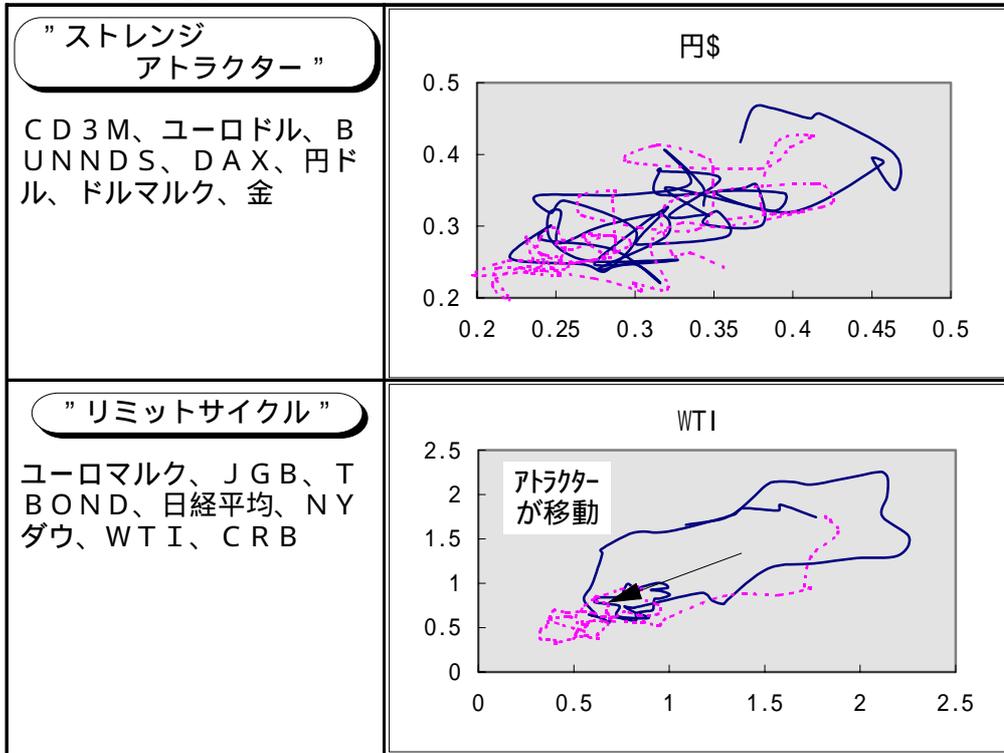
¹⁰ 今回は、横軸に4ヶ月前の数値、縦軸に当該月の数値を取ったが、何ヶ月前の数値を採るかは、系の持つ周期に依存する。スペクトル解析等で周期を割り出し、市場毎に異なる組合わせで表示する方法も考えられるが、ここでは便宜的に一律の値(4ヶ月前)を採用した。様々な組合わせによる分析は、今後の課題である。

¹¹ この命名の由来も「複雑系」にある。複雑系の1つであるカオスでは、ものの動きを連結散布図のような位相空間図で表現した時にアトラクター(引き付ける点)が存在するものの、一点に収束(不動点)したり、周期運動(リミットサイクル)に落ち着いたりせずに、アトラクターそのものが揺れ動くという奇妙な挙動を示す、と言われている。これが、ストレンジ・アトラクターと呼ばれるもので、リュエルとターケンスが「乱流の性質について」と題する論文[1971年]の中で、命名した(彼らによれば、安定性、低次元性、非周期性という3つの性質を有する)。カオスについては、付4参照。

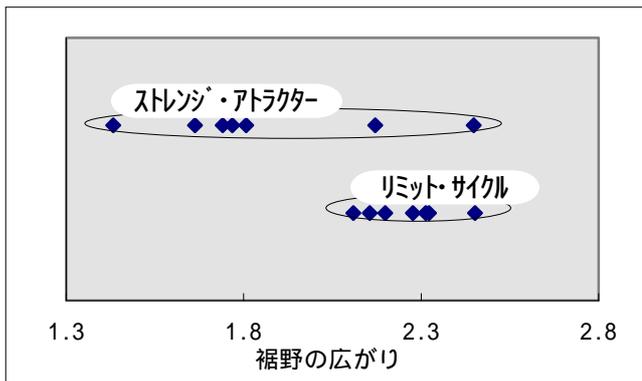
¹² チャウテスト等の方法で、構造変化が起きた時点を特定する方法も考えられるが、ここでは

ットも前半データ（実線部分）から後半データ（点線部分）に向けてアトラクターが大きく移動し、“ストレンジアトラクター”に変質しつつあるようにも見える。

図表6：連結散布図によるマーケット分類



図表7：アトラクターの挙動と裾野の広がりの関係



(3) 2章のまとめと若干の考察

(まとめ)

本章では、実際のマーケット・データから、相場変動の特性を抽出し、ストレスの起き

単純に期間を2等分した。

易さとの視点でマーケット分類が可能かどうか試みてみた。現時点での成果を整理すると、以下の通り。

85年1月～96年11月の14市場におけるマーケットデータから、ストレスの程度が市場により大きく異なることを明らかにした。更に、度数分布表や連結散布図の形状などの特性と重ね合わせるにより、マーケット分類がある程度可能であることを示した。具体的には、度数分布表の形状より、市場には「頻度Yが規模Xのa乗に反比例する」という関係が成り立つものとそうでないものがあり、更に後者は極端なストレスが発生するものとストレスのないものに分けられる、連結散布図の形状より、リミット・サイクルを示すタイプの市場では極端なストレスが発生し易い、という2つの傾向を明らかにした。

(若干の考察)

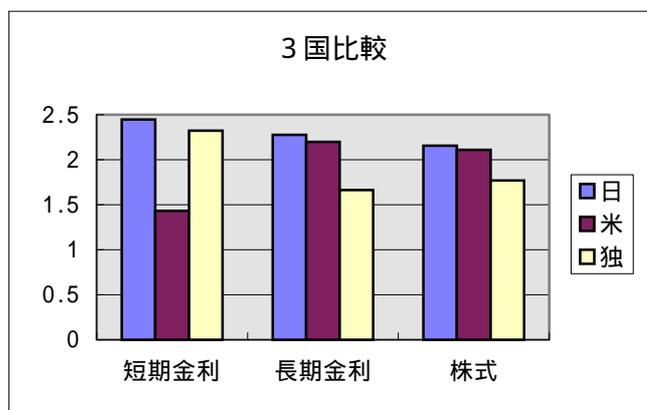
市場毎にストレスの程度が大きく異なることが明らかとなったが、この市場別の差違が何に起因するのかについて、若干の考察を加えてみる。図表8は、日・米・独の3国比較が可能な短期金利、長期金利、株式の3市場について裾野の広がり(5%点/標準偏差比率)を比べたものである。これを見ると、どの市場においても日本の比率が高い傾向にある(ストレス状態)のがわかる。国際分散投資が進んでいるとは言え、未だに「ホーム・バイアス・パズル」¹³が存在することを考えれば、各国の市場参加者の特性がこの違いを生む要因とも考えられる¹⁴。例えば、ポジティブ・フィードバック・トレーダー¹⁵の比率が高いとか、横並び意識が強く他人の相場観に影響され易い等の特性が考えられよう。これらを検証するために、3章ではエージェント(市場参加者)間の相互作用で相場を生成するモデルを構築し、シミュレーションを行う。

¹³ 投資家の国内資産への偏向。例えば、French and Poterba[1991年]によれば、株式ポートフォリオの中に占める国内投資のシェアは米・日・英のそれぞれにおいて、94、98、82%となっている。詳しくは、白塚、中村[1997年]参照。

¹⁴ 勿論、自国内においても、例えば短期金利市場と長期金利市場の参加者が分断されていて、市場毎に参加者の特性が大きく異なっている可能性もある。ただ、ここでは横並び意識など国民性に大きく依存している特性もあるとの立場をとる。また、この他にも、値幅制限などの制度上の違いや取引慣行などが考えられるが、3章で構築するモデルにおいてはこれらも取り込み可能。

¹⁵ 相場が上昇すれば買うという戦略を採るトレーダー。マーケットでは、順バリ・トレーダーとも呼ばれる。同トレーダーの比率が高いと、上がるから買う 買うから上がるという循環を生み易く、相場にトレンドが生じる1つの要因と考えられる。

図表 8：裾野の広がり（5%点 / 標準偏差）の3国比較



(今後の課題：「複雑系」理論の応用可能性について)

今回、相場特性を抽出する際に度数分布表や連結散布図の形状を用いたが、そもそものアイデアは「複雑系」理論から拝借している。相場変動は複雑なので、プライシング・モデルやリスク管理技術の分野において、相場の不規則性は確率的現象として記述されることが多いが、相場の不規則変動を確率的現象ではなく決定論的不規則¹⁶で捉えようという「複雑系」の科学が最近注目を集めている。「複雑系」の科学には様々なアイデアがある（複雑系の説明は付4参照）。本稿では、度数分布表に見る「べき法則」の成り立ち、連結散布図に見るアトラクターの挙動という2つの試みについて、その結果を載せてあるが、この他にもフラクタル次元¹⁷の算出、時間反転に関する対称性¹⁸の検証、という2つについてトライしている。については、確定的な結論を得るに

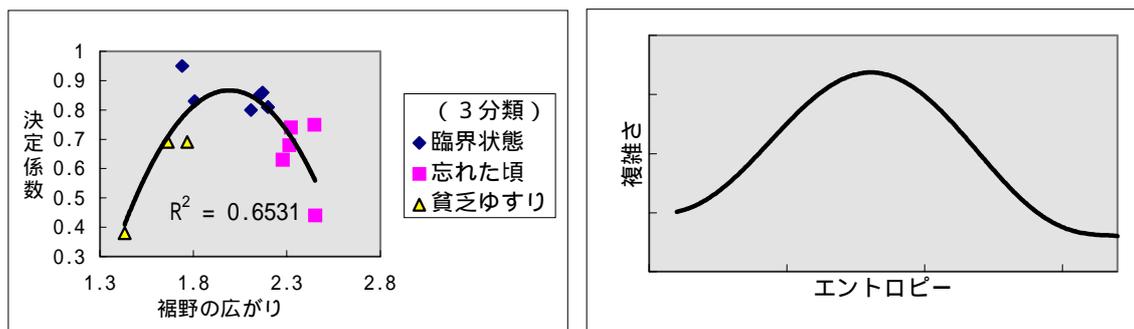
¹⁶ 従来、決定論と確率論（非決定論的法則）は対峙する概念と捉えられていた。線形方程式で表現される決定論においては、初期値を決めれば将来の値が唯一求まる、初期値を微小変化させても将来の値は微小にしか変化しない、時系列の推移（振る舞い）が単純、という3つの性質を有する為、複雑な振る舞いを示し将来予測が困難な系（例えば相場）では、決定論は用いられず、専ら確率論が利用されてきた（例えば、オプションなどのプライシング・モデルやリスク管理技術において、相場変動は確率的現象として記述される）。ところが、決定論に非線形性を導入すると、この性質が崩れ、複雑な振る舞いをすることがわかってきた。即ち、決定論的な方程式を有しながら、その解が初期値の僅かな差で予測不能な振る舞いを示すことがあるのである。これが「カオス」と呼ばれるものである。

