

学位申請論文

インフラ資産の投資評価に関する研究

岩崎 康子

目次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的と方法	3
1.3 各章の構成	4
第2章 途上国におけるインフラ投資評価の現状と課題	6
2.1 緒言	6
2.2 途上国におけるインフラプロジェクトの評価手法の歩み	7
2.2.1 JICAのインフラプロジェクトの評価手法	7
2.2.2 世界銀行のインフラプロジェクトの評価手法	9
2.2.3 JICAと世界銀行によるインフラプロジェクトの評価方針の比較	10
2.3 JICAと世界銀行における費用便益分析の実施状況	12
2.3.1 JICAにおける費用便益分析の実施状況	12
2.3.2 世界銀行における費用便益分析の実施状況	15
2.4 費用便益分析の限界と多基準分析の適用可能性	17
2.4.1 費用便益分析の限界	17
2.4.2 途上国インフラプロジェクトにおける多基準分析の適用可能性	18
2.4.3 費用便益分析と多基準分析の関係	20
2.5 多基準分析の適用事例と課題	20
2.5.1 多基準分析の適用上の課題	20
2.5.2 世界銀行の多基準分析による意思決定支援ツール	22
2.5.3 今後の研究課題	25
2.6 結言	25
第3章 途上国インフラ投資評価への多基準分析の適用	29
3.1 緒言	29
3.2 多基準分析とウェイト付け手法	30
3.2.1 多基準分析におけるウェイト付けの重要性	30
3.2.2 JICAのインフラプロジェクトにおける多基準分析の適用事例	30

3.3	ウェイト付け手法の比較	33
3.3.1	ウェイト付け手法	33
3.3.2	ウェイト付け手法の比較	37
3.4	事例研究による手法の比較分析	39
3.4.1	事例研究 1: パナマの水・衛生セクタープロジェクト	39
3.4.2	事例研究 2: スリランカの上水道セクタープロジェクト	49
3.5	多基準分析の適用に向けた提言	60
3.5.1	多基準分析の適用目的に応じた手法の選択	60
3.5.2	プロジェクトの個性を生かした評価手法の選択	61
3.6	結言	62
第4章	機関投資家や民間企業によるインフラ投資の特徴と投資評価の課題	66
4.1	緒言	66
4.2	インフラ投資の特性と形態	67
4.2.1	なぜインフラ投資なのか	67
4.2.2	インフラ投資の形態	69
4.3	インフラ投資スキームの特徴と課題	72
4.3.1	インフラ投資の契約関係と資金調達方式	72
4.3.2	安定した将来キャッシュフローを確保するための課題	73
4.3.3	インフラファンドのスキームと問題点	74
4.3.4	長期的な視点による投資評価の困難さ	76
4.4	新たな投資評価モデルの構築に向けて	77
4.4.1	信頼性のある投資評価モデル構築の必要性	77
4.4.2	非上場インフラ投資の評価方法	78
4.4.3	非上場インフラ投資の評価の課題	80
4.5	結言	81
第5章	インフラプロジェクトのエクイティ投資の評価モデル	85
5.1	緒言	85
5.2	プロジェクトファイナンスの特徴	86
5.2.1	プロジェクトファイナンスを利用した資金調達スキーム	86
5.2.2	キャッシュウオーターフォール	87

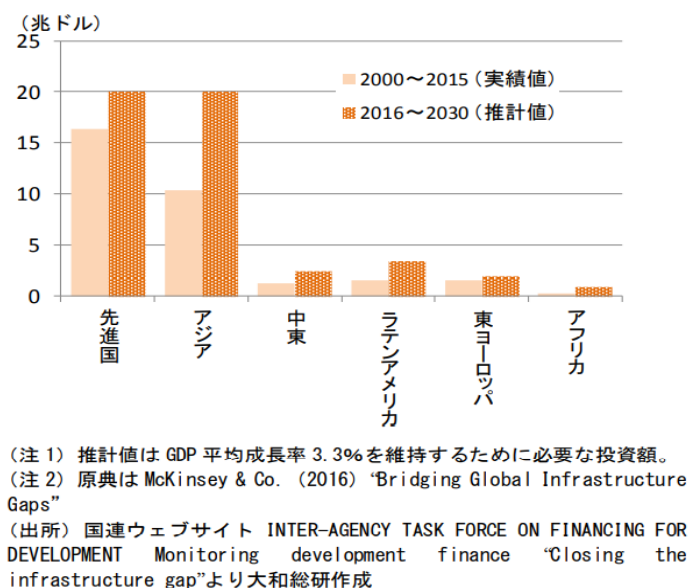
5.3	先行研究によるエクイティ投資の評価モデル.....	88
5.3.1	エクイティ投資を評価する二つのアプローチ.....	88
5.3.2	ECF/KE アプローチによるエクイティ投資の評価手順.....	89
5.3.3	ECF 認識のタイミングに影響を与えるプロジェクトファイナンスの特徴 .	90
5.3.4	プロジェクトファイナンスを利用した場合のエクイティ投資の評価モデル	94
5.4	シミュレーション	95
5.4.1	シミュレーションを行うケース	95
5.4.2	シミュレーションの前提条件	96
5.4.3	シミュレーション結果	97
5.4.4	考察	100
5.5	結言	103
第6章	結論	106

第 1 章 序論

1.1 研究の背景

先進国におけるインフラ資産の老朽化，新興国における経済成長，途上国における生活水準の向上，さらに世界的な気候変動に起因する自然災害の激甚化・頻発化等，これらに対処するためインフラ整備は 21 世紀の最も重要な課題の一つである。

しかしながら，インフラ整備に必要な投資額と実際に供給可能な資金額との間には大きな隔りがある。図 1-1 は，インフラ投資の 2000 年から 2015 年までの実績値と 2016 年から 2030 年までの推計値を地域別に示している。



出所: 大和総研リサーチレポート¹⁾

図 1-1 インフラ投資額の実績値と将来推計値（地域別）

インフラ整備を促進するためには，必要とするプロジェクトに対し，必要な資金を適時に投入することが重要であり，投資資金の制約のもと，数多くの代替プロジェクトの中から望ましいプロジェクトを選定することが必要である。

途上国や新興国のインフラ整備については，世界銀行等の国際開発金融機関や日本の国

国際協力機構（Japan International Cooperation Agency：JICA）をはじめとする先進国の開発援助機関が果たしてきた役割は大きい。こうした機関においては、望ましいプロジェクトを選定する方法として、費用便益分析が用いられてきた²⁾。

費用便益分析は、経済資源の効率的な配分を促進するための政策を評価する手法³⁾であり、合理的な意思決定支援のためのツールであるが、実務では、複数の基準で代替案を評価する多基準分析を適用して優先プロジェクトを選定している場合がある。このため、途上国でのインフラプロジェクトの投資評価（プロジェクト優先順位付け）の課題に対し、多基準分析を適用する理論的根拠を明らかにする必要がある。また、多基準分析には様々な手法があるが、どのような手法を用いることが適切かを検討する必要がある。

一方、日本を含む先進国や成長著しい新興国の多くでは、インフラ整備の財源は公的部門の資金を中心に賄われてきたが、国の財政事情が厳しくそのウェイトは低下傾向にある。他方で、海外の年金基金や保険会社等の機関投資家は2000年代以降、インフラ投資を新たなアセットクラスとして位置づけ⁴⁾、日本の機関投資家の間でも近年インフラ投資に対する期待が高まっている。これは、リスク管理の観点から、インフラ投資が生み出す長期安定的で予測可能なキャッシュフロー（リターン）が、機関投資家が抱える長期負債との間でバランスを確保できることに加えて、環境（Environment）、社会（Social）、ガバナンス（Governance）を考慮に入れたESG投資が注目されていることや、世界的な超低金利の長期化による運用難であることから、インフラ投資は有力な投資対象となっている⁵⁾。

また、単に資金面からの必要性のみならず、民間の経営力や技術力を生かして経営効率を向上させよりよいインフラサービスを提供するという目的から、1980年代以降、欧州や豪州を中心とする諸外国では、官民パートナーシップ（Public-Private Partnership:PPP）/プライベートファイナンスイニシアティブ（Private Finance Initiative:PFI）の手法によって、民間企業がインフラ投資を行ってインフラサービスを提供するようになり、現在では日本を含む世界中にこうした動きが広まってきた⁶⁾。

このような状況から、今後ますますインフラ整備のための資金の提供者およびインフラサービスの提供者として、機関投資家や民間企業が重要な役割を果たすと考えられる。そのため、インフラ投資のリスクとリターンを合理的に見積もり、適切な投資判断を行うための方法論とツール（予測・分析モデル）が求められている。

1.2 研究の目的と方法

前節では、必要なインフラ整備を促進するため、以下の二つの課題を解決することの重要性を指摘した。

(1) 途上国におけるインフラプロジェクトの優先順位付け

(2) 先進国・新興国におけるインフラ資産（事業）の評価

本研究ではこの二つの課題に対応して、以下の二つのリサーチクエスチョンを設定する。

リサーチクエスチョン 1

途上国のインフラプロジェクトの選定に、費用便益分析ではなく多基準分析を用いる理論的根拠は何か。また、多基準分析を行う際にどのような手法を用いることが適切であるか。

リサーチクエスチョン 2

先進国・新興国におけるインフラ整備に対して機関投資家や民間企業が投資を行うため、インフラ資産（事業）の評価をどのように改善するべきか。

上記の二つのリサーチクエスチョンに対する本研究の概要を表 1-1 に示す。

表 1-1 本研究の目的とその概要

目的	インフラプロジェクトの優先順位付け	インフラ資産（事業）評価
地域	途上国	先進国・新興国
評価者	社会的融資者（開発援助機関等）	投資家（機関投資家や民間企業）
評価視点	プロジェクトによる便益（貨幣価値に変換できない便益を含む）	プロジェクトが生み出すキャッシュフロー
特徴	・特定の地域（地方部及び農村部）を対象にした社会・経済指標データの制約 ・開発援助機関等の説明責任を果たす必要性（信頼性・客観性の確保が必要） ・多様な視点や価値観を反映させる必要性	・観察可能データ（市場価格、経年データ、類似プロジェクトデータ等）の制約 ・機関投資家は受託者責任、民間企業は株主やインフラサービスの利用者等に対する責任を果たす必要性（信頼性・客観性の確保が必要） ・プロジェクトの個別性を反映させる必要性
検証方法	・JICAと世界銀行における融資プロジェクトの費用便益分析の適用状況に関する調査結果に基づいて、費用便益分析を実施していない場合の理由の分析（第2章） ・多基準分析を適用することの理論的根拠について、開発経済学におけるインフラ整備の必要性の観点から検討（第2章） ・多基準分析を適用する際の課題について、先行研究に基づく整理（第2章） ・多基準分析の課題のなかから「ウェイト付け手法」に着目し、世界銀行の実際のプロジェクトデータを用いた二つの事例研究により、世界銀行の先行研究とは異なる手法の提案（第3章）	・非上場インフラ投資の特徴と課題について、先行研究に基づく整理（第4章） ・インフラ投資スキームと投資家の視点によるインフラ資産（事業）の価値の形成要因に基づく評価アプローチ・手法の検討および評価手法の課題の整理（第4章） ・評価手法であるDCF法の課題のなかから「投資家に帰属するキャッシュフローの認識のタイミング」に着目し、先行研究によるエクイティファイナンスの評価モデルをベンチマークとして、日本のコンセッション事例に基づく将来キャッシュフローのシミュレーションを行い、新たな考察の追加（第5章）

