



生成AIが投資家にもたらす投資 機会とリスク

熱狂の先に半導体関連銘柄の投資機会を見出す

2023年7月

サマリー

- ティール・ロウ・プライスのポートフォリオ・マネジャーやアナリスト達は、生成AI（人工知能）は様々な市場環境を変容させると考えている。
- 大手テクノロジー企業がAIの「基盤モデル」を支配する可能性は高いものの、他の様々な企業が基盤モデルを再構築すると同時に、自らも再構築をせまられる。
- 半導体メーカーや半導体の素材・設計・製造装置などの関連「ツール」プロバイダーが、急成長するAIの「開発競争」の主たる恩恵を受けると考えられる。

このところ、シリコンバレーの経営幹部の間では、人工知能（AI）に関する話題で持ちきりです。当社の運用部門は年1回、シリコンバレーを訪問する「テック・ツアー」を行っており、直近のツアーで面談したテクノロジー業界の主要な経営幹部から出てきた最大の話題は、「AIはティッピング・ポイント（転換点）に差し掛かり、様々な市場環境を一変させる勢いにある」というものでした。

テクノロジー・セクターにおける新たな「開発競争」

2022年11月30日は、テクノロジー史上最も重要な日の一つとして刻まれる可能性があり、スティーブ・ジョブズ氏がiPhoneを発表した2007年6月29日にさえ比肩するかもしれません。その日、サンフランシスコを拠点とする小さな企業であるOpenAIがChatGPTを公開し、ChatGPTは瞬く間に世界を席巻しました。

ChatGPTが特に魅了したのは、自然言語処理と生成アルゴリズムを使用していることです。これら2つのAIの技術を活用することで、ChatGPTはウェブ上で見出した情報を合成し、それを現在のユーザーとの「対話」の文脈に当てはめ、情報を再構成して回答を提供することができます。その名称が示すように、生成AIは、従来型のAIのように人間の認知と理解を手助けするだけではなく、新たなコンテンツを創造します。

一部の指標によれば、ChatGPTの導入スピードはテクノロジー史上最速でした。OpenAIの推計では、1週間以内にユーザー数は100万人を超え、多くの人々が同ツールに殺到したことでアクセス待機を余儀なくされました。その後のニュース報道によると、2か月以内に1億人のユーザーを獲得しており、どのアプリケーションよりも速く1億人に達しました。なお、参考までに、Instagramのユーザー数が1億人に達するまでには、30か月を要しました。

Dominic Rizzo

グローバル・テクノロジー株式運用戦略
ポートフォリオ・マネジャー

Paul Greene

米国大型コア・グロース株式運用戦略
ポートフォリオ・マネジャー

James Stillwagon

米国コミュニケーション&テクノロジー株
式運用戦略ポートフォリオ・マネジャー

Alan Tu

テクノロジー・アナリスト

Anne Daub

バイオテクノロジー・アナリスト

AIは指数関数的に複雑化、そしてコストも増大

(図表1) パラメータ*が増えるほど複雑性が増す

発表	企業	名称	パラメータ†
2018年	OpenAI	GPT-1	117,000,000
2018年後半	OpenAI	GPT-2	1,500,000,000
2020年	OpenAI	GPT-3	175,000,000,000 (2022年11月にChatGPTを通じて広く利用可能)
2021年	マイクロソフト エヌビディア	MT-NLG	530,000,000,000
2021年後半	グーグル	GLaM	1,200,000,000,000
2023年3月	グーグル	PaLM-E	562,000,000,000 (視覚・言語情報の入力、ロボット工学を活用した空間座標による応答)
2023年3月	OpenAI	GPT-4	~1,000,000,000,000 (推定) (視覚・言語情報の入力、テキストによる応答)
2023年5月	グーグル	PaLM2	

2023年5月時点。上記は例示のみを目的としています

出所：OpenAI、グーグル、エヌビディア、The Decoder、TechTarget。

* ここ最近、パラメータ数が増えるほど、大規模な言語モデルやAIがさらに進化するか疑問を抱く専門家もいます。むしろ、AIアプリケーションは、より多くのモデルを探り入れて構築されることから、さらに複雑化（およびコストも増大）する可能性が高いと思われるとポートフォリオ・マネジャーのPaul Greeneは指摘しています。

† パラメータは、過去のデータ分析により推定されたモデル内に含まれる変数で、分析・推定は通常、機械学習を通じて行われ、人間は介入しません。例えば、「サンドイッチ」という単語が指定された文章の範囲内にある場合に、「黄色い」という単語の後に「マスタード」という単語が続く確率を考察することは、自然言語処理モデルにおける一つのパラメータとなり得ます。

...現実的には、大規模な基盤モデルを有するものの、数千もの個別の領域に特化した特化型AIのユーザー・インターフェースが小さな集合として、設計した企業の数だけ存在する...

