

2023年第1四半期

自然資本投資のイノベーション： 環境制御型農業

ジョー・ヴィラニ
ヌブーン・ナチュラルキャピタル
ポートフォリオ・マネージャー

ベン・マーティン
ヌブーン・ナチュラルキャピタル
ポートフォリオ・アナリスト

農地投資は、「人口増加による農産物需要の高まり」と、「不変的な世界の農地面積」という2つの長期的なダイナミクスにけん引されています。

その結果、一人あたりの耕作可能面積が減少しています。国連の試算によると、76億人とされる現在の世界の人口は、2050年に98億人に達する見込みであり、食料需要は倍増すると予想されています¹。一方で農地供給は、縮小を続ける自然生態系保全の必要性、土地の用途転換、気候変動といったさまざまな要因によって制約されることから、一朝一夕に拡大することはできません。従って、今

後見込まれる食料需要の増大に対応するには、単位面積あたりの農業生産性を高める必要があります。

こうしたダイナミクスを背景に、従来型農地投資は長期的に有利な立場に置かれていますが、環境制御型農業（“CEA”）に代表されるその他の食料生産手段の台頭に伴って、投資環境は変化しつつあります。

そのため、一部の投資家はCEA戦略にはどのようなものが含まれるのか、従来型農地投資のリターンにどのような影響をもたらすのか、といった関心を示しています。

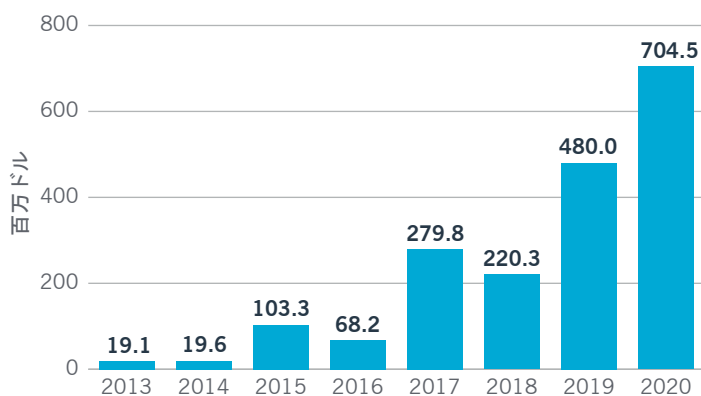
そこで本稿では、CEAのアプローチ、CEA業界や市場に存在する投資戦略の種類をご紹介しますとともに、CEAと従来型農業は共存できるのか、そして従来型農業に資金を投じる投資家にとってこれが今後何を意味するのかといった点について考察いたします。

CEAとは何か

CEAを一言で申し上げるなら、「特定の環境下でテクノロジーを駆使して行う農法」となるでしょう。例えば屋内での効率的栽培ゆえに肥料や水といった農業投入量を厳密に制御できる等、従来型農法に比べて生産に関連する変数をより細かくコントロールできるという特徴があります。CEAによる生産システムは、ビニールハウスのような最も単純なものから、照明、水、換気の完全自動制御など最先端のテクノロジーによる最も複雑なものまで、多様性に富んでいます。

CEAへの投資は、技術革新、作物収穫量に影響を与える気候変動、地産地消費の高まりにより勢いづいており、公表ベースのCEA投資額は2013年以降34倍に成長しています。（図表1）

図表1：CEAのスタートアップ企業の資金調達額の増加



出所：S2Gベンチャーズ、ピッチブック、2020年

技術：生産方法

CEAは多様な農法を一括りにした概念であり、採用されるテクノロジーも極めて単純なものから最先端のものまで多岐にわたります。CEAは、次に示す5種類の一次生産システムに大別されますが、採用されるテクノロジーのレベル、投入コスト、作物の組み合わせ、ならびに制御レベルは、それぞれ大きく異なります。図表2には、各生産システムにおける環境制御の種類とその度合いをまとめており、生産プロセスにおける採用テクノロジーの水準を表しています。