¹⁷ カオスの1つの定義で、カオス性を持つ変数は非整数のフラクタル次元を持つとされる。直線は1次元だが、非常に複雑な形態を持つ曲線は面に近いと言え、複雑な相場変動は、1以上2未満の非整数次元をとることが期待される（単調な変動であれば1に近く、複雑な変動であれば2に近い）。

¹⁸ 確率的現象（ノイズ）の場合、未来予測も過去予測も当たり方は同じになるが、カオスの場合は、過去のパスに依存するので、未来予測の方が過去予測よりもよく当たることが期待され

2つについてトライしている。 、 については、確定的な結論を得るには至らず、本文中には掲載していない（内容及び結果については、付5、6参照）が、これら種々の分析を通じ、ストレスの発生メカニズム解明に向けて、「複雑系」の概念が有用なのではないかとの感触を得ている。

図表9：複雑さとエントロピーの関係



例えば、 の度数分布表で見られる決定係数と裾野の広がり（ストレスの程度）の放物線状の関係（図表9左側に のグラフを再掲）は、クラッチフィールド[1989,1994年]の主張する複雑さとエントロピーの関係（図表9右側）に似ている。エントロピーとは、ランダムさを測る指標で、規則的な状態を出発点とするとあるレベルまでは、ランダムさの増大とともに複雑さが増すが、あるレベルを越えると複雑さが失われ無秩序に向かうという関係を表わしている。彼はこの関係を、「高エントロピー状態はランダムでありそれほど複雑でなく、また低エントロピー状態も規則的であるがゆえに複雑ではない」と表現している¹⁹。決定係数の大きさを複雑さの代理変数、裾野の広がりがエントロピーの大きさを表わしていると考えれば、クラッチフィールドの言葉を真似て「“忘れた頃にやって来る型”は、高エントロピーで複雑でなく、また“貧乏ゆすり型”も低エントロピーで複雑ではない」とも表現出来よう。勿論、現時点では、単なるアナロジーに過ぎないが、今後マーケット分析の分野でも、複雑系研究が進み、両者の関係が明らかにされることが期待されよう。カオス等について論じる場合には、high-frequencyなデータが要求されている²⁰ので、日次ないしティックデータへの拡張は、その際の優先課題と言えよう。

る。内藤ら[1997年]の提唱（但し、厳密には、確率的現象の全てが時間対象というわけではなく、線形・定常などの一定の条件が必要）。

¹⁹ 詳しくは、金子、津田[1996年]参照。但し、金子、津田等は複雑さとエントロピーについて、クラッチフィールドとは逆の関係を提唱。つまり、エントロピーこそが複雑さの関数で表わされる（エントロピーの低い状態には、複雑なものと単純なものがある）とする。

²⁰ 倉都[1996年]によれば、カオス性の検証においては、少なくとも1万個程度のデータが必要だと言われている。

3. 相場発生モデルの構築

(1) モデルの概要

本節では、2章で考察した、市場参加者の特性でストレスを説明しようという仮説を検討するために、市場参加者間の相互作用で相場を生成するモデルを構築する。そして、次節では市場参加者の特性を様々に変えどんな相場が生成されるのかシミュレーションを行う。

このモデルの背景にある考え方は、「遺伝的アルゴリズム」である。「遺伝的アルゴリズム」とは、生物が遺伝子を組み換えながら進化していく過程をヒントに考案されたもので、遺伝子に見立てた項目を次々に組み換えながら最適解を探索するという最適化手法である。このアイデアは様々な分野で応用されている²¹。その1つが、魚や鳥の“群れ行動”の研究である。クレイグ・レナルズは、“ボイド(鳥もどき birdroid の略)”というシミュレーションモデルを作成し、他の物体(含む他のボイド)との距離をある最小値に保とうとする、近隣のボイドたちと速度を合わせようとする、近隣のボイドたちの質量中心を知覚しそこへ向かって移動しようとする、という3つの簡単な行動規則をエージェント(ボイド)に与えることにより、“群れ行動”の創発(群れをつくれという直接的な規則を与えずに群れ行動が出現)に成功している²²。相場変動の研究においても、この“創発”²³の概念は有効であろう。バブル現象としてのバンドワゴン効果²⁴は一種の“群れ行動”であろうし、相場の格言²⁵などでも他者の相場観は重要な情報として扱われている(つまり他者の影響で自らの投資行動を変更する)。そこで、本章では、この“ボイドモデル”を応用しエージェント間の相互作用で相場観が変化し、それに基づいて相場変動が生じるというモデルを構築することとした。

以下、モデルの具体的中身について説明しよう。このモデルでは、エージェントの相場観のみで相場の水準が決まる“閉じた系”を想定する。また、エージェントには、順

²¹ 株式分析に応用した先行研究としては、高林[1995年]、岩澤[1996年]などがある。

²² この辺の経緯については、M.M.ワールドロップ[1992年]に詳しい。また、魚の群れ行動をモデル化したものとしては、神原ら[1997年]の「FISH」モデルなどがある。

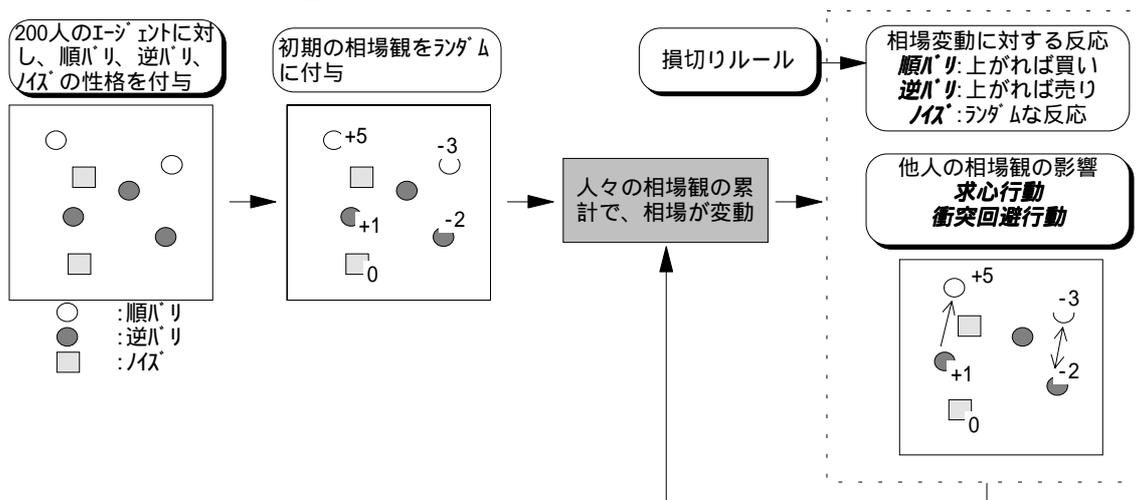
²³ “創発”とは、複雑な系の1つの特徴で、系にあらかじめ人為的に埋め込まれていない性質が現れてくることである。

²⁴ バンド(楽隊)を乗せたワゴンが通り過ぎると、その賑やかさにつられて、皆何を考えるともなくゾロゾロついていってしまう。それを見かけた人が、何かあるのかと、またその一団に加わる。こうして、バブルが膨らんでいくというもの(田中[1992年]より抜粋)。

²⁵ 「当たり屋にちょうちん」、「曲がり屋に向かえ」、「万人が万人ながら強気なら、たわけになって米を売るべし」、「野も山も皆いちめん弱気なら、あほうになって米を買うべし」など(「相場道の極意」より抜粋)。

バリ・逆バリ・ノイズという3種類²⁶のタイプが存在すると仮定する。エージェント間の相互作用を考慮し、投資行動規則として以下の3つを設定した。他者との相場観が近すぎる場合には離れようとする（衝突回避行動）、他者との相場観が離れすぎている場合には近づこうとする（求心行動）、ポジションリミット及び損切りルール（累積損失がある値を越えた場合にポジションをクローズする）に従う²⁷。

図表10：モデルの概念図



モデルの概念図は、図表10に示す通り。具体的には、以下の手順で相場を生成する。
Step 0：初期設定（ポジションリミット²⁸、損切りルール、衝突回避行動及び求心行動のトリガー²⁹など）を行う。

²⁶ “順バリ”とは、ポジティブ・フィードバック・トレーダーのことで、相場が上がれば買うというタイプ。“逆バリ”とは、ネガティブ・フィードバック・トレーダーのことで、相場が上がれば売るというタイプ。“ノイズ”とは、一定の法則を持たずに売買するタイプ。これら3種類のタイプの存在比率がストレスに与える影響の研究として、Shimizu, Yamashita [1996年]がある。

²⁷ 及びの“近づく”、“離れる”という表現は、相場観を数字で表わした（+5や-3など）場合の距離を念頭に置いている。また、同様の考え方は、神原 [1997年]の魚の群れ行動を表現したモデルや、クルーグマンの周縁都市を創発させるモデルにも応用されている（この辺の経緯については、北村 [1997年]に詳しい）。

²⁸ 数字で表現された相場観をポジションと捉え（相場観が+3であれば、ポジションも+3と考える）、これに対しリミットを設定する。

²⁹ 「万人が万人ながら強気なら、たわけになって米を売るべし」、「野も山も皆いちめに弱気なら、あほうになって米を買うべし」などの相場の格言に鑑み、エージェントの相場観の集

Step 1 : 200人のエージェントに対し、順バリ・逆バリ・ノイズの性格を付与する（存在比率を指定し、後は乱数を使いランダムに付与。この性格は期間中固定とする）。

Step 2 : 各エージェントに初期の相場観をランダムに付与（-4.5 ~ +4.5、0.5刻み）。

Step 3 : エージェントの相場観を累計、その数値を基に相場を生成³⁰。

Step 4 : 相場変動に対する各エージェントの反応を計算。

エージェントのタイプ（順バリ・逆バリ・ノイズ）に基づく反応。

他者の相場観をランダムに見に行き、相手の相場観との距離を基に衝突回避・求心などの行動をとる。

ポジションリミット、損切りルールに抵触した場合は、そのルールに従う。

Step 5 : Step 3 ~ 4を繰り返す³¹。

（2）シミュレーション

本節では、以下の2点を明らかにすべくシミュレーションを行う。a) 市場参加者の特性を変化させることにより、実際の市場で観測される様なストレスの程度、度数分布表・連結散布図の形状の差違が創出されるか、b) ストレスの程度、度数分布表・連結散布図形状の違う相場が創出されるのであれば、極端なストレスが発生する市場（2章での分類に従えば“ 忘れた頃にやって来る型 ”）の条件は何か。

市場参加者の特性については、順バリ・逆バリ・ノイズの各エージェントの存在比率、他者から受ける影響度合（衝突回避行動や求心行動³²のトリガー・レベル）、ポジションリミットのレベルや損切りルール、という3つを考える。以下、これら3つのパラメータを変えることにより、どんな相場が発生するのか、シミュレートしてみる。

中度合に応じトリガーを変更することも可能（例えば、似通った相場観のエージェントが多くなった場合には衝突回避行動のトリガーが低くなるなどの設定）。

³⁰ $\Delta P = aXe^{\frac{|X|}{B}}$ （ P : 相場変動幅、 X : 相場観の累計値、 a , B : 定数 ）

ここでは、相場観の偏り具合と相場変動幅の関係は線形でない（相場観が偏る程、追加的なコスト = 相場変動幅が大きい）と考え、上式としたが、様々なバリエーションが有り得る。例えば、エージェント毎にマーケットプライス別のオーダー表を作成し、常に市場全体の需給が一致する様にプライスを決める方法もある（Shimizu, Yamashita[1996年]参照）。

