

Aegis: A Dynamic Risk Control Framework Based on the Volatility Pressure Index (VPI)

A Simple Law of Variance Dynamics

Toshiharu Honda

Quant Finance Lab Kagoshima

April 2026

概要

本研究では、分散の対数変化として定義される **Volatility Pressure Index (VPI)** を導入し、ボラティリティのダイナミクスを記述するシンプルなフレームワークを提案する。従来のボラティリティ研究が主に水準や予測に焦点を当ててきたのに対し、本研究は分散の変化率そのものを基本的な変量として扱う点に特徴がある。理論的には、分散は VPI の累積によって決定されることを示し、この構造により、ボラティリティの急激な変動は、累積された状態とその変化の相互作用として理解される。さらに、本研究ではこの理論に基づき、VPI 由来の状態変数を用いた逐次的リスク制御システム **Aegis** を提案する。Aegis は、市場の動的な状態に応じてエクスポージャーを連続的に調整することで、リスク管理を行うフレームワークである。実証分析として、米国株式市場 (SPY) を対象としたフォワードテストを実施し、Aegis が下落局面において **ドローダウンを抑制** しつつ、市場への参加を維持する特性を持つことを示す。本研究は、ボラティリティを静的な統計量ではなく、時間とともに変化する状態変数として捉える視点を提供し、理論と実務を接続する新たな枠組みを提示する。

Keywords: Volatility Pressure Index (VPI), Variance Dynamics, Risk Management, Aegis System, Econophysics, Dynamic Asset Allocation **JEL Classification:** G11, G12, G17, C02

1 イントロダクション

金融市場におけるボラティリティは、リスク管理および資産価格形成において今なお中心的な役割を果たしている。従来の研究は、ボラティリティの水準やその予測に焦点を当て、さまざまなモデルが提案されてきた。代表的な例として、条件付き分散を時系列的にモデル化する GARCH[3] や、高頻度データを用いて「観測可能な量」としての精度を高めた実現ボラティリティ [2] が挙げられる。また、オプション市場における期待値と実現値の乖離からリスクを評価するバリエーション・リスク・プレミアムの研究も進展している [4]。近年では、市場を物理的な動的システムとして捉え直し、モメンタムやボラティリティの構造的変動を説明しようとする

試みも活発化している。例えば、市場のモメンタムに潜むスケール不変力学系を特定する試み [5] や、ニュートン力学の概念を応用して市場の不安定性を捉える手法 [8] が提案されている。これらの研究は、市場の不安定性やレジーム変化を記述する点で重要であるが、多くの場合、複雑なモデル化や特定のボラティリティ水準そのものに依存している。しかしながら、ボラティリティのダイナミクスを「情報幾何学的な距離」や「粗い (Rough) 性質」として捉える視点 [1][6] が存在する一方で、分散の変化率そのものを基本的な状態変数として扱い、その累積構造からボラティリティのダイナミクスを直接的に記述するシンプルな枠組みは、十分に確立されていない。本研究は、この点に着目し、分散の対数変化として定義される Volatility Pressure Index (VPI) を導入する。VPI は分散の成長率を表すシンプルな指標であり、その累積構造によりボラティリティの時間発展を記述することができる。本研究の基本的な主張は、ボラティリティは単なる予測対象の水準ではなく、物理的な「圧力」のように時間とともに蓄積・解放される状態変数 [10] として理解されるべきである、という点にある。特に、分散の変化率の累積が市場の状態を特徴付け、その変化が急激なボラティリティ・スパイクと密接に関連することを示す。さらに、本研究ではこの枠組みに基づき、VPI 由来の状態変数を用いたリスク制御システム「Aegis」を提案する。従来のボラティリティ・ターゲット戦略 [7][9] はリスク調整後のリターンの向上に有効であるが、Aegis は市場の動的な「圧力」の変化をより鋭敏に捉えることで、ドローダウンの抑制と市場参加の継続的な両立を目指す。本稿の構成は次の通りである。第 2 節では VPI の定義を導入し、第 3 節および第 4 節でその理論的性質を示す。第 5 節では実証的性質を検討し、第 6 節でリスク制御システム Aegis を導入する。第 7 節では実証結果を示し、第 8 節で考察を行う。最後に第 9 節で結論を述べる。

2 Definition of the Volatility Pressure Index

本節では、本研究の基礎となる指標である Volatility Pressure Index (VPI) を定義する。金融市場におけるボラティリティは、通常、収益率の分散の平方根として定義される。時点 t における分散を $Var_t (= \sigma_t^2)$ とすると、本研究ではその時間変化に着目し、以下の状態変数を導入する：

$$VPI_t = \log Var_t - \log Var_{t-1} \quad (1)$$

この定義により、VPI は分散の対数変化、すなわち分散の成長率を表す状態量となる。

2.1 定義の直観的意味

式 (1) から明らかなように、VPI は分散の増減の方向とその強さを表す。すなわち、VPI は符号は変化の方向を、絶対値は変化の強さを表す。また、対数差分をとることで、分散の相対的な変化を自然に表現することができる。この性質により、異なる水準のボラティリティ環境においても比較可能な指標となる。