1. ビニールハウス栽培



作物は、揚床または地面で直接栽培され、自動制御は基本的に無いが、あったとしても極めて限定的です。初期の設備投資と追加メンテナンスは比較的少なくすみます。生産環境の観点からみると、従来型農業に最も近くなります。そのため、ビニールハウスでは高価格帯の果物や野菜を中心として、多種類の作物を栽培することができます。

2. 温室栽培



透明なガラスまたは硬質プラスチックで囲まれた温室を用いて、作物に必要な熱や光の一部を効率的に供給する農法です。温室で土耕栽培を行う場合、畑だけでなくポットやプランターも利用できますが、いずれも従来型農業と同様に深く耕された水はけのよい土壌、そして良質の水を適切に利用することが求められます。

温室では水耕栽培を導入することもできますが、初期の設備投資は相当額に上り、さまざまな水準のテクノロジーを活用することとなります。自動制御は、導入されるテクノロジーに応じて、あまり行われな場合もあれば、大規模に行われる場合もあります。温室では、多様な葉物野菜や実物野菜が栽培される傾向があります。

3. 垂直農場



輸送用コンテナといった、棚や高い柱に植物を垂直に積み重ねて栽培する農法です。このため、その土地の面積に対して最大10倍の収穫が可能になります。作物は密閉空間で栽培されるため、日光の代わりにLED照明が使用されるほか、クローズド・ループ・システムを用いて水や栄養分を再利用します。垂直農場は高度に機械化されており、自動制御が相当程度活用されます。栽培ユニットを垂直に積み重ねることから、栽培可能な作物は、比較的背丈の低い葉物野菜やハーブなどに限定されます。

4. コンテナ栽培

水耕栽培や人工照明など、垂直農場と同様の技術を使用する自給型の栽培ユニットを用いた農法です。規格化が試みられており、他の形態の農業生産と比較して作物の組み合わせが限定されますが、葉物野菜やマイクログリーンにとって理想的な生育環境です。

5. アクアポニックス



アクアポニックスとは水産養殖と水耕栽培を組み合わせた生産方法で、魚介類と植物を共生させることで、魚介類の排泄物を植物の栄養として活用

図表2：CEAシステムと環境制御のレベル

● 完全制御 ● 部分制御 ○ 限定的な制御

生産環境	気温	水	栄養分	光
ビニールハウス	●	●	●	○
温室	●	●	●	●
垂直/コンテナ農場	●	●	●	●
アクアポニックス	●	○	●	●

出所：ヌビーン・ナチュラルキャピタル（NNC）の分析。

する一方、植物は水質を浄化する役割を果たします。アクアポニックスと単純な水耕栽培の違いは、生産者が栄養分を加えるのではなく、魚介類からの栄養分を使用して植物を育てるという点です。一般的に完全な自動制御はされず、部分的なものに留まります。得られる栄養分が限られるため、温室やビニールハウスと比較すると、生産される作物はほぼ葉物野菜に限られてしまう傾向があります。

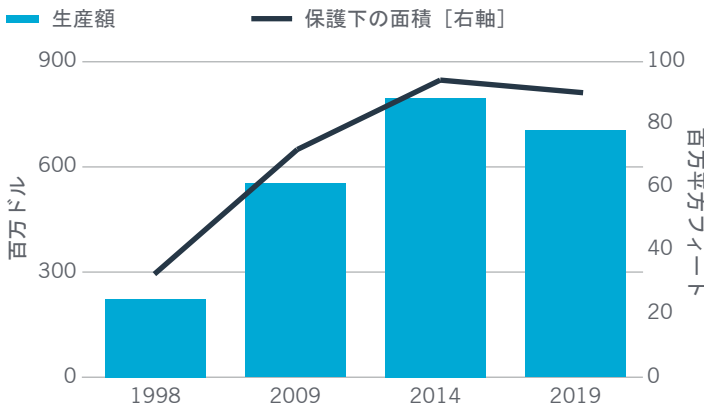
CEAの生産量とコスト

CEAはさまざまな形で、米国をはじめ世界中で増えています。これは、従来型畑作と比較して、以下のような農業上の利点があるためです。

- 収穫量の変動を低減
- 高精度な測定により、使用する投入量を制御
- より長期、または1年を通じた栽培
- 輸送コストの削減
- 従来型栽培形態に基づく供給が減少するオフシーズンに得られる価格プレミアム