³¹ 本シミュレーション上は、この作業を150回繰り返す。

³² 表現を換えれば、横並び意識。

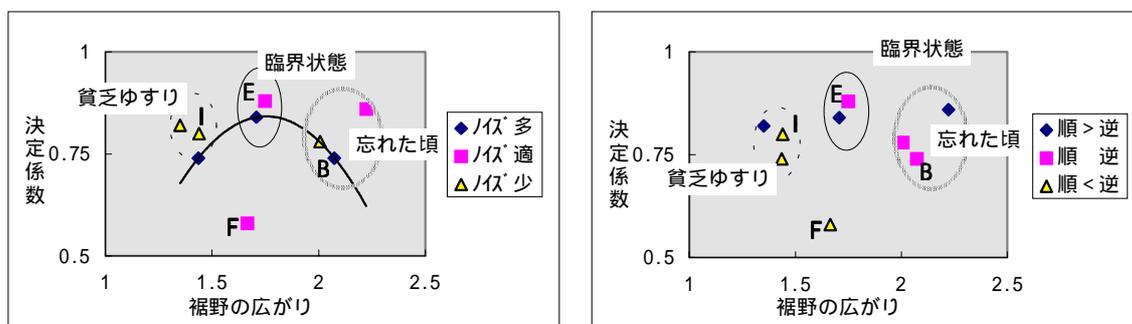
順バリ・逆バリ・ノイズの存在比率

順バリ・逆バリ・ノイズの各エージェントの存在比率について、図表 1 1 の 9 種類を設定し、シミュレーションを行う³³。相場変動指標（収益率絶対値の年間累積値）の度数分布表を「頻度 Y が規模 X の a 乗に反比例する」というべき関数で表現したときの決定係数の大きさと裾野の広がり（5% タイル点の標準偏差に対する比率）との関係を図表 1 2 に示した。裾野の広がりに関しては、実際の市場同様、1.44 ~ 2.22 まで様々な市場を生成できた（生成した市場の価格推移等は付 9 参照）。また、決定係数の大きさと裾野の広がりの間には、緩やかに放物線状の関係が見て取れ、この生成した 9 市場は“ 臨界状態型 ”、“ 忘れた頃にやって来る型 ”、“ 貧乏ゆすり型 ” に分類することも可能と思われる。但し、この 3 分類を決定する単純な法則（例えば、順バリ比率が高いと“ 忘れた頃にやって来る型 ” に成り易いと言った類のもの）は、見出せなかった。また、3 分類の典型例（臨界状態：E、忘れた頃：B、貧乏ゆすり：I）を抜き出し、アトラクターの挙動についても調べてみた。結果は付 9 参照。

図表 1 1：エージェント存在比率の設定

		順バリ-逆バリ比率		
		順バリ > 逆バリ	順バリ = 逆バリ	順バリ < 逆バリ
ノイズ比率	多（4割）	A	B	C
	適（3割）	D	E	F
	少（2割）	G	H	I

図表 1 2：裾野の広がり（左図：ノイズ比率、右図：順バリ比率）



他者から受ける影響度合

衝突回避行動や求心行動のトリガーレベルが相場特性に与える影響を見る為に、図表 1 3 の 9 種類の設定で、シミュレーションを行う³⁴。と同様に決定係数の大きさと裾野の広がり（5% タイル点の標準偏差に対する比率）の関係を見てみると、図表 1 4 に示す通り（結果詳細は付 1 0 参照）。トリガーレベルと順バリ比率の組み合わせで、様々な相場が生成され、それらは“ 臨界状態型 ”、

³³ シミュレーション上の詳細設定は、付 8 参照。

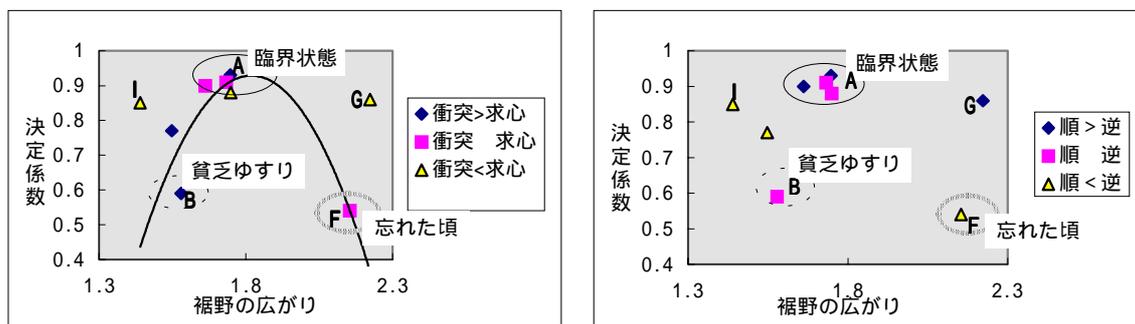
³⁴ シミュレーション上の詳細設定は、付 8 参照。

“ 忘れた頃にやってくる型 ”、“ 貧乏ゆすり型 ” に分類可能（但し、I やG など分類が困難なものも発生）と言えよう。

図表 1 3 : シミュレーション上の設定³⁵

		順バリ-逆バリ比率		
		順バリ > 逆バリ	順バリ = 逆バリ	順バリ < 逆バリ
トリガーレベル	衝突回避 > 求心	A	B	C
	衝突回避 = 求心	D	E	F
	衝突回避 < 求心	G	H	I

図表 1 4 : 裾野の広がり と 決定係数 (左図 : トリガーレベル、右図 : 順バリ比率)



ポジションリミット及び損切りルール

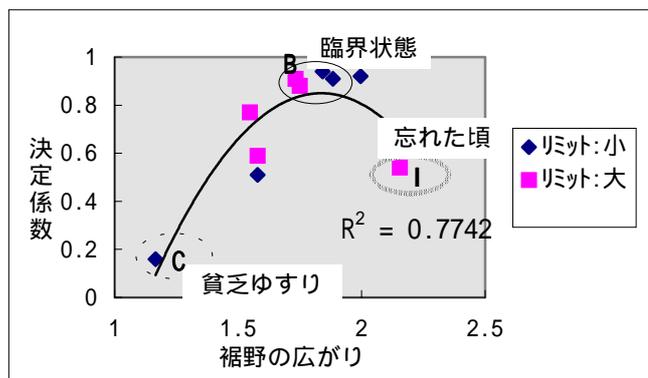
ポジションリミット及び損切りルールが相場特性に与える影響を見るために、図表 1 5 の 10 種類の設定で、シミュレーションを行う。結果は、図表 1 6（結果詳細は付 1 1 参照）に示す通り。やはりリミットレベルの大小だけでは、相場特性は説明出来ないものの、トリガーレベルや順バリ比率の組み合わせなどで様々な相場が生成される結果となった。

図表 1 5 : シミュレーション上の設定

リミットレベル	(トリガーレベル) (順バリ比率) (ノイズ比率)	衝突 > 求心	衝突 > 求心	衝突 = 求心	衝突 = 求心	衝突 < 求心
		順バリ 逆バリ	順バリ < 逆バリ	順バリ 逆バリ	順バリ < 逆バリ	順バリ 逆バリ
		0.3	0.2	0.3	0.2	0.3
小		A	B	C	D	E
大		F	G	H	I	J

³⁵ トリガーレベルの大小は、その行動を引き起こす領域の広さ（起り易さ）を表わす。

図表 1 6 : 裾野の広がり と 決定係数



(3) 3 章のまとめ

本章では、 a) 市場参加者の特性を変化させることにより、実際の市場で観測される様なストレスの程度、度数分布表・連結散布図の形状の差違が創出されるか、 b) ストレスの程度、度数分布表・連結散布図形状の違う相場が創出されるのであれば、極端なストレスが発生する市場 (2 章での分類に従えば “ 忘れた頃にやって来る型 ”) の条件は何か、という 2 つの目標を掲げ、 “ ボイドモデル ” を参考にした相場生成モデルを構築した。そして、 順バリ・逆バリ・ノイズの各エージェントの存在比率、 他者から受ける影響度合 (衝突回避行動や求心行動のトリガー・レベル)、 ポジションリミットのレベルや損切りルールが、相場特性にどのような影響を与えるかシミュレートしてみた。

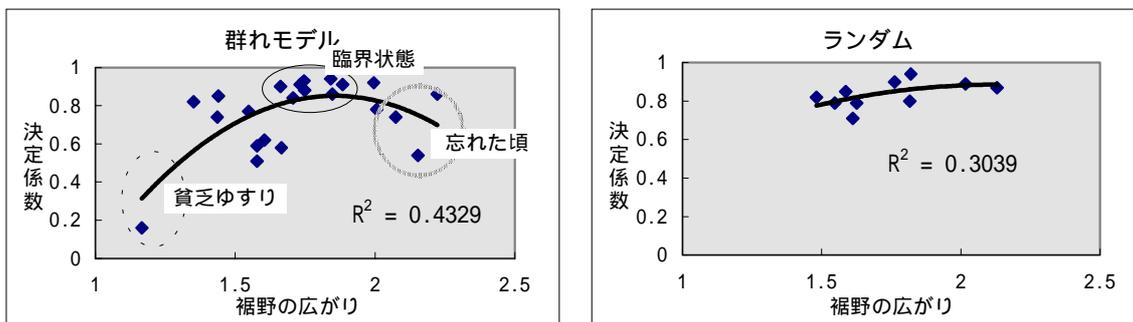
本シミュレーションで生成した 2 2 サンプル³⁶を、再度、決定係数 V S 裾野の広がりグラフ上にプロットすると、図表 1 7 の左図となる。更に、モデルの成果を評価する為に、ランダムに生成した相場³⁷の 1 0 サンプルを右図にプロットしてみた。モデルより生成される相場は、ワイドなレンジでのストレス程度の違いを創出し、かつ度数分布表を「頻度 Y が規模 X の a 乗に反比例する」というべき関数で表現したときの決定係数の大きさと裾野の広がりとの間に放物線状の関係が見取れ (目的 a)、ランダムに生成した相場よりも、実際の相場 (図表 9 参照) に近いといえよう。特に、ランダムな過程では生成されない “ 忘れた頃にやって来る型 (極端なストレスの発生するマーケット) ” や “ 貧乏ゆすり型 (ストレスの起き難いマーケット) ” の市場が本モデルでは生成され、ストレス発生メカニズムの解明に向けて、有効と思われる³⁸。

³⁶ 図表 1 4、1 6、1 8 で設定したサンプルの内、一部は重複利用している。

³⁷ まず収益率の系列を標準正規乱数で生成し、そこから価格の系列を作成。

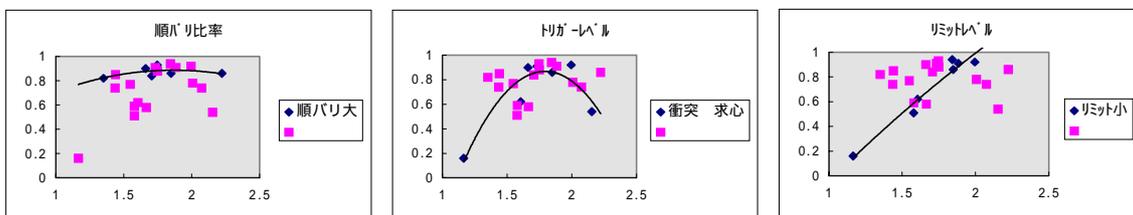
³⁸ 但し、実際の相場や群れモデルで観測される “ 臨界状態 ” と、ランダム過程から生成される相場との間に違いは見出せていない。つまり、 “ 臨界状態 ” が所謂 “ 複雑系 ” なのか単なる確