2.2 対数変換の意義

分散に対して対数変換を適用する理由は、次の点にある。第一に、分散は正の値を取るため、対数をとることによってその変化を加法的に扱うことができる。これにより、時間的な累積構造を明確に表現できる。第二に、対数変化はスケール依存しないため、ボラティリティの絶対水準ではなく、その変化率に焦点を当てることが可能となる。

2.3 基本的性質

式 (1) は以下の形式に書き換えることができる：

$$Var_t = Var_{t-1} \cdot \exp(VPI_t) \quad (2)$$

式 (2) は分散の時間発展が VPI によって決定されることを示している。すなわち、VPI は単なる補助的な指標ではなく、分散のダイナミクスを直接的に表現する状態変量である。

2.4 本研究の立場

従来のボラティリティ研究では、分散そのもの、あるいはその予測に焦点が当てられてきた。一方で、本研究では分散の変化率そのものを基本的な状態変量として扱う。この立場により、ボラティリティは静的な水準ではなく、時間とともに変化する動的なプロセスとして理解される。VPI はボラティリティの動的構造をシンプルに捉える状態変量であり、本研究におけるすべての理論展開は VPI に基づいている。

2.5 小括

本節では、分散の対数変化として VPI を定義し、その基本的な性質を示した。VPI は分散の成長率を表すシンプルな状態変量であり、その時間的な累積によりボラティリティのダイナミクスを記述することが可能となる。次節では、この累積構造を用いて、分散の時間発展に関する理論的關係を導出する。

3 Theoretical Framework

本節では、前節で定義した Volatility Pressure Index (VPI) に基づき、分散の時間発展に関する理論的關係を導出する。

3.1 累積構造

式 (2) を繰り返し適用することで、分散は以下のように表せる：

$$Var_t = Var_0 \cdot \exp\left(\sum_{i=1}^t VPI_i\right) \quad (3)$$

式 (3) は、分散の水準が VPI の累積によって決定されることを示している。

すなわち、分散は単一時点の変化ではなく、過去の変化率の蓄積として理解される。

3.2 連続時間への拡張

前節までの離散時間における定義は、連続時間に自然に拡張される。分散を時間の連続関数 $Var(t)$ とすると、VPI は以下のように定義される：

$$VPI(t) = \frac{d}{dt} \log Var(t) \quad (4)$$

この式は、VPI が分散の瞬間的な成長率を表すことを意味している。

3.3 微分方程式としての表現

式 (4) は次の形に書き換えられる：

$$\frac{dVar(t)}{dt} = VPI(t) \cdot Var(t) \quad (5)$$

式 (5) は分散の時間発展が VPI によって駆動されることを示す基本方程式である。

3.4 積分形

式 (5) を解くことで、分散は次の形で表せる：

$$Var(t) = Var(0) \cdot \exp\left(\int_0^t VPI(s) ds\right) \quad (6)$$

この解は、離散時間における累積構造（式 (3)）の連続時間版に対応している。

3.5 理論的含意

以上の結果から、VPI は分散、つまり、ボラティリティのダイナミクスを直接的に規定する基本的な状態変量であることがわかる。特に、VPI は分散の成長率を表し、その累積が分散、すなわち、ボラティリティの水

準を決定する。この構造により、ボラティリティは静的な量ではなく、時間とともに発展する動的なプロセスとして理解される。

3.6 小括

本節では、VPIに基づく分散の時間発展を、離散時間および連続時間の両方の枠組みで導出した。その結果、分散はVPIの累積によって決定されることが明らかとなり、この累積構造が本研究の理論的基盤となる。次節では、この構造をさらに詳細に検討し、分散の時間依存性について考察する。

4 Interpretation of the Cumulative Structure

本節では、第3節で導出した分散の累積構造について、その解釈をさらに深める。第3節の式(6)で示したように、分散はVPIの累積によって決定される。すなわち、ボラティリティの水準は単一時点の情報だけでなく、履歴依存的な構造を持つ。また、式(6)から分散が指数関数的な成長過程に従い、VPIはその成長率を表すため、VPIが正のとき分散は成長し、負のとき減衰する。

