

グローバル国債の気候変動リスク定量化とベンチマーク戦略 —気候対応ベンチマークとキャリー・ロールダウン戦略の統合—

FTSE Japan Ltd. シニア・ディレクター

売野 隆一

野村證券株式会社 マネージング・ディレクター

菊川 匡

■ 要 約 ■

1. 保有ポートフォリオにおける気候変動リスク把握の重要性が高まる一方、これまでこのリスクが開示されているのは株式、社債といった企業のリスクにほぼ限定されていた。機関投資家の資産クラスで中核のひとつであるソブリン債券は、発行主体が国家であることから気候変動リスクを定量的に評価する枠組みがあまり議論されてこなかった。
2. 本稿ではソブリン債券の気候変動リスクを評価する枠組みとして、企業と同様の物理的リスクや移行リスクについて国家のマクロ経済に及ぼす影響の観点から議論し、国別の気候変動リスクの定量化の試みを紹介する。
3. 投資家が気候リスクをポートフォリオに簡易的に反映することができるベンチマーク・ソリューションとして、従来の時価総額加重型のグローバル国債インデックスを気候変動リスクのスコアに応じてウェイトを調整するティルティング法によるリスク低減手法を議論する。さらに国別セクターにおいて、投資効率に優れたキャリーおよびロールダウンを最適化した満期セクターの選択により、期待リターンの向上を同時に試みたケースを紹介する。

I 金融システムが直面する気候変動リスク

年々深刻さを増している環境問題の中でも、このところ最も喫緊の課題とされ注目を浴びているのは、地球温暖化すなわち気候変動リスクであろう。2020年、国際決済銀行（BIS）はブラック・スワンならぬ「グリーン・スワン」報告書を公表し、気候変動リスクと金融システムの安定性につき多角的な面から考察しその重要性を強調している。また、英国中銀（BOE）は、先日、金融政策として温室効果ガスの排出量をネットでゼロに移行することを中央銀行の政策目標として追加している。さらに、米連邦準備制度理事会（FRB）も気候変動リスクへの対応を金融機関の監督対象とすることを表明しており、気候変動リスクが中央銀行における監視対象の一項目としても認識され始めていることから、金融機関が把握すべき重要なリスク管理項目となりつつある。

1. 企業レベルで先行する気候変動のリスク開示

これまで、気候変動リスクに対しては気候関連財務情報開示タスクフォース（TCFD）の提言に代表されるように企業のレベルにおける開示が年々充実してきており、気候関連財務情報は重要な開示条項として定着しつつある。企業レベルで気候変動リスクを認識する際に、通常は物理的リスク（Physical Risk）と移行リスク（Transition Risk）の二つに大別して計測することが多いようである。物理的リスクは、気候変動が企業の事業や経済活動に直接的、間接的に与える影響によって企業が被るリスクのことで、さらに台風やハリケーン、豪雨などによる直接的な被害やサプライチェーンの分断に起因される「急性リスク」と、海面上昇や気候変動による農業へのリスクなどの「慢性的リスク」に細かく分類されて評価される。移行リスクは、温暖化の原因と目されているGHG（Greenhouse Gas、すなわち温室効果ガス）の排出量の削減によって起因する社会的な変動、すなわち低炭素社会へ移行する過程において、政策や規制の変更、技術革新、市場での評価などが原因となってもたらされるリスクのことである。保険会社など特定の企業では、物理的リスク、移行リスクに加えて、当該企業が気候変動の原因となった、あるいは気候変動への対応が十分でなかった、として訴訟される責任賠償に対処する責任リスク（Liability Risk）を加えた3つのリスク指標を用いて評価することも多い。

このような企業レベルの気候変動リスクは、保有ポートフォリオにおいて株式および社債の気候変動リスクを識別する際に有効であり、MSCIによるClimate VaRやTrucost社のCarbon at earningsなど、大手のデータプロバイダーが多くのデータセットを提供している。

2. 債券投資における気候変動リスクへの対処

年金基金などの機関投資家において、株式と並ぶ中核の資産クラスのひとつは債券であるが、これまで、債券の資産クラスにおける環境・社会・ガバナンス（ESG）や環境対応

への取り組みでは、まずはグリーンボンドに代表されるソーシャルボンドへの投資が注目されてきた。このトレンドは継続しており、環境関連の債券も多様化し、ブルー・ボンド（海洋環境の保全を目的とした債券）やトランジション・ボンド（低炭素社会への移行を目的とした債券）など、環境関連債券の発行が増加してきている。ただし、これらの債券の発行体としては、ほとんどが企業あるいは国際機関であり、発行額が急増しているとはいえ、ソブリン債券市場の規模から見れば、環境関連債は機関投資家のコア資産となるほどの市場規模は形成されていない。