グローバル・テクノロジー株式運用戦略の運用責任者であるDominic Rizzoによれば、大手の超大型テクノロジー企業は、ChatGPTへの消費者の反応の大きさに驚かされたと言います。その結果、新たなAIの能力を獲得し、既存の能力に磨きをかける「開発競争」が激化しています。

生成AIの背後にあるイノベーション

当社のポートフォリオ・マネジャー達は、ChatGPTやAIの「基盤モデル」の構築に不可欠なイノベーションを長い間フォローし、投資してきました。こうしたイノベーションの一例として、クラウド・コンピューティング（アプリケーション・プログラミング・インターフェース（API）を通じたコンピューターシステム間の効率的な通信の新しい手段）や、最先端の半導体が可能にした膨大な計算処理能力の向上などが挙げられます。

同様に、当社のポートフォリオ・マネジャーやアナリスト達は、大小幅広い企業がAIアプリケーション開発から恩恵を受けると考えています。また、ほぼ全ての企業と投資家がこの動向に注意を払う必要があると見えています。

一般的には、AIは世界のあらゆる情報を収集し、良くも悪くも何でもできる汎用システムとみなされています。しかし、現実的には、大規模な基盤モデルを有するものの、数千もの個別の領域に特化した特化型AIのユーザー・インターフェースが小さな集合として、設計した企業の数だけ存在するというのが実態です。



生成AI誕生までの軌跡

機械学習は数十年前から存在しているが、生成AIはこれから大きく飛躍する。

機械学習 vs. ディープラーニング、生成AI



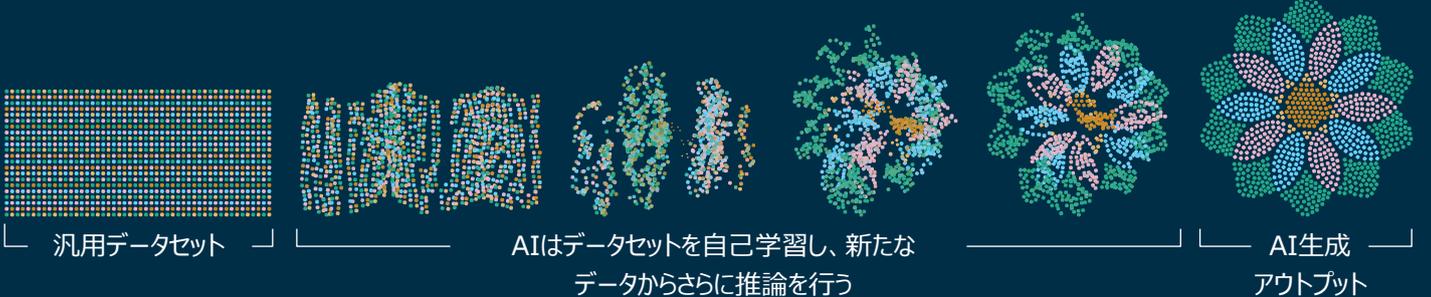
機械学習は、IBMの研究者がF.J.Leeの「チェスガイド完全版」に掲載されている解説付き対局を分析して、最善の差し手を発見するプログラムを開発した1952年に遡ります。1997年、IBMのスーパーコンピュータ「ディープ・ブルー」は、チェスのグランドマスターであるGarry Kasparovに勝利し、機械学習がどれほど進化したかを示しました。しかし、ディープ・ブルーは、多くの人間の指示を必要とし、数百万通りのチェスの差し手を分析することのみを目的として構築されたものでした。



今日のAIは、人間の脳の働きを模倣するニューラルネットワーク（神経回路網）を通じたディープラーニング（深層学習）が可能です。2017年、DeepMind社のAlphaZeroは、10の40乗通りの差し手が可能なチェスに対して、10の360乗通りの差し手があり、一層複雑な囲碁において、自らを対局相手に9時間で4,400万回の対局を行うことで自己学習し、世界最強のプレイヤーとなりました。