4.1 状態の蓄積

式(6)の累積項：

$$A(t) = \int_0^t VPI(s) ds \quad (7)$$

$A(t)$ は、分散の成長の履歴を表す。 $A(t)$ が大きい場合、分散はすでに成長した状態にあり、市場はボラティリティが高い状態にあると解釈できる。一方で、この累積量 $A(t)$ が小さい場合、市場は比較的安定した状態にある。累積構造の重要な含意は、不安定性が時間とともに蓄積される点にある。成長率であるVPIが一定期間にわたり正である場合、分散は持続的に成長し、市場は不安定な状態へと移行する。このような不安定な状態は小さな変化であっても大きな価格変動が生じる可能性が高まっていることを意味する。

4.2 動的状態変数としてのボラティリティ

これまでの考察から、VPIボラティリティモデルは、VPIの累積と現在のVPIに依存する。一方で、VPIの変化はこの累積状態の変化をもたらす。特に、VPIの増加は成長率の上昇、減少は成長率の減少と解釈できる。したがって、ボラティリティの急激な変動は、VPIの蓄積の状態とその変化の相互作用として理解される。従来のボラティリティ研究では主に、水準に注目が集まるが、本研究ではVPIの変化率とその累積を同時に扱うことで、ボラティリティのダイナミクスの理解が可能となる。この視点は、単なる記述にとどまらず、リスク管理における制御問題へと自然に拡張される。次節では、この考えに基づき、VPIの実証的性質を検討

する。

5 VPI の実証的性質

本節では、Volatility Pressure Index (VPI) の実証的性質を整理し、前節で考察したボラティリティのダイナミクスとの関係を明確にする。

5.1 VPI の分布特性

VPI は分散の対数変化として定義されるため、その値は 0 を中心とした分布を持つ。実際の市場データにおいても、VPI はゼロ近傍に集中する傾向が観察される (図 1)。この性質は、ボラティリティが長期的に一定の範囲に収束する傾向と整合的であり、VPI がボラティリティの水準ではなく、その変化の方向と強さを表す指標であることを示している。

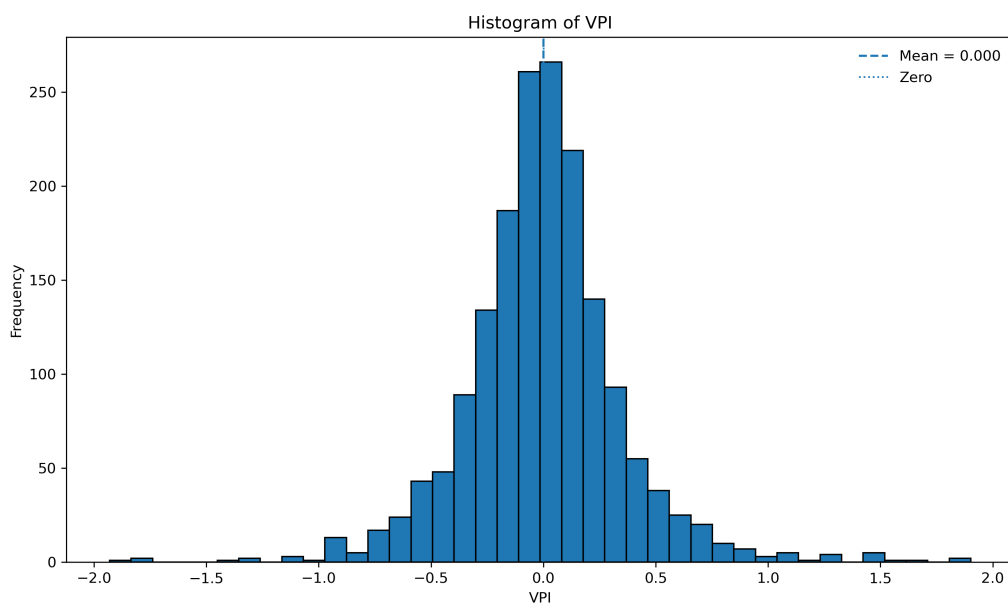


図 1 SPY の週次データに基づく VPI のヒストグラム。分布はゼロ付近を中心としており、対数分散の増加と減少が長期的におおむね均衡していることを示している。

5.2 分散のダイナミクスと累積構造

第 4 節で示したように、分散は VPI の時間積分、すなわち、VPI の累積として表せる。したがって、ボラティリティの急激な変動を理解するためには、単一時点の VPI ではなく、その累積によって形成される水準に注目する必要がある。つまり、VPI が一定期間にわたり正の値を取り続ける場合、分散の成長率は持続的に

正となり、累積値は増加する。このとき、市場はボラティリティが拡大しやすい状態へと移行し、VPIが小さな変化で合っても均衡が崩れ、大きなボラティリティ変動を引き起こす可能性が高まると考えられる。累積VPIを分位ごとに区分し、将来分散の平均をプロットした結果を図2に示す。低位および中位の領域では将来分散は比較的安定しているが、高位の領域では急激に上昇する傾向が観察される。この結果は、分散の急拡大が累積的な状態変数としてのVPIの水準に依存している可能性を示唆している。さらに重要なのは、VPIの時間変化である。VPIが急激に増加する場合、分散の成長率そのものが上昇するため、ボラティリティの急拡大が引き起こされる。したがって、大きなボラティリティ変動は、VPIの累積による高い成長状態とVPIの急激な変化の2段階構造により、ボラティリティの急激な拡大が説明される。

