GNAI Portfolio Simulator

国際貨幣学資産指数を用いたポートフォリオ最適化シミュレーター

Portfolio Optimization Simulator using Global Numismatic Assets Index

© Evgeny Apukhtin a.k.a. 貨幣学市場アナリスト・とある, March 2026

目次

1. GNAI Portfolio Simulatorとは
2. 本ツールの機能
   2.1. ポートフォリオ設定パネル
   2.2. 効率的フロンティアチャート
   2.3. パフォーマンス指標テーブル
   2.4. 貨幣学インデックス(Numismatic Index)タブ
3. データソース
   3.1. 伝統的資産クラスデータ
   3.2. 無リスク金利
   3.3. 為替レート
4. 数理モデル
   4.1. 欠損データ処理
   4.2. リターン・共分散の推定
   4.3. アンティークコイン資産への非平滑化処理
   4.4. 取引コストの反映
5. 最適化
   5.1. 最適化モード(Optimizer)
   5.2. Optimizer適用範囲
6. ツールの見方
   6.1. パフォーマンス指標テーブル
   6.2. フロンティア近接スコア
   6.3. Trace (資産入れ替え機能)

7. 注意事項
8. 免責事項

1. GNAI Portfolio Simulatorとは

GNAI Portfolio Simulator(本ツール)は、アンティークコインを含む複数の資産クラスにわたるポートフォリオ構築を探索するための教育目的のシミュレーションソフトウェアです。『同じ利回りならばリスクは少ない方がいいよね』、『同じリスクならば利回りは高い方がいいよね』という考え方から出発し、その為にはどのような組成比率でそれぞれの資産を組み込むべきかを数学的に表現する為に作られた現代ポートフォリオ理論、特にマーコウィッツ平均分散最適化(Markowitz mean-variance optimization)の枠組みを用いたシミュレーションを行います。

このような分析を行うソフトウェアやこの考え方を活用した全自動資産運用サービスが多数存在しますが、本ツールは**『資産クラスとしてのアンティークコイン』を含めて最適ポートフォリオを模索できる唯一無二**のものです。

アンティークコインは、人間の情動に価値の源泉が由来する『パッションアセット(Passion Assets)』の1つの分野です。パッションアセットは伝統的資産クラスが持つもの(機能や収益機会)とは異なる価値の源泉を有する為、収益率/分散など値動きの特徴が大きく異なります。その為、パッションアセットを組成することにより、資産ポートフォリオ全体がより安定性/堅牢性が増すことが期待されており、それを裏付けるような多くの研究結果も出ています。

しかしながら、アンティークコインの領域でそれを定量的に示すような取り組みはあまり見られません。業界に身を置くプロも、『資産になる』と言いながらも、それが本当なのか、本当だとしても他の資産クラスとどう違いポートフォリオ全体に対してどのような含意を持つのかなど疑問には口をつぐむ傾向にあるという印象を受けます。

本ツールはこのような課題に対して、世界中の様々な地域/時代/状態/希少性を持つアンティークコインの資産価値を指数化した**国際貨幣学資産指数(Global Numismatic Assets Index; GNAI)** のデータを用いたポートフォリオ組成シミュレーションを実装することで、アンティークコインが資産ポートフォリオ全体に与える影響とその現代ポートフォリオ理論的な観点からの効率的組成を可視化します。ユーザーが実際のポートフォリオ配分を操作しながら、様々な最適化目標のもとでのリスク・リターン特性をインタラクティブに探索することができます。

GNAIのインデックス設計思想や開発方法などについては専用のドキュメンテーション(https://coin-analyst.jp/GNAI/gnai-documentation.pdf) をご参照ください。 また、本ツールには姉妹ツールとして先にリリースされている、GNAIの可視化とその他資産クラスの時系列推移とその基本的な統計量の差を可視化するGNAI Viewerもありますので、併せてご覧ください。

両ツール共に、上述のGNAIに加えて、株式・債券・不動産・金・銀の資産分類(アセット)とそれらを構成する13の資産小分類(サブアセット)の全体的な値動きを表現すると考えられるETFを始めとしたデータ系列の、2006年1月以降の月次リターンデータを用いています。

2. 本ツールの機能

2.1 ポートフォリオ設定パネル

画面左側のパネルでは、ポートフォリオの構成に関するパラメータを設定します。ここでの操作・変更は右側のチャートおよび指標テーブルにリアルタイムで反映されます。

項目	概要
現金比率 Cash Reserve	全資本に占めるキャッシュ比率(0〜60%)をスライダーで設定します。「リスク資産に投資しない部分」であり、無リスク金利が適用されます。無リスク金利の詳細については3.2節を参照。一般的には現金比率を増やすほど投資予算が減り、ポートフォリオ全体のリターンは下がりますが、同時にボラティリティも線形に低下します。「安全バッファを持ちたい」、「投資可能な資金の割合を制限したい」といった現実的な条件をシミュレーションに反映できます。
資産配分 Asset Allocation	投資予算(= 100% − 現金比率) 内での各資産クラスへの配分比率をスライダーで設定することができます。複数のスライダーの合計資産配分比率とキャッシュ比率の合計が100%を超えないように調整します。仮にスライドを動かしている最中に合計が100%を超えてしまった場合、動かしているもの以外の資産クラスの組成比率が各クラス均等に減少します。後述の最適化モードがManualとなっている場合のみ操作でき、それ以外の場合は読み取り専用となります。
地域選択 GEO Checkbox	株式・債券・不動産の3つのアセットは、地域別のサブアセットへの分解が可能です。「株式」スライダーを20%に設定しつつ「日本・米国・欧州」の3地域にチェックを入れると、その20%が3サブアセットに均等(約6.7%)に分配されます。しかしながら、例えば日本株のみの組成をする場合の挙動をシミュレーションしたい場合、他の地域のチェックを外すことで日本株のみのパフォーマンスデータが分析に適用されます。

項目	概要
コインTier展開 **Tier Expansion**	冒頭で紹介したGNAIドキュメンテーションの4.2節にもある通り、アンティークコインは種類層によって市場参加者も資産としての挙動も大きく変わる為、その現実を可能な限り反映すべく、指数の組成過程の中でLow/Mid/Highの3つのTierに分けられます。既定では全Tierが選択されていますが(つまり全体的なGNAIインデックスデータがシミュレーションに用いられる)、スライダー右側の矢印をクリックすると各Tier別への配分比率を個別に制御できる下位スライダーが展開されます。High Tierのコインにしか資産を投下しない、様々な層のコインを買うが資本投下量に偏りがある場合などのシミュレーションが可能です。同様の展開とサブアセット毎の個別設定は地域選択が可能な他の資産クラスでも行えます。
参照期間 **Lookback Period**	それぞれの資産クラスの収益率やリスクに関わるすべての統計量の推定に使用するデータの過去参照期間を3/5/7/10/15/20年から選択できます。参照期間が短ければ短い程直近の市場構造を強調し、長ければ長いほどより長期的なサイクル特性や、頻繁には発生しない各資産クラスでの市場ショックのサンプルがより豊かに含められた形のシミュレーションが行われます。
最適化モード **Optimizer**	手動(Manual)のほか、4種類の基準による自動最適化モードが選択できます。Manual以外を選択すると、それぞれの基準を適用した場合の最適な配分が計算され、その結果を既存スライダー設定に反映することも可能です。詳細は第5章を参照。
往復取引コスト **Round-trip Cost**	アンティークコインの売買にかかる往復取引コスト(%)の設定が可能です。不動産など他の実物資産と同じように、アンティークコインには取引コストがかかります。大口取引を行うことによって優遇措置が受けられたり、上級者や一流のプロの支援の元(または自分がプロになる!!)取引を行う場合は有利な条件での入口/戦略が確保できますが、それでも0に近づくケースは稀でしょう。既定では(20%)となっており0%-50%の間で設定可能。このパラメータは設定されている参照期間を通じた保有を前提とした一回限りのコストとして反映されます(詳細は第4.4節を参照)。

