量子技術由来の先端技術を活用した株式市場の下落局面に強い量子由来分散指数

Quantum-Driven Diversified Indices Resilient to Equity Market Downturns Utilizing Advanced Technology Derived from Quantum Technologies

中村　康人 NAKAMURA Yasuhito　　上田　裕之 UEDA Hiroyuki　　日高　亮 HIDAKA Ryo　　中山　純 NAKAYAMA Jun

近年，日本政府により資産運用立国の実現が掲げられるなど，資産形成を目的に投資が促進されている中，予期せぬ要因で株式市場が急変する局面での，リスク（資産価値の変動幅）を抑制する技術が求められている。

東芝は，量子技術由来の東芝独自アルゴリズムを搭載したシミュレーテッド分岐マシン（SBM：Simulated Bifurcation Machine）を活用して算出する2種の株式指数(注1)（以下，量子由来分散指数と呼ぶ）を，（株）三井住友銀行（以下，SMBCと略記）と共同で開発した。この量子由来分散指数は，東芝が2023年に発表したSBMに基づく株式ポートフォリオ運用戦略に，マーケット分野でのSMBCの知見を取り入れて開発し，実用化した。量子由来分散指数の特長は，SBMで大規模な組み合わせ最適化問題を解くことで，従来よりもリスクを抑制できて下落局面に強いことである。運用成績のバックテストで評価した結果，従来の主要な指数より優れたパフォーマンスを示すことを確認した。

Equity investment for asset management has been increasingly encouraged in recent years, exemplified by Japan's policy initiative to establish the country as a leading asset management center. However, periods of sharp equity market fluctuations caused by unexpected factors have occurred repeatedly throughout history, creating a need for technologies to protect assets by suppressing risk, defined as fluctuations in asset value.

In cooperation with Sumitomo Mitsui Banking Corporation (SMBC), Toshiba Corporation has developed two quantum-driven diversified indices calculated using the Simulated Bifurcation Machine (SBM), equipped with Toshiba's proprietary algorithm derived from quantum technologies. The two equity indices put into practical use Toshiba's equity portfolio management strategy using the SBM, which was announced in 2023, by leveraging SMBC's expertise in financial markets. A key feature of these indices is their ability to reduce risk and enhance resilience during market downturns by using the SBM to solve large-scale combinatorial optimization problems. Backtesting results have confirmed that the indices outperform major conventional indices in terms of investment performance.

1. まえがき

2025年9月に，（株）東京証券取引所に上場するETF（Exchange Traded Fund：上場投資信託）の純資産残高は100兆円を突破した。これは，日本銀行によるETF買い入れに加え，機関投資家及び個人投資家からの資産流入が主な要因であるとされる。こうしたETFの多くは，特定の株式指数に連動するように設計されている。例えば，“TOPIX（東証株価指数）連動型”のETFは，当該ETFを保有することで，TOPIX構成銘柄全体に分散投資したのと同等の投資効果を得られる。

2023年には，日本政府により資産運用立国の実現を目指すことが掲げられ，資産形成の促進に向けた施策が推進されている。このような背景の下，“長期・積み立て・分散”による資産形成の重要性が広く認識され，指数連動型の金融商品を通じた投資は，個人投資家にとって身近な選択肢となっている。株式指数は，市場全体の動向や特定の投資特性を表す指標として，以前から投資判断や資産運用の基準に利用されてきたが，近年ではETFの設計でも中核的な役割を担う存在となっている。

過去を振り返ると，リーマンショックやコロナショックに象徴されるような予期せぬ要因によって，市場の急変する局面が繰り返し発生している。不確実性の高い状況では，突発的な価格変動が生じやすく，市場全体が大きく揺れ動く場面も見られる。こうした局面では，高いリターンを狙うこと以上に，一部の下落が全体に波及しにくくする分散投資効果を通じて，損失の拡大を抑えることが重要になる。