出所:筆者作成

1.3 各章の構成

本研究は、前節で説明したようにインフラ資産（事業）の評価に関する二つの課題を検討している。一つ目の開発援助機関等の立場から途上国におけるインフラプロジェクトの優先順位付け手法については第2章と第3章において、二つ目の機関投資家や民間企業の立場から先進国・新興国におけるインフラ資産（事業）の評価手法については第4章と第5章において、それぞれ論じている。

第2章では、JICAの円借款プロジェクトにおける費用便益分析の適用状況を調査し、世界銀行の融資プロジェクトにおける同様の既存調査の結果と併せて、費用便益分析が実施されていない理由と費用便益分析の限界を補う多基準分析を用いる理論的根拠を、開発経済学におけるインフラ整備の必要性の観点から検討した。また、多基準分析を用いる際の課題を整理した。

第3章では、多基準分析を用いる際の課題の一つであるウェイト付け手法に着目し、二つの事例研究を通して、新たなウェイト付け手法を検討した。世界銀行の先行研究によって提案された多基準分析のウェイト付け手法は、客観性に主眼を置いた手法であるのに対して、本研究では、客観性に加えて、途上国のインフラプロジェクトの選定に多様な視点や価値観を反映させることができる評価方法が望ましいという点も考慮した手法を提案した。

第4章では、機関投資家や民間企業によるインフラ投資の主な形態である、非上場のインフラ投資の特徴と課題を、先行研究に基づいて整理した。特にインフラ資産（事業）の評価に焦点を当て、評価アプローチ・手法について、インフラ投資スキームと投資家の視点によるインフラ資産（事業）の価値の形成要因の観点から検討し、実務ではDCF法が用いられている理由を明らかにした。また、DCF法を用いる際の課題を整理した。

第5章では、DCF法を用いる際の課題の一つである投資家に帰属するキャッシュフローを認識するタイミングに着目し、先行研究が提案した評価モデルをベンチマークとし、日本の有料道路のコンセッションの事例を基にして、エクイティ投資をした場合を想定し、将来キャッシュフローのシミュレーションを行った。この結果に基づいて、先行研究で提案された評価モデルを支持する理論的な根拠と実務適用の観点から新たな考察を加えた。

最後に、第6章では、本研究で得られた知見・結論を総括すること共に、今後の研究課題と実務適用上の課題についてとりまとめた。

参考文献

- [1] 柿沼英里子, 「SDG s と金融 第6回: SDGs 達成に貢献するインフラファイナンス」, 大和総研リサーチレポート, 2019.
- [2] Independent Evaluation Group—World Bank, Cost-Benefit Analysis in World Bank Project, 2010.
- [3] 萩原清子, 「費用・便益分析と多基準分析: 政策決定の考え方」, 佛教大学総合研究所 紀要, 2011(1), pp.13-57, 2011.
- [4] Georg Inderst, Infrastructure as an asset class, *EIB Papers*, Vol.15 No.1, pp. 70-104. 2010.
- [5] 福島隆則, 菅健彦, 『よくわかるインフラ投資ビジネス』, 日経BP社, 2014.
- [6] 中村英夫 編著, 長澤光太郎, 平石和昭, 長谷川専 著, 『インフラストラクチャー概論』, 日経BP社, 2017.

第2章 途上国におけるインフラ投資評価の現状

と課題

2.1 緒言

途上国の経済を発展させ、国民生活の安定と成長を促すためには、インフラの整備とその活用が不可欠である。自国内の財源に乏しいなかで、途上国のインフラ整備を促進するためには、先進国による投融資の役割は極めて大きい。アジア太平洋地域にある途上国において、現状でも安定的な経済成長の維持を図るためには、年間1.5兆ドルに及ぶ資金を必要としている¹⁾。こうした状況下、投融資の主体は効率的でかつ効果的なプロジェクト選定の手法の開発とその適用が不可欠であり、今日に至るまで既に膨大な研究、実務の蓄積がある^{2), 3), 4)}。

日本のJICA、ならびに世界銀行やアジア開発銀行等の国際開発金融機関が途上国に対する融資の意思決定をする際には、原則として、内部収益率 (Internal Rate of Return: IRR) 等の指標を用いた費用便益分析を行う。現在円借款事業を担うJICAでは、円借款による途上国のインフラ整備支援を行ってきた海外経済協力基金 (Overseas Economic Cooperation Fund: OECF) の時代から、費用便益分析を実施してきた⁵⁾。また、世界銀行等の国際開発金融機関においても費用便益分析は膨大な融資案件に適用され、手法の改善、ガイドラインの見直し、データの蓄積がなされ、効率的な資金配分のために大きな役割を果たしてきた⁶⁾。

2010年に公表された世界銀行の費用便益分析に関する調査報告書⁶⁾では、費用便益分析を広く適用することは、政治的または一部の人たちの利害関係がプロジェクトの選定を支配することに対する予防手段となり、便益が費用を超えるかという基本的な疑問に答えられる方法は費用便益分析以外にないとその意義を指摘している。

しかしながら、費用便益分析は、1) 貨幣換算が容易でない社会・環境面の便益が過小評価されがちである、2) 公平性の基準に欠け異なる目的を持つ利害関係者間の調整が図りづらい、という問題点が指摘されている⁷⁾。

途上国では、豊かな国との間の経済格差というマクロの観点と、途上国内の絶対的貧困というミクロの観点から貧困を撲滅するという目標の下、その手段としてインフラ整備が日本をはじめとする先進国や国際開発金融機関の支援によって進められてきた。ミクロ

の観点の目標を達成すべく行うインフラ整備は主に地方部や農村部を対象とした小規模プロジェクトであり、貨幣価値に変換することが難しい便益を考慮する必要性が高く、実務では費用便益分析が行われていない場合が多い。

また、過去約20年の間に、インフラ整備の計画立案と実行が国の財政を掌る中央省庁から各分野の省庁や地方政府に権限移譲され、これらの行政機関から中小規模の候補プロジェクトが多数挙げられているにも拘わらず、現状では、どのプロジェクトを実施すべきかの意思決定が迅速に行われていない。即ち、インフラ整備を行う国や地方政府、その支援を行う開発機関にも予算の制約があるため、優先プロジェクトを選定する必要があるが、データ不足、予算や時間の制約等の問題から、全てのプロジェクトの費用便益分析を行うのは困難である。

このような状況の下、新たな投資評価手法の開発・適用の必要性が指摘されており⁸⁾、JICAや世界銀行のインフラプロジェクトでは、多基準分析を適用して優先プロジェクトを選定している場合がある。

本章では、途上国におけるインフラ投資評価手法である費用便益分析を中心とした現状と改善の方向性について、多基準分析の補完的役割および事例分析を通じてその課題と理論・実践適用の可能性を明らかにすることとしたい。以下、2.2ではJICAと世界銀行におけるインフラプロジェクトの評価手法に関する経緯を振り返り、現在適用されている方針の比較を行う。続いて2.3では両機関における費用便益分析の実施状況と、費用便益分析が実施されていない場合の理由を分析し、その分析結果に基づいて2.4では費用便益分析の限界と多基準分析の補完的役割を明らかにする。最後に2.5ではインフラ投資評価手法の改善に向け、多基準分析を適用する場合の課題の整理と世界銀行の多基準分析による意思決定支援ツールを紹介するとともに今後の研究課題を示す。

2.2 途上国におけるインフラプロジェクトの評価手法の歩み

2.2.1 JICAのインフラプロジェクトの評価手法

途上国のインフラプロジェクトの評価実務においてどのような手法が用いられてきたか、JICAと世界銀行における歴史を振り返り、その特徴をみることにしよう。

JICAは、日本の二国間援助の中核を担う開発援助機関であり、技術協力、有償資金協力、無償資金協力を中心とした手法により、開発途上国が抱える課題解決を支援するための事

業を行っている⁹⁾。現在のJICAは、1974年に設立された国際協力事業団が前身であり、その後、2003年に独立行政法人国際協力機構（旧JICA）となり主に技術協力事業と無償資金協力事業を行うようになった⁹⁾。そして、1961年に設立されたOECF、1999年からは国際協力銀行（旧JBIC）によって実施されてきた有償資金協力事業と外務省が行っていた無償資金協力業務の一部を継承して、2008年に現在のJICAが発足した⁹⁾。

有償資金協力のうち円借款は、開発途上国が成長過程で必要とする優先度の高いインフラ整備の支援を中心に供与されてきており、OECFの時代からプロジェクトの評価に財務的内部収益率（Financial Internal Rate of Return：FIRR）および経済的内部収益率（Economic Internal Rate of Return：EIRR）が用いられていた⁵⁾。FIRRとは、プロジェクトの収支を表すキャッシュフローに基づいて、キャッシュインフローの割引現在価値とキャッシュアウトフローの割引現在価値が等しくなる内部収益率であり、プロジェクトの実施主体の立場から財務収益性を検討するのに対し、EIRRとは、プロジェクトが国民経済にもたらす便益の割引現在価値と費用の割引現在価値が等しくなる内部収益率であり、国家経済的見地から投資の効率性を検討する指標と言える¹⁰⁾。

現在、JICAでは、事業の改善と説明責任の向上を目的とし、個々のプロジェクトを対象にしたプロジェクトレベルの評価を基本とする事業評価を行っている¹¹⁾。事業評価は、プロジェクトの開始前に行う「事前評価」とプロジェクト完了後の一定期間内に行う「事後評価」がある¹²⁾。プロジェクト評価の視点として、1991年に経済協力開発機構開発援助委員会（OECD-DAC）が提唱した開発援助の国際的な評価基準である「DAC5原則」（妥当性、効率性、有効性、インパクト、持続性）を採用している¹¹⁾。このうち、「効率性」に関し、JICAの事業評価に関する基礎知識や考え方をまとめた「JICA事業評価ハンドブック（Ver. 1.1）」に添付されている2019年度用の「外部事後評価レファレンス」によると、円借款の場合、FIRRは収益性のあるプロジェクトのみ、EIRRは全プロジェクトを対象とし、審査時にこれらが算出されていることを前提として、原則審査時と同じ方法・条件で事後評価時に再計算することになっている。ただし、同レファレンスによると、「効率性の評価では、投入した資源が効果的に活用されているかを分析する必要があるが、円借款の場合、IRRは案件採択基準とはなっていないこと、IRRの再計算が困難な事業もあることを踏まえ、依然参考値扱いにならざるを得ない状況にある。」とある。言い換えると、本来は、費用便益分析を行って事業の効率性を評価する必要があるが、実務上の困難さから、費用便益分析の結果の値は参考としつつ、アウトプット（プロジェクトの活動の結果）に対してインプット（事業期間、事業費）