2.2 効率的フロンティアチャート

画面中心はシミュレーションの結果を描画するエリアです。横軸に年率ボラティリティ(%)、縦軸に年率期待リターン(%)を取り、左側のパネルで選択された(現金保有比率を除く)資産の組み合わせによる『**効率的フロンティア**』を描画します。

効率的フロンティアは「与えられた資産の組み合わせにおいて、同じリターンを達成する配分のうちボラティリティが最も低い点の集合」で、アメリカの経済学者ハリー・マーコウィッツ(Harry Markowitz)が1952年に発表し、その後のノーベル経済学賞受賞にあたる中心的業績となった論文 ”Portfolio Selection”(Journal of Finance)に起源を持つ概念です。

それまでの『いい銘柄を買え』という素朴な投資の考え方(そもそも「いい」って何??)に対して、マーコウィッツはポートフォリオ全体のリスク(分散)とリターン(期待値)の関係を数学的に定式化し、資産の組み合わせによって単一資産では達成できない収益構造が実現できることを示しました。

効率的フロンティアの描画は、「分散投資の恩恵」を視覚化し直感的な理解を促進する点に於いて非常に重要です。相関性が低い資産を組み合わせることで、個々の資産のリスクが打ち消し合い、効率的フロンティアの形状は左上方向(より少ないリスクでより多いリターン)に膨らみます。

伝統的なアセットクラスの中での分散を行うことによってもそのような効果は期待されるのですが、それら資産の多くが金融派生商品を通じた複雑化・高次連動化をしていく中で、市場ショックに対して突発的に同一方向に動くケースが生じてしまうようになりました(2008年のリーマンショック、2018年のVIXショック、2022年の米国利上げなどが好例でしょう)。

国際貨幣学資産指数GNAIの推移データを含めた効率的フロンティアチャートを描画するこのシミュレーションツールを参照するなかで、アンティークコイン(のみでなくより広くパッションアセットがそうなのだが)のような伝統的資産との相関が低い資産クラスを新たにポートフォリオに加えることの価値が数理的に示されます。

チャート上の効率的フロンティアの膨らみが左上に大きいほど、選択した資産の組み合わせによるポートフォリオがリスクを小さくしつつリターンを大きくする可能性が高まるという意味で望ましいと解釈されます。この曲線より左上の領域は理論上存在できない領域であり、フロンティアは到達可能な最良のリスク・リターントレードオフの境界線を表します。

なお、効率的フロンティア上のすべての点が「効率的」なポートフォリオを表現しそれらは無限に存在しますが、投資家ごとのリスク許容度や固有の選好などによってどの点が「その人にとってベスト」かの基準は異なることに注意が必要です。

この概念などを取り巻くことがらについてのもう少し形式的な解説は 4.2 / 5.1 の各節に譲るとして、ここではポートフォリオ設定パネル設定時にこの画面エリアに表示される要素について紹介します。

要素	概要
Your assets (efficient)	ユーザーが設定パネルで選択した、アンティークコイン以外の資産クラス・サブクラスのみを組成したポートフォリオにより構成される効率的フロンティア。青い点線で描かれ、「現在の選択資産の中でどこまで効率化できるか」を示します。
Your assets + num	上記の資産組成にアンティークコイン資産を加えた場合の効率的フロンティア。黄色い実線で描かれ、青い点線より左上に位置していれば、アンティークコイン資産が分散効果により正の効果をもたらしていることを意味します。

要素	概要
Current portfolio	「現状ポートフォリオ」。ユーザーが選択したアンティークコイン以外の資産クラスを設定した配分比率で含めた場合の、資産ポートフォリオのリスク・リターン座標。赤い点で描かれ、効率的フロンティアとの距離が「改善余地」の視覚的表現となります。
Optimized (active)	「最適化ポートフォリオ」。最適化モード(Optimizer)が手動(Manual)になっている時、現在のポートフォリオにアンティークコイン資産を含めた場合のリスク・リターン座標。黄色い点で描かれ、アンティークコインを組成することによるポートフォリオのリスク・リターン構造の変化が認識できます。最適化モードが手動以外の場合、それぞれモードに紐づく基準に最適化されたポートフォリオのリスク・リターン座標が描かれます。詳細は第5章を参照。
”The Trace”	現在の資産ポートフォリオからスタートして、特定の資産クラス間の配分比率を増やしたり減らしたりしたときに、ポートフォリオのリスク・リターン座標がどのように変化するかの軌跡。白い実線で描かれ、自らが保有している資産を別の資産に入れ替えたりすることによって効率的フロンティアに近づくか否かを視覚的に探索するための機能です(設定パネル上の +/- ボタンと一緒に利用、詳細は第6章を参照)。

効率的フロンティアが原点から遠くグラフが見えづらい場合、チャート右上の”axis break”ボタンにより、両軸の原点から途中までの値の表示を省略しチャートの視認性を改善することができます。

2.3 パフォーマンス指標テーブル

チャート上部に、現状ポートフォリオと最適化ポートフォリオの主なパフォーマンス指標が対比表示されます。リスク(Vol、Max DD)、リターン(Return)、リスク調整後の効率性(Sharpe)の4指標について、現状の値と最適化への移行に伴う変化幅が示され、最適化(特にアンティークコイン資産の組成)がポートフォリオに与える影響を数値で把握できます。 それぞれの詳しい定義は6.1節に譲ります。

2.4 貨幣学インデックス(Numismatic Index)タブ

「Numismatic Index」タブはポートフォリオ組成のシミュレーションに使われる各資産クラスに関する時系列データを可視化します。

姉妹ツールのGNAI Viewer(https://coin-analyst.jp/GNAI/viewer.html) の機能を踏襲しているので詳しい解説はGNAIドキュメンテーションに譲りますが、本ツールのシミュレーションに用いている国際貨幣学資産指数GNAI及び各資産クラスのデータの収益/リスク/相関性に関する基本的なデータが確認できます。