東芝とSMBCは，量子技術に関連して先駆的に金融分野へ応用することを目指し，新たな株式指数である量子由来分散指数を共同開発して2026年5月に発表し，実用化した。この指数は，前述した市場環境における問題意識を背景に，“下落局面でも損失が連鎖的に拡大しにくいポートフォリオ構造の実現”を設計思想の中核に据えている。少額投資

（注1）　量子技術に着想を得た先端アルゴリズム[1], [2]を用いた新たな株式指数である“SMBC/TOSHIBA量子技術由来分散日本株式指数”[3]及び“SMBC/TOSHIBA量子技術由来分散米国株式指数”[4]。

非課税制度(NISA)などを通じて資産形成を目指す個人投資家から，リスク管理を重視する機関投資家まで，長期的に大きな損失を回避したいという幅広い運用ニーズに対応できる。

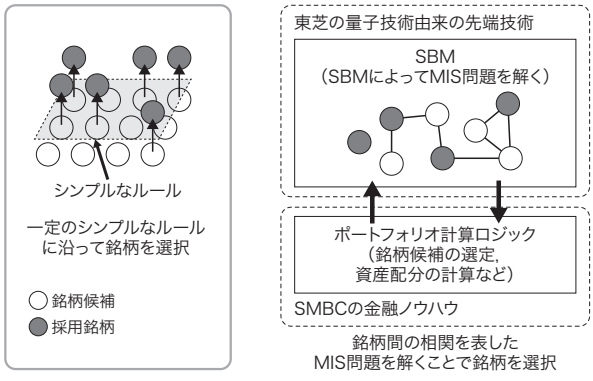
量子由来分散指数の最大の特長は，銘柄間の相関構造に着目し，組み合わせ最適化問題として解くことにより，低相関な銘柄をできるだけ多く選択して構成銘柄とする点にある。低相関，つまり，相互に値動きの連動性が低い銘柄の組み合わせを明示的に選択することで，市場環境が急変する局面でも分散効果の維持が期待できる。逆に，多数の銘柄を保有しても，それらの銘柄が強く相関した場合，分散効果は得られない。

組み合わせ最適化問題は，問題規模が増大するにつれて解の候補が指数関数的に増加する(組み合わせ爆発)難問として知られている。東芝のSBMを用いれば，これを高速かつ高精度に解くことが可能である[1), 2)]。しかし，指数及びその指数に連動するファンドの運用では，組み合わせ最適化問題を解くことだけではなく，実務上の制約や継続的な指数算出を前提とした工夫が不可欠になる。

この論文では，実用性のある指数の構築手法や，その実現に必要な要件を述べた上で，具体的な設計手法や，更にはバックテストによる運用成績の評価結果について述べる。

2. 指数の構築手法と要件

多くの株式指数(例えば，TOPIXなど)は，時価総額や流動性といった比較的シンプルなルールに基づく銘柄選択により，構成されている(**図1**(a))。一方で，金融工学の分野では，銘柄間の相関関係に着目したポートフォリオ構築手法が古くから研究されている。その一つとして，市場をグラフとして表現する手法がある。この手法では，各銘柄をノード，銘柄間の相関関係をエッジとして表現し，市場全体を市場グラフとしてモデル化する。このグラフ上で，互いにエッジで接続されていない銘柄集合，すなわち独立集合を選択することで，互いに相関の低い銘柄群から成るポートフォリオを構築することが可能になる。



(a) 一般的な指数の構築手法　(b) 量子由来分散指数の構築手法

図1. 指数の構築手法

一般的な指数で用いるシンプルな銘柄選択ルールと異なり，量子由来分散指数は銘柄間の相関に着目し，より複雑なルールに従って指数を構築する。

Method for constructing quantum-driven diversified indices

一般に，相関の低い，つまり値動きの方向が似ていない資産を組み合わせることは，ある資産の価値が急落しても，他の資産がその影響を和らげ，結果としてポートフォリオ全体のリスク低減に寄与することが知られている。特に，独立集合の中でも要素数が最大となるものを求める問題は，最大独立集合(MIS：Maximum Independent Set)問題と呼ばれ，組み合わせ最適化の代表的な難問として知られている。SBMを用いれば，MIS問題を高精度に解くことで，低リスクなポートフォリオを構築できる[5), 6)]。それらを，株式指数という形に加工する。