図表3からは、米国で過去20年間において、さまざまなCEAシステムの生産額と設置面積が大幅に増加したことがわかります。こうした増加は注目に値するものの、CEAによる生産額は、従来型畑作に比べると依然ごく一部です。たとえば、2021年のカリフォルニア州における従来型畑作のトマト生産額は11億8000万ドル相当であり、CEAによる全生産量合計を圧倒しています。

図表3：米国のCEA生産*の金額と面積



出所：米農務省（USDA）の園芸に関する国勢調査、NNCの分析
*ガラスまたはその他の保護下で栽培された食用作物。水耕栽培の作物を含みます。

欧州でもローテクのビニールハウスから最新式の温室まで、CEAの生産が拡大しています。オランダは温室栽培とその技術における世界的リーダーであり、国内・輸出市場向けの葉物野菜、実物野菜、観賞用作物を生産する温室の総面積は2万6000エーカーを超えています。図表4からは、野菜を生産する温室運営会社の数が徐々に減少している一方で、温室の総面積は38%増加していることがわかります。制御された環境下で食料を生産する際に必要とされる高水準の設備投資と運営費を踏まえると、規模の経済の重要性が浮き彫りになります。

適切な条件が整っていれば、ほぼすべての作物を屋内で栽培することができますが、CEAシステムではより高額な作物、または一般的な屋外での生育期間が終了した際の供給ギャップを埋める作物を生産します。価格ベースで見ると、トマトは制御された環境下で最も広く栽培されている作物です（図表

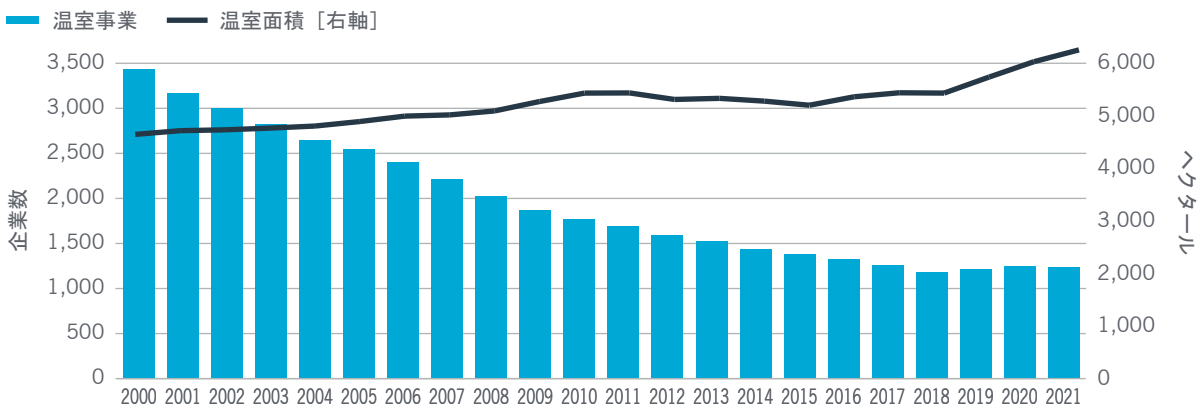
5）。垂直農業と温室農業の間には、作物の組み合わせにはっきりとした相違がみられます。温室はトマト、キュウリ、ピーマンをうまく取り入れることができますが、垂直農業の作物の組み合わせは主に葉物野菜（レタス、フダンソウ、ケール）とハーブ（バジル、ミント、チャイブ、パセリ）になる傾向があります。

ハイテク温室または垂直農場における作物の生産コストは、システムによって大きく異なります。コスト構造は、採用されるテクノロジーとオペレーションの度合いによって増えていきます。中程度の技術を利用するCEAプロジェクトで必要となるものは以下の通りです。