生成AI

ディープラーニングの一分野である生成AIは、もはや情報を認知・理解して予測を行うだけにとどまりません。今や全く新しいアウトプットを生み出します。これは、ユーザーの入力（例えば、「花」という単語）を捉え、学習した汎用データ領域から情報を取り出し、何が適切で何が適切ではないかを判断し、入力に対する回答を生成することで達成されます。



AIがいかに重要な問題の解決を導くかを示す活用例



あらゆる生物の内部には、全ての生物学的プロセスを完了させるための行動を決定する無数のタンパク質が存在します。タンパク質が行う仕事は、固有で複雑な3次元の形状によって確立されます。



過去数十年にわたり、世界最先端の技術を駆使して、研究者たちは人体に存在するおよそ20,000種類の既知のタンパク質のうち、約17%しかその形状を特定できませんでした。



グーグル傘下のDeepMind社は、AIのAlphaFoldを2018年に公開し、以前に特定されていたヒトのタンパク質のうち残りのほぼ全ての形状を予測しました。『ネイチャー』誌によると、AlphaFoldは2022年までに、科学界で知られる2億種のタンパク質の形状を特定しました。



まだ初期段階ですが、ヒトや他の生物に含まれるタンパク質の構造に関するAlphaFoldの洞察は、医薬品開発から気候変動対策に至るあらゆる分野に広く影響を及ぼす可能性があります。

上記は例示のみを目的としています。いかなる証券の売買を推奨するものではありません。

再配布禁止。当資料における見解等は資料作成時点のものであり、将来事前の連絡なしに変更されることがあります。

...膨大な計算量の大規模言語モデル

(LLM) を必要とする検索エンジンのマネタイズ（収益化）とコスト面の障壁については疑問が残ります。

Googleの最も重要なAI投資の一つは、2014年にロンドンを拠点とするスタートアップ企業のDeepMind社を買収したことです。DeepMind社は2015年後半、同社の「AlphaGo」プログラムが世界トップの囲碁棋士2人に勝利したことで、世界の注目を集めました。それはコンピュータでは成し得ないと考えられていた偉業でした。

グーグルの優位性は確実なのか？

アルファベットの株価は、ChatGPTの発表を受けて下落しました。その一因は、グーグルのインターネット検索市場における優位性が、ChatGPTや他の「チャットボット」との競争により脅かされると投資家が懸念したためです。

米国コミュニケーション&テクノロジー株式運用戦略ポートフォリオ・マネジャーのJim Stillwagonは、グーグル検索はより高度なAI機能を取り入れて進化すると考えています。「グーグルは既に、伝統的なテキストベースの検索方法と並行して、様々な対話形式による検索を実験している。検索、Gmail、アンドロイド、クローム、ユーチューブ、グーグルプレイの6つの製品でそれぞれ20億人以上のユーザーにサービスを提供しているグーグルは、規模拡張と対話型AIサービスの商品化の競争において、流通・配信面で大きな優位性がある」とStillwagonは指摘します。

とはいえ、AIが生成する回答に膨大な計算量の大規模言語モデル（LLM）を必要とする検索エンジンのマネタイズ（収益化）とコスト面の障壁については疑問が残ります。「グーグルは、テキストによるリンクベースで見込み顧客を獲得するための検索エンジンの最適化に過去30年の大半を費やしてきました。その広告モデルを新たな検索インターフェースに適応させる一方で、LLMの学習と推論による追加コスト負担をバランスさせなければならないだろう」とStillwagonは指摘します。

検索をめぐる戦いは、グーグルのホームグラウンドで行われるため、実行力が重要になります。これは「innovator's dilemma（開発者のジレンマ）」に陥る可能性がある」とGreeneは指摘します。

これは、どんなに優良な企業であってもその地位を失う、または新興企業から破壊的イノベーションが起きる傾向があることについて、ハーバード大学のClayton Christensen氏が言い表した造語です。というのも、大企業は既存顧客へのサービスに重点を置く一方、新興で俊敏な企業は、新たなニーズを抱える新規顧客の開拓に目を向けるからです。Greene、Stillwagonらは、今後の展開を注視しています。

独自データを活用

アマゾン、AIへの取り組みをあまり公にしていなかった一方で、業界において圧倒的な立ち位置にいることから恩恵を受けると考えられます。同社は中国を除く世界で最大のネット小売企業であり、テキスト（商品レビュー）、音声指示（音声認識支援ツールのアレクサ）、移動（位置情報）、書籍から医薬品まであらゆる物品の購入を通じ、消費者の行動様式や考え方に関して独自の豊富なデータを保有しています。