ポートフォリオ構築手法を実用性のある指数として設計するためには，更に追加的な要件を満たす必要がある。第一は，投資可能規模である。指数は，ETFや投資信託などの基準として用いられるため，大規模な資金流入に対しても安定的に運用可能である必要がある。第二は，長期的な安定性である。指数は，短期の運用戦略ではなく，長期にわたって継続的に算出・利用されることを前提とする。そのため，特定の市場状況に過度に最適化された特性ではなく，長期的に安定した特性を持つ設計が必要である。第三は，構成銘柄及び資産配分(アロケーションウェイト)の変更量(リバランス量)の抑制である。頻繁な銘柄入れ替えは売買コストの増大や市場インパクトの増加を招き，特に大規模な運用では実務上の制約になる。したがって，指数としては，構成銘柄の安定性を確保し，かつリバランス量を必要最小限に抑える設計が重要となる。

量子由来分散指数は，MIS問題をSBMで解くポートフォリオ戦略を基礎とし，かつSMBCの資産運用の実務的知見を取り入れることで，第一～第三の必要な要件に対応した(図1(b))。

3. 量子由来分散指数の設計手法

量子由来分散指数の具体的な計算フローを**図2**に示す。

この指数は，数千億円規模の資金運用を想定し，十分な流動性を確保する観点から，市場グラフの銘柄は，時価総額が所定値以上のものを採用する。

次に，市場グラフ生成における重要なパラメーターである相関係数のしきい値θを決定する。θ未満の銘柄間を相関なし，θ以上を相関ありと解釈して市場グラフのエッジを決め

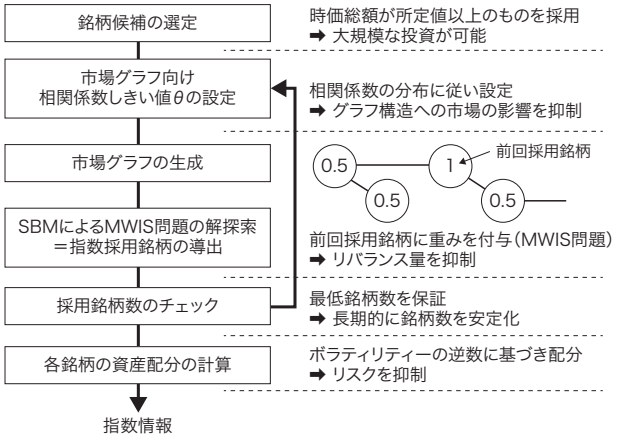


図2. 量子由来分散指数の計算フロー

指数の要件として，大規模な投資が可能であって，長期的な安定性や，リバランス量の抑制を満たすように計算フローを設計した。

Flowchart for calculating quantum-driven diversified indices

ていく。銘柄間の相関係数分布に基づいてθを設定することで，市場環境の変化に依存しない安定的なグラフ構造を実現している。

また，この指数は，市場グラフの各ノードに重みを付与する。重み付きグラフ上で最大独立集合を求める問題は，最大重み付き独立集合(MWIS：Maximum Weighted Independent Set)問題と呼ばれる。例えば，同一のノード数から成る解が複数存在する場合，重みの大きい銘柄が優先的に選択されることになる。この指数は，前回のポートフォリオで採用された銘柄に対して高い重みを付与することで，そのような銘柄が積極的に選ばれやすくし，結果として，リバランスに伴う銘柄入れ替えを抑制する。