一方、保有する債券ポートフォリオの気候変動リスクを把握したい場合、本邦の場合は国内債券、外国債券のどちらの資産クラスにおいてもソブリン債券（国債）のウェイトが大勢を占めているケースが多いと思われるが、これまで開示が進んできた社債が占めているウェイトは低く、債券の資産クラス全体でみるとリスクの算出対象となるセクターは限定的であった。

このため、最近では国債の発行主体である国家に関して、主に財政面に焦点をあて、ソブリン債券の気候変動リスクを定量的に評価しようとする取り組みが見られ始めている。

3. ソブリンの気候変動リスクのフレームワーク

ソブリン債券のポートフォリオおよびそのリスク管理において留意すべきは、気候変動により短期的および長期的に被る財政の健全性への影響であろう。国家財政へのインパクトという視点から、企業の気候変動リスクの評価フレームワークと同様に物理的リスクや移行リスクの観点から定量的に評価する試みが提唱され始めている。

1) 物理的リスク

物理的リスクとは、気候変動に起因する物理的影響が国家の財政や経済に与える影響を評価したリスク指標を指す。たとえば、海面上昇による沿岸部の喪失、森林破壊、利用不可となる発電所、水資源の塩化などといった温暖化に伴った経済的なリスクである。この物理的リスクの評価として、Moody'sの関連企業である Four Twenty Seven 社では洪水、熱波、海面上昇、干ばつ、台風（ハリケーン）、山火事といった6つのKPIによるリスクを用いて気候変動により懸念される国レベルの物理的リスクを測定し、スコアリングを行っている¹。また、ロンドン証券取引所グループの Beyond Ratings 社は海面上昇、異常気象災害による死亡者数、農業部門の経済的変動を評価指標として物理的リスクを定量的に評価している。

¹ Four Twenty Seven, *Measuring What Matters: A New Approach to Assessing Sovereign Climate Risk*, December 2020. (http://427mt.com/wp-content/uploads/2020/12/Measuring-What-Matters-Sovereign-Climate-Risk-427_12.2020.pdf)

2) 移行リスク

企業における移行リスクは、低炭素社会へ移行する過程における政策や規制の変更などを想定し、その変化による影響を評価するが、国家においても低炭素社会への移行は様々なインパクトが想定される。国家のマクロ経済に与える影響としては、歳入面と歳出面の双方の影響を検討する必要があり、歳入面では化石燃料関連企業などに代表されるエネルギー関連産業の構造変化、気候変動による農業の生産量低下、観光業などにおける雇用減による税収入の低下が考えられる。一方、歳出面としては気候変動の影響を受ける産業への補助、低炭素社会へ移行するためのグリーン関連インフラ対策費用などの支出増加といった点が懸念される。前述の Beyond Ratings 社は移行リスクの定量化については、パリ協定で策定されたいわゆる 2°Cシナリオを達成するために必要となる各国の GHG 削減量と直近 5 年間ににおける GHG の削減トレンドとの距離を用いている。つまり、これまでの削減量が十分で 2°Cシナリオ達成が容易な国については移行リスクが低い、逆に削減量が不十分でこれからさらなる削減が求められる国は移行リスクが高い、とみなす。

各国の GHG 排出量は同社の CLAIM Model²によって計算され、最も可能性の高い GHG 排出量・削減量を推定する。そして、2°C目標の達成に向けて、予想される必要削減量と、これまでに達成してきた排出削減量とのギャップ（距離）を用いて、国レベルの移行リスクの程度を計測する。

このシミュレーションのベースとなっているのは、茅恒等式として知られる炭素排出量と人間の活動を結びつけた下記の式である。

$$\text{茅恒等式： 炭素排出量} = \frac{\text{炭素排出量}}{\text{エネルギー}} \times \frac{\text{エネルギー}}{\text{GDP}} \times \frac{\text{GDP}}{\text{人口}} \times \text{人口}$$

これに、人口、一人当たり GDP、GDP・エネルギー効率、主要エネルギーの二酸化炭素（CO₂）原単位（Intensity）、一人当たりの GHG 排出量（総量、エネルギー関連、エネルギー関連以外）、一人当たりの主要エネルギー消費量、一人当たりの累積 GHG 排出量について、直近のデータあるいはトレンドを用い、可能性の高い GHG の将来の排出量をシミュレーションベースで推定している。