が適切であったか、計画と実績とを比較し差異分析を行うことによって効率性の観点から評価している¹¹⁾。

2.2.2 世界銀行のインフラプロジェクトの評価手法

世界銀行は、中所得国および信用力のある低所得国の政府に貸出を行う国際復興開発銀行(International Bank for Reconstruction and Development: IBRD)と、最貧国の政府に無利子の融資(クレジット)や贈与を提供している国際開発協会(International Development Association: IDA)で構成され、IBRDは1944年、IDAは1960年にそれぞれ設立された¹³⁾。

世界銀行は、多数のインフラプロジェクトに融資を行ってきたが、1950年代と1960年代においてプロジェクトの経済分析の手法は財務費用便益分析であった¹⁴⁾。

1970年代初めには、経済費用便益分析が並行して行われるようになり、1970年代には、費用便益分析と切り離すことのできないシャドウ・プライシングの手法や使用に関する開発が盛んに行われたが、1980年代に入るとその勢いは衰える¹⁵⁾。その理由として、世界銀行の融資が、プロジェクトを対象にしたものから、structural adjustment loansやその他のプロジェクトを対象にしない融資の割合が増えたことが挙げられる¹⁵⁾。また、1974年から1982年にかけては、多くの発展途上国において巨額の公共セクター投資が行われたが、世界銀行でも融資を大幅に増加させており、その一方で、1970年代に経済分析の手法の改善を図っていた世界銀行内部の組織であるCentral Projects Department が1980年代には組織再編によってなくなり、プロジェクト業務の品質の監視役がいなくなってしまったこともその一因である¹⁵⁾。

費用便益分析の実施割合が低下していった状況に関しては、2.3.2 において後述するが、2010年に世界銀行のIndependent Evaluation Groupが公表した調査報告書⁶⁾にその詳細が記載されている。同報告書を受けて、世界銀行では、1994年に制定されて以降20年近く運用されていた経済分析に関する方針の見直しが行われ、2013年にOperational Policy and Bank Procedure (OP/BP) 10.00 Investment Project Financingが定められた。従前のOperational Policy (OP) 10.04 Economic Evaluation of Investment Operations では、便益を貨幣で計測できない場合を除いて、全ての投資プロジェクトに対して、正味現在価値(Net Present Value: NPV)が正になるかをテストし、代替案のなかからNPVが最大になる投資案を選定すること、NPVが負である場合は投資しないこと、などが定められていた。

2013年の見直しに関して、Operations Policy and Country Servicesが公表した報告書¹⁶⁾によると、「厳格な経済分析は、プロジェクトを検討するのに重要であり、必要条件であり続けるが、強調されるべきはプロジェクトの選定や設計における経済分析のよりよい活用である」こと、また、「たとえデータが容易に入手できたとしても、10～30年後の予測が必要な場合は必然的に高い不確実性を伴うため、Economic Rate of Return（ERR）やNPVのような単一の数値のみが強調されるべきではない」ことを指摘している。そして、経済分析によって、1) プロジェクトの経済的合理性、2) 公共セクターが関与することの合理性、3) 世界銀行が支援することの付加価値、を明らかにする必要があるとしている。上記の2)と3)は従前の方針に新しく追加された。なお、Operations Policy and Quality Departmentが策定した指針¹⁷⁾では上記1)に関し、「便益は、貨幣価値によって現実的に把握することができるもの、それが困難なもの、定量化することさえ困難であるがプロジェクトのアウトカムとして重要であるものがあり、これらの便益が費用を上回るならばプロジェクトは開発に貢献していると期待される」としている。また、「通常、選定されたプロジェクトは、期待される純便益のNPVを最大化するものか、期待される結果を生む選択肢のなかで費用が最小のものである」とし、費用便益分析あるいは費用効果分析が実施されることを示唆している。また、同指針において、経済分析の目的は、クライアントと一緒にプロジェクトのよりよい選定、プロジェクトの定義、デザインの改善を行うツールとして用いることであり、NPVまたはERRが算出されるか否かに拘わらず、その基になる情報がマネジメントの意思決定のための有用なインプットであることを強調している。

2018年より運用されているBank Policy: Investment Project Financingにおいても、上記の方針が引き継がれている。

2.2.3 JICAと世界銀行によるインフラプロジェクトの評価方針の比較

JICAと世界銀行において現在適用されているインフラプロジェクトの評価方針をまとめたものが表2-1である。

JICAの事後評価では、DAC5原則の「効率性」の観点から、インプット（事業費、事業期間）とアウトプット（プロジェクトの活動の結果）の計画と実績の比較を行うとともに、「有効性」の観点から、プロジェクトが何を行ったかという点のみならず、プロジェクトがもたらした受益者、対象地域における変化や社会的、経済的な変化を指標によって測定している¹¹⁾。円借款事業の場合、事業の運営状況を定量的に図る指標として「運用指標（例：上水道の場

表2-1 JICAと世界銀行における融資の評価方針

	JICA (円借款)	世界銀行 (Investment lending)
(事前審査時)	EIRRは全てのプロジェクト、FIRRは収益性のあるプロジェクトについて算出するが、定量的効果を測る参考値の一つとして用い、案件採択基準とはなっていない ¹¹⁾ 。	費用便益分析 (ERR, NPV) または費用効果分析、ならびに必要なに応じて財務分析 (Financial Rate of Return : FRR) を行う。全てのプロジェクトの経済分析の結果を審査調書に記録する ¹⁷⁾ 。
(事後評価時)	原則審査時と同じ方法・条件 (算出根拠) でEIRRとFIRRを再算出する。審査時の算出根拠が不明な場合は、事後評価時に最も妥当だと思われる条件で算出し、データの収集が困難な場合は、計算の前提条件を記述したうえで、代替的なアプローチで試みる。それでも事後評価時に算出ができない場合は、その理由を報告書に記載する ¹¹⁾ 。	ERRまたはNPV、ならびに必要なに応じてFRRを再算出する。例外として、それができない場合は、実施完了報告書にその理由を記載する。ERRまたはNPVを実施完了報告書に記載しない場合は、他の適切な費用対効果を測る基準を用いてプロジェクトの効率性を分析する ¹⁷⁾ 、 ¹⁸⁾ 。

出所：筆者作成

合、給水量 (m³/日))、事業の効果発現状況を定量的に図る指標として「効果指標」(例：上水道の場合、水道普及率 (%)) について、実施機関と計画時に合意した審査時現在の実績値 (ベースライン)、目標値およびその達成時期を事業事前評価表に記載することになっており、その達成度合いを事後評価において測る¹¹⁾。これらの「有効性」を評価する観点から用いられる指標は、1) 貨幣価値に変換されない、2) 費用との比較がされない、3) プロジェクトを実施した場合 (With) と実施しない場合 (Without) の比較ではなくプロジェクトの実施前 (Before) と実施後 (After) の比較である、という点において、「効率性」を評価する観点から実施する費用便益分析とは異なるが、費用便益分析の「便益」の考え方と整合するものと言えよう。

一方、世界銀行のプロジェクト評価では、原則、「効率性」の観点から経済分析 (費用便益分析あるいは費用効果分析) が実施され、「有効性」の観点から指標による評価を実施する。審査調書 (Project Appraisal Document : PAD) にはプロジェクト開発目標の達成の度合いを図るための指標 (Project Development Objective (PDO)-Level Results Indicators) が設定されており、プロジェクト終了後に作成される実施完了報告書 (Implementation Completion and Results Report : ICR) においても、審査時に設定した指標について、ベースライン値、当初の目標値、当初の目標値が公式に変更された場合は変更後の目標値と変更理由、実績値を記載し、その達成度合いを測る¹⁸⁾。

2.3 JICAと世界銀行における費用便益分析の実施状況

2.3.1 JICAにおける費用便益分析の実施状況

現在JICAの円借款プロジェクトでは、費用便益分析の結果は参考値として扱われているが、実際にIRRを算定しているプロジェクトの割合をJICAのウェブサイトで公開されている事業評価のデータベース¹⁹⁾から集計し傾向を分析した。具体的には、事前評価については評価年度が2010年度から2019年度までの10年間、事後評価については評価年度が2008年度から2017年度までの10年間のインフラ整備に関するプロジェクトを対象にして、EIRRとFIRRのそれぞれについて算出されているプロジェクトと算出されていないプロジェクトの件数を集計し、表2-2と表2-3にまとめた。

表2-2 EIRRの算出・不算出のプロジェクト件数

評価年度 (事業開始年度)	事前評価 2010年度～2019年度 (2010年度～2019年度)			事後評価 2008年度～2017年度 (1987年度～2012年度)		
分野	算出	不算出	計	算出	不算出	計
総合地域開発計画，行政一般，社会基盤一般	0	8	8	1	11	12
公益事業一般	2	0	2	0	0	0
上水道，下水道，都市衛生	42	4	46	9	60	69
運輸交通一般，道路	79	2	81	47	20	67
鉄道，都市交通	41	2	43	8	6	14
港湾	17	0	17	9	10	19
航空・空港	10	0	10	8	4	12
河川・砂防	10	0	10	18	7	25
水資源開発	1	0	1	3	1	4
都市計画・土地造成	2	1	3	0	0	0
電力	72	10	82	28	51	79
計	276	27	303	131	170	301

出所：筆者作成

表2-3 FIRRの算出・不算出のプロジェクト件数

評価年度 (事業開始年度)	事前評価			事後評価		
	2010年度～2019年度 (2010年度～2019年度)			2008年度～2017年度 (1987年度～2012年度)		
分野	算出	不算出	計	算出	不算出	計
総合地域開発計画, 行政一般, 社会基盤一般	0	8	8	0	12	12
公益事業一般	1	1	2	0	0	0
上水道, 下水道, 都市衛生	15	31	46	48	21	69
運輸交通一般, 道路	19	62	81	10	57	67
鉄道, 都市交通	40	3	43	10	4	14
港湾	15	2	17	13	6	19
航空・空港	9	1	10	10	2	12
河川・砂防	0	10	10	0	25	25
水資源開発	0	1	1	1	3	4
都市計画・土地造成	0	3	3	0	0	0
電力	58	24	82	56	23	79
計	157	146	303	148	153	301