図表 17：裾野の広がり と 決定係数



また、目的 b) に関しては答えを見出せなかった。即ち、ストレスの起き易い条件について、今回、例えば順バリ比率が高いとストレスが起き易いと言った類の法則は見出せなかった。但し、度数分布表を「頻度 Y が規模 X の a 乗に反比例する」というべき関数で表現したときの決定係数の大きさと裾野の広がり（ストレスの程度）の間に見られる放物線状の関係は、図表 18 より 他者から受ける影響度合（衝突回避行動や求心行動のトリガー・レベル）、が 1 つのキーポイントになるのではないかという感触を得た。図表 18 は、図表 17 左図を 順バリ比率が高いか否か、 トリガーレベルが衝突回避領域と求心行動領域で均衡しているか否か、 リミットレベルが小さいか否かでグルーピングして再表示したものである。

図表 18：3つのキーを軸とした「裾野の広がり と 決定係数」



4. おわりに

本稿では、マーケットストレス発生メカニズムの解明に向けて、その解決の糸口を見い出すことを目的に、種々の分析を網羅的に取扱った。個々の分析においては、詰めるべき課題が数多く残されており、確定的な結論を導き出すには至っていない。本章では、現時点での成果と今後の課題をまとめておく。

(本研究の成果)

85年1月～96年11月の14市場におけるマーケットデータから、ストレスの程

率的現象なのかということに関しては判然としていない。

度が市場により大きく異なることを明らかにした。更に、度数分布表や連結散布図の形状などの特性と重ね合わせるにより、マーケット分類がある程度可能であることを示した。具体的には、度数分布表の形状より、市場には「頻度 Y が規模 X の a 乗に反比例する」という関係が成り立つものとそうでないものがあり、更に後者は極端なストレスが発生するものとストレスのないものに分けられる、連結散布図の形状より、リミット・サイクルを示すタイプの市場では極端なストレスが発生し易い、という2つの傾向を明らかにした。

この市場毎の差違を説明するために、市場参加者間の相互作用で相場を生成するモデルを構築した。同モデルでは、ランダムな過程では生成されないタイプの相場（極端なストレスの発生するマーケットなど）が生成され、ストレス発生メカニズムの解明に向けて、その有効性を示した。

（今後の課題）

今回明確な答えを見出せなかった極端なストレスが発生する市場の条件は何か、という問いに答えるべく、更なるシミュレーション及び相場生成モデルの改良を行う。具体的アイデアは以下の通り。

- ・相場の偏り具合によりトリガーレベルが変化する効果をシミュレーションする（相場観が偏る程、より群がるようになる＝求心行動をとる、あるいは逆に「万人が万人ながら強気なら、たわけになって米を売るべし」などの格言に従い衝突回避行動をとるようになるなど）。
- ・学習効果を導入する。本モデルでは、エージェント毎の収益パフォーマンスによって売買量を変更するという効果は取り込み可能となっているが、1歩進め戦略そのものを変更するような学習効果を取り込む。
- ・他人の相場観を見に行くとき、複数のエージェントを見に行くようにする、あるいはエージェントによりウエイトを変える（実際のマーケットにおいては、誰の相場観かによって影響度が異なる状況が想定される為）。
- ・相場観から価格変化を導出するロジックの変更。今回のモデルでは、需給の偏りから価格変化を算出する方法を用いたが、エージェント毎にマーケットプライス別のオーダー表を与え、常に市場全体の需給が一致する様にプライスを決める方法についても検討する（その際、マーケットメーカーの様な需給緩衝機能の導入も一案）。
- ・投資家VSディーラーの様に、投資期間の異なるエージェントを導入する。
- ・別の財市場を創出し、マーケット間の相互作用を考慮する（エージェントもドメスティックとグローバルの2タイプを考える）等

今回、種々の分析を通じ、ストレスの発生メカニズム解明に向けて「複雑系」理論が有用なのではないかとの感触を得た。しかしながら、現時点では単なるアナロジーの域を出ておらず、ストレスと「複雑系」の間に明示的な関係を見出せていない。今後、一

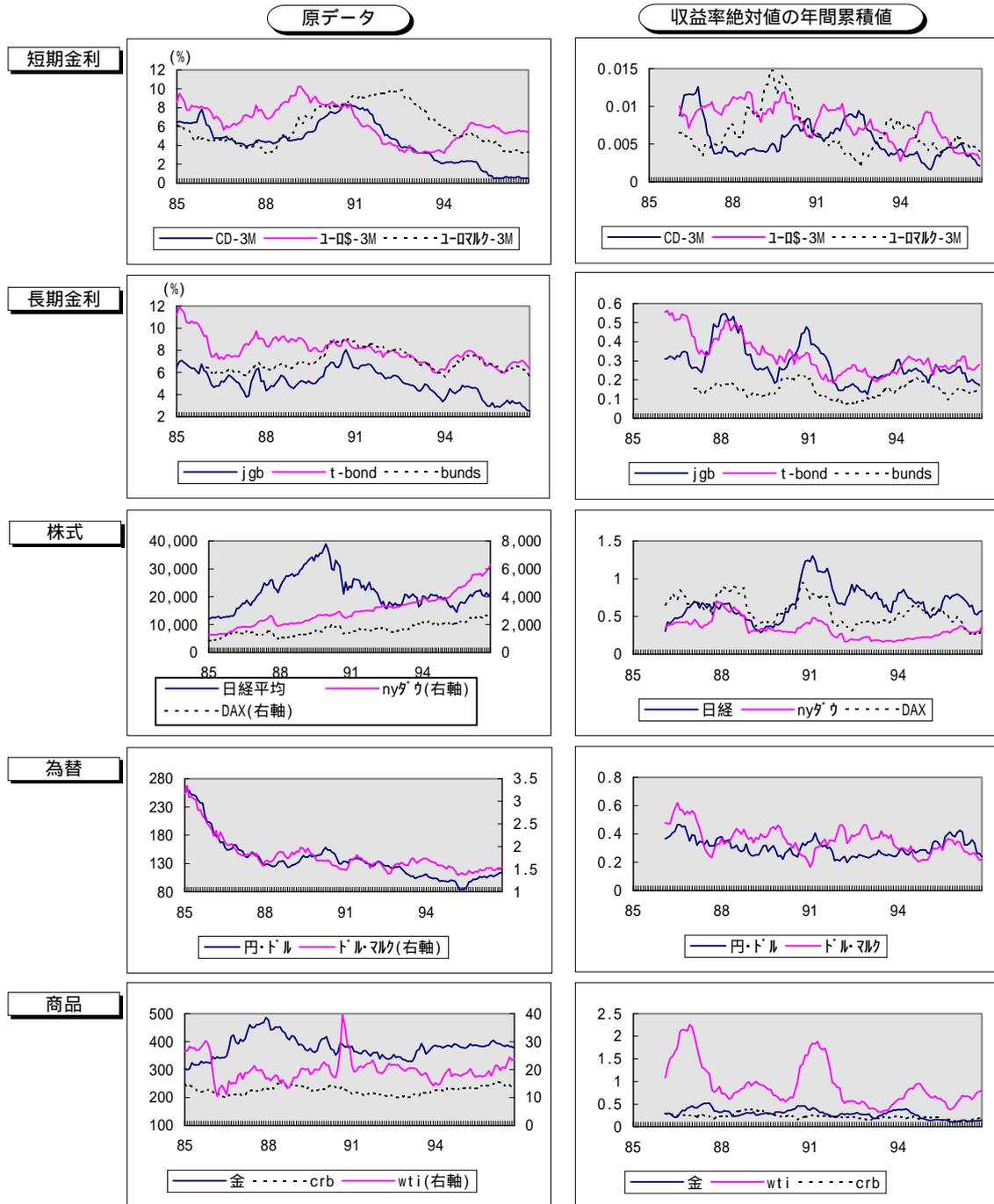
層の研究を進め、両者の関係をより明らかにしていきたい。その際には、日次ないしはティックデータを取扱い³⁹、統計的検証に耐え得るレベルに分析の精度を向上させることが、第1の課題であろう。

以上

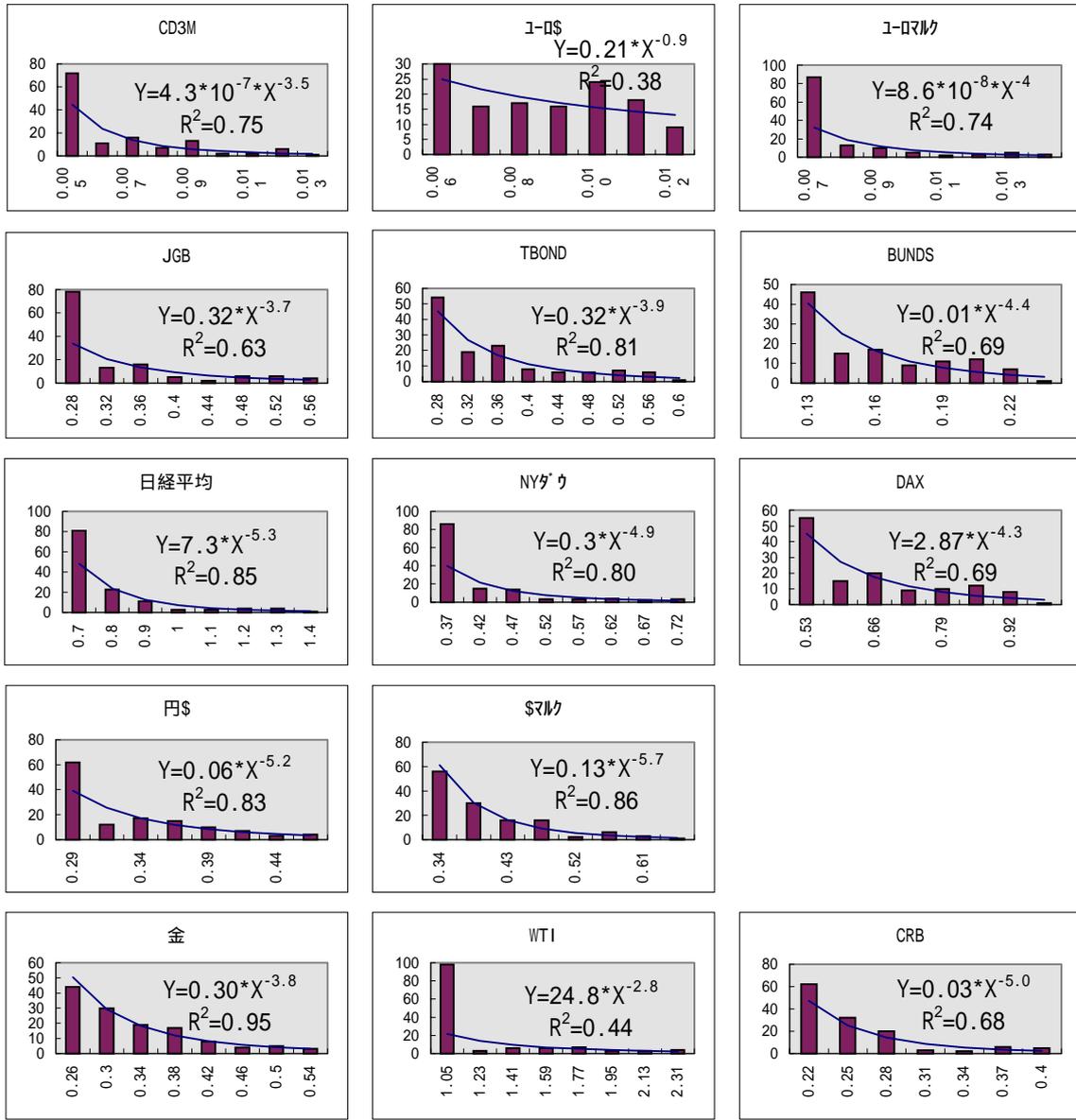
³⁹ 原データに対する分析についても検討する（相場変動指標は一種の移動平均であり、複雑さの観点からはその性質が弱められている可能性もある為）。