4. 総合的なソブリンの気候変動リスク評価

ソブリン債券について、物理的リスクだけでなく、移行リスクなども含めた総合的な気候変動リスクの定量的な評価としては、前述の Beyond Ratings 社がフレームワークを提供している。そのフレームワークでは 3 番目の評価指標として、物理的リスク、移行リスクに加えて、耐性（Resilience）を導入し、低炭素社会への移行にその国がどれだけの耐性

² Gaël Giraud, Hadrien Lantremange, Emeric Nicolas, Olivier Rech, *National Carbon Reduction Commitments: Identifying the Most Consensual Burden Sharing*, 2017.

を有しているのか、社会の準備度合いや成熟度を測定する評価項目を加えている。具体的には制度、社会、経済、生態学の4つのカテゴリーに分類された23のKPI（重要業績評価指標）を使用して定量的評価を行う（図表1）。

Beyond Ratings社は前述した物理的リスク、移行リスク、耐性の3つの指標を総合したソブリンのリスクスコアを公表している（図表2）。スウェーデンはこれまでのGHG削減量の取り組みにより、移行リスクが最も低く（高スコア）、耐性も評価が最高となっているため、総合的なスコアでも最高となっている。概して北欧を中心とした欧州各国のスコアが高く、アジアおよび新興国ではリスクが高いと評価されている。欧州主要国の中でオランダのリスクが高いのは、国家の大半が海拔5メートル以下に位置していることに起因する高い物理的リスクのためである。

図表1 耐性ピラーを評価するKPI

制度	社会	経済	生態学
NDC 温度	燃料補助金	CDP 比率	淡水取水量
政府の効率性	ジニ係数	保険普及率	保護地域比率
対外債務 GDP 比率	人材開発指数	研究開発費	危機状態にある生物多様性の共有
災害準備状況	声と説明責任	物流効率性	生物多様性種数
	公衆衛生サービス	ビジネス遂行容易性	植林比率
	電気へのアクセス	環境債 GDP 比率	
		水の生産性	
		農業適応能力	

（出所）Beyond Ratings、FTSE Russell

図表2 気候変動の国別総合リスクスコア

国	スコア	国	スコア	国	スコア
スウェーデン	0.926	スペイン	0.501	メキシコ	0.248
フィンランド	0.808	フランス	0.458	ポルトガル	0.244
ノルウェー	0.808	イスラエル	0.447	ベルギー	0.242
オーストリア	0.689	日本	0.433	中国	0.173
英国	0.655	米国	0.411	シンガポール	0.132
ドイツ	0.620	アイルランド	0.329	マレーシア	0.122
デンマーク	0.601	オーストラリア	0.326	オランダ	0.114
イタリア	0.514	カナダ	0.315		

（出所）Beyond Ratings、FTSE Russell

Ⅱ ベンチマーク・ソリューション

1. グローバル国債インデックスへの適応

本邦におけるグローバル国債のベンチマークでは FTSE Russell が提供している世界国債インデックスなど、時価総額加重で各国のウェイトが決定されているものが一般的である。これは、世界の主要国の債券市場の平均的なパフォーマンスを表現しており、パッシブ運用の際の取扱も容易である点があるが、当然のことながら気候変動リスクについては勘案されていない。このため、FTSE Russell は Beyond Ratings の気候変動リスクのフレームワークを使用してウェイトを調整した新しいタイプの国債インデックスを共同で開発し、2019 年から公表を開始している。このインデックスは、リスクスコアに応じてウェイトをティルトさせ、気候変動リスクの高い国のウェイトを下げ、リスクの低い国をオーバーウェイトすることで気候変動リスクを低減する仕組みを取り入れている。

両社が共同で開発した気候対応型の国債インデックスは、ポートフォリオのリスク・リターンの観点から従来の時価総額加重型ベンチマークとの入れ替えが容易なように、リスク・リターン・プロファイルが従来型と近似した特性を持つ環境対応特性としてはマイルドなタイプと、従来のベンチマークとのリスク・リターン・プロファイルを犠牲にしても環境特性を積極的に改善したいアグレッシブなタイプの 2 種類の指数を算出して公開している。