3. データソース

3.1 伝統的資産クラスデータ

伝統的資産クラスのリターンは、各資産クラスを代表すると判断された市場データの月次調整済み終値に基づいて計算されます。

資産クラス	地域	ティッカー	概要	データ開始	備考
株式	日本	EWJ	iShares MSCI Japan ETF — 日本の大型・中型株	2006-01	
株式	米国	SPY	SPDR S&P 500 ETF — 米国大型株	2006-01	
株式	欧州	EZU	iShares MSCI Eurozone ETF — ユーロ圏株	2006-01	
株式	他先進国	EPP	iShares MSCI Pacific ex-Japan ETF	2006-01	
株式	新興国	EEM	iShares MSCI Emerging Markets ETF	2006-01	
債券	日本	JGB	日本10年国債リターン	2006-01	JPYUSD換算
債券	先進国	IGOV	iShares International Treasury Bond ETF	2009-01	
債券	新興国	EMB	iShares J.P. Morgan USD EM Bond ETF	2007-12	
不動産	日本	1343T	NEXT FUNDS 東証REIT指数連動型ETF	2008-09	JPYUSD換算
不動産	米国	VNQ	Vanguard Real Estate ETF	2006-01	
不動産	国際	IPRPL	iShares International Developed Property ETF	2009-01	GBPUSD換算
コモディティ	国際	GLD	SPDR Gold Shares 金	2006-01	
コモディティ	国際	SLV	iShares Silver Trust 銀	2006-01	

(前ページより続く)

資産クラス	地域	ティッカー	概要	データ開始	備考
代替資産	国際	GNAI	Global Numismatic Assets Index 貨幣学市場	2006-01	

3.2 無リスク金利

無リスク金利とは、投資家が短期米国政府証券を保有することで実質的にリスクなしに得られるリターンを意味します。これをr_fと表記し、投資はこの金利を上回って初めてリスクを取る価値があるという解釈が採用されます。

本ツールでは、ユーザーがメインパネル上部で設定した参照期間と同期した月次T-Bill金利の実績値(FREDのTB3MSシリーズ)を超過リターン及びシャープレシオの算出に使用します。たとえば10年の参照期間を選んだ場合、r_fは過去10年間の月次T-Bill金利の算術平均です。2006年から2026年にかけてのT-Bill金利は4〜5%台(2006〜2007年)から0%付近(2010〜2021年)、再び5%台(2023〜2024年)まで大きく変動しており、参照期間の選択がシャープレシオの値に大きく影響することに注意が必要です。

3.3 為替レート

本ツールはすべての計算をUSD建てで統一しています。JPY建て(日本国債券の代替指標であるJGBと日本不動産の代替指標である1343T)およびGBP建て(全世界不動産の代替指標であるIPRPL)については、月次の為替レートを用いてリターンをUSDに換算します。これらの為替換算は、ツール起動時にデータ読み込みの段階で全期間にわたって一度だけ実行されます。例えば円高(USD/JPYの低下)は現地通貨ベースのリターンがゼロでもドルベースでのプラスリターンを生み、JPY・GBP建てアセットの統計量はこのような事象の影響を受けることを念頭に置いて解釈することが重要です。

4. 数理モデル

この章では、前章で収集した各資産クラスの月次リターンデータを用いて最適なポートフォリオ組成算出に用いられている数学的手順について記述します。この手順は、収集されたデータに対する欠損値処理、分散共分散構造(特定の資産クラス間のリターンとバラつきの関係性)の特定、アンティークコイン指数の組成プロセスに潜む人為的平滑化の補正、アンティークコイン資産の取引コストの反映、という各ステップから成り立ちます。

4.1 欠損データ処理

本ツールはすべてのリスク・リターン統計量を、ユーザーが選択した参照期間(3・5・7・10・15・20年)の直近月次データのみから推定します。過去の全期間のみでなく直近データへの限定を可能にするのは、資産間の相関構造やボラティリティ水準が時代によって大きく変化するためです。たとえば2008〜2009年の金融危機時には株式・不動産・新興国債券の相関が一斉に高まり、分散効果が大幅に低下しました。20年の参照期間はこのような危機の発生リスクを前提とした分析を可能にします。一方、3年の参照期間は直近の市場構造を鮮明に反映する反面統計的ノイズの増大も孕みます。参照期間の選択は単なる計算上の設定ではなく、「どの市場環境を将来の基準とみなすか」という分析者の判断を表しています。(個人的には長ければ長い方がいいと思ってはいますが...)

各資産クラスの代替指標として用いられるETFの中にはデータ開始年月が最大の参照期間である20年前よりも直近であるものも含まれており、それまでの月次リターン系列に欠損(null)が生じます(3.1節を参照)。欠損値を無視すると、資産クラスごとに「計算に使われる月」が異なってしまいます。たとえば日本REITは2006〜2008年にデータが存在しないため、この範囲を含む参照期間では「日本REITは2009年以降のデータ」・「他の資産は2006年からのデータ」という土俵がずれた形の比較がされてしまいます。これは本ツールが立脚する数理的モデルのステップに歪みを与え、資産間の真の連動関係を正しく捉えられなくしてしまいます。

それを避ける為に、欠損データに対して**EMアルゴリズム(Expectation-Maximization)**による補完が行われます。

このアルゴリズムは以下の2ステップを交互に反復します。**Eステップ**では、欠損していないデータから推定されている平均収益率と分散の値 $(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma})$ のもとで、各月の観測済み変数の集合 O、欠損変数の集合 M として、欠損値を以下の多変量正規分布の条件付き期待値によって補完します。

$$\mathbf{E}[X_M \mid X_O] = \boldsymbol{\mu}_M + \boldsymbol{\Sigma}_{MO}\boldsymbol{\Sigma}_{OO}^{-1}(X_O - \boldsymbol{\mu}_O) \tag{1}$$

この式に於いて、$\boldsymbol{\mu}_M$ は欠損資産の長期平均リターンのベクトルを表します。何の情報もない状態での最良の推測値はその資産の長期平均だという思想を採用し、出発点としてその水準を用います。たとえば日本REITの長期平均リターンが月次0.5%程度であれば、追加情報がない限り補完値もこの値の近傍であるべきことは想像に難くないでしょう。

$(X_O - \boldsymbol{\mu}_O)$ はその月に観測されている資産の価格水準が長期平均からどれだけ外れているかを示すベクトル。それぞれの時点で観測済み資産がどの程度「ニュース」あるいは「サプライズ」の要素を持っていたかを表す値として解釈できるでしょう。例えば米国株(SPY)の長期平均が月次+0.7%で、当月の実際のリターンが+5%だった場合、SPYにはその月+4.3%分の何らかの理由による「サプライズ」があったと考えることができます。すべての資産が平均通りの動きをした月にはこのベクトルは0となり補完値は単に各資産の長期平均そのものになりますが、平均からの乖離が各月で見られれば見られる程、この項の値も大きくなります。