付

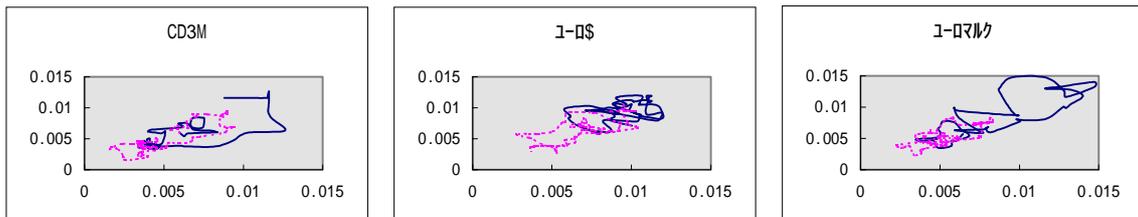
付1：原データ及び相場変動指標（収益率絶対値の年間累積値）の時系列推移（図表19）

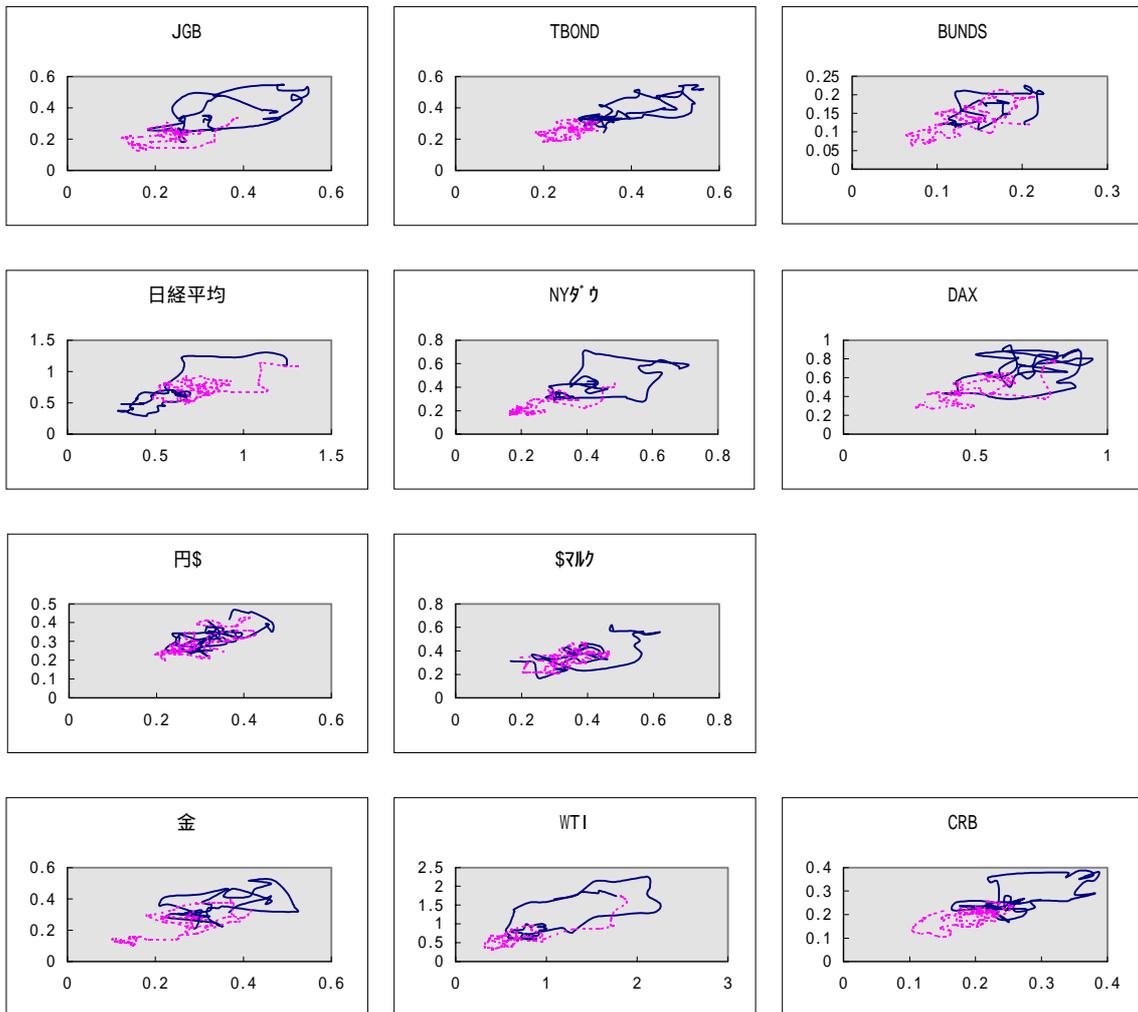


付2：度数分布表（図表20）



付3：連結散布図（図表21）





実線... 86年2月～91年5月

点線... 91年6月～96年11月

付4：「複雑系」の理論

ここでは、カオスなどの「複雑系」の理論の幾つかを簡単に紹介しよう。

カオス

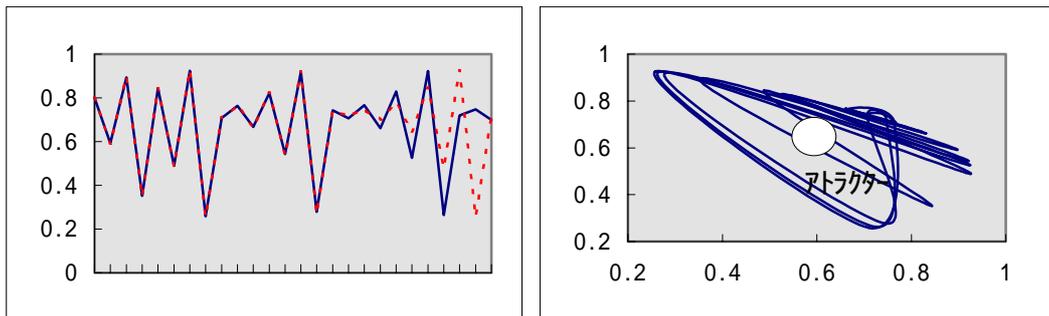
複雑系を語る場合、カオス抜きには語れないが、このカオスについて明確な定義はない。カオスの最大の特徴は、R・M・グッドウィン[1989年]によれば、「完全な決定論的体系が予測不可能な挙動を生み出す」ということにある。カオスの本を紐解くと（例えば、合原[1994年]）、まず最初に出て来るのが「ロジスティック写像」であるが、これは下式のように極めて簡単な法則（決定論）が複雑な挙動を生み出す端的な例である。

$$x(n+1) = r \cdot x(n) \cdot (1 - x(n))$$

[$x(n)$:変数(0~1)、 r :定数(0~4)、 n :時刻]

この「ロジスティック写像」を例にカオスの特徴を見てみよう。図表22の左図は、 $r=3.7$ を例に初期値の微妙に異なる2つの時系列推移を表わしたものである($x(0)=0.8$ のケースを実線で、 $x(0)=0.8001$ のケースを点線で図示)。右図は、横軸に前期の数値、縦軸に当期の数値をとった連結散布図⁴⁰と呼ばれるグラフで、周期性など推移の特徴がわかりやすい。

図表22：ロジスティック写像



図表22から、次の2つの特徴が指摘できる。初期値に対する鋭敏性で、バタフライ効果⁴¹とも呼ばれる。初期値の僅かな違いが、次第にズレを大きくしやがて似てかぬパターンに変化していく姿がグラフから見てとれよう。この初期値鋭敏性のためにカオスの系では、近い将来はともかく遠い将来に関しては予測不能とされる。ストレンジアトラクター⁴²の存在。ものの動きを連結散布図のような位相空間図で表現した時にアトラクター（引き付ける点）が存在するものの、一点に収束（不動点）したり、周期運動（リミットサイクル）に落ち着いたりせず、アトラクターそのものが揺れ動くという奇妙な挙動を示す。

この他にも、非線形性や自己相似性など様々な特徴が指摘されており、カオスの明確な定義は存在しない。そこで、本稿では更に次の2つの定義に基づくカオス性の有無も

⁴⁰ この図示法によれば、トレンドのあるデータ群は直線で、周期性のあるデータ群は楕円で表わされる。

⁴¹ E. ローレンツが、天候モデルをコンピューターでシミュレーションしている最中に発見[1961年]したもので、「北京で今日蝶が羽を動かして空気をそよがせたとすると、来月ニューヨークでの嵐の生じ方に変化がおこる」という考え方。この辺の経緯については、J. グリック[1987年]に詳しい。

⁴² リュエルとターケンスが「乱流の性質について」と題する論文[1971年]の中で、命名したもので、彼らによれば、安定性、低次元性、非周期性という3つの性質を有するアトラクター。

取扱った。フラクタル次元の算出⁴³。カオス性を持つ変数は非整数のフラクタル次元を持つことが知られている。直線は1次元だが、非常に複雑な形態を持つ曲線は面に近いと言え、この場合、1以上2未満の非整数次元をとると考えられる（単調な変動であれば1に近く、複雑な変動であれば2に近い）。時間反転に関する対称性の検証。ノイズ（確率的現象）の場合、未来予測も過去予測も当たり方は同じになるが、カオスの場合、過去のパスに依存するので、未来予測の方が過去予測よりもよく当たることが期待される⁴⁴。

自己組織化臨界

P.バークらによって提案されているアイデア⁴⁵。砂粒を上から降り注ぎ砂山を作る情景を思い浮かべるとわかりやすい。砂粒を降り注いでいくと砂山は次第に高くなっていき、やがてこれ以上は高くなれない“臨界状態”に達する（他から手を加えることなく自分自身で形状が決まるという意味で“自己組織化”）。この状態では、斜面をこぼれ落ちる砂量と上から降りそそぐ砂量は均衡している。更に砂粒を降り注ぐと様々な規模の雪崩が生じるが、この雪崩の規模と頻度の間には、「べき法則（頻度は規模の何乗かに反比例する）」の成り立つことが知られている。簡潔に言えば、大きな雪崩はめったに起きないが小さな雪崩はしょっちゅう起きるという関係である。地震などの突発的現象で「べき法則」の成り立つことが報告されている⁴⁶。相場変動においても、ストレスは言わば突発的現象と捉えることが可能で、そのメカニズムの解明には「自己組織化臨界」のアイデアが役立ちそうである。