- 土地（所有またはリース）：垂直農場の場合、輸送コストを削減するために都市中心部またはそれに隣接する土地が求められます。そのため、この戦略では従来型農地に比べ、1エーカーあたりの地価が大幅に上昇する可能性があります。
- 建物または構造物
- 灌漑または水耕栽培、照明および換気にかかるシステム
- さまざまな水準の技術スキルを持つ労働力
- 生育、照明および換気システムを作動するためのエネルギー

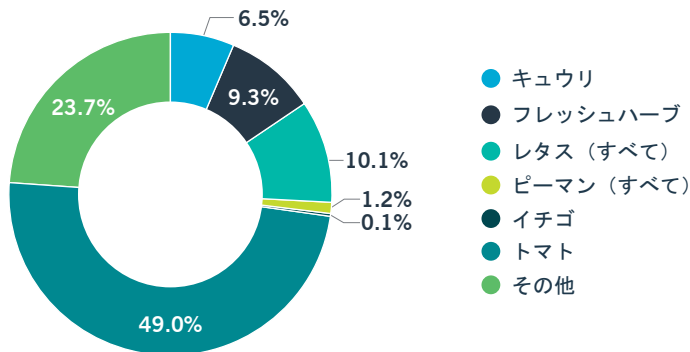
従来型農法に比べて、大半のCEAシステムは単位面積あたりの収穫量が高くなりますが、生産コストも大きく上回ります。図表6には、コーネル大学の研究者が実施した2019年の調査²で導き出した、1kgの葉物野菜を栽培してニューヨーク市の農産物市場に届けるための生産コストが示されています。

図表4：オランダの野菜の温室



出所：ワーゲニンゲン大学

図表5：米国のCEAシステムで栽培された作物の生産額による内訳



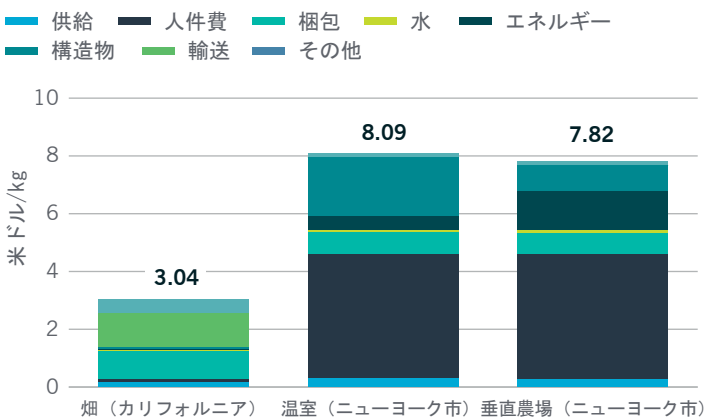
出所：米農務省（USDA）の園芸に関する2019年国勢調査、NNCの分析

調査では、カリフォルニアのセントラル・バレーにある従来型畑作ベースの農業、ハイテク温室、および垂直農場の3つを対象としています。温室と垂直農場は双方とも、ニューヨーク市の大都市圏内にあると想定されています。この調査結果によると、カリフォルニアの従来型畑作と比較した生産およびマーケティング・コストは、ハイテク温室が166%、垂直農場は157%ほど高いことが明らかになっています。

全体的な相違に加えて、それぞれのコスト構造も大きく異なります。従来型畑作では収穫、梱包、出荷にかかるコストが全体の約70%を占める一方、ハイテク温室では躯体、光熱費、人件費が全体の80%を占めます。

また同研究では、温室および垂直農場システムのコストに占めるエネルギー・コストの割合が大き

図表6：1kgの葉物野菜を生産し、ニューヨーク市の農産物市場に配送するための費用



出所：コーネル大学、2019年

いことから、畑作対比の作物1kgあたりCO₂換算温暖化ガス排出量が温室で3%、垂直農場では110%高いことを指摘しています。これは本稿の範囲外ではあるものの、各農法の環境面におけるトレード・オフを判断するためには詳細な分析が必要であることを示唆しています。

従来型農地投資との比較にみる、CEA投資のリスク・リターン特性

CEAはさらに多くの生産システムに細分化されますが、近年のハイテク垂直農場に対する投資の増加に鑑み、ここでは従来型畑作とハイテク垂直農場の比較に着目します。

従来型畑作と垂直農場はどちらも多額の初期設備投資を必要としますが、前者はほぼ更地の農地を対象とする一方、後者は有形固定資産です。農地投資は一般的に、一年生作物向け農地と多年生作物向け農地に大別されます。