出所：筆者作成

(注) 表2-2および表2-3の集計対象から、エンジニアリング・サービス (E/S) 借款とプログラム型借款は除いた。事前評価については、同一プロジェクトでもフェーズごとに事前評価が実施されている場合は各フェーズを1件としたが、事後評価については、複数のフェーズからなる同一プロジェクトの評価が1回で実施されている場合は全フェーズをまとめて1件とした。なお、複数の構成要素からなるプロジェクトについては、全ての構成要素のIRRが算出されていないくてもその一部についてIRRが算出されている場合や、JICAの事業評価で算出していなくても他の機関が算出している場合は、「算出」に含めた。また、表2-2および表2-3のプロジェクトの「分野」について、JICAのデータベースでは複数の分野に分類されている場合は、そのプロジェクトの主要な構成要素が属する単一分野に分類したり、類似プロジェクトは同一分野に分類したりするなど、JICAのデータベースとは異なる分野に分類したことがある。

表2-2および表2-3より、EIRRとFIRRの算出・不算出の割合を集計したのが、表2-4である。

表2-4 EIRRとFIRRの算出・不算出の割合

	事前評価			事後評価		
	算出	不算出	非収益事業のため算出不要	算出	不算出	非収益事業のため算出不要
EIRR	91%	9%	—	44%	56%	—
FIRR	52%	28%	20%	49%	42%	9%

出所：筆者作成

(注) 表2-4のFIRRの「不算出」には、表2-3の「不算出」のうち非収益事業のため算出不要の場合は含まないが、非収益事業でも不算出の理由としてその旨言及していない場合は含む。表2-4の「不算出」には、料金を徴収しない道路・橋梁の整備事業や洪水対策・灌漑事業が多く含まれており、実際の不算出の割合は上記よりも大幅に低いと推測される。

EIRRとFIRRが算出されていない場合の理由をまとめたものが、表2-5と表2-6である。

表2-5 EIRRが不算出の理由

不算出の理由	事前評価	事後評価
サブプロジェクトが未決定	18	0
多数の小規模なサブプロジェクトから構成	0	5
便益の定量化が困難または貨幣的価値への換算が困難	3	12
代替効果に係る便益が算出困難	1	0
算出に必要な情報が不足	0	57
審査時に不算出のため比較不可	0	34
審査時の算出方法が不明または制約あり	0	10
調査リソースの制約	0	4
事業スコープの変更	0	6
インフラ施設の延命を主たる目的とした改修事業	1	0
緊急支援	1	0
事業完成後日が浅い	0	2
当初便益と想定された料金が徴収されていない	0	1
言及なし	3	59

出所：筆者作成

表2-6 FIRRが不算出の理由

不算出の理由	事前評価	事後評価
収入がない事業または収入獲得を企図していない事業	61	27
キャッシュフローが毎年マイナス	3	0
料金が未決定	2	0
今後の運営体制が未決定	0	1
複数の事業体が事業の運営全般を担っている	0	1
サブプロジェクトが未決定	15	0
多数の小規模なサブプロジェクトから構成	0	4
便益の定量化が困難または貨幣的価値への換算が困難	2	8
算出に必要な情報が不足	0	23
審査時に不算出のため比較不可	0	20
審査時の算出方法が不明または制約あり	0	5
事業スコープの変更	0	5
他のコンポーネントと区分して算出することが困難	3	0
緊急支援	1	0
言及なし	60	66

出所：筆者作成

(注) 表2-5および表2-6について、プロジェクトの一部の構成要素のEIRRまたはFIRRが不算出の場合は、その理由も抽出した。また、複数の理由が記載されている場合もあるため、不算出の理由の合計件数は、表2-2および表2-3の不算出のプロジェクトの合計件数と一致しない。

まず、FIRRについては、事前評価では5割強、事後評価では5割弱のプロジェクトが算出しており、EIRRのように事前評価と事後評価とで算出の割合に大きな差はなかった（表2-4参照）。事前評価、事後評価ともに、不算出の理由として、収入が発生しない、あるいは収入を獲得することを企図した事業ではないという理由が最も多く、理由が言及されていないプロジェクトのなかにも同様の理由が相当数含まれていると推測される。

次に、EIRR、FIRRともに、事前評価では情報の不足が不算出の理由になっていたプロジェクトはなかったが、事後評価ではEIRRについては57件（表2-5参照）、FIRRについては23件（表2-6参照）が不算出の理由として挙げられていた。情報の入手は、相手国政府の事業実施機関等の理解・協力が不可欠であることから、事業実施機関側と審査時のみならず事業実施期間中も適時に認識を共有しておくことが必要になる。

第三に、「上水道、下水道、都市衛生」分野の事前評価ではEIRRの算出割合が高く、事後評価ではFIRRの算出割合が高くなっている（表2-2および表2-3参照）。同分野の調査対象となった事後評価のプロジェクトは、1990年代から2000年代前半にかけて開始した上下水道プロジェクトが大半を占めており、事業事後評価表によると、審査時もFIRRのみを計算しているプロジェクトが多いことから、当時のルールが現在とは異なっていた可能性がある。

第四に、事前評価の場合にEIRR、FIRRともに不算出の理由として最も多かった（FIRRについては非収益事業のため算出不要の場合を除く）のが、サブプロジェクトが未決定という理由である（表2-5および表2-6参照）。「サブプロジェクト」とは、円借款プロジェクトが複数の比較的小規模なプロジェクトから構成されている場合、構成要素となっているプロジェクト群のことをいう。EIRRが当該理由で不算出であった18件のうち、サブプロジェクトの決定後に（サンプルを抽出して）算出予定としているプロジェクトが7件、EIRRが一定値以上であることをサブプロジェクトの選定基準としているプロジェクトが4件あり、過半数のプロジェクトにおいてEIRRを算出予定である。ただし、表2-5と表2-6の事後評価の不算出の理由が示すように、多数の小規模なサブプロジェクトから構成されるプロジェクトの場合、情報、予算、時間等のリソース不足によって実務上は算出できないプロジェクトも多い。このような場合における費用便益分析の実施の可否について、2.4で考察を加える。

2.3.2 世界銀行における費用便益分析の実施状況

世界銀行における費用便益分析の実施状況については、少し古い情報であるが、世界銀行のIndependent Evaluation Groupが公表した調査報告書⁶⁾に詳細が記載されている。

同報告書によると、プロジェクトの開始時にERRを算出する割合は、1970年代初めは70%を上回っていたが、2000年代初めには約30%まで低下している。プロジェクトの終了時にERRを算出する割合も同様の傾向がある。世界銀行のプロジェクトは、ERRを算出する分野と算出しない分野に大きく分けることができ、前者は「農業・農村開発」、「エネルギー・鉱業」「交通」、「都市開発」および「水」の5分野（以下、「高CBA分野」）、後者は「教育」、「環境」、「金融・民間セクター開発」、「保健・栄養・人口」、「公共セクターガバナンス」および「社会保障」の6分野（以下、「低CBA分野」）である。ERRの算出割合が低下しているのは、プロジェクト全体に占める高CBA分野のプロジェクトの割合が減少している（1975年：86%，2007年：44%）ことと、高CBA分野のプロジェクトにおいてもERRを算出するプロジェクトが減少している（1975年：79%，2007年：61%）ことという二つの傾向から説明できる。

次に、ERRが不算出の理由について、2008年に完了したERRを算出していない93件のプロジェクトの完了報告書を分析した結果、プロジェクトの効率性に関して言及がないもの、または単に該当なしと記載されているもの（60件）が最も多かった。次いで、費用便益分析の代替として費用効果分析を実施したと言及しているもの（24件）、関連する情報はあがるが便益が定量化できないなどの理由により費用便益分析が未完成なもの（19件）、ERR算出に必要なデータが不足しているもの（18件）となっている（なお、1件のプロジェクトで複数の理由を挙げている場合がある）。また、上記の費用効果分析を実施したと言及している24件のうち、実際にそれが実施されているのは1件のみであった。同報告書では、ERRの計算を安易に回避することは、投資すべきでない（NPVが負である）プロジェクトを実施するリスクがあるという懸念を指摘している。

さらに、費用便益分析は、通常、プロジェクト融資の可否の意思決定後に行われ、費用便益分析の結果はプロジェクト融資の意思決定の重要な判断材料になっていないとプロジェクトリーダーの8割以上が考えており、時間と労力をかけて費用便益分析を行うインセンティブがほとんどないという問題点も報告されている。

最終的に、同報告書では、費用便益分析に関する方針を見直す必要があるものの、純便益が正であるかどうかを測定することは、社会的厚生を向上させるという世界銀行の使命を果たすための理論的根拠となっていること、そして、費用便益分析を広く適用することは、政治的または一部の人たちの利害関係がプロジェクトの選定を支配することに対する予防手段となり、便益が費用を超えるかという基本的な疑問に答えられる方法は定量的な費用便益分析以外にないと結論づけている。

2.4 費用便益分析の限界と多基準分析の適用可能性

2.4.1 費用便益分析の限界

費用便益分析は、全ての費用と便益を貨幣換算するため、概念的にわかりやすく代替案の比較が容易になるという利点がある。そして、2.2で説明したとおり、JICAの円借款プロジェクトでは、案件採択基準とはなっていないが、原則としてEIRR（必要に応じてFIRR）を求めることになっている。世界銀行の融資プロジェクトでも、経済分析（費用便益分析または費用効果分析）は原則実施することになっていることから、両機関とも、費用便益分析（世界銀行の場合は費用効果分析も含む）は不可欠であると位置づけていると言える。ただし、費用便益分析は一般的に以下の欠点が指摘されている。

第一に、費用便益分析は経済資源が効率的に利用されているかに重きを置いた評価、換言すると、貨幣的な価値に依拠した評価であるため、貨幣換算が容易でない社会・環境面の便益が過小評価されがちである⁷⁾。

第二に、費用便益分析は、政策によって発生する便益がどの経済主体に帰属するかを問題にしていないため、社会全体では十分な便益が発生しているが個別の経済主体では損失が発生している場合や、ある経済主体は大きな便益を享受する一方で別の経済主体が損失を被る場合が有りうる²⁰⁾。そして、費用便益分析による政策の決定基準の理論的根拠である潜在的パレート効率性の基準では、損失を被る経済主体に現実に補償が行われるか否かは問わないため、現に損失を被る経済主体がいる可能性を排除できない²¹⁾。即ち、費用便益分析による評価は公平性の観点が考慮されていないため、各経済主体への便益の分配の問題は政策に委ねることになる。

第三に、費用便益分析の指標は、経済資源の効率的な利用を測るためのものであり、インフラストラクチャーのような巨額の社会資本が効率的に利用されるためには、ある程度の需要が見込まれなければならない。したがって、人口が少ない地域や発展が遅れた地域に対するインフラ投資は、費用便益分析ではよい評価結果とならないため、このような地域への配慮の問題も政策に委ねることになる²²⁾。