SBMを用いてMWIS問題を解き，得られたポートフォリオの構成銘柄数が最低銘柄数を下回る場合は，θの設定に遡り，θを一定量増加させる。この操作により，市場グラフはより疎な構造となり，MWIS問題の解として得られる独立集合のサイズが大きくなる。このようにθを動的に調整することで，長期的に安定した銘柄数を維持できる。

最後に，各銘柄の過去のボラティリティー(価格変動の度合いを示す指標)の逆数に基づき，資産を配分する。この配分でボラティリティーの小さい銘柄を積極的に持つことになり，ポートフォリオ全体としてリスクを抑制できる。

4. バックテストによる運用成績の評価結果

量子由来分散指数は，日本株式を対象に，2008年1月～2026年4月の18年以上という長期間にわたり運用成績のバックテストを行った。結果を，従来の主要な株式指数であるTOPIX，TOPIX Mid400，及びMSCI(Morgan Stanley Capital International)Japan最小分散指数と比較して，**表1**に示す。

表1. 量子由来分散指数と従来の主要な株式指数3種の運用成績の結果比較

Comparison of investment performance of quantum-driven diversified index for Japanese equities and three major conventional indices

項　目	量子由来分散指数	TOPIX	TOPIX Mid400	MSCI Japan最小分散指数
年率リターン　(%)	10.1	7.4	7.6	6.8
年率リスク　(%)	17.4	21.6	20.7	17.6
リターン／リスク	0.58	0.34	0.37	0.39
最大DD　(%)	–35.4	–51.5	–47.8	–41.5

＊S&Pダウジョーンズインデックス，Bloomberg，東芝のデータを基に，SMBCが算出



図提供：SMBC

＊S&Pダウジョーンズインデックス，Bloomberg，東芝のデータを基に，SMBCが作成

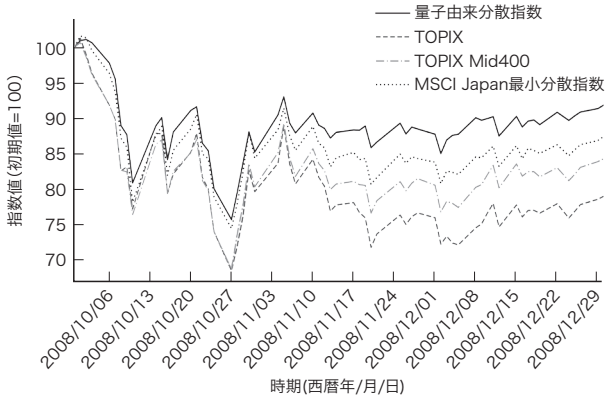
図3. 量子由来分散指数の累積リターン

量子由来分散指数は，日本株式を対象に，従来の主要な指数3種(TOPIX，TOPIX Mid400，及びMSCI Japan最小分散指数)と比較し，より高いパフォーマンスを示すことを確認した。

Comparison of cumulative returns of quantum-driven diversified index for Japanese equities and other indices

年率リターンは，従来の主要な株式指数3種に比べ，量子由来分散指数が最大であり，年率リスクは，量子由来分散指数が最小であり，いずれも優れていた。投資家視点では，リスクと同様にリターンも重視される。低リスクでもリターンが低ければ指数としての総合的な魅力は小さくなってしまう。一般にリスクとリターンはトレードオフの関係にあることが知られており，リスク抑制のためにリターンが犠牲となることが多い。しかし，量子由来分散指数は，リターンだけではなくリスク調整後リターン(“リターン/リスク”の比)も，従来の3種に比べて最も高い水準であった。

最大ドローダウン(DD)は，市場ショックへの耐性を評価する指標として幅広く利用されている。この値は，ある定義期間において，最も大きな下落幅を意味し，この値が抑えられているほど，市場ショック時への耐性が強いといえる。最大DDでも，量子由来分散指数は，従来の主要な株式指数3種