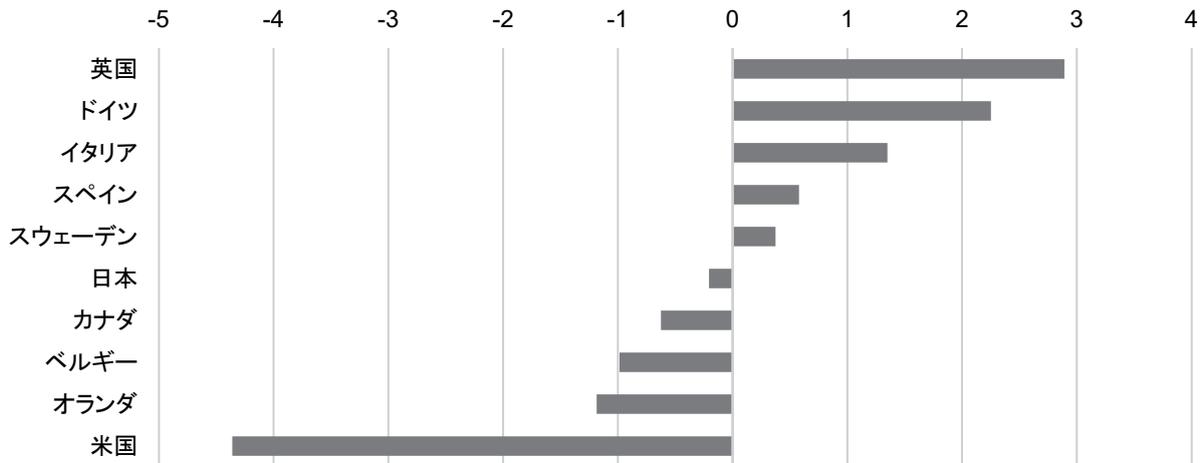
図表 3 に従来の時価総額加重型ベンチマークと入れ替えが容易な標準タイプの気候対応型国債インデックスで各国のウェイトを比較したチャートを示す。最大のアンダーウェイトは米国で、欧州の主要国であるイギリス、ドイツなどがオーバーウェイトされている。スウェーデンはオーバーウェイトの率としては最大であるが、元来の市場規模が小さいため絶対的な幅としては大きくない。日本はほぼ中立からややアンダーウェイトといったポジションである。

これに対して、積極的に気候リスクを低減することを目的としたタイプのベンチマークでは、上記のオーバーウェイト、アンダーウェイトとの幅が極端となり、従来型のベンチマークとのトラッキングエラー³も大きなものとなる。

このような新しいベンチマークの採用は、まだ始まったばかりであるが、投資家がこのようなベンチマークを利用することで、保有ポートフォリオにおける気候変動リスクを低減することが可能になる。また、企業とは異なり国家へのエンゲージメントを実施することが困難であるのは確かであるが、このようなベンチマーク戦略が一般に普及することで、国家レベルでの気候変動への取り組みを促進する一助になることが期待される。

³ ポートフォリオのリターンとベンチマークのリターンとの乖離の大きさを示す指標。ポートフォリオのリターンとベンチマークのリターンとの差（アクティブリターン）の標準偏差をとった値となる。数値が大きいほど、ポートフォリオの動きがベンチマークから乖離していたことを示す。

図表3 気候変動リスク対応型ベンチマークのウェイト変動幅



(注) 2021年3月末現在、単位はパーセント・ポイント。

(出所) FTSE Russell

2. キャリー・ロールダウンの最適化戦略との統合

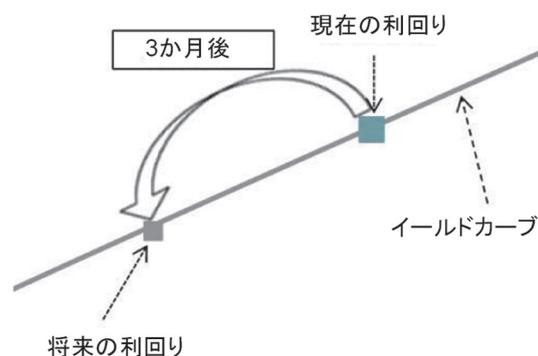
前述した気候対応ベンチマークは、保有ポートフォリオにおいてグローバル国債に内在する将来的な気候変動に起因する財政リスクを低減することが目的となっている。昨今の気候変動リスクへの取り組みの中で、このような新しい取り組みが必要になっていく一方で、国債利回りの低下は数年前と比較して顕著であり、期待収益率の低下が懸念される。とりわけ、前述した気候対応型のベンチマークは、欧州主要国をオーバーウェイトし、米国など利回りの高い国をアンダーウェイトしており、最終利回りが通常の時価総額加重方式のベンチマークと比べて低くなる傾向にある。