上記の費用便益分析の特性から生じる限界に加えて、途上国におけるインフラプロジェクトでは、実務上の問題で費用便益分析が実施できない場合がある。2.3.1のJICAの費用便益分析の実施状況の調査結果（表2-5および表2-6参照）によると、審査（事前評価）時に融資の対象となるサブプロジェクトが未決定の場合である。サブプロジェクトが決定した後

で費用便益分析が実施される場合もあるが、実際には困難な場合が多い。このようなプロジェクトは、国や大都市といった単位ではなく、地方部の自治体やさらに小さな特定の地域を対象としたプロジェクトであり、当該自治体・地域で実施されるサブプロジェクトの集合体からなる。そのため、便益を貨幣換算するのに必要なデータがないことや、サブプロジェクトが多数であるため人材、予算、時間を確保できないことを理由として費用便益分析が実施されていない。世界銀行の既述の報告書⁶⁾においても、「コミュニティ開発のようなプロジェクト、即ち、特定の投資がなされる前に支出が決定される場合には、説明責任に関する課題が多くある」と指摘している。費用便益分析が実施できない場合でも、サブプロジェクトの選定に合理性があることを説明する必要があるが、実際にどのようにサブプロジェクトを選定しているか、以下 2.4.2で説明する。

2.4.2 途上国インフラプロジェクトにおける多基準分析の適用可能性

2.3.1のJICAの費用便益分析の実施状況の調査において、事前評価時に融資の対象となるサブプロジェクトが未決定のためEIRRが算出できなかった18件（表2-5参照）について、サブプロジェクトの選定方法を事業事前評価表より調べたところ、EIRRが一定の値以上であることがサブプロジェクトの選定基準となっているのは4件、複数の基準を設けてサブプロジェクトを選定しているのは3件、残りのプロジェクトについてはサブプロジェクトの選定方法の詳細が記載されていなかった。また、事後評価について、多数の小規模なサブプロジェクトからプロジェクトが構成されていることを理由としてEIRRが算出できなかった5件（表2-5参照）のサブプロジェクトの選定方法を事業事後評価表より調べたところ、5件とも複数の基準で評価することによってサブプロジェクトを選定していた。このようなプロジェクトの選定手法は、多基準分析に該当する。多基準分析には様々な手法があり、それによって定義も異なるが、本研究では「複数の基準で代替案を評価し、意思決定を支援しようとする分析手法」²³⁾と定義することとしよう。

多数の小規模なサブプロジェクトから構成されているプロジェクトの場合、サブプロジェクトの選定に多基準分析が用いられているのは、各プロジェクトの事情に応じた適用が可能だからである。多基準分析の目的、関与者、評価基準の内容や数、重要度等の全ての決定プロセスが意思決定者自身の判断に委ねられる点が、費用便益分析とは異なる。表2-7では費用便益分析と多基準分析の特徴を比較する。

表2-7 費用便益分析と多基準分析の比較

	費用便益分析	多基準分析
基準判断	社会全体として純便益が正になることがプロジェクト採択の必須条件である。	意思決定者がその目的に応じてプロジェクトの採択基準を決定する。
評価基準の制約	費用・便益の貨幣換算が困難な場合や、貨幣換算に必要なデータが入手できない場合は、評価基準として取り込むことができない。	評価基準が貨幣価値以外の定量的尺度や定性的尺度でしか評価できない場合も、同一尺度に換算する手続きによって評価可能となるため、多面的な視点からの評価が可能になる。
地域住民の参加	住民にアンケートを用いて受益者の支払い意欲額 (Willingness to Pay) を尋ねる仮想評価法 (Contingent Valuation Method) によって、その意見を反映することができる ²⁴⁾ 。	評価基準やウェイトを決定する段階から異なる目標を持つ利害関係者を参加させることによって、その意見を反映し、利害調整を図ることができる ²⁴⁾ 。

出所：筆者作成

限られたリソースで柔軟な適用ができるという実務面からの適用可能性に加えて、開発経済学におけるインフラ整備の必要性の観点からも多基準分析の適用可能性を検討する。開発経済学は、「途上国の貧困の原因や特質を明らかにし、貧困の撲滅を可能にする開発戦略のあり方を探求してきた経済学の一分野」²⁵⁾であり、豊かな国と途上国との間の経済格差というマクロの観点と、途上国内における絶対的貧困というミクロの観点から貧困を撲滅することが不可欠であるという理念のもと理論が形成されてきた^{25)、26)}。

マクロの観点から貧困削減を目指すインフラプロジェクトは、国レベルの経済発展に寄与するような都市交通、港湾、発電所等の大規模な経済インフラプロジェクトである。こうしたインフラプロジェクトの場合、投資額が大きくなるため経済効率性を軽視することはできず、費用便益分析はプロジェクトの選定に理論的に明快な合理性を与え、途上国、ならびに開発援助機関や支援国にとって説明責任を果たすために有用な手法である。一方、多基準分析によってサブプロジェクトを選定しているJICAの円借款プロジェクトの多くは、小規模の主に社会インフラを整備することによって地方部や農村部等の貧困度が高い地域の住民の生活環境の改善を図ることを目標とする、ミクロの観点から貧困削減を目指すインフラプロジェクトである。費用便益分析は効率性を重視した評価手法であり、地域格差や所得格差の解消や貧困度は考慮されない。加えて、コミュニティ開発型のプロジェクトの場合、地域住民のサブプロジェクトに対するオーナーシップがプロジェクトの成功に不可欠なため、サブプロジェクトの選定には地域住民の意向を反映させることが大きな意味を持つ。多基準分析は政策目標や地域住民の意見を反映させ、政治的なプロセスで社会的な合意をとりながら課題を解決していくことを可能にする評価手法であり、ミク

ロの観点から貧困削減を目指すインフラプロジェクトの場合に多く用いられている。

2.4.3 費用便益分析と多基準分析の関係

2.4.2では、途上国においてミクロの観点から貧困削減を目指すインフラプロジェクトの選定では、貨幣換算が難しい便益を考慮する必要性が高いために多基準分析を適用していることを説明した。ただし、多基準分析は費用便益分析のように便益が費用を上回るかという明快な合理性を示さず、多基準分析によって最も評価が高いとされた代替案が、実際には社会的便益が最も小さい、あるいは、費用が便益を上回っている可能性もある。そのため、JICAや世界銀行のプロジェクトでは、代表的なサブプロジェクトの費用便益分析を行ったり、費用便益分析の指標を多基準分析の評価基準の一つとして取り込んだりしている。この場合は、必ずしも厳密な計算によるものではなく、入手可能な基礎的なデータに基づいて簡便的に行った費用便益分析も含まれる。

また、わが国をはじめとする先進国でも、主に道路や鉄道等の交通セクターにおける事業評価や優先プロジェクトの選定に多基準分析が適用されている^{8), 20), 26), 27)}。これらの適用事例では、多基準分析の評価基準の一つとして費用便益分析が組み込まれているか、費用便益分析を補完するために多基準分析が用いられており、プロジェクトの選定に費用便益分析と多基準分析を併用することの有用性を考察した先行研究も行われている^{28), 29)}。したがって、プロジェクト評価手法としての費用便益分析の意義が低下してきているわけではない。時代の変化に応じて社会の課題や住民の問題意識を反映した評価手法が検討されている²⁶⁾。

2.5 多基準分析の適用事例と課題

2.5.1 多基準分析の適用上の課題

多基準分析には様々な手法がある³⁰⁾が、途上国のインフラ投資の意思決定の実務では、理解が容易で多様な課題を取り扱うことができる線形加法モデルが用いられている。線形加法モデルは以下の式で表すことができる⁸⁾。

$$y_i = w_1 x_{1i} + w_2 x_{2i} + \dots + w_n x_{ni}$$

線形加法モデルは、上記のように、代替案*i*について、各評価基準*n*のスコア (x_{ni}) と各評価基準のウェイト (w_n) を乗じたものを合計することによって、代替案*i*の合計スコア (y_i)

を表すことができる。

多基準分析を適用する場合は、まず、評価基準を決定しなければならない。各評価基準が適切か否かは、一般的には、重要な基準が漏れなく考慮されているか（完全性）、重要でないまたは重複する評価基準、さらに全ての代替案の評価結果に差が生じない基準はないか（重複性）、客観的に共通の認識かつ理解可能な計測単位で評価できる基準であるか（操作性）、他の評価基準の影響を受けず評価できる基準であるか（相互選好独立性）、効果または便益を二重に計算していないか（二重計算）、評価基準が多すぎないか（サイズ）、インパクトの発現時期による影響を考慮すべきか（長期的な影響）、という観点で検討する³¹⁾。

2.3.1で調査したJICAの事後評価のうち、多基準分析によりサブプロジェクトを選定した2件のプロジェクトの事業事後評価表¹⁹⁾に基づき、サブプロジェクトの選定基準や課題・教訓を表2-8に要約した。

表 2-8 JICA プロジェクトの多基準分析の適用事例

国	フィリピン	ベトナム
事業	ムスリム・ミンダナオ自治地域平和・開発社会基金事業	地方開発・生活環境改善事業（第3期）
期 事 間 業	2003年12月～2012年12月	1999年3月～2008年12月
事業 概要	ムスリム・ミンダナオ自治地域において、住民主導型の小規模インフラ整備事業を行うことにより、基礎的社会サービスの提供、農林水産業を中心とした勤労機会の向上、雇用の促進を通して持続可能な開発を促し、もって貧困削減に寄与する	地方・農村部において、道路、配電網、灌漑施設、水道施設の整備や植林事業を実施することにより、住民の生活基盤の強化や地域産業の振興、自然環境の改善を図り、もって農村住民の生活環境改善に寄与する
ク サ ト プ 選 ブ 定 ロ 基 ジ 準 エ	コミュニティ開発支援対象のバラングイ（市や町を構成する最小の地方自治単位）の選定基準：①貧困状況（30%）、②戦災状況（40%）、③他政府支援プログラムとの補完関係（20%）、④自治体のコミットメント（10%）	計画投資省が定めたセクターごとの案件選定基準（施設規模、投資規模、受益規模等）に、郡、コミュニケーションレベルの貧困率等の社会的要素を加味して順位付け
課 題 ・ 教 訓	・コミュニティ開発支援プログラムについて、最新の情報が入手できず、事業完成後の持続性（運営維持管理の体制、技術力、財政措置等）に関する検証が困難	・配電セクターのサブプロジェクト選定について、候補コミュニケーションの貧困率や必要なコスト等は考慮されているが、省内での優先順位付けの方法が不明確 ・配電セクターと水道セクターについて、コストリカバリーを考慮した適正な使用料設定のためにIRRの算出を行うべき