図提供:SMBC
＊S&Pダウジョーンズインデックス, Bloomberg, 東芝のデータを基に, SMBCが作成

図4. リーマンショック時の指数値

2008年のリーマンショック時の急落例では, 量子由来分散指数は, 日本株式を対象に, 従来の主要な指数3種と比較して, より優れたパフォーマンスを示すことを確認した。

Comparison of performance of quantum-driven diversified index for Japanese equities and other indices during 2008 financial crisis

より小さく, 下落耐性に優れていた。

累積リターンを, **図3**に示す。これも量子由来分散指数は, 従来の主要な株式指数3種より高いパフォーマンスであった。また, 市場ショック時の資産価値への影響の具体例として, リーマンショック時の指数値を, 従来の指数3種と比較して, **図4**に示す。量子由来分散指数は, この期間で従来の指数3種を上回るパフォーマンスを示しており, 市場急落局面での強さが確認できた。

これらの結果から, 量子由来分散指数は低リスクかつ市場ショックへの耐性を兼ね備えた指数であると確認できた。

5. あとがき

東芝とSMBCが共同開発した量子由来分散指数について述べた。この指数は, リターンの最大化ではなくリスクへの安定性を重視し, 投資タイミングへの依存を相対的に抑えた, 長期投資向けの株式指数として設計した。両社の技術と知見の融合によって生まれた量子由来分散指数は, 量子技術に関連して金融分野で実用レベルに適用した先駆的事例であるとともに, 投資家に新たな投資の選択肢を提供する点でも意義深い。今後も両社は, この指数を起点とした新たな指数の創出など, 量子技術由来の先端技術による金融分野での応用の拡大に向けた共創を進めていく。

文　献

(1) Goto, H. et al. Combinatorial optimization by simulating adiabatic bifurcations in nonlinear Hamiltonian systems. Science Advances. 2019, **5**, 4, DOI: 10.1126/sciadv.aav2372.
(2) Goto, H. et al. High-performance combinatorial optimization based on classical mechanics. Science Advances. 2021, **7**, 6, DOI: 10.1126/sciadv.abe7953.
(3) SMBC, Toshiba. “SMBC/TOSHIBA Quantum Driven Diversified Japan Equity Index PR (JPY)”. S&P Global. <https://www.spglobal.com/spdji/en/custom-indices/smbc-toshiba/smbc-toshiba-quantum-driven-diversified-japan-equity-index/>, (accessed 2026-08-05).
(4) SMBC, Toshiba. “SMBC/TOSHIBA Quantum Driven Diversified U.S. Equity Index PR (JPY)”. S&P Global. <https://www.spglobal.com/spdji/en/custom-indices/smbc-toshiba/smbc-toshiba-quantum-driven-diversified-us-equity-index/>, (accessed 2026-08-05).
(5) Hidaka, R. et al. Correlation-diversified portfolio construction by finding maximum independent set in large-scale market graph. IEEE Access. 2023, **11**, p.142979–142991. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3341422.
(6) 日高亮, ほか. シミュレーテッド分岐マシンの金融分野への応用. 東芝レビュー. 2024, **79**, 3, p.32–35. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/jp/technology/corporate/review/2024/03/f04.pdf>, (参照 2026-08-05).

・「量子技術由来分散日本株式指数」,「量子技術由来分散米国株式指数」, 及び「量子分散」は, SMBCが商標登録出願中。



中村　康人　NAKAMURA Yasuhito
ICTソリューション事業部 金融ソリューション技術部
Financial Solutions Engineering Dept.



上田　裕之　UEDA Hiroyuki
ICTソリューション事業部 官公営業第一部
Government Sales Dept.1



日高　亮　HIDAKA Ryo
総合研究所 AIデジタルR&Dセンター
コンピュータ&ネットワークシステム研究部
Computer & Network System R&D Dept.



中山　純　NAKAYAMA Jun, Ph.D.
(株)三井住友銀行 市場テクノロジー部
博士(経営)
Sumitomo Mitsui Banking Corp.