メタ・プラットフォームズがフェイスブックから社名変更したことや「メタバース」の構築を決定したことは、AIを含む次世代テクノロジーに対する同社の意欲を反映しています。同社は、機械学習を活用してユーザーを理解し、適切な広告やコンテンツを適切な人々に届けてきた幅広い経験を有しているとStillwagonは見ています。親世代なら誰でも感じているように、TikTokも同様なユーザー体験を提供するため、同社の手ごわい競争相手になっています。

生成AIの開発におけるメタとアマゾンの進捗状況は依然として不明ですが、メタはAIに関するオープンソースのコミュニティーを構築する上で重要な役割を果たしてきたとRizzoは指摘します。「メタはAIにおいてリーダーとなる全てのツールを持っていると確信している。また、アマゾンが有する膨大なクラウド・コンピューティングのリソースと半導体の内製能力は、同社が生成AIを構築し、それを大衆市場に投入するユニークな投資機会をもたらす」とRizzoは指摘します。

記載された特定の証券は情報提供のみを目的として示しており、これらを推奨するものではありません。ティール・ロウ・プライスのポートフォリオの保有銘柄情報については、補足資料をご覧ください。



企業を「リンチピン※」と判断する Dominic Rizzoの基準

1. 顧客企業に必要な不可欠または個人の生活を劇的に改善させるテクノロジーを有する。
2. 企業が明日消滅すれば、誰もが気づき、重大な影響を及ぼす。

Bingのチャットボットとの統合

グーグルのAI支配に対する最も直接的な競争相手はマイクロソフトです。その理由は、マイクロソフトがOpenAIと強い提携関係にあるからです。マイクロソフトは既に、Bing検索エンジンとOfficeソフトウェア群へのチャットボットの統合を開始しており、CEOのSatya Nadellaは、OpenAIを同社のソフトウェア・エコシステムに取り込む意欲的な計画を発表しています。

Greeneが指摘するように、マイクロソフトは決してAIへの新規参入者ではありません。例えば、マイクロソフトは、半導体メーカーのエヌビディアと提携して、生成AIを構築するための重要なステップとして、2021年にメガトロン・チューリング自然言語生成モデル（MT-NLG）をリリースしました（図表1）。

生成AIとチャットボットがマイクロソフトのBingやグーグル・アシスタント、アマゾンのアレクサ、アップルのシリなど他の音声対話システムにどれほどの付加価値を生み出すかは、まだ分かりません。アルファベットの導入したチャットボット「Bard」が、NASAが2021年に開発したウェブ望遠鏡が太陽系外の惑星の写真を初めて撮影したと誤回答（実際には2004年に達成されている偉業）したため、アルファベットの株価は2023年2月前半に約9%下落しました。その後間もなくして、ウェブ上の誘惑的なテキストメッセージを学習したChatGPTが、ニューヨーク・タイムズの記者に妻と離婚するよう説得を試みたという事例が見られ、その不具合を露呈しました。

AIを成功へと導く企業への投資

大手企業がAIに資金を投じる中で、新たなAIバブルが形成されています。それは1990年代後半のドットコム・バブルに匹敵する可能性さえあるとRizzoは見ています。AIを発展させる「リンチピン※」になると考える企業、つまりAIのさらなる発展に不可欠なツールを提供する企業にRizzoが注目している理由の一つはここにあります。

リーバイ・ストラウスをはじめとするサンフランシスコの商人たちが、カリフォルニアのゴールドラッシュ期に鉱夫たちに物品を供給したように、「リンチピン」となりうる企業は、AIへ巨額の資金を投じることで恩恵を受ける可能性があります。

Rizzoの投資候補リストの上位にあるのは、大規模なAI基盤モデルを構築し、実行するために必要な先進半導体を製造する過程で中心となる企業です。リストの最上位の企業は、半導体メーカーのエヌビディアで、当初はビデオゲーム用に設計された画像処理装置（GPU）が、今やChatGPTや生成AIの開発の鍵を握ります。「今はまだコンピュータの処理能力の加速をベースとしたイノベーションの初期段階であり、同社はそれをけん引している」とRizzoは考えています。