出所：JICA事業事後評価表¹⁹⁾に基づき筆者作成

表2-8の2件ともサブプロジェクト（サブプロジェクトの対象地域）の選定基準として各地域の貧困度は考慮しているが、財務面等の事業性や技術面での実行可能性は必ずしも考慮されていない。

また、世界銀行のプロジェクトにおいても、サブプロジェクトの選定基準に関して、住

民移転や環境への影響の配慮がされていない、立地条件が不適切である、地域住民のニーズに合致していない、などの問題が指摘されていたものがある³²⁾一方で、サブプロジェクトの選定基準が適切であったために、プロジェクトの開発目標を達成することができたと評価されているものもあり³³⁾、評価基準の選定は極めて重要である。

次に、各評価基準のスコアとウェイトを決定しなければならない。スコアもウェイトも信頼できるものでなければならないが、スコアは、客観的な尺度によって、あるいは、経験のある評価者であれば特定の状況に対して同じような評価をすると考えられるので、多くの場合においてウェイトのほうがスコアよりも信頼性・正確性に劣ることが指摘されている³¹⁾。ウェイトは、簡便さの観点から均一とする場合や、専門家の知見や利害関係者の意向に基づいて決定する場合が多い。前者の場合は全ての評価基準の重要性が等しいということであり、政策の重要性等を反映していない可能性がある。後者の場合は必ずしも信頼性がないとは言えないが、客観性という観点からは疑問が残る²⁶⁾。

また、多基準分析に限らず費用便益分析を用いた場合にも共通することであるが、これらのツールは、あくまでも意思決定のための客観的情報を提供するに過ぎず、最終的な意思決定は多基準分析の結果が示す通りにならないことも有り得る³⁴⁾。優先順位の決定方法をあらかじめ関係者間で合意をしておき、例外が生じた場合はその理由を文書化しておく必要がある。

以上より、プロジェクトの選定等の判断には常に説明責任が問われるため、評価基準の選定理由、スコア、ウェイトおよび優先順位の決定方法を事前に明確に文書化することに加え、事後に第三者が検証可能な形で使用したデータや計算過程を保存しておくことが必要である³⁴⁾。

2.5.2 世界銀行の多基準分析による意思決定支援ツール⁸⁾

世界銀行は、多数の中小規模のインフラプロジェクトのなかから優先プロジェクトを選定するための手法を検討してきた。その結果開発されたのが、多基準分析を用いた Infrastructure Prioritization Framework (IPF) である。IPFは、従来行われてきた費用便益分析を代替するものではなく、限られたデータ、人材、予算、時間のなかで多数の中小規模のプロジェクトのなかから優先プロジェクトを選定するための実用的なツールとして開発されたものである。筆者が知る限り、2014年以降、ベトナム、パナマ、アルゼンチン、スリランカ、チリにおいてIPFのパイロット適用が実施されている。

IPFの特徴は、第一に、社会・環境と財務・経済の二つの観点からプロジェクトを評価することである。この二つの観点を、社会・環境に関する指標（Social and Environmental Index：SEI）と財務・経済に関する指標（Financial and Economic Index：FEI）と言い、これらの指標を何にするのかを具体的に決定することが多基準分析の評価基準を決定することを意味する。SEIとFEIは、データの入手可能性も考慮しながら、政策目標や専門家の知見を反映して選定することができる。したがって、SEIとFEIは、それぞれの国・地域の状況やセクターの特性によって異なるため、異なる国・地域やセクターにおける優先プロジェクトの選定にそのまま用いることはできず、IPFを適用する都度、適切なSEIとFEIを選定することが必要である。

表2-9は、IPFをパイロット適用したパナマの水・衛生セクターとスリランカの上水道セクターのSEIとFEIである。

表2-9 IPFに用いられたSEIとFEIの事例

国(セクター)	SEI・FEI	
Panama (Water and sanitation)	SEI	①Number of beneficiaries ②Direct number of jobs created ③Number of service recipients living below poverty line
	FEI	Benefit-cost ratio
Sri Lanka (Water supply)	SEI	①New beneficiaries per \$ invested ②Jobs created per \$ invested ③Poverty level ④Continuity of water supply ⑤Bacterial quality of water ⑥Existing safe water coverage ⑦Prevalence of water-borne diseases
	FEI	① Benefit-cost ratio ② Existing water resource yield ③ Non-revenue water

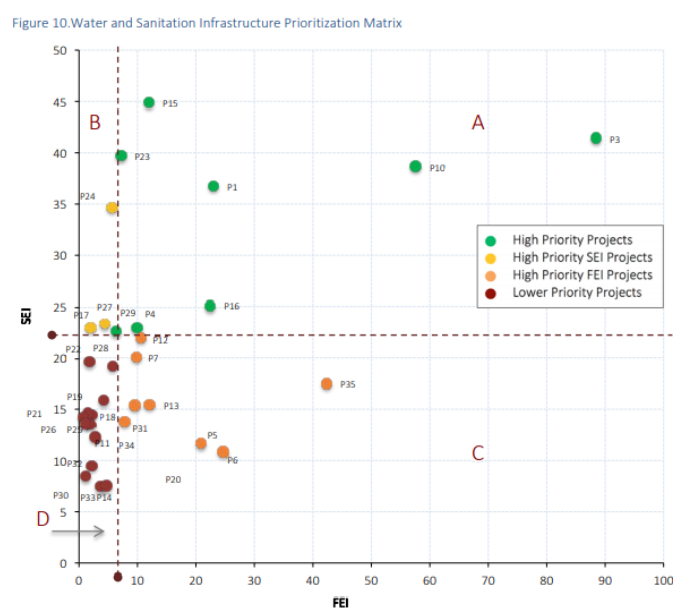
出所：The World Bank, *et al.* (2016)³⁶⁾およびDarwin Marcelo, *et al.* (2018)³⁷⁾に基づき筆者作成

パナマとスリランカの事例では、SEIには、費用便益分析では考慮できない貧困度等の政策に関する指標や、プロジェクトの実施とその相関関係の大きさの推定が困難であるために費用便益分析の便益に含められていない地域雇用の増大のような波及的効果の指標を選定している。また、FEIに費用便益分析の指標であるBenefit-Cost Ratio (BCR) が選定されている。FEIに費用便益分析の定量的指標を選定する場合は、BCRに限らずIRRやNPVを用いることも考えられる。このように、SEIやFEIの指標は、各指標の特性を考慮し、それぞれ

のプロジェクトにとって適切な指標を選定することが重要である。

第二に、SEIとFEIの各指標のスコアにウェイトを乗じて線形加法モデルにより各プロジェクトのSEIとFEIの総合評価点を算出する際、IPFでは主成分分析の手法を用いてウェイトを決定することである。主成分分析は、観察された多数の変数の統計的な関係のみに基づいて情報を要約し新しい変数（主成分）を合成する手続きであり³⁵⁾、恣意性を排除してウェイトを決定することができる。第一主成分は元のデータセットの最大の情報を維持した変数の線形結合に相当し、SEIとFEIのそれぞれの第一主成分の係数が各指標のウェイトになる。

第三に、図2-1に示すように、IPFでは各プロジェクトのSEIとFEIの評価結果（総合評価点）の組み合わせを座標平面に表示できることである。言い換えると、座標平面上における各プロジェクトの位置は、(FEI, SEI) の組み合わせによって定義され、他のプロジェクトとの比較が視覚的に容易になる。加えて、予算との関係において、SEI軸またはFEI軸、ならびにSEI軸とFEI軸の座標平面に予算制約線（図2-1の点線）を重ねて表示することにより、予算内で投資可能なプロジェクトを把握できる。また、図2-1の象限Aにあるプロジェクトは、SEI, FEIともに高評価、象限Bにあるプロジェクトは、SEIは高評価であるがFEIが低評価、象限Cにあるプロジェクトは、SEIは低評価であるがFEIが高評価、と分類することもできる。



出所：The World Bank, *et al.* (2016)³⁶⁾のFigure 10. Water and Sanitation Infrastructure Prioritization Matrix

図2-1 SEIとFEIの2次元評価の事例

2.5.3 今後の研究課題

2.5.1では、線形加法モデルを用いて多基準分析を適用する場合、プロジェクトの実行可能性や持続可能性も考慮した適切な評価基準の選定と、評価結果を恣意的に操作されないようにするためのウェイトの決定手法が重要であることを説明した。

前者については、国・地域の状況、セクターの特性、プロジェクト目標、さらにはデータの入手可能性も考慮して選定されるため、プロジェクトごとに異なる。ただし、セクターやプロジェクト目標ごとに、過去の適用事例を参考にしながら評価基準をデータベース化していけば、将来、類似のプロジェクトを実施する場合に参考にすることができる。特に、サブプロジェクトの実施機関は組織・財政基盤の脆弱な自治体やコミュニティ組織であることがほとんどであり、それらのコミットメントや財務状況も考慮することがサブプロジェクトの実行可能性や持続可能性を評価する上で重要である。

後者については、途上国のインフラプロジェクトの実務では専門家の知見や実施機関の意向によってウェイトが決定されることが多く、専門家の意見や政策を反映すること自体は重要であり多基準分析を適用する際の利点でもある。ただし、客観性という点では万全ではなく、ウェイトを変えた感度分析を行うことも対応策となり得るが、理論的根拠に基づいた手法の提案が待たれる。例えば、JICAの一部のプロジェクトでは、階層分析法（Analytic Hierarchy Process: AHP）によってウェイトを決定している事例もあるが^{38), 39)}、AHPは評価基準や代替案を人的判断によって一対評価する手法であり、評価基準や代替案の数が多くなると適用が困難になるという欠点がある。これらの問題を克服するために、世界銀行のIPFでは主成分分析による手法を提案しているが、他にも複数の指標を集計した統合指標の作成に関しては、手法およびその適用性に関する研究も膨大な蓄積がある⁴⁰⁾。途上国インフラ投資を対象として、より実用的な観点から統合指標の作成に関する適用可能な手法はないか、更なる検証が必要である。

2.6 結言

プロジェクトの評価に関し、その目的を考えると、1) 個別プロジェクトの実行の是非判断、2) 複数代替案の優先順位付け、3) 多様な分野のプロジェクト比較、という三つに区分できる⁴¹⁾。従来わが国の公共事業プロジェクトで適用されている費用便益分析に関するマニュアルは、主に個別プロジェクトの実行の是非判断に活用されており、上記目的の2)と3)