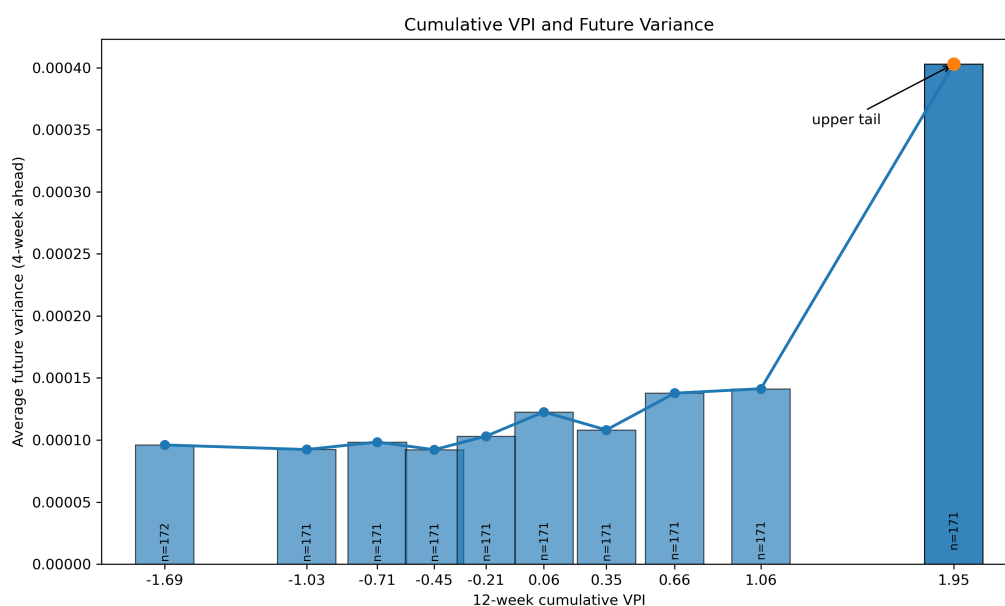


図2 SPYにおける12週累積VPIと4週先分散のビン分割結果。累積VPIが低位から中位の領域では将来分散は比較的安定しているが、高位の領域では急激に上昇する。

5.3 テールリスクとの関係

VPIの累積が大きい状態では、ボラティリティの急拡大が発生しやすくなるため、結果としてテールリスクが増大する。このことから、VPIは単なる分散の変化率ではなく、将来の極端な市場変動の発生可能性を示唆する状態変数として解釈できる。この解釈は市場リスクを評価する上で、単なるボラティリティの水準ではなく、現在の状態（VPIの累積）とその変化（VPIの変化）を同時に考慮する必要があることを意味する。したがって、これらの情報を基に市場エクスポージャーを動的に調整する制御フレームワークが自然に導かれる。

6 Risk Control System (Aegis)

本節では、前節で示した VPI のダイナミクスに基づき、市場エクスポージャーを逐次的に調整するリスク制御システム「Aegis」を導入する。VPI は分散の成長率を表し、その累積は市場の状態を特徴づける。一方で、その時間変化はボラティリティの急激な変動と密接に関連する。したがって、リスク管理において、成長状態、および成長率の変化の両方を考慮する必要がある。Aegis はこれらの情報を統合し、市場の状態に応じてエクスポージャーを動的に調整する制御フレームワークである。

6.1 エネルギー指標（累積状態）

まず、VPI の累積に基づく状態変数 E_t を定義する：

$$E_t = \sum_{i=t-L}^t VPI_i$$

ここで、 L はルックバック期間を表す。 E_t は時点 t における分散の成長率の累積を表し、市場がどの程度ボラティリティ拡大状態にあるかを示す。

6.2 状態の変化（ダイナミクス）

次に、時点 t におけるエネルギーの時間変化を定義する：

$$\Delta E_t = E_t - E_{t-1}$$

ΔE_t は、成長状態の変化を表し、VPI の累積が増加し不安定化しているか、あるいは、減少し安定化に向かっているかを表す。

6.3 スコア関数とエクスポージャー変換

Aegis では、累積状態とその変化を統合するために、以下のスコア関数 S_t を導入する：

$$S_t = z(E_t) + \lambda \cdot z(\Delta E)$$

ここで、 $z(\cdot)$ は標準化関数、 λ は重みパラメータであり、市場の状態とその変化を同時に捉える。スコア S_t を時点 t における市場エクスポージャー w_t に変換するため、単調な非線形関数（ジグモイド）を用いる：

$$w_t = w_{min} + (1 - w_{min}) \cdot \frac{1}{1 + e^{-k(S_t - \theta)}}$$

ここで、 w_{min} は最小エクスポージャー、 k 感度パラメータ、 θ は閾値である。この変換により、市場の不安定性が高まるにつれてエクスポージャーは連続的に縮小する。