エヌビディアの優位性はGPUの並列処理における強みにあります。並列処理は、膨大なデータセットから迅速なクエリや処理要求を可能にする複雑なニューラルネットワークの構築において中心的な役割を果たします。例えば、CPU（中央処理装置）にディケンズ著「二都物語」に単語の「the」が全部で何回使われたかを計算させるとします。CPUは逐次処理によって1ページから開始し、“It was the (1回) best of times, it was the (2回) worst of times...”と数えます。一方、GPUは、即座に本を100等分の短いセクションに分解し、それらのセクションを同時に検索して単語を数えます。

エヌビディアは、様々なAIソフトウェアのエコシステムに自社をうまく統合させてきました。2007年に、同社は、Compute Unified Device Architecture（CUDA：クーダ）と呼ばれるGPUを利用したアプリケーション開発プラットフォームを発表し、エンジニアが一般的なプログラミング言語を使ってエヌビディアの並列処理チップ上で動作するソフトウェアを設計できるようにしました。最近では、CUDAを拡張し、AIアプリケーション専用設計されたオープンソースのソフトウェアと協働できるようにしました。

※車軸から車輪が外れないようにするためのピン、輪留めのこと。比喻として物事におけるもっとも重要な部分や根幹を指します。

記載された特定の証券は情報提供のみを目的として示しており、これらを推奨するものではありません。ティール・ロウ・プライスのポートフォリオの保有銘柄情報については、補足資料をご覧ください。過去の実績は将来の成果を保証するものではありません。

ASMLがEUVリソグラフィ装置を市場に投入するまでには10年と約100億ユーロを要し...

Rizzoは、CPUとGPU双方をリードするアドバンスト・マイクロ・デバイセズ（AMD）の将来性についても期待しています。同社の新しい半導体「MI300」は、CPUの逐次処理の利点とGPUの並行処理の利点を組み合わせることができると指摘します。

あらゆる半導体がAI革命の原動力

しかし、Rizzoが期待を寄せているのは、エヌビディアやAMDのようなAI向け半導体メーカーだけではなく、「AIの一般的なシリコン強度に最も期待している。例えば、AIサーバーは、伝統的なサーバーの最大3倍も多くDRAM（ダイナミック・ランダム・アクセス・メモリー）を消費し、8倍のストレージを使う可能性がある」とRizzoは指摘します。

エヌビディアが「ChatGPT」のラベルが付いたプログラムの背後にいるように、「NVIDIA」や「Intel」、「AMD」のラベルが付いたコンピュータチップの背後にはその他の魅力的な企業が存在します。必要不可欠な企業のひとつは、台湾積体回路製造（TSMC）で、同社は半導体製造におけるプロセスノードの微細化のリーダーとして広く認知されています。プロセスノードは、シリコン上にトランジスタを刻み込むことができる精密度、すなわち、一定サイズの半導体に装着できるトランジスタ数の尺度です。エヌビディアのGPUと共に、最新世代のiPhoneやMacbookに搭載されているアップルの「Bionic」チップは、TSMCが製造しています。

最先端の半導体装置

しかし、この技術は高度な生産チェーンの一端に過ぎません。TSMCの現行3ナノメートルのプロセスノードは、オランダを拠点とする半導体製造装置メーカーのASMLホールディングが開発した極端紫外線（EUV）リソグラフィ装置が無ければ実現できません。

ASMLがEUVリソグラフィ装置を市場に投入するまでには10年と約100億ユーロを要し、この1台2億ドルに上る装置は、おそらく世界に現存する商用技術装置の最先端であるとRizzoは言います。

ASMLのEUV装置は、金原子の直径の約9倍しかない3ナノメートルのプロセスノードで製造可能です。AIがかつてないほど強力な半導体を必要とすることから、物理学の限界が試されており、ムーアの法則により予測された半導体技術の着実な進化の終わりが近づいているようです。

そのため、半導体の設計がAIの進化にとつてますます重要になると見込まれます。電子設計自動化技術を提供するシノプシスは、半導体設計技術におけるリーダーであり、増大する需要から恩恵を受ける立場にあると考えられます。自社技術のフィードバック情報を収集する際に、シノプシス自身がAIを活用し、より高速かつ電力効率の高い半導体の設計に役立てています。