についても評価手法の開発や実務適用の場面が拡大しつつある。いずれの目的に関しても、インフラプロジェクトの評価手法として、費用便益分析と多基準分析の比較や多基準分析の適用可能性を考察した先行研究は数多くあるが^{20), 24), 28), 29)}、途上国のインフラプロジェクトの評価手法に関してこれらの点に焦点を当てたものは、筆者が知る限り極めて少ない。第2章では、開発経済学におけるマクロの観点からの目的とミクロの観点からの目的を達成するためにインフラ整備が行われているという認識に基づき、この二つの目的に応じてインフラプロジェクトの評価手法を選択し、各手法を補完的に用いることが望ましいことを、過去の事例の分析結果に基づいて明らかにした。即ち、先進国との経済格差を解消するための都市部における大規模な経済開発を目的としたインフラプロジェクトでは、投資規模が大きく経済効率性が重要視されるため、プロジェクトの選定に資源配分の効率性の観点から明快な合理性を与える費用便益分析が用いられる。一方、途上国内での絶対的貧困を削減するための地方部や農村部を対象にした小規模な社会インフラプロジェクトでは、貨幣価値に変換することが難しい便益を考慮する必要性が高いために、これを考慮した多基準分析によるプロジェクト選定が実務上も望ましいというものである。

世界銀行の先行研究⁸⁾では、限られたリソースで多数の中小規模のプロジェクトの中から優先プロジェクトを選定しなければならないという特定の状況における実務作業の困難性を考慮して、多基準分析による意思決定支援のツールであるIPFを提案し、途上国におけるインフラプロジェクトの選定において、IPFをパイロット適用した事例が蓄積されつつある。この手法に対しても理論面および実務上の観点から、いくつかの検討課題が残されている。第一に、これまでの事例で設定されたSEIやFEIの指標は必要十分であるか、プロジェクトの規模、セクター、地域特性と選定した指標との関連性の有無を明らかにする必要がある。第二に、多基準分析の評価関数の関数形とウェイト付けの方法についていかなる形が望ましいかという検証が必要である。一例として、IPFでは客観性を確保する手法としてウェイト付けの方法に主成分分析を適用しているが、これ以外の方法に関しても実用性の観点から比較検討が求められる。第三に、インフラプロジェクトの優先順位付けの手法として、費用便益分析と多基準分析を導入するための包括的な適用指針の体系化が求められる。

参考文献

- [1] ADB, Meeting Asia's Infrastructure Needs, 2017.
- [2] Anthony E. Boardman, David H. Greenberg, Aidan R. Vining, and David L. Weimer, *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice*, Cambridge University Press, 2018.
- [3] Richard Layard, *Cost-Benefit Analysis 2nd Edition*, Cambridge University Press, 2008.
- [4] ハンス・A. アドラー著, 鳥山正光訳, 『交通投資の経済評価』, 東洋経済新報, 1973.
- [5] 国際協力銀行, 『海外経済協力基金誌』, 2003.
- [6] Independent Evaluation Group—World Bank, Cost-Benefit Analysis in World Bank Project, 2010.
- [7] 天野光三, 戸田常一, 阿部宏史, 中川大, 「多基準分析に基づく計画代替案の評価に関する基礎的研究」, *土木学会論文報告集*, 第 307 号, pp.71-84, 1981.
- [8] Darwin Marcelo, Cledan Mandri-Perrott, Schuyler House, and Jordan Z. Schwartz, An Alternative Approach to Project Selection: Infrastructure Prioritization Framework, *World Bank Working Paper*, 2016.
- [9] 独立行政法人国際協力機構, 『JICA 年次報告書 2019』, 2019.
- [10] 国際協力銀行プロジェクト開発部, 『円借款案件事後評価報告書 2000 (全文版)』, 2000.
- [11] 独立行政法人国際協力機構評価部, 『JICA 事業評価ハンドブック (Ver.1.1)』, 2016.
- [12] 独立行政法人国際協力機構評価部, 『JICA 事業評価ガイドライン (第2版)』, 2014.
- [13] 世界銀行, 「世界銀行について」, (2020年6月5日取得, <https://www.worldbank.org/ja/about>).
- [14] 公益社団法人日本交通政策研究会, 『開発途上国における交通インフラ整備の政策評価に関する研究』, 開発途上国における交通インフラ整備の政策評価 (基礎理論研究) プロジェクト, 2018.
- [15] I.M.D Little and J. A. Mirrlees, Project Appraisal and Planning Twenty Years On, Proceedings of the World Bank Annual Conference on Development Economics 1990, 1991.
- [16] Operations Policy and Country Services—World Bank, INVESTMENT LENDING REFORM: MODERNIZING AND CONSOLIDATING OPERATIONAL POLICIES AND PROCEDURES, 2012.
- [17] Operations Policy and Quality Department—World Bank, Investment Project Financing Economic Analysis Guidance Note, 2013.
- [18] Operations Policy and Country Services—World Bank, IMPLEMENTATION COMPLETION AND RESULTS REPORT GUIDELINES, 2011.
- [19] JICA, 「事業評価案件検索」, (2020年3月10日～2020年3月22日取得, <https://www.worldbank.org/ja/about>).
- [20] 小林潔司, 『道路投資評価の社会経済評価』, 第15章 効果 (影響) の総合評価, 東洋経済新報社, 1997.
- [21] 岡敏弘, 「政策評価における費用便益分析の意義と限界」, *会計検査研究*, No. 25, pp. 31-42, 2002.
- [22] 奥野信宏, 『道路投資評価の社会経済評価』, 第13章 費用・便益分析における経済効率性評価, 東洋経済新報社, 1997.
- [23] 萩原清子, 「費用・便益分析と多基準分析: 政策決定の考え方」, *佛教大学総合研究所紀要*, 2011(1), pp.13-57, 2011.
- [24] 蔡 佩宜, 「多基準分析の適用可能性に関する研究-水資源管理計画を事例として-」, 博士論文, 京都大学, 2014.
- [25] 絵所秀紀, 「開発経済学と貧困問題」, *国際協力研究*, Vol.13 No.2, 1997.
- [26] 中村英夫 編著, 長澤光太郎, 平石和昭, 長谷川専 著, 『インフラストラクチャー概論』, 日経BP社, 2017.
- [27] 前川秀和, 松岡斉, 上泉俊雄, 「高速自動車国道への総合評価手法の開発・適用に関する研究」, *運輸政策研究*, Vol.8, No.1, pp.11-21, 2005.
- [28] Michael Bruhn Barfod, Kim Bang Salling, and Steen Leleur, Composite decision support by combining cost-benefit and multi-criteria decision analysis,

- Decision Support Systems*, Vol.51, Issue 1, pp.167-175. 2011.
- [29] Paolo Beria, Ila Maltese, and Ilaria Mariotti, Multicriteria versus Cost Benefit Analysis: a comparative perspective in the assessment of sustainable mobility, *European Transport Research Review*, 4(3), pp.137-152, 2012.
 - [30] Golam Kabir, Rehan Sadiq, and Solomon Tesfamariam, A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management, *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol.10, No.9, pp.1176-1210, 2014.
 - [31] Department for Communities and Local Government, *Multi-criteria analysis: a manual*, London, 2009.
 - [32] World Bank, IMPLEMENTATION COMPLETION AND RESULTS REPORT (IDA-52390) for the Zambia Water Resources Development Project, 2019.
 - [33] World Bank, IMPLEMENTATION COMPLETION AND RESULTS REPORT Credit No. 5027-IN for the Second Kerala Rural Water Supply and Sanitation Project (Jalanidhi II), 2019.
 - [34] 堀江典子, 萩原清子, 「多基準分析の今日的意義と課題」, *総合都市研究*, 第82号, pp. 93-103, 2003.
 - [35] 永田靖, 棟近雅彦, 『多変量解析法入門』, サイエンス社, 2001.
 - [36] The World Bank and Ministry of Economy and Finance of Panama, Prioritizing Infrastructure Investments in Panama: Pilot Application of the World Bank Infrastructure Prioritization Framework, 2016.
 - [37] Darwin Marcelo, Deblina Saha, Aditi Raina, and Schuyler House, Prioritizing Water Supply Infrastructure Investments in Sri Lanka: An Application of the World Bank Infrastructure Prioritization Framework, 2018.
 - [38] JICA, 日本工営株式会社, 『カンボジア国 水力開発マスタープラン調査 ファイナルレポート』, 2009.
 - [39] JICA, 株式会社長大, 株式会社オリエンタルコンサルタンツ, 『カンボジア国 橋梁改善調査プロジェクト（開発計画調査型技術協力）最終報告書 和文要約』, 2013.
 - [40] Organization for Economic Cooperation and Development, Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide, OECD Publishing, 2008.
 - [41] 森杉壽芳, 「社会資本整備投資に関する評価システムの現状と課題」, *会計検査研究*, No. 25, 2002.

第3章 途上国インフラ投資評価への多基準分析の適用

3.1 緒言

第2章で指摘したように、費用便益分析は、プロジェクトの選定に経済学的理論に基づいた根拠を与えるツールであるが、特に途上国においては、費用便益分析に必要なデータが収集できないなどの実務面での適用の問題があること、また、途上国内での絶対的貧困を削減するための小規模な社会インフラプロジェクトに関しては、貨幣価値に変換することが難しい便益を考慮する必要性が高いものの、これを考慮できないことなど、費用便益分析自体の特性から生じる適用上の限界がある。このため、JICAや世界銀行の融資対象である小規模インフラプロジェクトの事例では、多基準分析を適用して複数の基準によって多数の代替案を評価し、そのなかから優先プロジェクトを選定することが行われている。この場合、評価者にとって手法そのものの理解や実務への適用が容易である線形加法モデルを用いて、各評価基準のスコアにウェイトを乗じた和である各代替案の合計スコアを算出し、これに基づいて代替案の優先順位付けをする場合が多い。ただし、こうした手法を適用する際には、各評価基準のウェイト付けを恣意的に行い、評価結果が不当に歪められる可能性があることが多くの文献^{1), 2), 3)}で指摘されている。このように費用便益分析の適用上の限界を改善するための多基準分析についても、評価基準のウェイト付けをはじめとして、手法改善の必要性は高い。また、第2章で説明したように世界銀行が提案したIPFという多基準分析のツールはあるものの、その手法が限定されており、他に適用可能となる手法の検討も含め、実務に適した形での多基準分析の適用に関するガイドライン等の整備が求められている。本章ではこうした背景と問題意識を踏まえ、途上国インフラ投資評価に多基準分析を適用するための改善策について多角的な検討を行う。

以下、3.2では多基準分析におけるウェイト付けの重要性を説明した上で、JICAのインフラプロジェクトで用いられているウェイト付けの手法についての現状分析と課題を指摘する。3.3では途上国のインフラプロジェクトの選定に用いる多基準分析に適用可能なウ

ェイト付け手法の概要を説明し、各手法の特徴を比較する。3.4 では二つの事例研究を行う。具体的には、世界銀行のパナマとスリランカにおける IPF パイロット適用プロジェクトのデータを用いて、複数のウェイト付け手法を適用した多基準分析によるプロジェクトの優先順位付けを行う。3.5 では3.4 の結果を踏まえて、途上国において多基準分析を用いてインフラプロジェクトの選定を行う場合の提言を行う。