$\boldsymbol{\Sigma}_{MO}\boldsymbol{\Sigma}_{OO}^{-1}$ — 観測データが揃っている資産の上述の「サプライズ」をデータが欠損している資産の「サプライズ」に「翻訳」する回帰係数行列。これは欠損資産を観測済み資産に対して回帰した際の最小二乗回帰係数であり、「観測済み資産が1単位動いたとき、欠損資産は何単位動くと予測されるか」を表します。たとえば米国株と欧州株の相関が0.7程度でボラティリティが類似していれば、欧州株のデータが欠損していたとしても米国株が+4.3%のサプライズを持つと分かっている場合、欧州株は約+3%分に相当するサプライズを持っていただろうという推論を行う為の項となります。

3つを組み合わせると、補完値は「長期平均 + 観測済み資産のサプライズが回帰係数を通じて伝播した分」となります。たとえば上記の例では、欧州株の補完値は「欧州株の長期平均 + 約3%のサプライズ分」となります。

Mステップでは、Eステップで埋められた完全データを用いて、平均と共分散を再推定します。月数を T、t 月の完全データベクトル(観測値+補完値)を X_t^{full} として、

$$\boldsymbol{\mu}^{\text{new}} = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} X_t^{\text{full}} \tag{2}$$

$$\boldsymbol{\Sigma}^{\text{new}} = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}(X_t^{\text{full}} - \boldsymbol{\mu}^{\text{new}})(X_t^{\text{full}} - \boldsymbol{\mu}^{\text{new}})^{\top} \tag{3}$$

Mステップは、Eステップで補完されたデータを「真の観測値」として扱い、そのもとで最も尤もらしい平均と共分散を計算する操作です。

最初の式 $\boldsymbol{\mu}^{\text{new}}$ は補完済データの月次平均ベクトルで、各資産の補完後の新しい長期平均推計値を表します。2つ目の式 $\boldsymbol{\Sigma}^{\text{new}}$ は新しい平均からの各月の偏差を用いて計算する共分散行列で、各資産ペアの共動関係を更新するものです。

新しい $(\boldsymbol{\mu}^{\text{new}}, \boldsymbol{\Sigma}^{\text{new}})$ は次の2回目のEステップに渡され、補完値も再更新されます。Eステップ(現在の $(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma})$ で欠損値を埋める)とMステップ(埋まったデータから新しい $(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma})$ を計算する)を複数回繰り返していくことによって、データの対数尤度を単調に増加させ最尤推定量に収束すること(すなわち、観測データに対する予測のもっともらしさが毎回向上し、最終的には観測データを最も自然に正しく説明する最良の推定値に落ち着く)が理論的に保証されています。本ツールではこの反復を**8回**実行します。これは月次リターンデータの典型的な欠損パターンに対して平均と共分散の値が小数点以下数桁の精度で安定するのに十分な回数で、計算コストとのバランスを考慮した実用的な選択です。

4.2 リターン・共分散の推定

欠損補完後の完全な月次リターン行列から、すべての最適化・表示計算の基礎となる統計量を推定します。平均リターン・ボラティリティ・共分散行列の3種類の統計量がマーコウィッツ最適化の唯一の入力であり、本ツールが「どのポートフォリオが最も良いか」を判断する根拠は、これらによってのみ提示されます。

年率平均リターン μ_i は「この資産は過去に年間平均でどれだけの収益があったか」を表します。年率の指標は月次リターンの算術平均の12倍として算出されます。

年率ボラティリティ σ_i は「収益のブレ幅」の標準的な尺度であるリターンの標準偏差です。標準偏差とは、各月のリターンが平均からどれだけ離れているかの平均的な大きさを表し、データのばらつきの度合いを定量的に示す統計量です。年率の指標は月次標準偏差の $\sqrt{12}$ 倍として算出されます。「$\sqrt{12}$倍」という変換は、リターンが時系列相関のない独立同分布に従うという仮定のもとで分散が時間に比例するという性質($\sigma^2_{\text{annual}} = 12 \cdot \sigma^2_{\text{monthly}}$)によるものです。

年率共分散行列 $\boldsymbol{\Sigma}$ は月次共分散の12倍として算出されます。共分散 Σ_{ij} は「資産 i と資産 j がどの程度同じ方向に動くか」の尺度であり、ポートフォリオのリスクを決定する中心的な要素です。このツールではその尺度を、各資産クラスと他の全ての資産クラスに対して縦14行かける横14列の表を使って記述するので、共分散「行列」となります。これと、実際にどれだけの資産をどれくらい組成しているかで、ポートフォリオ全体の分散(ばらつき)が以下のように与えられます。

$$\sigma_p^2 = \mathbf{w}^\top \boldsymbol{\Sigma} \mathbf{w} = \sum_i \sum_j w_i w_j \Sigma_{ij} \tag{4}$$

最右辺のw_iとw_jは各資産クラスの組成比率、それを「資産 i と資産 j がどの程度同じ方向に動くか」の尺度であるΣ_{ij}と掛け合わせることで2つの資産を特定の比率で保有した場合のポートフォリオの分散がわかります。それを全ての資産(全ての可能なiとj)の組み合わせに対して行うことで、ポートフォリオ全体の分散が1つの値として求められます。

(この最右辺は解釈がしやすい展開形となっていますが、中央の辺はポートフォリオ内の資産組成重みベクトル$\mathbf{w} = (w_1, w_2, \ldots, w_n)^\top$ を用いた行列表現で、一般的に用いられる、よりすっきりした表記です。)

この式のとおり、ポートフォリオ全体の分散は **対角項**($i = j$の場合)と **非対角項**($i \neq j$の場合)を加味して計算されます。前者は特定の資産を単独で保有するリスクを、後者は特定の2つの資産クラスを組み合わせて保有する際のリスクの緩和/増幅への貢献度合いを表します。即ち、ポートフォリオのリスクは各資産の単独リスクの単純平均ではなく、資産間がどれだけ似たような動きをするのか(共分散)に大きく依存することがわかります。特定資産の組み合わせが正の共分散を持つならば非対角項が正となりポートフォリオ分散を押し上げます。これが負であった場合、ポートフォリオ全体のボラティリティをいずれの単独の資産よりも低くすることが理論上可能であり、これが世の中で謂われる「分散投資の効果」の存在を示す数学的根拠となります。

これを用いて各資産クラス間の相関係数や各種パフォーマンス指標が算出されます。

4.3 アンティークコイン資産への非平滑化処理

他の資産クラスに関わる指数は毎日取引所で価格が更新されますが、アンティークコインは特定コインが出品されるオークションが開催されたタイミングでしか取引価格が観測されません。GNAIはオークション間の月次リターンを幾何的に按分することで連続した月次系列を生成しますが(詳細はGNAI方法論ドキュメントを参照)、この操作は必然的に月次リターンの変動を平滑化します。