6.4 非対称制御と再エントリー条件

Aegis は、エクスポージャーの変化に非対称性を導入している。具体的には、エクスポージャーの減少は迅速に行い、エクスポージャーの回復は慎重に行うという設計思想のもと、短期的なノイズによる過剰な再エントリーを抑制し、市場の不安定な状態においてリスクを効率的に抑制している。また、市場への再エントリーは、累積状態の低下 (E_t の減少) 状態変化の安定化 (ΔE_t の低下)、および価格トレンドの回復という3つの条件に基づいて行われる。これにより、単なるボラティリティ低下ではなく、構造的な安定化を確認した上でエクスポージャーを回復させている。

6.5 逐次実装

Aegis は逐次的に実行される。すなわち、各時点における意思決定は、その時点までに利用可能な情報に基づいて行われる。この性質により、本システムは将来情報に依存しない実運用可能なフレームワークとなっている。

6.6 小括

Aegis は、VPI に基づく累積状態とその変化を統合することで、市場の動的なリスク状態を捉え、エクスポージャーを連続的に調整するリスク制御システムである。この Aegis により、ボラティリティの急拡大に対する耐性を高めつつ、市場への参加を維持することが可能となる。

7 実証分析

本節では、前節で導入したリスク制御システム Aegis の有効性を実際の市場データを用いて検証する。本研究では、米国株式市場の代表的な指数である SPY を対象とし、フォワードテストに基づくパフォーマンス評価を行う。フォワードテストは、実運用を想定した逐次的な意思決定ルールに基づいて実施しており、将来情報は一切使用していない。

7.1 データと設定

分析には SPY の終値の日次価格データを用いる。リターンは対数リターンとし、分散は過去データに基づいて推定する。Aegis における主要な構成要素は、VPI、累積状態変数 E_t 、状態変化 ΔE_t 、スコア関数 S_t 、

およびエクスポージャー w_t である。なお、パラメータ（ルックバック期間、標準化法、感度係数など）は過度な最適化を避けるため、一般的に合理的と考えられる値を採用している。

7.2 フォワードテストの設計

フォワードテストでは、各時点において以下の手順を繰り返す。

1. 過去データから VPI を計算
2. 累積状態 E_t とその変化 ΔE_t を更新
3. スコア S_t を算出
4. エクスポージャー w_t を決定
5. 次期意思決定に適用

このプロセスは逐次的に実行し、各時点で利用可能な情報のみに基づいてシミュレーションを行う。

7.3 パフォーマンス比較

SPY の Buy & Hold, およびトレンドフォロワー（以下 TF）をベンチマークとし、ルックバック期間は一般的に合理的と思われる期間を採用する。Aegis と TF の組み合わせた戦略と TF のみの戦略を比較すると、以下の特徴が観察される。

- ・ 下落局面において損失が抑制される
- ・ ボラティリティが低減される
- ・ リスク調整後のリターンが改善される

特に、市場の急激な下落局面において、エクスポージャーが自動的に縮小されることで、ドローダウンが大幅に軽減される（表 1, 図 3）。

7.4 ドローダウン特性

Aegis の特徴は、単なるリターンの向上ではなく、損失の制御にある。最大ドローダウンおよび下方偏差に着目すると、Aegis は市場の急変時においてリスクを効果的に抑制していることが確認される。図 4 に示すように、Aegis は市場の急落局面においてドローダウンを効果的に抑制しており、その結果として回復過程の遅れを回避していることが確認される。

表1 2000年から2026年までの期間における週次データのパフォーマンス比較。Aegisはトレンドフォロワー単体およびSPY (Buy & Hold)と比較して、最大ドローダウンおよびボラティリティを低減しつつ、リスク調整後リターンを改善している。

| Metric | Aegis + TF | TF | SPY (Buy & Hold) |
|-------------------------|------------|---------|------------------|
| Annual Geometric Return | 13.20% | 8.40% | 9.32% |
| Annualized Volatility | 11.22% | 13.92% | 17.79% |
| Max Drawdown | -22.24% | -31.83% | -54.61% |
| Downside Deviation | 6.78% | 9.71% | 12.47% |
| Sharpe Ratio | 1.16 | 0.65 | 0.59 |
| Sortino Ratio | 1.92 | 0.93 | 0.84 |
| Calmar Ratio | 0.59 | 0.26 | 0.17 |