破壊的な変化はテクノロジー企業以外にも波及

皮肉なことに、おそらくソフトウェア業界自身がAIにより最初に影響を受けた業界の一つと思われる。ChatGPTのコーディング技術は恐ろしいほど高く、人間に置き換えることはないまでも、ChatGPTや他の生成AIプログラムは、より多くの「10倍開発者（生産性が他者の10倍ある稀有な個人を表わす業界用語）」を生み出す可能性がある」とRizzoは考えています。ソフトウェア・エンジニアたちは、長い間、GitHubや他のオンライン・リソースを用いて一連のコードを複製・共有してきましたが、ChatGPTのような生成ツールは、そうした作業をツール自身が行うことで、コード作成のスピードを指数関数的に速めます。その結果、テクノロジー・アナリストのAlan Tuが指摘するように、ソフトウェア開発に対する業界参入障壁は低下する可能性があり、業界におけるイノベーションのペースがどうなるかはまだ定まりません。

ヘルスケア企業もAIの進化による影響を早くから受けています。2020年後半、Google傘下のDeepMind社のエンジニアは、AIのAlphaFoldを公開しました。AlphaFoldは間もなく、アミノ酸の1次元の配列情報から、ヒトのほぼ全てのタンパク質の立体構造を予測しました。

それ以前の半世紀の間、研究者たちは、人体で発見された約20,000種のタンパク質のわずか約17%しかその構造を特定することができませんでした。現在は米国大型グロース株式運用戦略、以前はヘルスサイエンス株式運用戦略のポートフォリオ・マネージャーであるTaymour Tamaddonによれば、DeepMind社はタンパク質のフォールディング構造問題を実質的に解明しました。

ティー・ロウ・プライスのヘルスサイエンスチームは、タンパク質構造に関する新たな知識とその他のAIの進化が、医薬品開発やその他の医療分野にどのような影響を与えるかを注目しています。

「機械学習とAIは、膨大かつ複雑なゲノム・データベース内に埋め込まれたパターンを解明することができるため、ゲノミクスの分野で非常に大きな可能性を秘めている」とバイオテクノロジー・アナリストのAnne Daubは指摘します。一例を挙げると、ゲノム・データと匿名の健康記録を関連付けることで、病原性形質や、逆に病気を予防する形質の発見につながる可能性があります。「そうしたデータは、医薬品を設計・開発する素晴らしい機会を提供する」とDaubは言います。

一方、ティー・ロウ・プライスのアナリストやポートフォリオ・マネージャー達は、同分野の前例のないペースでの変化が生み出す不確実性や破壊的圧力を注視しつつ、AIが幅広いセクターや産業に与え得る影響を調査しています。

INVEST WITH CONFIDENCE®

ティー・ロウ・プライスは、お客様に信頼していただける優れた運用商品とサービスを長期にわたってご提供することに注力しています。

troweprice.co.jp

T.RowePrice®

重要情報

当資料は、ティー・ロウ・プライス・アソシエイツ・インクおよびその関係会社が情報提供等の目的で作成したものを、ティー・ロウ・プライス・ジャパン株式会社が翻訳したものであり、特定の運用商品を勧誘するものではありません。また、金融商品取引法に基づく開示書類ではありません。当資料における見解等は資料作成時点のものであり、将来事前の連絡なしに変更されることがあります。当資料はティー・ロウ・プライスの書面による同意のない限り他に転載することはできません。

資料内に記載されている個別銘柄につき、売買を推奨するものでも、将来の価格の上昇または下落を示唆するものでもありません。また、当社ファンド等における保有・非保有および将来の組み入れまたは売却を示唆・保証するものでもありません。投資一任契約は、値動きのある有価証券等（外貨建資産には為替変動リスクもあります。）を投資対象としているため、お客様の資産が当初の投資元本を割り込み損失が生じることがあります。

当社の運用戦略では時価資産残高に対し、一定の金額までを区切りとして最高1.265%（消費税10%込み）の逓減的報酬料率を適用いたします。また、運用報酬の他に、組入有価証券の売買委託手数料等の費用も発生しますが、運用内容等によって変動しますので、事前に上限額または合計額を表示できません。詳しくは契約締結前交付書面をご覧ください。

「T. ROWE PRICE, INVEST WITH CONFIDENCE」および大角羊のデザインは、ティー・ロウ・プライス・グループ・インクの商標または登録商標です。ティー・ロウ・プライス・ジャパン株式会社

金融商品取引業者関東財務局長（金商）第3043号

加入協会：一般社団法人 日本投資顧問業協会/一般社団法人 投資信託協会