この平滑化はアンティークコインと他の資産クラスとの比較に於いて重大な問題を生じさせます。例えばあるコインが2月と5月にしか落札されず、後者の落札価格が前者の30%増の水準だったとします。GNAIの方法論ではこの30%の上昇を3・4・5月に均等に按分しますが、実際の価格変動が2月に集中していた可能性があります。この按分操作によって月次リターン系列には強い自己相関(今月のリターンと先月のリターンの間の相関)が人為的に生じます。この自己相関は標準偏差推定量を過小評価させ、観測されるボラティリティを真の市場リスクよりも低く見せます。(本来ジグザグに動いていたはずの価格を、間が見えないからと言って直線で結んでしまっているわけなので、バラつきが少ないように見えてしまうのは当然でしょう。)期待収益がより低いリスクで達成されるように見えてしまう為、最適化計算がアンティークコイン資産を他の資産に対して不当に選好することとなってしまいます。

本ツールはこの問題を**GLMアンスムージング処理**(Getmansky, Lo, & Makarov, 2004)の枠組みに基づいて補正します。この手法はもともとヘッジファンドの報告リターンに含まれる平滑化バイアスを除去するために開発されたもので、構造的に同様の問題を抱えるアンティークコイン指数にも適用可能です。以下にGLM処理の発想と数式表現、本ツールが採用する簡略化/カスタム化された実装とその技術的/思想的正当性の順に説明します。

この処理の考え方は次のとおりです。データが疎なコインのリターン系列で行われるような直線や曲線による按分は、複数月の累積価格変動を均等に分散させる『平均化』の操作です。

たとえば3ヶ月で合計+30の価格変動があった場合、GNAIの按分処理は3ヶ月にわたって$(+10, +10, +10)$という均等な月次変動量を生成します。しかし本来の真の価格変動は$(+30, 0, 0)$であった可能性も、$(0, 0, +30)$も、$(+45, -15, 0)$も、いずれも合計が+30である限り按分処理は同じ$(+10, +10, +10)$の観測系列を生成します。すなわち按分処理は「真の系列の合計」だけを保存し、内部のばらつきや変動のタイミングといった情報をすべて潰してしまいます。したがって、観測される月次分散は真の分散より系統的に小さくなります。

このような平滑化の統計的影響を構造的に扱うため、Getmansky-Lo-Makarov (2004) は観測される月次リターン r_t^o を、真の月次リターン r_t^* の過去数ヶ月にわたる加重平均として表現する枠組みを提案しました:

$$r_t^o = \theta_0 r_t^* + \theta_1 r_{t-1}^* + \theta_2 r_{t-2}^* + \cdots \tag{5}$$

ここで θ_k は「真のリターンがkヶ月後の観測値にどれだけ滲み出しているか」を表す加重係数で、平滑化の強さを表現するパラメータです。たとえば均等な3ヶ月按分は $\theta_0 = \theta_1 = \theta_2 = 1/3$ という設定に対応します。

この枠組みは特定の平滑化方式を直接記述するものではなく、按分処理を含む様々な平滑化方式に共通する統計的性質(分散圧縮・自己相関の発生)を捉える構造表現です。実際のGNAIの按分処理はオークション頻度により按分期間が時期や銘柄ごとに変動する非定常なものですが、観測リターン系列に残された自己相関の足跡から「サンプル全体を通じた平均的な平滑化の強さ」を推定しこれを用いて分散を補正するというGLMの枠組みは、こうした設定でも実用上機能することが知られています。

ならされた系列にはこの按分の痕跡が**自己相関**(今月と先月のリターンの連動度合い)という形で残ります。按分が強いほど自己相関も強くなる関係があるため、先に観測系列の自己相関を測ることで θ_k を推定するという、ゴールから始めてスタートに向かう後ろ向きの推論で真の分散を復元することができます。

形式的には、観測された平滑化済みリターン系列の自己相関構造から「観測分散が真の分散の何割を捉えられているか」を表す分散比率 $\hat{q}$ を以下のように推定します。

$$\hat{q} = \frac{1}{1 + 2\displaystyle\sum_{k=1}^{6} \frac{\hat{\rho}_k}{1 - \hat{\rho}_k}} \tag{6}$$

- $\hat{\rho}_k$はラグ k $(k = 1, \ldots, 6)$ における観測リターン系列の自己相関係数。「今月のリターンがkヶ月前のリターンとどの程度相関しているか」を表します。日次価格付けがされる通常のETFではこの値はほぼ0ですが、按分操作によって平滑化された系列では正の値となります。
- $\dfrac{\hat{\rho}_k}{1 - \hat{\rho}_k}$は各ラグの自己相関を「分散の漏れ」に変換する項。自己相関が高いほどこの値は急激に大きくなり$(\hat{\rho}_k \to 1$ のとき発散)、分散比率 $\hat{q}$ を強く押し下げます。
- 分母 $1 + 2\sum_{k=1}^{6}(\cdot)$の、1 は平滑化が一切なければ $\hat{q} = 1$ となるためのベースライン項、$2\times$ は自己相関の対称性(過去kヶ月前との相関と未来kヶ月後との相関が等しい)を反映する係数、$\sum_{k=1}^{6}$ は6ラグ分の自己相関の累積補正を表します。(月次データではLag 6 以降の自己相関は実質的にゼロとなるため、この範囲で十分とされています。)

上記により計算される$\hat{q}$ は 「観測された分散と真の分散の比率」となります。値の範囲は$0 < \hat{q} \leq 1$ で、$\hat{q} = 1$ は平滑化なし(自己相関がすべて0)、$\hat{q}$ が小さいほど強い平滑化を意味します。これを用いて、補正後分散は以下のように算出されます。

$$\hat{\sigma}^2_{\text{true}} = \frac{\hat{\sigma}^2_{\text{obs}}}{\hat{q}} \tag{7}$$

$\hat{q} < 1$ であれば観測分散が真の分散を過小評価していることになり、補正後の分散は観測値より大きくなります。たとえば $\hat{q} = 0.5$ であれば真の分散は観測分散の2倍

と推定され、ボラティリティ(σ)は$\sqrt{2} \approx 1.41$倍に拡大します。

上記の枠組みに対して、本ツールは以下の簡略化/カスタム化された形を採用しています:

$$\hat{q}^{-1} = 1 + 2 \sum_{\substack{k=1 \\ \hat{\rho}_k > 0}}^{6} \hat{\rho}_k \tag{8}$$

元のアプローチとの違いは以下の2点です:

- 各ラグの寄与を $\hat{\rho}_k/(1-\hat{\rho}_k)$ ではなく $\hat{\rho}_k$ そのものとしている。
- 総和の対象を「正の自己相関のみ」に限定している(負の自己相関 $\hat{\rho}_k < 0$ を持つラグは補正に寄与させない)。

1点目に関しては、処理の数値安定性を担保するという考え方で採用した簡略化です。本ツールが対象とするGNAI集約系列の自己相関は比較的穏やかであり、この簡略形は完全なGLMアンスムージング手続きと非常に近い結果を与えます。推定を殆ど犠牲にせずに安定的な挙動を担保できることがこの簡略化の採用を正当化する理由です。