- とうもろこし、大豆、小麦、生鮮野菜などの一年生作物は、そのライフサイクルが1年未満で完了するため、農家は収益性や作物栽培に関する諸条件の変化に応じて毎年生産量を変更できます。一年生作物向け農地を対象とする投資家は一般的に、地元農家をテナントとして当該農地をリースすることで、インカム・リターンを獲得します。
- 多年生作物の場合は、農地投資だけではなく、敷地内で栽培される生物資産（アーモンドやブドウなどの植樹と育成等）への投資も必要です。生物資産の経済的耐用年数は作物の種類によって異なりますが、一般的に20年以上と想定されています。

多年生作物のアセット・マネジメントという点では、農地投資家はそれを第三者にリースすることも、農作業を請負業者にアウトソーシングすることによって直接運営すること（カスタム・オペレーション）もできます。カスタム・オペレーションの場合、農地所有者は作物に関連する価格と生産のリスクを負うこととなりますが、リース戦略よりもインカム・リターンを増やす余地があります。

機関投資家の農地ポートフォリオには、一年生作物と多年生作物の双方が組み入れられている場合が多く、作物種と運営戦略の分散が図られています。これは、従来型農地投資とCEA投資を比較した場合の重要な差別化要因です。次に、トータル・リターンとその構成要素、および各投資に関連するリスクなどに着目して、従来型農地投資とCEA投資の相違点をご説明いたします。

リターンのダイナミクス

従来型農地投資のトータル・リターンは、農作物の売却収入と農地借地料から成るインカム・リターンと、時間の経過に伴う地価上昇によるキャピタル・アプリーシエーションによって構成されます。人口増加によって食料需要が高まる一方、農地の供給はますます限られていく現状を踏まえると、土地の希少性による資産価格の上昇が多くのケースで見られることになると予想されます。従来型農地の投資家は、ポートフォリオの構築と保有期間に応じて、その原資産価値が年間で3%から6%上昇する可能性があります。

垂直農場は、有形固定資産への多額の資本支出を必要とし、その大半は減価償却資産です。多くのCEA投資には減価償却に伴う価値低下の性質に加え、テクノロジーの進歩がCEA生産者に逆境をもたらす恐れがあります。これは日々発展を続けるテクノロジーによって、ある生産者が持つ既存システムが新しい施設に比べて陳腐化することを意味しており、場合によっては競争力を維持するために追加の設備投資が必要になるか、効率が低下して利益率が圧縮されることとなります。また垂直農場に必要な土地価格も上昇する可能性があります。かかる土地の所有は必須ではなく、借地という選択肢もあります。CEA投資のリターンの大宗はインカムで、キャピタル・ゲインは極めて限定的です。

リスク

CEA投資と従来型農地投資には、食料を生産し、作物価格変動の影響を受けるという点で類似点があるものの、リスクに関する考慮事項は異なります。そのため、資金配分や投資戦略を考えるにあたっては、多角的な分析と考察が必要となります。

垂直農業固有の大きなリスクは、相当の設備投資と技術的専門性が必要であるということです。さらに、インカムを大半とする収益構造であるがゆえに、高い運営コストと市場開拓の取り組みによって収益化までの期間が長期化するおそれがあります。

作物栽培の収益性にテクノロジーが果たす重要性和、垂直農業のような特定のCEA運営が比較的新しいものであることを勘案すると、こうした状況は生産者と投資家の双方にとってリスクです。生産システムの技術的誤動作やダウンタイムによって、作物が全滅するおそれもあり、また、エネルギー価格が収益性に重大な影響を与える点も重要です。

従来型農地投資に関連するリスクとしては天候が挙げられます。これは年間収穫量の変化や貿易政策の

変更につながり、国家間の農産物取引に何らかの影響を与えたり阻害する要因にもなり得ます。これらのリスクを抑制するためには、投資対象国、作物種、および運営戦略といった観点で分散された農地ポートフォリオを構築することが必要です。