7.5 動的エクスポージャーの挙動

Aegisによるエクスポージャーは市場状態に応じて連続的に変化する。市場が安定している局面では高エクスポージャーを維持し、不安定性が高まる局面においては迅速に低下する。この動的な調整により、過剰なリスクテイクを回避しつつ市場への参加を維持することが可能となる。図5から、Aegisは常時エクスポージャーを維持するのではなく、市場の不安定化局面において選択的に低下させていることが確認される。一方で、市場の回復局面では速やかにフルエクスポージャーへ復帰しており、結果として負のリターンへの曝露を抑制しつつ、正のリターンを効率的に取り込んでいる。

7.6 解釈

これらの結果は、VPIに基づく状態変数が市場のリスク状態を適切に切り替えていることを示している。特に、累積状態は不安定性の蓄積を表し、状態変化は転換点の兆候を示す構造が、実際の市場において有効に機能していると考えられる。実際、本節の実証分析により、Aegisは市場の動的なリスク状態に適応し、ドローダウンの抑制とリスク調整後リターンの改善を同時に達成することが示された。この結果は、VPIに基づくAegisというフレームワークが、理論的な整合性だけでなく、実務的な有効性を有することを支持するものである。

8 ディスカッション

本節では、前節の実証結果を踏まえ、VPIおよびAegisの理論的・実務的含意について考察する。

8.1 VPI の解釈：状態変数としての役割

本研究で導入した VPI は、分散の対数変化として定義されるが、その本質は単なる変化率ではない。実証分析の結果から明らかなように、VPI は分散の成長率を表す局所的な指標であり、累積によって市場状態を特徴付ける状態変数という 2 つの側面を持つ。特に、累積状態は市場の不安定性の蓄積を表し、ボラティリティの急拡大が発生しやすい条件を示唆する。この点において、VPI は従来のボラティリティ指標とは異なり、「状態」を記述する役割を持つ。

8.2 従来手法との違い

従来のボラティリティモデルは GARCH などの時系列モデル、ブラック・ショールズモデルによるインプライドボラティリティの推定などに焦点を当てている。これに対し、本研究のアプローチは、分散の変化率そのものを基本的な状態変数として扱う点に特徴がある。この違いにより、VPI はモデルフリーな単純な構造や状態変数としての解釈可能性、そして、制御への直接的な応用可能性といった点で有意性を持つ。

8.3 なぜ機能するのか（メカニズム）

Aegis が有効に機能する理由は、VPI の構造そのものに起因する。分散は VPI の累積によって決定されるため、VPI が持続的に正である状態では、ボラティリティは拡大方向に進みやすい。このような状態では、市場は不安定であり、VPI の小さな変化でも大きな価格変動につながる可能性が高まる。さらに、VPI の変化が大きくなる場合、分散の成長率そのものが変化するため、ボラティリティの急激な拡大が発生する。Aegis はこの構造を利用し、累積状態にリスクの蓄積を捉え、状態変化によって転換点を検出することで、適切なタイミングでエクスポージャーを調整している。

8.4 非対称性の重要性

実証結果から、エクスポージャーの非対称な制御が重要であることが示唆される。すなわち、リスクの増大には迅速に対応し、リスクの低下には慎重に対応するという非対称性が、ドローダウンの抑制に寄与している。この性質は、市場の不安定性が急速に高まる一方で、安定化には時間を要するという経験的事実とも整合的である。

8.5 実務的含意

本研究の結果は、実務において以下の示唆を与える：

- ・ ボラティリティの水準だけではリスクは十分に把握できない
- ・ 状態の累積とその変化を同時にモニタリングする必要がある
- ・ エクスポージャーは連続的に調整されるべきである

Aegis は、これらの要件を満たすシンプルかつ実装可能なフレームワークを提供する。

9 結論

本研究では、分散の対数変化として定義される Volatility Pressure Index (VPI) を導入し、ボラティリティのダイナミクスを記述するシンプルなフレームワークを提案した。VPI は分散の成長率を表し、その累積構造によりボラティリティの水準が決定される。この関係から、ボラティリティの急激な変動は、単一時点の変化ではなく、累積された状態とその変化の相互作用として理解されることが示された。さらに、本研究ではこの構造に基づき、VPI 由来の状態変数を用いたリスク制御システム「Aegis」を構築した。Aegis は、累積状態とその変化を統合することで、市場の動的なリスク状態を捉え、エクスポージャーを連続的に調整する。実証分析の結果、Aegis は市場の下落局面においてドローダウンを抑制しつつ、長期的には市場に追従する特性を持つことが確認された。このことは、VPI に基づくフレームワークが、理論的整合性と実務的有効性の両方を備えていることを示唆している。本研究の貢献は以下の 3 点に要約される：