2点目に関しては、この非平滑化が明確な特定の目的を持っていることに由来するカスタム化です。GNAIの算出ステップには明示的に定義された平滑化の処理が存在し、この処理が時系列のバラつきを抑える働きがあること、その働きが**正の自己相関**(条件 $\hat{\rho}_k > 0$)として観測されることが『確実』に分かっています。**負の自己相関**(条件 $\hat{\rho}_k < 0$)も観測されることはありますが、今回の平滑化以外の現象に由来する可能性が高い上、それを明確に切り分けることが困難なものです。負の自己相関を補正対象に含めると、これらの「平滑化と無関係な現象」が補正効果を相殺する形で分散推定値を引き下げる可能性が生じます。

補正処理を「平滑化の統計的痕跡(=正の自己相関)のみに応答する」ようカスタム化し、それ以外の自己相関パターンが補正に影響することを許しません。結果として、アンティークコイン資産に関する分散推定値は構造的に保守的(リスクを過小評価しない方向)へ偏ります。これは本ツール運用者が、アンティークコイン資産の収益・リスクの相対的魅力を過大に表現するインセンティブを持つ業界の文脈において、可能な限りの中立性/客観性を構造的に確保するための重要な設計選択です。

注記

この補正は、アンティークコイン資産のVol・Sharpe・Sortinoの表示値、および最適化エンジンに渡される共分散行列のアンティークコイン資産に関わる全要素に適用され、したがって最適化結果にも反映されます。日次の連続的な価格付けがなされている伝統的資産ベンチマーク(ETF)にはこの問題が本質的に存在せず、補正は適用されません。

4.4 取引コストの反映

アンティークコイン資産には株式や債券などと違い、無視できない水準の取引コストが存在することが非常に多いです。主要なオークションハウスで落札額に対してBuyer's Premiumが15〜25%程度課されることなどは、既に貨幣学市場に参加している方々にとって常識でしょう。このコスト構造を無視してGNAIのグロスリター

ンをアンティークコインを実際にポートフォリオに組成した場合の収益として他の伝統的資産と直接比較すると、最適化がアンティークコイン資産を過度に選好するバイアスが生じます。

本ツールは、ユーザーが指定した往復コスト $c(\%)$を「当該振り返り期間全体を通じて保有した投資家が受ける購入時・売却時の一回限りのコスト」として、振り返り期間の最初と最後の月のリターンに直接適用することで統計量に反映します。コストの半分を「買いコスト」、半分を「売りコスト」とした調整を行います。

この処理は「振り返り期間を一つの投資期間とみなし、その開始時点で買いコスト、終了時点で売りコストを一回ずつ計上する」という簡易的なコイン売買のコスト構造反映方法です。実際には毎回の売買のたびにコストが発生しますが、まあそもそもコインは長い期間愛でていくものですので、このツールでの簡易的なコスト反映方法は思想的に健全なものでしょう(圧)

5. 最適化

5.1 最適化モード(Optimizer)

本ツールは5種類の最適化モードを提供します。Manualモード以外を選択すると指定された目的関数のもとで最良のポートフォリオが自動的に算出され、その結果に基づきユーザーの資産配分スライダーの上書きが可能です。

モード	目的	概要と使用場面
Manual	(最適化なし)	ユーザーが手動でスライダーを操作してポートフォリオを構築する。最適化エンジンは起動しない。「自分の現在の資産配分と効率的な配分との乖離を確認したい」「特定の制約を課した配分を試したい」という用途に適する。他の最適化モードの結果と現状ポートフォリオの位置を比較するベースラインとしても機能する。
Max Sharpe	シャープレシオ最大化	「リスクを1単位取ることで無リスク金利をどれだけ上回れるか」の効率を最大化する配分を求める。シャープレシオ $(\mu_p - r_f)/\sigma_p$ は、ポートフォリオのリターンから無リスク金利を差し引いた超過リターンをボラティリティで割ったものであり、「リスク1単位あたりの稼ぎ」を表す。古典的な現代ポートフォリオ理論において「リスク調整後で最も効率的な配分」として位置づけられる基準的なポートフォリオであり、純粋に効率的な配分を知りたい場合に参照するもの。
Target Ret	目標リターン達成	ユーザーが指定した年率リターン目標(CAGR目標)を達成しつつ、ボラティリティを最小化する配分を求める。「老後の資産形成のために年率5%は必要」「インフレ率を2%上回るリターンが欲しい」といった具体的な目標リターンが先にある場合に適する。

モード	目的関数	概要と使用場面
Target Vol	目標ボラティリティ達成	ユーザーが指定した年率ボラティリティの上限内で、リターンを最大化する配分を求める。「ポートフォリオのブレ幅を年率10%以内に抑えたい」「前回の金融危機時のような大幅変動は心理的に耐えられない」といったリスク許容度が先にある場合に適する。
Min Drawdown	最大相対ドローダウン最小化	平均分散最適化の枠組みに収まらない「下落の深さ」に直接着目した最適化モード。ボラティリティは上下対称な変動を測るが、投資家が実際に苦痛を感じるのは下落局面の連続的ドローダウンであり、これは正規分布の仮定からは十分に捉えられない。本モードは過去の月次リターン系列に実際のウェイトを適用して月次ポートフォリオリターンを算出し、「全期間にわたるピーク時点からの最大累積損失」(最大相対ドローダウン)を目的関数として直接最小化するウェイトを探索する。勾配降下法による250イテレーション×4回の独立再スタートの手順を踏むため、最適化に時間がかかる場合がある。

5.2 Optimizer適用範囲

最適化の適用範囲(Scope)は、「どの資産を候補として最適化するか」を決定する重要なパラメータです。同じ目的関数・同じ振り返り期間であっても、組成対象とする資産が変わればフロンティアの形状も最適解も大きく変わります。組成対象資産の拡大は理論上フロンティアを左上方向にシフトさせます(より多くの分散化機会が利用可能になるため)。

Scope	対象資産	概要と使用場面
All Assets	全資産クラス	振り返り期間内でデータが利用可能な全資産クラスを対象に最適化する。ユーザーの配分設定に依存しない理論的上限を示す。「全資産クラスを組成することで理論的にどこまで効率化できるか」を知るためのリファレンス。現状ポートフォリオや他Scopeの最適解との距離はそれらがどれだけ「探索されていない潜在的な改善余地」を残しているのかを表す。
User Only	ユーザー選択資産クラスのみ	ユーザーが配分パネルでアロケーションを付与した資産クラス(アンティークコイン資産を除く)のみを対象に最適化する。「現在保有している資産の中でもっとも効率的な配分を求めたい」というシナリオに対応する。
User + Num	ユーザー選択 ＋ コイン資産クラス	ユーザー選択資産にアンティークコイン資産を加えた場合の最適化。「アンティークコイン資産を追加した場合にフロンティアがどれだけ改善するか」を User Only のフロンティアと直接比較できる。このScopeで得られた最適ウェイトのうちアンティークコイン資産に割り当てられた比率が、純粋に分散効果の観点から見た「理論上の適正配分」の参考値となる。