時価総額加重型国債ベンチマークをパッシブ運用する際に指摘される欠点として、イールドカーブ上の明らかに割高となっている年限セクターもベンチマークと同等に購入しなければならないことが挙げられる。

このため、この気候リスク変動型ベンチマークに野村証券が開発したキャリー・ロールダウンの最適化手法である CaRD のメソドロジーを組み合わせた統合戦略が開発されている。

キャリー・ロールダウンは、イールドカーブが現状のまま一定として、所定の保有期間を想定して計算される保有期間利回りで、キャリーとロールダウンに分解される。キャリーは保有期間に債券から得られるインカムゲインを指し、ロールダウンはイールドカーブの形状に変化がないという前提のもとで、年限が保有期間分だけ短くなることに伴う利回りの変化による評価益（損）のことである（図表4）。いずれもイールドカーブの形状（歪み）に起因するリターンで、この総和が最大となる満期セクターの組み合わせを、デュレーションを一致させた制約下において最適化する戦略が CaRD である。

図表 4 ロールダウンの概念図



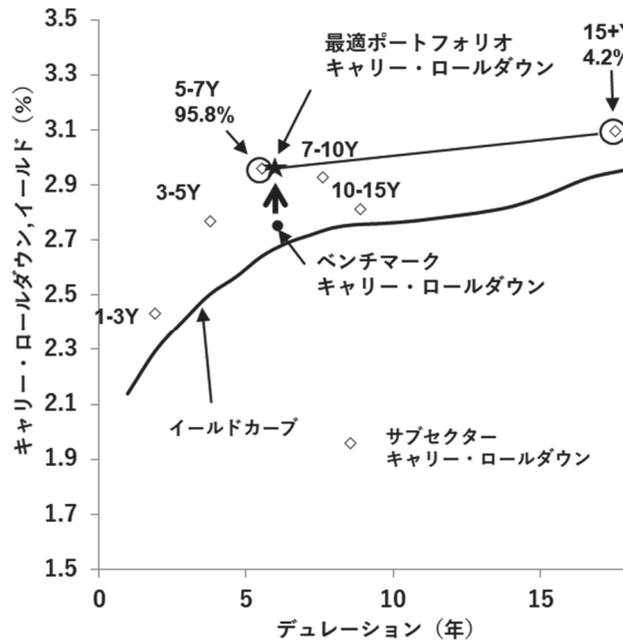
(出所) 野村証券

CaRD を適用する際に、本来であれば満期セクターは 1 年刻みなど、なるべく細かくセクタリングするとイールドカーブの割安部分をより効果的に識別することが可能となるが、気候リスク調整型のグローバル国債ベンチマークの場合、細かすぎる満期セクターは再現性の点でトラックできなくなる可能性が高くなるため、満期別バケットは 1~3 年、3~5 年、5~7 年、7~10 年、10 年~15 年、15 年超と 6 つの比較的大まかな年限区分を用いて最適化を行っている。また、キャリーおよびロールダウンを適切に捕捉するため、保有期間は 12 ヶ月を想定して毎月末に最適化を行っている。図表 5 に米国債市場での最適化の例を示す。イールドカーブが凸型をしているため、最適化ポートフォリオはブレット・ポートフォリオ⁴に近く、5~7年のウェイトは95.8%、15年超のウェイトは4.2%となっており、ベンチマークと同じデュレーションでキャリー・ロールダウンはより高くなっている。

図表 6 に 2021 年 3 月末現在、CaRD のメソロジーによって選択された主要国（G5 諸国）の満期別セクターを示す。デュレーションをベースとなっているベンチマークと一致させると制約条件があるため、各国とも 2 つの満期セクターが選択されている。

⁴ 平均残存期間に投資を集中させるポートフォリオ。

図表 5 米国債市場での最適化の例



(注) 2018年3月末時点。
(出所) FTSE Russel、野村証券

図表 6 主要国で CaRD により選択された満期セクター (%)

満期セクター	米国		英国		ドイツ		フランス		日本	
	時価総額	CaRD								
1年～3年	33.63	0	17.42	0	24.67	1.27	20.68	0	16.80	0
3年～5年	22.68	0	11.67	0	19.97	0	16.70	0	9.50	0
5年～7年	14.65	58.87	8.01	0	15.94	0	13.20	0	6.31	0
7年～10年	10.33	41.13	9.14	0	18.03	98.73	19.39	54.18	14.79	0
10年～15年	0.09	0	9.74	79.76	4.14	0	9.47	45.82	14.88	93.48
15年超	18.62	0	44.02	20.24	17.24	0	20.56	0	37.72	6.52