投資家への示唆

将来にわたって求められる食料生産性向上と生産量増大の背景は、長期的な人口増加と限定的な農地供給です。拡大する人口を維持し、増大する食料需要を満たすためには、従来型農法とCEA農法の双方を組み合わせ、多様な農業生産システムが必要となるでしょう。これらのことから、農地投資は価格上昇が見込まれる資産への投資であり、安定したインカム・リターンを生み出す投資と言えるでしょう。また野菜、穀物、油糧種子、ナッツ類、果物といった作物種を幅広く組み入れることで、ポートフォリオ内の分散を強化することができます。

資産としての農地は、優れたインフレ・ヘッジになると同時に、株式や債券といった伝統的資産クラスとの相関性が低いいため、ポートフォリオ分散の向上を目指す投資家にとって理想的な投資先となります。とは言え、従来型農地投資がもたらすポートフォリオ・レベルのメリットを、CEAへの投資戦略でも享受できるかどうかはまだ不透明です。

一方、CEAへの投資により、投資家は新しいテクノロジーと均一な作物生産を投資対象とすることができ、従来型農法にまつわる多くのリスクを軽減できます。

CEA投資は作物の組み合わせが限られ、多額の設備投資を必要とし、トータル・リターンはインカムを中心としたものになるため、機関投資家ポートフォリオにおける位置づけは従来型農地投資とは異なる分類となります。

従来型農地投資は、安定したインカム・リターン、分散化のメリット、および1桁台後半のトータル・リターンをもたらす、ポートフォリオのインフレ・ヘッジとしてより適した投資特性を有しています。一方、多くのCEAはプライベート・エクイティまたはインフラ投資に分類され、オペレーション、戦略、導入テクノロジーおよび立地によっては、リスクもリターンもより高くなる可能性があります。両投資とも食料生産が投資対象ではありますが、トータル・リターンは異なるダイナミクスに左右されるため、その投資特性やポートフォリオにおける分類は異なるものとなるのです。

詳細については、NUVEEN.COMをご覧ください。

巻末注

1 <https://www.worldwildlife.org/initiatives/food>

2 Nicholson, C.F., K. Harbick, N. M. Mattson and M. I. Gómez. 2019. An Economic and Environmental Comparison of Conventional and Controlled Environment Agriculture (CEA) Supply Chains for Leaf Lettuce to US Cities, in E. Aktas and Michael. Bourlakis (eds.) Food Supply Chains in Cities: Modern Tools for Circularity and Sustainability

本資料は推奨や投資助言を目的としたものではなく、有価証券や投資戦略の購入、売却または保有の勧誘を構成するものではなく、受託者としての立場で提供されるものではありません。提供された情報には、特定の投資家の具体的な目的や状況は考慮されておらず、また特定の行動方針を示唆するものでもありません。投資判断は、投資家の目的と状況、および投資家自身の顧問と相談の上行うべきものです。ここに記載されている見解や意見は、制作または執筆日時点における情報提供および教育的な目的のみを意図しており、市況や法規制の動向などの要因に基づいて、予告なく変更されることがあります。すべての情報は信頼できると思われる情報源から取得されていますが、その正確性は保証されません。この資料には、純粹に歴史的な性質ではない「将来予想に関する」情報が含まれている場合があります。このような情報には、とりわけ見通し、予測、市場リターンの推定、提案中または予想されるポートフォリオ構成が含まれる場合があります。本資料の作成に当たって行われた仮定の変更は、本資料に記載されている情報に重大な影響を与えている可能性があります。過去の実績は、将来の結果を保証するものではありません。投資にはリスクが伴い、元本損失が発生する可能性があります。本情報は、MIFIDで定義する投資リサーチを構成するものではありません。すべての情報は信頼できると思われる情報源から取得されていますが、その正確性は保証されません。かかる情報に基づく決定に対して、現時点での正確性、信頼性または完全性、または責任に関する表明または保証はなく、そのように依拠すべきではありません。