6. ツールの見方

6.1 パフォーマンス指標テーブル

チャート上部の指標テーブルは、現状ポートフォリオと最適化ポートフォリオの4つのリスク・リターン指標を比較するためのものです。これらの指標はすべて振り返り期間の月次リターンデータから計算されており、「その振り返り期間を丸々保有した場合の実現値の事後的な要約統計量」として解釈されます。将来のリターンやリスクを保証するものではありません。

フロンティアチャートは投資に回される資金 w_{inv} のみで描画されるのに対して、指標テーブルは現金保有分を含むポートフォリオ全体 $w_{\text{inv}} + (1 - w_{\text{inv}})$ に対しての数値を表示します。ですので、現金保有比率が0より大きい場合、指標テーブルのリターン・ボラティリティはチャート上に描画されている点の座標と一致しないので、注意が必要です。

指標	定義	解釈
Return	$\mu_p \cdot w_{\text{inv}} + r_f \cdot (1 - w_{\text{inv}})$	ポートフォリオ全体の年率期待リターン。投資部分の振り返り期間中の年率算術平均リターン μ_pに、現金保有部分の金利収入を加算したもの。現金部分は現在のT-Bill金利で確定的に運用されると仮定しています。
Vol	$\sigma_p \cdot w_{\text{inv}}$	ポートフォリオ全体の年率ボラティリティ。現金保有は確定的なリターンをもたらすと仮定してあるためポートフォリオ全体の変動に寄与しないという考えのもと、投資部分のボラティリティ σ_p と投資比率 w_{inv} をかけて算出します。
Sharpe	$\frac{\mu_p - r_f}{\sigma_p}$	シャープレシオと呼ばれる、投資部分のリスク調整後リターン。「無リスク資産の代わりにリスク資産に投資することでリスク1単位あたりどれだけの追加リターンを得たか」を示す。分子 $\mu_p - r_f$ は振り返り期間の投資部分の実績平均リターンから無リスク金利を差し引いた超過リターン、分母 σ_p は年率ボラティリティ。シャープレシオが0.5であれば「ボラティリティ1%あたり0.5%の超過リターン」を意味します。

指標	定義	解釈
Max DD	$\max_t \frac{\max_{s\le t} W_s - W_t}{\max_{s\le t} W_s}$	最大相対ドローダウン。振り返り期間内の月次リターン系列に実際のウェイトを適用して月次ポートフォリオ価値(W)の推移を再現し、その全時点にわたる「過去の最高値からの最大累積下落率」を計算したもの。相対最大ドローダウンは他のリスク指標と違いポートフォリオが実際に経験する最悪シナリオの記録であり、投資家の心理的耐性との照合に有用です。

6.2 フロンティア近接スコア

フロンティア近接スコアは、「現在のポートフォリオが効率的フロンティアからどれだけ離れているか」を0〜100の単一の数値に集約した指標です。このスコアは「改善可能な余地がどれだけ残っているか」の定量的な評価であり、100であれば当該Scopeのフロンティア上に完全に位置していることを意味します。スコアが低いほど、同じリスクでより高いリターンを得るか、同じリターンをより低いリスクで達成できる余地があることを示します。

Optimizerのモードを変更することによって算出される近接スコアも異なります。

モード	スコア名	算出ロジックと読み方
Manual	Frontier Proximity	リスクリターン空間(横軸:ボラティリティ、縦軸:リターン)において、現状ポートフォリオの座標から最も近い効率的ポートフォリオまでの距離を計算し、これを経験的に設定された参照定数を用いて正規化スコアを算出します。現状ポートフォリオの効率的フロンティアからの距離を測る最も汎用的な指標。
Target Vol	Return Efficiency	「現在のポートフォリオと同じボラティリティ水準でフロンティアはどれだけのリターンを達成できるか」を調べ、その差 Δrを経験的に設定された基準値を用いて正規化する形でスコアを算出します。同じリスクを取りながら年率5%以上のリターンを取り逃がしている場合にスコアが0に近づきます。

モード	スコア名	算出ロジックと読み方
Target Ret	Risk Efficiency	「現在のポートフォリオと同じリターン目標をフロンティアはどれだけ低いボラティリティで達成できるか」を調べ、そのボラティリティ差 $\Delta\sigma$を経験的に設定された基準値を用いて正規化する形でスコアを算出します。同じリターンを得るために年率8%以上余計なリスクを取っている場合にスコアが0に近づきます。
Max Sharpe	Sharpe Efficiency	フロンティア上で達成可能な最大シャープレシオに対する現状ポートフォリオのシャープレシオの比率。現在配分がどれだけリスク効率を達成しているかを示し、スコア70であれば「理論上最も効率的な配分のシャープレシオの70%を達成している」と解釈できます。
Min DD	Drawdown Resilience	1,500件のポートフォリオをランダムに生成し、各ポートフォリオの最大ドローダウンの分布を計算します。その分布に対して、現状ポートフォリオの最大ドローダウンが何%分位点に位置するかをスコアとして算出します。スコア85は「ランダムに生成したポートフォリオの85%より最大ドローダウンが小さい」ことを意味します。

6.3 Trace (資産入れ替え機能)

トレース機能は静的な算出結果を出力しているフロンティアチャートを動的な探索ツールに拡張します。「アンティークコイン資産への配分比率の増減がポートフォリオのリスクリターンパフォーマンスにどのような影響を与えるのか」「特定の資産クラスへの配分比率を増やしたいが、どの資産を代わりに手放せばより効率的なポートフォリオになるのか」といった問いに対して、スライダーを動かさずに視覚的に確認できる非常に便利な機能です。現金を含めた各資産クラス名の横に「+」「−」ボタンが表示されており、いずれか一方を少なくとも一つの資産に対してオンにすることでTraceが有効化されます。

プラス/マイナスのうち片方が選択されている場合、ボタンが有効になっている全ての資産グループ全体の配分が0%から100%までスキャンされます。保有比率の増減スキャンは、ボタンが有効化されていない資産グループへの配分比率を現在の比率から比例的に縮小/拡大し、その縮小分をボタンが有効化されている資産グループへ比例的に拡大/縮小する形で行われます。フロンティアチャート上には、この連続的な変化によってポートフォリオの座標が描く軌跡が曲線として表示されます。軌跡がフロンティアに向かって左上方向に進むなら「その資産を増やすことが効率化に寄与する」ことを意味します。

プラス/マイナス両方が選択されている場合、+/−の資産グループから−/+の資産グループへの配分移転をスキャンします。資産移転は『均等ステップ』で行わ

れ、$+/-$側の資産グループは同じ移動幅 Δ だけ配分が増減し、$-/+$側の資産グループはその増減合計幅 $N_{\pm} \cdot \Delta$ を均等に分担して保有比率を減少させます。たとえば$-$株式・$-$債券・$+$不動産の設定で不動産スライダーを10%増やす場合、株式と債券がそれぞれ5%減少します。