- 1 分散の変化率を基本的な量とするシンプルなダイナミクスモデルを提示した
- 2 VPI を市場状態を記述する状態変数として解釈した
- 3 その構造を利用した実装可能なリスクフレームワークを提示した

本稿では SPY を対象とした分析を行っており、他の資産クラスにおける有効性については今後の検証が必要である。また、パラメータ設定については過度な最適化を避ける方針を採用しているが、より体系的なパラメータ選択手法の検討余地がある。さらに、本研究ではリスク制御に焦点を当てているが、アセットアロケーションの観点から、モメンタムやキャリー戦略などとの統合も重要な研究課題である。最後に、本研究で提示した枠組みは、ボラティリティを静的な統計量としてではなく、時間とともに変化する状態として捉える視点を提供する。この視点は、金融市場の理解およびリスク管理の両面において、新たな可能性を開くものである。

9.1 Future Research

本稿で導入した VPI は、単一の資産における成長率の累積を記述するものであるが、これは多変量における情報流 (Information Flow) を記述する多次元ベクトル場への自然な拡張が可能である。特に、実現バリエーションと期待値の差をポテンシャルとする流体力学的なダイナミクス (Navier-Stokes 的なアプローチ) への展

開は、クロスマーケット間の情報の伝達速度や「情報的な距離」を定量化する新たな道筋を示唆している。

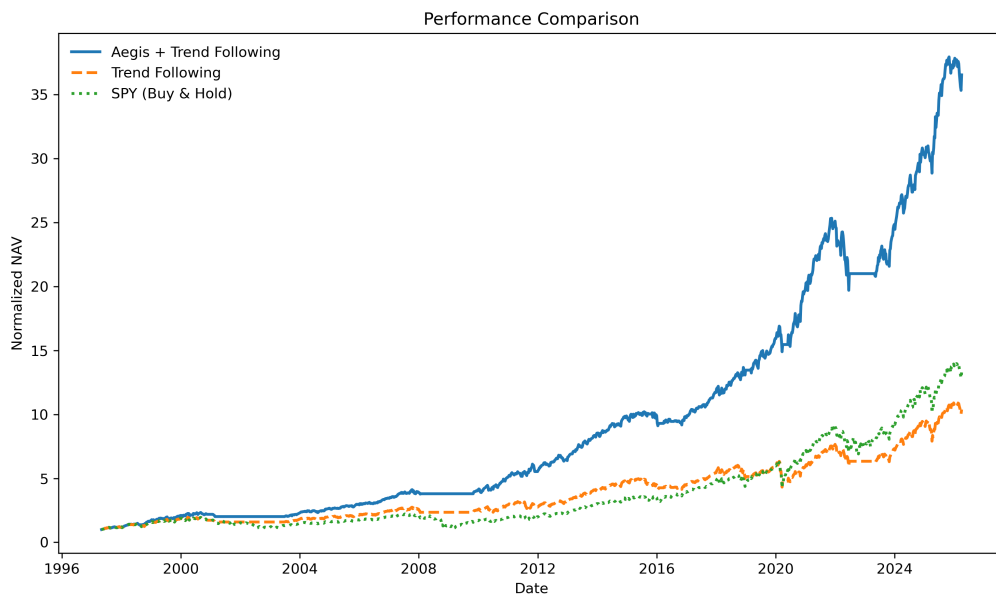


図3 2000年から2026年までの期間における週次データの累積リターン比較。Aegisはトレンドフォロワー単体およびSPY (Buy & Hold)と比較して、最大ドローダウンを大幅に低減しつつ、リスク調整後リターンを改善している。