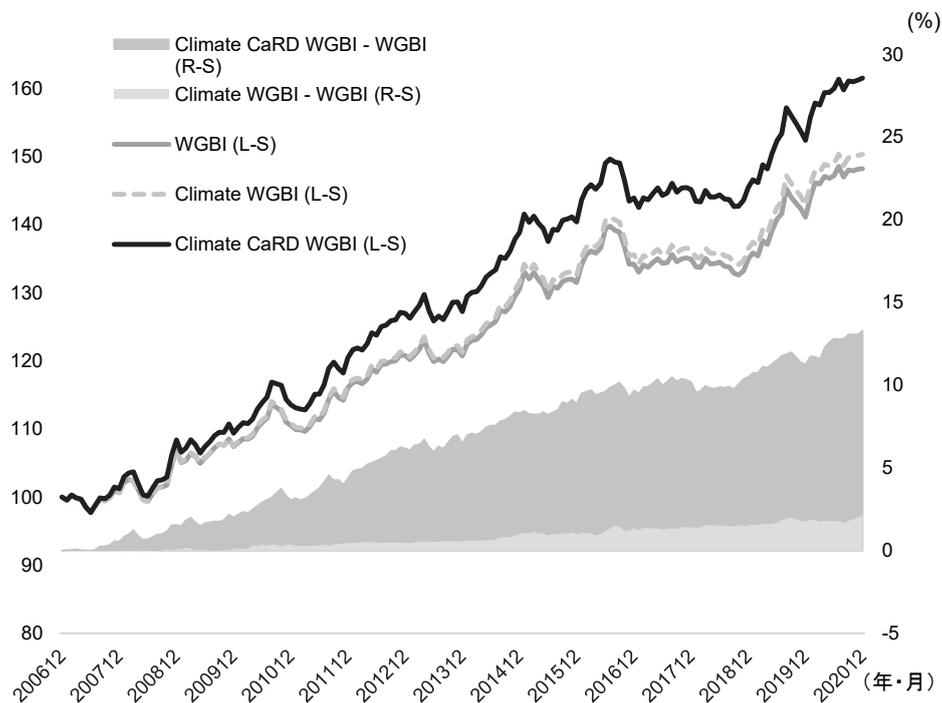
(注) 2021年3月末現在。
(出所) FTSE Russell

3. パフォーマンス

図表 7 は、時価総額加重型のグローバル国債インデックス (WGBI)、気候リスクで調整された標準タイプの気候指数 (Climate WGBI) およびその CaRD エンハンス・バージョン (Climate CaRD) のパフォーマンスを比較したものである。ベンチマークである世界国債インデックス (円ヘッジ付き) に対してトラッキングエラーが抑えられ、キャリー・ロールダウンにより安定的に超過リターンが付加されることが示されている (超過リターン 0.64%、トラッキングエラー 0.53%、インフォメーションレシオ⁵1.20、期間 2006 年 6 月～2020 年 12 月)。

⁵ アクティブリターンの平均値をトラッキングエラーで割ったもの。ベンチマークからの超過リターンを得るために、どのくらいリスクがとられたかを計測し、この数値が大きいほど、とられたリスクに対する超過リターンが高く、アクティブ運用の効率が高いことを示す。

図表7 気候リスク調整型およびその CaRD 版のパフォーマンス



(注) 折れ線は2006年12月時点を100として指数化(左軸)。

積み上げグラフは平均累積リターン(右軸)。

(出所) 野村証券、FTSE Russel Data (2006年12月~2020年12月)

Ⅲ 最後に

債券投資における気候温暖化対策としては、2つの側面がある。ひとつはソーシャルボンドやグリーンボンドに代表される温暖化の抑制を促す投資、もうひとつはリスク回避の側面から温暖化リスクを抑制した投資である。これまで、債券では前者の取り組みが一般的であったが、このような債券の発行額にはおのずと限度があり、少なくとも近い将来にポートフォリオの中核資産になるものではないだろう。一方で、国家レベルでの物理的リスクや移行リスクの高まりが意識されるとなると、後者のリスク回避的側面に焦点を当てた債券投資は、より普及していくものと思われる。とりわけ、ソブリン債券はポートフォリオにおけるウェイトが高いことから、このような取り組みが進むことの意義は大きいと考えられる。