重要なお知らせ

ヌveen・ジャパン株式会社（以下「当社」といいます。）は、第二種金融商品取引業、投資運用業及び投資助言・代理業を行う金融商品取引業者です。

第二種金融商品取引業者として、当社は金融商品取引法（昭和二十三年法律第二十五号、その後の改正を含む）第二条二項に規定された有価証券についてのみ勧誘を行うことができます。従って、当社が提供する資料は、登録業務の範囲で当社が私募の取扱いを行う対象とはならない同有価証券、及びその他いかなる有価証券の取得の勧誘を意図して提供されるものではありません。

投資運用業者として、当社は日本の投資家向けに投資一任運用サービスを提供することができます。従って、当社が提供する資料は、登録業務の範囲で認められていないいかなるサービスの提供勧誘を意図して提供されるものではありません。

投資助言・代理業者として、当社は投資助言の提供及び国内投資運用業者と海外の運用業者との間の投資助言契約あるいは投資一任契約の締結の代理を行うことができます。従って、当社が提供する資料は、登録業務の範囲で認められていないいかなるサービスの提供勧誘を意図して提供されるものではありません。

本資料に記載の情報は資料作成時点で実質的に正しいと考えられますが、その情報の正確性あるいは完全性が当社が表明あるいは保証するものではありません。データは資料作成者が信頼すると判断した提供元から取得していますが、その正確性が当社が保証するものではありません。

過去の運用実績は将来の投資成果を示唆あるいは保証するものではありません。投資資産の価値および投資によりもたらされる収益は増加することもあれば減少することもあり、投資家は投資元本を失う可能性もあります。

本資料に含まれる見解は、資料作成時点での資料作成者の所見や展望であり、将来予告なく変更されることがあります。また、それらの見解は、過去あるいは将来の動向についての表明あるいは保証とみなして依拠されるべきものではありません。

経済あるいは市場に関する予測は不確実性を伴い、市場、政治、経済などの状況により変化する可能性があります。

本資料中に個別格付けの記載が含まれる場合、下記ウェブページの「無登録格付に関する説明書」をご覧ください。<https://www.nuveen.com/ja-jp/global/-/media/nuveen/documents/legal-and-compliance/unregisteredratingagencies.ashx>

Nuveen, LLC及びその傘下の関連会社を総じて「Nuveen」あるいは「ヌveen」と称する場合があります。Nuveen, LLCはTeachers Insurance and Annuity of America（TIAA、米国教職員退職年金/保険組合）の資産運用部門です。

本資料は、情報提供を目的として、受領者限りの資料としてご提供するものです。本資料を当社の書面による許諾なく第三者による使用または第三者への提供を禁じます。本資料で特定のファンドについて言及している場合、本資料でご紹介する運用戦略を投資一任口座で実現するための投資対象の一例として掲載するものであり、当該ファンドの募集やその他勧誘を目的とするものではありません。

金融商品取引法に基づく広告規制に関する重要事項

【費用】 当社が投資一任契約口座にてお客様から受託した資産の運用を行う場合、お客様には、運用報酬、売買手数料、保管費用等をご負担いただきます。運用報酬やその他手数料については、投資形態、資産残高、運用手法等によって異なるため、あらかじめその料率やその上限値を本資料中に表示することはできません。具体的な費用については、契約締結に先立ってお渡しする契約締結前交付書面をよくお読みください。

【リスク】 受託資産の運用に際しては、組入れファンドの価格変動リスク、組入れファンド内で投資する有価証券等投資対象の価格変動リスク、金利および金融市場の変動リスク、流動性が十分でないために取引できない流動性リスク、株式や債券に投資する場合には発行体の信用リスク、外貨建て資産の場合は為替変動リスク等の影響を受けます。これらの影響により、組入資産の価格が変動して損失を生じ、投資元本を失う可能性があります。運用によって生じた損失はすべてお客様に帰属します。具体的なリスクについては、契約締結に先立ってお渡しする契約締結前交付書面をよくお読みください。

ヌveen・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3132号

一般社団法人日本投資顧問業協会/一般社団法人第二種金融商品取引業協会加入

GWP-2762301CR-E0123WX

nuveen
NATURAL CAPITAL