⁴³ フラクタル次元については、付5参照。数値による定義としては、この他にも「最大リヤブノフ数が正である」とするものもある。但し、最大リヤブノフ数は恣意性が高いとの指摘が多いので、ここではフラクタル次元による定義を採用した。

⁴⁴ 内藤ら[1997年]の提唱。厳密には、確率的現象の全てが時間対象というわけではなく、線形・定常などの一定の条件が必要。

⁴⁵ ペア・バークとチャウ・タン、クルト・ヴィーゼンフェルトは、電荷密度波の研究をしている時に自己組織化臨界を発見[1987年]。この辺の経緯については、M.M.ワールドロップ[1992年]に詳しい。また、自己組織化臨界をモデル化したものとしては、樫森ら[1997年]の「ANTLION（アリジゴクの巣穴）」モデルなどがある。

⁴⁶ 地質学者のベノ・ゲーテンベルクとチャールズ・リヒターは、どんな地域をとってみても、ある一定のエネルギーを解放する地震が1年に起きる回数は、そのエネルギーの一定のべき（経験則では、約3/2乗）に反比例することを指摘[1956年]。

付5：フラクタル次元

フラクタル次元とは...？

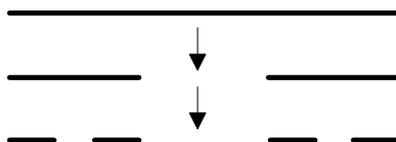
フラクタル次元に関しては、様々な方法で説明されるが、自己相似図形⁴⁷における縮小率と分割数の関係を考えてわかりやすい⁴⁸。直線をN分割した場合の縮小率は $\frac{1}{N}$ 、長

方形を相似図形になるようにN分割した場合の各辺の縮小率は $\frac{1}{N^2}$ 、直方体を相似図形

になるようにN分割した場合の各辺の縮小率は $\frac{1}{N^3}$ となる。分割数をN、縮小率をr

(N)とすると両者の関係は、 $r(N) = \frac{1}{N^D} \left(\rightarrow D = \frac{\log N}{\log\left(\frac{1}{r}\right)} \right)$ と表現され、この時のD

がフラクタル次元を表わす。直線、長方形、直方体では、普通の次元に対応し1、2、3の整数次元となっている。さて、ここで決定論的な法則でランダムな数列を作る1つの方法について考えてみよう。例えば、「カントールの三進集合」。下図の様に、長さ1の区間から中央の1/3をとる。残った2つの区間からそれぞれ同じように中央の1/3をとるという作業を無限に繰り返し残ったものが「カントールの三進集合」で呼ばれるもので、ランダムな数列となっている。これは、決定論的な法則でランダムを作るという意味でカオスであるが、このフラクタル次元を求めると上式より、 $\log 2 / \log 3 = 0.63$ (分割数：2、縮小率：1/3)という非整数次元になる。



フラクタル次元の算出方法

ランダムに見える時系列データから、決定論的な法則(上記例で言えば分割数や縮小率)を見つけるのは難しい作業である。そこで、フラクタル次元を推定するための様々な手法が考案されている。本稿では、G - P法(Grassberger-Procaccia法)を使う。具体的には、大日[1995年]が採用した方法に則り、以下のステップで算出する。

⁴⁷ フラクタル図形とも呼ばれ、入れ子構造を特徴とする。ある図形の部分が全図形の縮小された像になっているもので、世の中にある複雑なものの中には、こういう特徴をもったものが数多く存在する(山口[1986年])。

⁴⁸ 詳しくは、山口[1986年]参照。

Step1: 各埋め込み次元 k ($k=1, 2, \dots, 20$)⁴⁹に対して、 $C(\varepsilon)$ を求める。

$$C(\varepsilon) = \frac{2}{N^2} \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^N \sum_{t=1}^{N-k} H(\varepsilon_j - |\log P_{t+k} - \log P_t|)$$

$$\varepsilon_j = a^j$$

$$H(z) = 1 (z \geq 0)$$

$$H(z) = 0 (z < 0)$$

Step2: Step1 を各 j ($j=1, 2, \dots, 30$)に対して行い、下式の $\alpha_{0,k}$ 、 $\alpha_{1,k}$ を最小 2 乗法より推定。

$$\log C(\varepsilon_j)_k = \alpha_{0,k} + \alpha_{1,k} \log \varepsilon_j$$

Step3: 下式の β_0 を最小 2 乗法より推定⁵⁰。この β_0 をフラクタル次元とする。

$$\alpha_{1,k} = \beta_0 + \frac{\beta_1}{k}$$

$a = 0.75$ (Step1 2 行目の式)⁵¹の場合の計算結果は、下表の通り。

CD3M	ユーロドル	ユーロ円	JGB	TBOND	BUNDS	日経平均
0.48	0.826	0.809	0.916	0.583	1.191	0.895
NYダウ	DAX	円ドル	ドル円	金	WTI	CRB
0.999	0.817	1.119	1.014	1.067	0.87	0.998

結果に関する若干の考察

カオス性を持つ変数は非整数のフラクタル次元⁵²を持つことが知られており、複雑な相場変動は、1 以上 2 未満の非整数次元をとることが期待された⁵³(単調な変動であれば 1

⁴⁹ 本来、 k は 1 ~ N まで計算されるべきであるが、計算限界からここでは 1 ~ 20 までの計算としてある。

⁵⁰ 計算限界から $k = 1 \sim 20$ までしか計算していない為に、 k となる極限を推定するための作業。

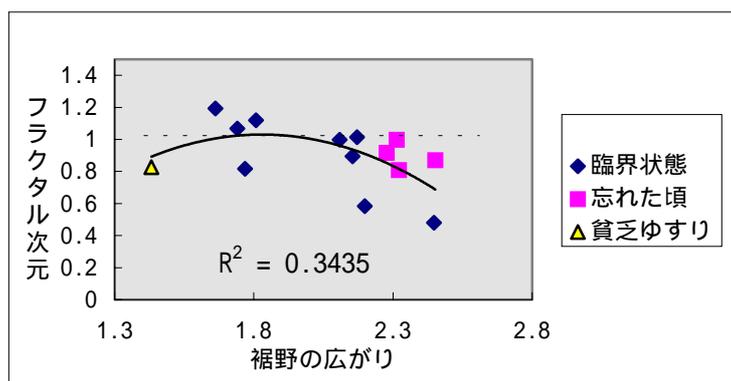
⁵¹ a を変えると計算結果は異なる。例えば、 $a = 0.9$ の場合、円ドルのフラクタル次元は 0.988 に低下する。 a をどのレベルに置くかは今後の検討課題。

⁵² 数値による定義としては、この他にも「最大リヤプノフ数が正である」とするものもある。但し、最大リヤプノフ数は恣意性が高いとの指摘が多いので、ここではフラクタル次元による定義を採用した。

⁵³ 大日[1995年]は、1980.1.5 ~ 1992.4.30 の日時データを使い、(全営業日で取引のあった)個別株式 79 銘柄のフラクタル次元を算出、全銘柄で 1 以上の計算結果を得ている(最低で 1.41、但し 2 銘柄で 2 を越えている)。また、倉都[1996年]によれば、“米国株式のフラクタル

に近く、複雑な変動であれば2に近い)。しかしながら、1を越えたのは4市場（BUND S、円ドル、ドルマルク、金）⁵⁴のみで、芳しい結果は得られなかった。月次データによる限界とも考えられ、日時ないしはティックデータへの拡張が今後の課題と言えよう。但し、フラクタル次元と裾野の広がりとの関係は図表23に示す通りで、緩やかに放物線の関係が見て取れる（グラフ上は3分類で表示したが、“忘れた頃型”及び“貧乏ゆすり型”市場のフラクタル次元は1未満であった）。

図表23：フラクタル次元と裾野の広がりとの関係



付6：時間反転に関する対称性の検証

確率的現象（ノイズ）の場合、未来予測も過去予測も当たり方は同じになるが、カオスの場合は、過去のパスに依存するので、未来予測の方が過去予測よりもよく当たることが期待される⁵⁵。

そこで、以下では相場変動指標（収益率絶対値の年間累積値）について、トレンド部分を指数関数で表わし、その回りの振動をSin関数の合成で記述する簡単な時系列モデルを考える。このモデルで未来予測と過去予測を行い（過去予測とは、時系列データの順序を逆転してそれに対する将来予測を行うというもの）、予測確度を比較してみた。

モデルの構築

Step 1：88年10月～94年1月の64ヶ月のデータに対し、スペクトル解析

ル次元は、2.33”、“円ドルのフラクタル次元は2.20”との報告もある。

⁵⁴ 但し、統計的には、これら4市場についても有意に“1以上のフラクタル次元を持つ”とは言えない。例えば、ギリギリ1を越えたドルマルク市場の95%信頼区間は、[1.000, 1.028]。

⁵⁵ 内藤ら[1997年]の提唱。厳密には、確率的現象の全てが時間対象というわけではなく、線形・定常などの一定の条件が必要。

⁵⁶を行い、周期を抽出。

Step 2 : Step 1 で抽出された周期の Sin 関数と指数関数の合成で記述する時系列モデルを構築 (係数は最小 2 乗法より求める)。

Step 3 : 86 年 2 月 ~ 88 年 9 月 (32 ヶ月) を「過去期間」、94 年 2 月 ~ 96 年 9 月 (32 ヶ月) を「将来期間」とし、それぞれの期間で Step 2 のモデルを使い、将来予測を行う⁵⁷。

日経平均の場合を例に説明を加えよう。Step 1 ~ 2 より導かれた「将来予測」用、及び「過去予測」用のモデルはそれぞれ以下の通り (時系列推移は図表 2 4 参照) である。

(将来予測用)

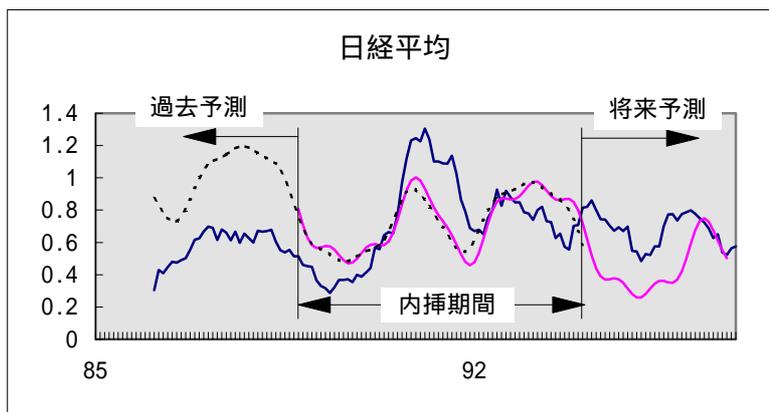
$$y = 0.97 + \begin{pmatrix} -0.16 & -0.20 & 0.07 & -0.06 & -0.05 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_{64} \\ S_{32} \\ S_{21.3} \\ S_{16} \\ S_{9.1} \end{pmatrix} - 0.16e^{0.0116k}$$

(過去予測用)

$$y = 1.07 + \begin{pmatrix} 0.21 & 0.19 & -0.05 & 0.05 & 0.02 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_{64} \\ S_{32} \\ S_{21.3} \\ S_{16} \\ S_{9.1} \end{pmatrix} - 0.49e^{-0.0116k}$$

y : 収益率絶対値の年間累積値、 S_t : t ヶ月周期の sin 関数、k : 時間 (月数)