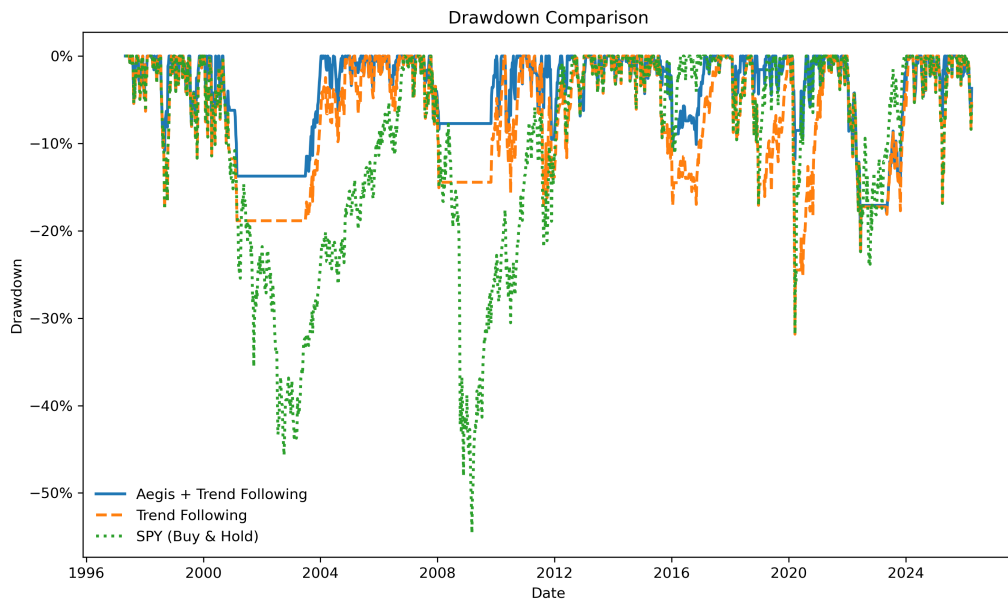


図4 2000年から2026年までの期間における週次データのドロウダウン推移。Aegisはトレンドフォロワー単体およびSPY (Buy & Hold)と比較して、下落局面におけるドロウダウンの深さを一貫して抑制している。特に市場ストレス時においてその効果が顕著に現れている

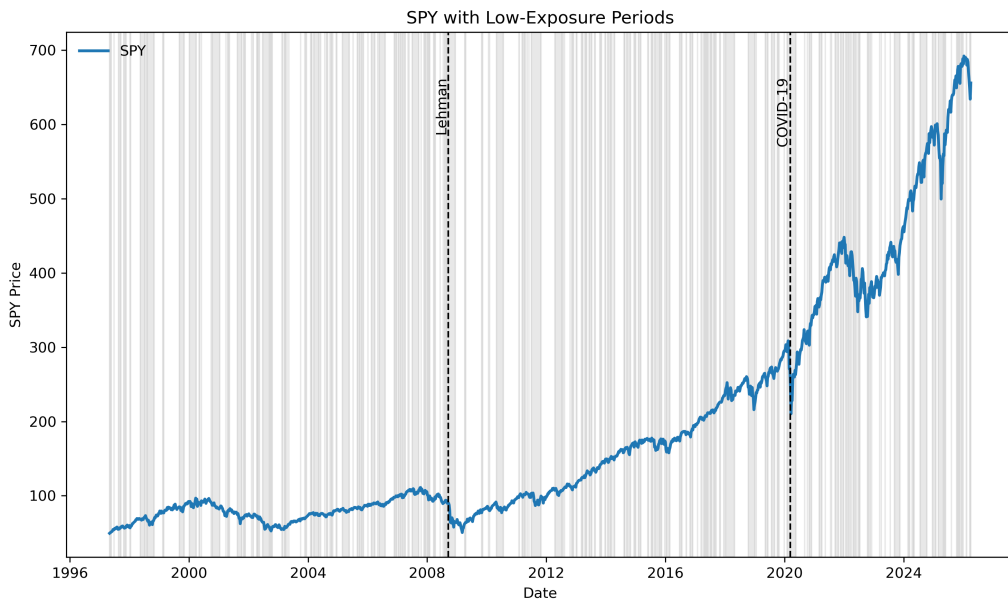


図5 2000年から2026年までの期間における週次データのSPY価格推移と低エクスポージャー期間。灰色の帯はAegisがエクスポージャーを低下させた期間を示しており、Lehman shockおよびCOVID-19 shockの前後において防御的な調整が行われていることが確認される。

参考文献

- [1] Amari, S. (1985). *Differential-Geometrical Methods in Statistics*. Springer Lecture Notes in Statistics, Vol. 28. Springer-Verlag.
- [2] Andersen, T. G., Bollerslev, T., Diebold, F. X., and Labys, P. (2003). Modeling and forecasting realized volatility. *Econometrica*, 71(2), 579–625.
- [3] Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31(3), 307–327.
- [4] Carr, P. and Wu, L. (2009). Variance risk premiums. *The Review of Financial Studies*, 22(3), 1311–1341.
- [5] Dean, B. H. (2025). Scale invariant dynamics in market price momentum. *SSRN Electronic Journal*. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=5159021>
- [6] Gatheral, J., Jaisson, T., and Rosenbaum, M. (2018). Volatility is rough. *Quantitative Finance*, 18(6), 933–949.
- [7] Hallerbach, W. G. (2012). A direct decomposition of the portfolio Sharpe ratio. *Journal of Asset Management*, 13(2), 77–87.
- [8] Lee, J. (2025). Newtonian mechanics in financial markets: Z-score simulation of S&P 500 momentum (2000-2025). *SSRN Electronic Journal*. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=5384522>
- [9] Moreira, A. and Muir, T. (2017). Volatility-managed portfolios. *The Journal of Finance*, 72(4), 1611–1644.
- [10] Yakovenko, V. M. and Rosser, J. B. (2009). Statistical mechanics of money, wealth, and income. *Reviews of Modern Physics*, 81(4), 1703–1725.