トレース軌跡はスライダーの操作に合わせてリアルタイムに更新されるため、現状ポートフォリオを起点とした感度分析ツールとして機能します。スコープ(All Assets / User Only / User+Num)を切り替えてそれぞれのフロンティアに対してトレースを比較することで、各資産追加の分散効果を相対的に評価できます。

7. 注意事項

注意事項	概要
遡及的構築	本ツールが参照するGNAIおよびすべてのETFデータは、現時点で入手可能な過去データに基づいて遡及的に構築されたものです。これらの統計量は「もし当時からこの資産に投資していたら」という仮定のもとでの事後的な計算であり、将来の市場動向を予測するものではありません。
ロングオンリー制約	本ツールのすべての最適化はロングオンリー制約($w_i \geq 0$)のもとで行われます。空売り・レバレッジは一切考慮されません。空売り可能な理論的フロンティアと比較して、ロングオンリー制約のフロンティアは特定の資産間の相関構造が高い場合に著しく制限される場合があります。本ツールの結果はあくまでロングオンリー制約のもとでの最良解であることを念頭に置いてください。
正規分布の仮定	マーコウィッツ平均分散最適化の理論的基礎は、資産リターンが多変量正規分布に従うという仮定にあります。 しかし現実の資産リターン分布は一般的に正規分布より裾が厚いロングテール分布であることが広く知られています(マーコウィッツの現代ポートフォリオ理論をこの側面から批判した数学者・経済学者のマンデルブロは、金融市場の収益系列は様々なロングテール分布の中でもレヴィ安定分布に従うと指摘しました)。つまり正規分布を仮定すると、ボラティリティが小さくてもまれに生じる大きな損失の発生リスクが系統的に過小評価されることを意味します。 この過小評価の度合は資産クラスによって異なります。断続的な取引データと相関性スパイクが比較的頻繁に確認される伝統的資産クラスは過小評価の度合が大きく、構造上日次的な急激な値動きの観測がないアンティークコイン資産に関しては過小評価の度合が前者と比較して小さいと考えられます。しかしながらアンティークコイン資産には他の各資産には観測されない程度に大きな流動性リスクが存在しますので、仮に多変量正規分布の仮定でリスク構造が若干コインに有利に傾いていたとしても、流動性リスクを考慮したら全ての資産クラスが概ね横並びの系統誤差を持つのではないかと予想します。あくまで予想であり、これらをモデリングすることはこの無料ツールの目的や範囲を遥かに凌駕することとなる上、技術的にも学術的にも相当踏み込んだ領域となるのでこれ以上は議論しませんが、このような限界が存在しそれをどう解釈すべきかはこのツールの利用者として認識しておくべきであると考えます。

注意事項	概要
	本ツールとしてはこのような制約に対し、最大相対ドローダウンをベースにした指標と最適化モードを提供しています。このモードは収益系列の分布に対しての仮定を置かず、過去の時系列データからランダムに組成した大量の系列を用いた最適ポートフォリオの推定を行っており、各資産クラスが持つロングテールリスクを考慮しているものとなっております。
推定誤差の影響	マーコウィッツ最適化は入力統計量(特に期待リターンベクトル $\boldsymbol{\mu}$)の推定誤差に対して極めて敏感であることが知られています。わずかな期待リターンの差が最適ウェイトを極端に変化させることもありますが、月次リターン系列から推定される算術平均リターンは統計的ノイズが非常に大きく、特に振り返り期間が短い場合に顕著になります。たとえば3年ルックバックでは市場サイクルの偶然の偏りがそのまま「期待リターン」として最適化に組み込まれる危険があります。最適化結果は「入力推定量の関数としての解」であり、真の将来リターン・真の共分散に基づく最適解とは乖離する可能性を常に内包していることを認識してください。
為替リスク	JGB・1343T(JPY建て)およびIPRPL(GBP建て)は無ヘッジのUSDリターン、すなわち「為替変動リスクをそのまま受け入れた場合のドルベースリターン」として計算・表示されていることに留意が必要です。
データ開始時期の差	資産ごとにデータ開始時期が異なります(IGOVは2009-01、EMBは2007-12、1343Tは2008-09、IPRPLは2009-01)。振り返り期間内でデータが80%未満しか存在しない資産は自動的に除外されますが、80%以上存在する場合でもEMアルゴリズムによる欠損補完が実施されます。この補完は統計学的にある程度以上は妥当な近似ですが、欠損期間の真の相関構造を完全に復元するものではありません。
統計量の将来への適用可能性	本ツールが算出するすべての統計量(リターン・ボラティリティ・相関・シャープレシオ・最大ドローダウン)は過去の実現値の集計です。金融市場において「過去の統計量が将来も持続するか」は常に不確かであり、特に相関構造は市場環境の変化(金利環境の変化・地政学的変化・市場の構造変化等)によって大幅に変わり得ます。振り返り期間を変更することによってこの問題へ簡易的な対処は可能ですが、根本的な解決ではありません。最適化の出力は「過去の統計量を所与とした場合のモデル内での最良解」であり、必ずしも「将来の最良解」と一致しないことに注意が必要です。

8. 免責事項

本ツールは、ポートフォリオ分散の一般的な概念を説明するためのシミュレーション機能を実装した教育目的の無償ソフトウェアです。金融商品取引法に基づく投資助言を目的としたものではなく、特定の有価証券、金融商品、または資産配分に関する売買の推奨や投資判断の提供を行うものではありません。本ツールの運営者は金融商品取引業の登録を受けておらず、投資顧問契約の締結を行いません。

シミュレーション結果は、特定の資産クラスの全体的な値動きを概ね記述すると考えられる特定の代替指標の過去の値動きに関する実データを特定の数理経済学的モデルに当てはめた際の出力結果群です。これらは別途公開している資料に記載の諸仮定に基づくものであり、客観性と合理性を持ちますが、それらが成立しない上での過去の現象の正確な記述や、各資産クラスに属する特定銘柄の取引コストを反映した記述を行うものではありません。また、上記諸仮定の将来時点での成立如何に関わらず、今後の運用成果を保証するものでもありません。

「特定の資産クラスの全体的な値動きを概ね記述すると考えられる特定の代替指標」の一つとして用いられているGNAI(Global Numismatic Assets Index)は、本ツールおよびGNAI Viewerのみで用いられる独自基準です。GNAIは貨幣学業界関係者の合意形成に基づき定義されたものでもなければ、金融市場規制に基づき定義された実際に投資可能なインデックスではありません。この指数を構成するコインの種類は順次拡張されているため、その数値は事前予告なく変更となる可能性があります。

本ツールが採用するマーコウィッツ平均分散最適化は、数理経済学的モデルの一形態であり、現実の市場が当該モデルの諸仮定を満たすことを保証するものではありません。最適化の結果として示される配分比率は「モデル内での最適解」であり、現実の投資における最適解を意味するものではありません。

このツールを通じて得られた情報に基づく最終的な投資判断はご自身の責任で行ってください。