図表 2 4 : 予測モデル



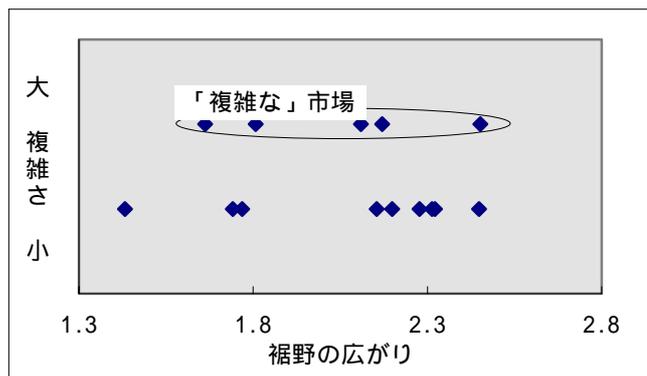
⁵⁶ 詳細は、付 7 参照。

⁵⁷ 過去期間に対しては時系列データの順序を逆転させて予測を行う。また、Step 2 のモデル構築の際も時間を逆転させて係数の決定を行う。

結果に関する若干の考察

予測確度について、将来予測に優位性がある⁵⁸、予測期間を長期化するほど予測が困難になる⁵⁹、という2つの基準を満たすものを「複雑な」市場と捉え、裾野の広がりとの関係を見てみた（図表25）が、残念ながら明確な関係は見出せなかった。

図表25：時間反転に関する対称性と裾野の広がりとの関係⁶⁰



付7：スペクトル解析

スペクトル解析⁶¹の基礎となるのが、フーリエ変換である。このフーリエ変換は光のスペクトルとの相似を見るとわかりやすい。太陽光線を三角プリズムに当てると紫色から赤色までの七色のスペクトルが出来る。太陽光線には波長の異なる種々の光の束が含まれているが、これがプリズムを通ることにより、波長の違いによる屈折率の差で順序よく並べられるのである。ここで、太陽光線を不規則変動に、三角プリズムをフーリエ変換に置き換えれば、スペクトル解析となる。つまり、スペクトル解析とは、周波数毎の

⁵⁸ 予測値と実績値の差の2乗和を将来予測と過去予測で比較して、この比率が1を越えているものを良好と判定。統計的には、1つの予測期間だけの結果から判定するのは危険で、予測期間を順次スライドさせて、その平均を取るなどの手続きが必要。本研究では、FFT法のデータ数の制約などから、1つの固定した期間のみの結果から判定した。多期間への拡張は、今後の課題。

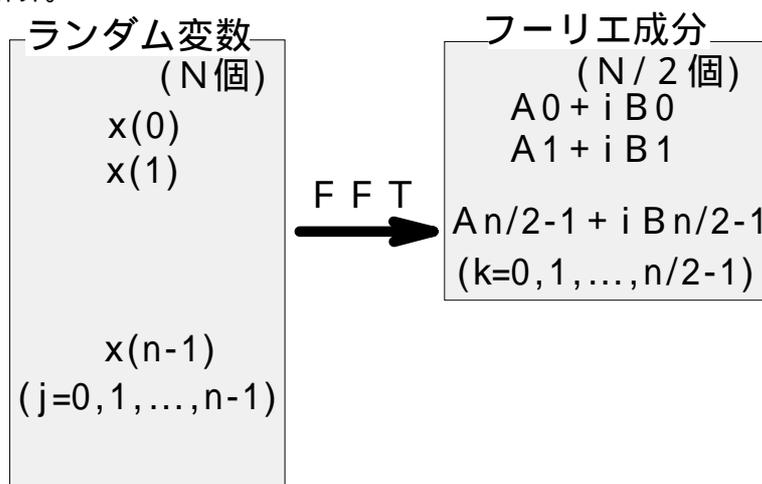
⁵⁹ カオスの初期値鋭敏性を考えると目先の予測は良好でも、将来に向かう程予測が困難になることが予想されるため、予測期間（時間の経過）と予測誤差の相関を取ってみた。勿論、時間経過と予測誤差の間に線形性が期待されるわけではないので、統計的意味は薄いですが、1つの目安として本基準を採用。

⁶⁰ グラフ上は、2つの基準を満たすものを複雑さ = 1、満たさないものを複雑さ = 0として表示してある。数字そのものには意味はなく、視覚的に捉え易くするための処理。

⁶¹ 詳しくは、日野[1977年]参照。

波のエネルギー分布 (= スペクトル) を求める為の解析手法である。このスペクトル推定手法には様々なものがあるが、本稿では F F T 法 (高速フーリエ変換) を採用する。具体的には、以下の手順でスペクトル値を計算。分布図を描きスペクトル値が高い周波数の波を構成要素として捉える (参考までにドルマルクの場合のスペクトルを下図に示す)。

Step1: ランダム変数 $x(t)$ から F F T 法 (Excel の高速フーリエ変換⁶²) によりフーリエ成分を計算。



Step2: ランダム変数 $x(t)$ のフーリエ変換 $X(k)$ を計算。

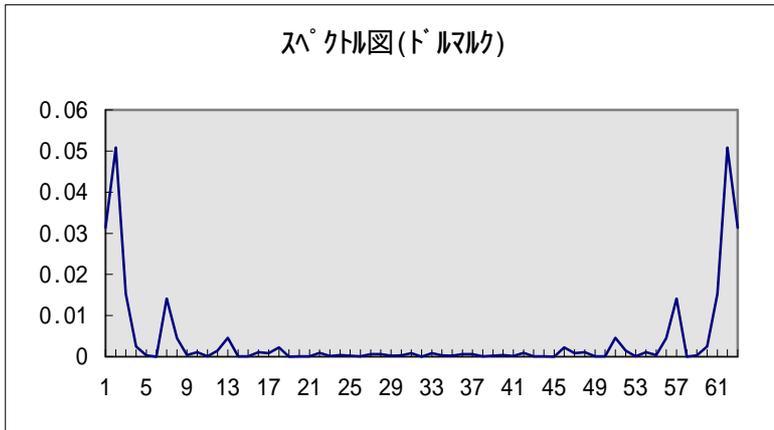
$$X_k = \sum_{j=0}^{N-1} x(j) \exp\left[-i2\pi \frac{jk}{N}\right] \frac{T}{N} = A_k + iB_k$$

Step2: スペクトル $P(f)$ を計算。

$$P(f) = \frac{\Delta t}{N} [A_k^2 + B_k^2]$$

$$f = k\Delta f, \Delta f = \frac{1}{T}, \Delta t = \frac{T}{N}$$

⁶² ランダム変数の個数は、2 の偶数乗個という制約あり。



付8：シミュレーション上の詳細設定

シミュレーション上は、マーケットでの取引の実態に鑑み、以下の効果も考慮した。

収益の状況により、トレード量が異なる。

(例えば、収益が好調な時には大きく相場を張るといったケース)

相場付きにより、トレード量が異なる。

(例えば、荒れた相場ではトレード量を絞るといったケース)

相場観の偏り具合により、他人から受ける影響度合が異なる。

(「万人が万人ながら強気なら、たわけになって米を売るべし」といった相場の格言が当てはまるケース)

個々のシミュレーションにおける具体的設定は、以下の通り。

【 順バリ・逆バリ・ノイズ比率のシミュレーション】

相場変動に対する反応			
	収益：通常	収益：好調	
相場付：静	1	1.25	相場基準... 4
相場付：動	0.5	0.75	収益基準... 100

他人の相場観の影響			
	偏り：小	偏り：大	
衝突回避領域	~0.51	~2.51	偏り基準... 200
求心行動領域	2.01~	5.01~	
調整額	1	0.5	

損失限度、ポジションリミット			
	相場付：静	相場付：動	
損失限度	100		相場基準... 4
ポジションリミット	7	5	

損失限度は、相場付きに拘わらず一定。

【 他者から受ける影響度合】

相場変動に対する反応			
	収益：通常	収益：好調	
相場付：静	1	1.25	相場基準... 4
相場付：動	0.5	0.75	収益基準... 100

他人の相場観の影響			
	偏り：小	偏り：大	
衝突回避領域	~2.51	~2.51	偏り基準... 200
求心行動領域	5.01~	5.01~	
調整額	1	0.5	

損失限度、ポジションリミット			
	相場付：静	相場付：動	
損失限度	100		相場基準... 4
ポジションリミット	7	5	

損失限度は、相場付きに拘わらず一定。

【 ポジションリミット及び損切りルール】

相場変動に対する反応

	収益：通常		収益：好調		
相場付：静	1	1.25	相場基準...	4	
相場付：動	0.5	0.75	収益基準...	100	

他人の相場観の影響

(衝突回避 > 求心)		(衝突回避 求心)		(衝突回避 < 求心)	
	パターン1	パターン2		パターン1	パターン2
衝突回避領域	~2.51	~3.51	衝突回避領域	~1.01	~2.51
求心行動領域	3.51~	3.51~	求心行動領域	4.01~	2.51~
調整額	1	0.5	調整額	1	0.5
偏り基準...	200		偏り基準...	200	

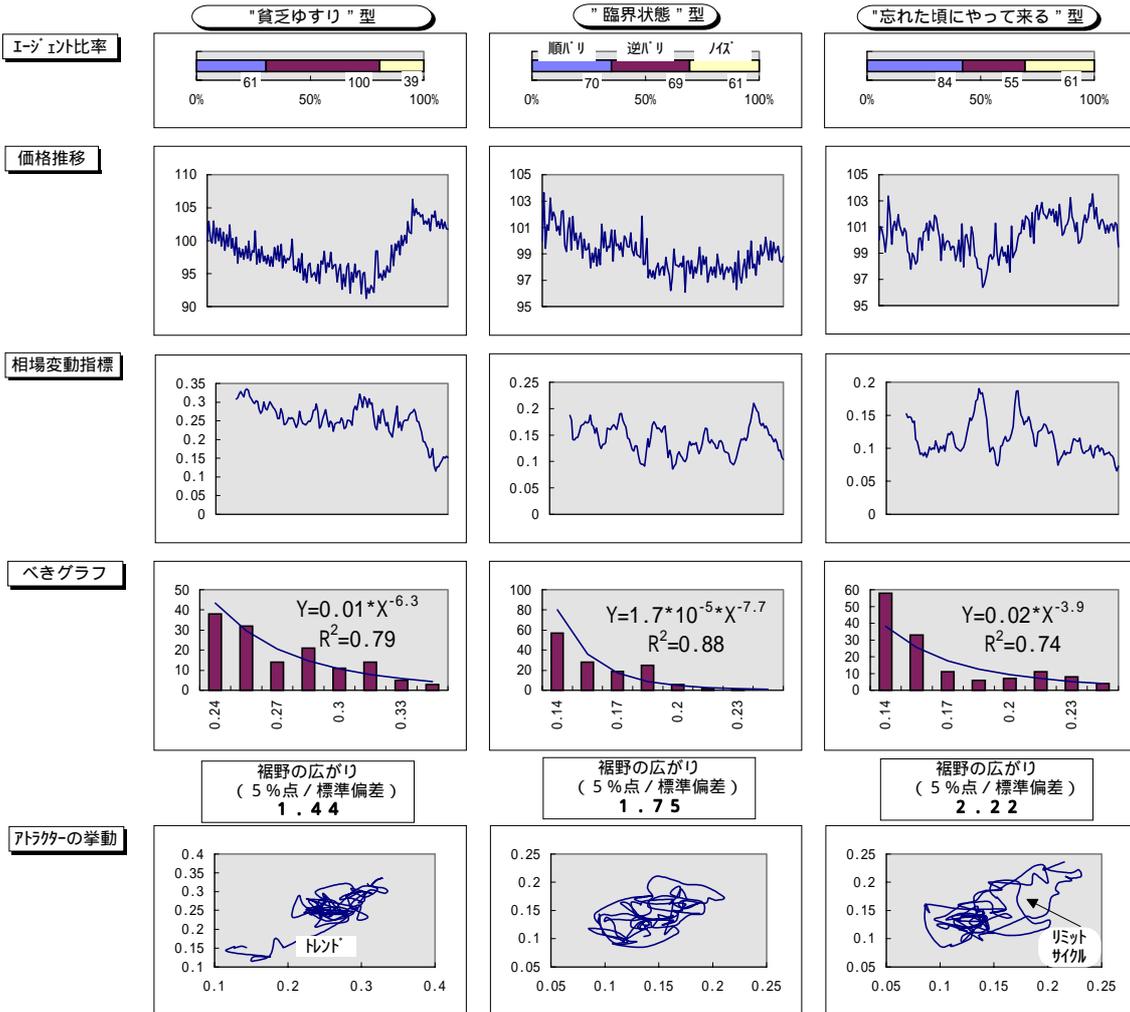
偏り：小 偏り：大
 リミットレベルが小の場合、上記設定（衝突回避 >、求心については2パターン設定。但し偏りによるレベル変更無し）。リミットレベル大の場合は、と同様の設定。

損失限度、ポジションリミット

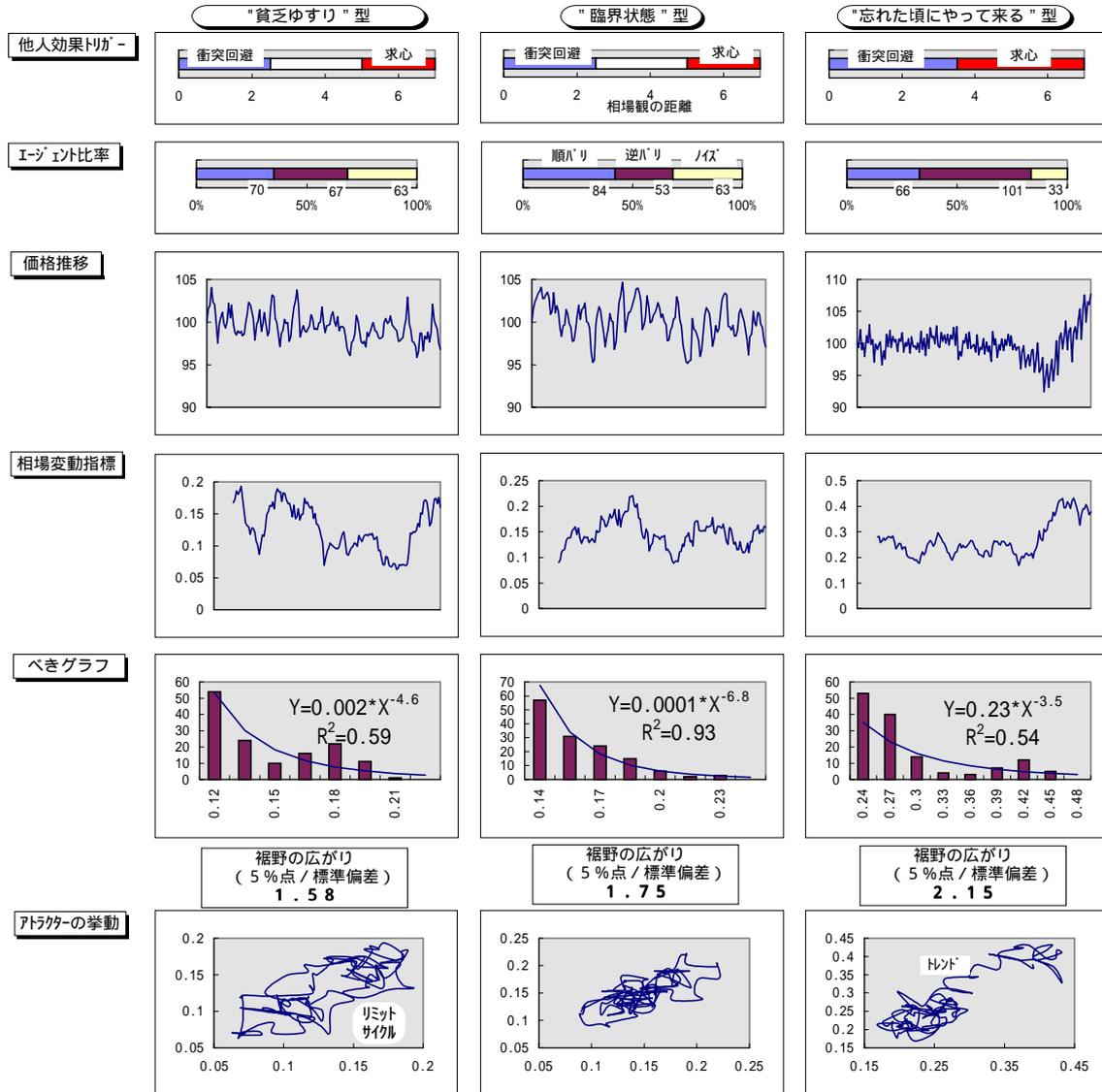
リミットレベル小		リミットレベル大	
損失限度	30	損失限度	100
ポジションリミット	5	ポジションリミット	7
相場基準...	4	相場基準...	5

損失限度は、相場付きに拘わらず一定。

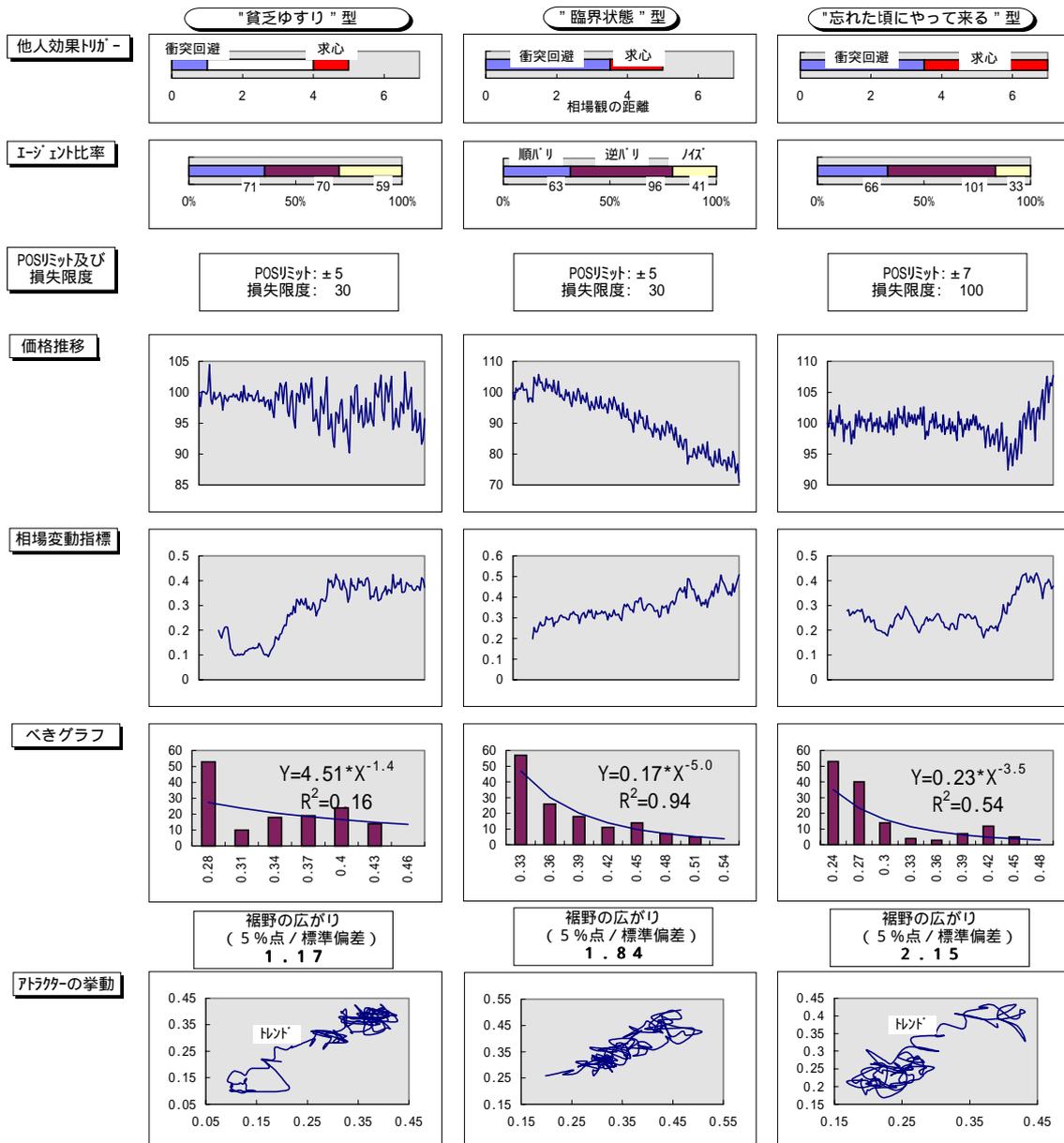
付9：結果詳細（ 順バリ・逆バリ・ノイズの存在比率）



付10：結果詳細（他者から受ける影響度合）



付 1 1 : 結果詳細 (ポジションリミット及び損切りルール)



参考文献

- 合原 一幸、『カオスセミナー』、海文堂、1994年
- 岩澤 嘉則、「遺伝的アルゴリズムによるパラメーター探索」、ジャフィージャーナル、1996年
- 大日 康史、「フラクタル次元を用いてのリスクの評価」、ジャフィージャーナル、1995年
- 金子邦彦、津田一郎、『複雑系のカオスのシナリオ』、朝倉書店、1996年
- 北村 行伸、「ポール・クルーグマンの複雑系アプローチ」、『複雑系の経済学 [入門と実践]』、1997年
- 木佐森 吉太郎、『相場道の極意』
- 倉都 康行、『カオスで挑む金融市場』、講談社、1996年
- 白塚 重典、中村 恒、「国際分散投資におけるホーム・バイアス・パズルを巡る諸論点」、DPS、日本銀行金融研究所、1997年
- 高林 章雄、「遺伝的アルゴリズムによるファンド作成とリバランス」、ジャフィージャーナル、1995年
- 田中 泰輔、『金融マーケット予測入門』、東洋経済、1992年
- 内藤 正美、神原 武志、樫森 与志喜、他、『パソコンで見る複雑系・カオス・量子』、講談社、1997年
- 日野 幹雄、『スペクトル解析』、朝倉書店、1977年
- 山口 昌哉、『カオスとフラクタル』、講談社、1986年
- M・M・ワールドロップ、『複雑系』、新潮社、1996年
- J・グリック、『カオス』、新潮文庫、1991年
- R・M・グッドウィン、『カオス経済動学』、多賀出版、1992年
- Tokiko Shimizu and Tsukasa Yamashita ,“DYNAMIC MICRO AND MACRO STRESS SIMULATION” ,IMES Discussion Paper ,1996