3.2 多基準分析とウェイト付け手法

3.2.1 多基準分析におけるウェイト付けの重要性

第2章では、多基準分析について「複数の基準で代替案を評価し、意思決定を支援しようとする分析手法」⁴⁾という広い定義を採用した。この手法では、1)各評価基準にスコアとウェイトを設定し両者を乗じて合計スコアを出す場合と、2)各評価基準の評価結果を統合しない場合、との二つのアプローチが採られている。この手法による「スコアの統合はあくまでも合意形成と意思決定支援のための手段」¹⁾であり、代替案が数件程度であれば、各評価基準の評価結果を統合せずに、代替案の各評価基準の評価結果の一覧表を作成して比較検討することも可能である。しかし、代替案の件数が多くなればなるほど、合計スコアに基づいて比較をするほうが容易であり、第三者にもプロジェクト選定の明確な根拠を示しやすくなるという利点がある。

JICAや世界銀行等の途上国のインフラプロジェクトにおいて、スコアを統合して代替案の優先順位付けをする場合には、代替案*i*について、各評価基準*n*のスコア x_{ni} を各評価基準のウェイト w_n に乗じたものの和である $y_i = w_1x_{1i} + w_2x_{2i} + \dots + w_nx_{ni}$ で表される線形加法モデルが広く採用されている。この際、スコアは客観的な尺度によって測られる、あるいは、評価者の持つ証拠や経験に基づいてある事象について同じような評価になりやすいため、多くの場合、ウェイトのほうがその信頼性や正確性が低くなり³⁾、順位付けの結果に与える影響も大きいという特徴を持っている。このため、評価モデルにおけるウェイトは理論的な枠組みや概念的な根拠に基づいて合理的に選択・決定されるべきである²⁾。

3.2.2 JICA のインフラプロジェクトにおける多基準分析の適用事例

JICAのインフラプロジェクトの中から、多基準分析を適用している事例を抽出し、各評価基準に対応するウェイトがどのような手法で決定されているかを調査した。表3-1は、

JICA図書館蔵書検索のデータベース⁵⁾から任意に30件の報告書を抽出して、多基準分析の実施目的とウェイト付けの手法をまとめたものである。結果は、均一のウェイトが最も多く（13件）、次いで人的判断によるウェイト（11件）であった。

一方、ウェイト付けをしない、即ち、スコアを統合しないで代替案を選定しているプロジェクトは、代替案の件数が少ない（10件未満）場合が多かった。

これらの結果から、1)均一あるいは人的判断による方法を採用するなど、ウェイト付けに対する十分な理論的な根拠がなく、処理・解釈の容易な方法が採用されていること、2)代替案の件数が少ない場合は、スコアを統合する手間・コストを勘案して、評価基準間の比較を直接行い代替案の選定を行っていること、が読み取れる。前項で示したように、インフラプロジェクトに対する多基準分析の適用に際しては、理論的な背景を踏まえたうえで、多基準分析の適用目的や代替案の件数等に応じた、手法適用のガイドラインの整備が必要になると言えよう。

表3-1 JICAのインフラプロジェクトにおける多基準分析の適用事例

	報告書名	報告書年月	多基準分析の実施目的	ウェイト付けの手法			ウェイト付けなし (注2)
				階層分析法	人的判断	均一(注1)	
1	コンゴ民主共和国キンシャサ市都市交通マスタープラン策定プロジェクト-PDTK- ファイナル・レポート Volume1：都市交通マスタープラン	2019年4月	2040年における5つの交通シナリオの中から、将来の社会経済、交通状況に即したシナリオを選定する。				○
2	ミャンマー国地方インフラ整備に係る 情報収集・確認調査 ファイナル・レポート (要約)	2019年1月	カウンターパートから提示されたロングリストのサブプロジェクト(SP) (65の道路・橋梁SP, 87の電力(オングリット)SP, 15の給水SP) に順位付けを行い、ショートリスト化する。		○		
3	バングラデシュ国ダッカ都市交通整備事業(5号線)準備調査 ファイナルレポート早期公開版	2018年10月	構造形式について3つの代替案の比較検討を行う。				○
4	タンザニア連合共和国ダルエスサラーム都市交通マスタープラン改訂プロジェクト ファイナルレポート 和文要約	2018年7月	マスタープランで提案された鉄道プロジェクトのうち、公共交通需要が大きく、かつ、バガモヨ道路の混雑緩和に寄与する可能性の高い5つのルートのケースを設定し比較検討する。			○	
5	スリランカ国電力マスタープラン策定プロジェクト ファイナル・レポート	2018年3月	最適電源構成を抽出するため、電源構成シナリオ案の優劣を検討する。		○(注3)	○(注3)	
6	ニカラグア国マナグア市都市開発マスタープランプロジェクト ファイナルレポート (和文要約)	2017年8月	都市開発マスタープランの4つ(都市開発、交通施設、インフラストラクチャー、防災)のプログラムに属する50の提案プロジェクトから優先プロジェクトを選定する。		○		
7	ミャンマー国貧困削減地方開発事業(フェーズ2)準備調査 最終報告書 (要約)	2017年1月	カウンターパートから提示されたロングリストのSP (22の道路・橋梁SP, 73の電力(オングリット)SP, 49の給水サブプロジェクトSP) に順位付けを行い、ショートリスト化する。		○		
8	ベトナム国南部道路・橋梁の交通現況に関する情報収集・確認調査 ファイナル・レポート	2016年8月	対象地域における2030年までに供用開始が見込まれる22の道路・橋梁開発計画の中で、特に地域にとって必要性の高い候補案件を選定する。			○	
9	スリランカ国廃棄物管理分野に関する情報収集・確認調査 ファイナル・レポート	2016年2月	ステークホルダーミーティングで選定された33の調査候補地方自治体のなかから10の優先地方自治体を選定する。			○	
10	セネガル国ダカール首都圏開発マスタープラン策定プロジェクト 最終報告書一和文要約一	2016年1月	2035年マスタープラン実現へ向けた33の優先プロジェクトのなかから、フレ・フィジビリティ調査(F/S)の対象プロジェクトを選定する。			○	
11	イラク国港湾セクターマスタープラン策定プロジェクト 最終報告書 要約編	2015年12月	短・中期開発計画の10のプロジェクトのなかから優先プロジェクトを抽出する。				○
12	タンザニア国全国物流マスタープラン ファイナルレポート 第1巻 和文要約	2014年3月	マスタープランにある41のプロジェクト(港湾、道路、鉄道、空港)について優先順位付けを行う。				○
13	ミャンマー国ヤンゴン市上下水道改善プログラム協力準備調査報告書 第3巻 上水道マスタープラン	2014年3月	2040年の水需要を踏まえた水源に関する3つの代替案の比較検討を行う。				○
14	ミャンマー国ヤンゴン市上下水道改善プログラム協力準備調査報告書 第6巻 下水道・排水マスタープラン	2014年3月	2040年の汚水処理方式に関する3つの代替案の比較検討を行う。				○
15	セネガル国カラック市下水・排水・廃棄物処理プロジェクト(開発計画調査型技術協力) 最終報告書 要約	2014年3月	下水処理計画区域の設定に先立ち、下水サービスエリア、下水処理方式と処理能力等が異なる3つの代替案の比較検討を行う。			○	
16	ネパール国全国貯水式水力発電所マスタープラン調査 ファイナルレポート	2014年2月	67の貯水式プロジェクトのなかから有望プロジェクトを選定する。		○(注3)	○(注3)	
17	インドネシア国 ジャカルタ都市高速鉄道東西線 事業準備調査 最終報告書	2013年12月	ブレフ/S調査で提案された5ルートの内、最適なF/S対象路線を選択するため、路線選定を行う。		○		
18	カンボジア国橋梁改善調査プロジェクト(開発計画調査型技術協力) 最終報告書 和文要約	2013年3月	仮設橋の架替を優先度の高い道路から行うため、168の路線の道路の優先順位付けをする。	○			
19	バングラデシュ人民共和国石炭火力発電マスタープラン・フォローアップ情報収集・確認調査 ファイナルレポート	2012年3月	発電所建設候補地4地点の比較検討を行う。				○
20	インドネシア国ジャカルタ大首都圏港湾物流改善計画策定プロジェクト 最終報告書 和文要約編	2011年12月	新ターミナルの候補地として9つの候補地から最適案を選定する。		○(注3)	○(注3)	
21	インドネシア国水力開発マスタープラン調査 ファイナルレポート 第2巻 メインレポート	2011年8月	8つの案件のなかからブレフ/Sの候補案件を選定する。				○
22	ウガンダ共和国水力開発マスタープラン作成支援プロジェクト ファイナルレポート	2011年3月	代替電源設備(水力発電、地熱発電、ディーゼルエンジンによる火力発電、風力発電、バイオマスコジェネレーション発電、太陽熱発電、原子力発電、電力輸入)について評価を行う。		○(注3)	○(注3)	
23	サブサハラアフリカにおける広域運輸交通インフラ(港湾/鉄道)に係るプロジェクト研究 ファイナルレポート	2010年9月	サブサハラアフリカにおける港湾・鉄道を主体とした物流回廊整備の具体的なコンセプトを示し、今後の支援の方向性を提案するものとして、20の回廊のなかからモデル支援プログラム対象回廊を選定する。			○	
24	エジプト国カイロ地下鉄4号線整備事業準備調査 最終報告書 Volume 2 フィジビリティ・スタディ・レポート2/Volume 5 要約	2010年6月	2つのルートについて比較を行う。		○		
25	ベトナム国持続可能な総合運輸交通開発戦略策定調査(VITANS 2) 南北高速道路マスタープラン 要約	2010年5月	32のプロジェクト区間の優先性を設定する。			○	
26	モンゴル国ウランバートル市都市計画マスタープラン・都市開発プログラム調査(UBMPS) 最終報告書 和文要約	2009年3月	2030年目標のマスタープランとして提案されている開発プログラムの115のプロジェクト(ロングリスト)のなかから、50の優先プロジェクト(ショートリスト)を選定する。		○		
27	カンボジア国水力開発マスタープラン調査 ファイナルレポート	2009年1月	29の候補計画のなかから10の計画を選定する。	○			
28	インドネシア国スラウェシ地域開発支援道路計画調査 最終報告書 Volume 1：マスタープラン調査 要約	2008年3月	マスタープランで提案された19のパッケージのプロジェクト評価を行う。		○		
29	シリア・アラブ共和国環境保全(地方都市廃棄物処理)プロジェクト形成調査報告書	2008年3月	廃棄物管理に係る現状調査及び分析を通じ、要請内容の優先度を検討するため、5つの対象都市の評価を行う。			○	
30	キルギス共和国北部地域中小橋梁架け替え計画 予備調査報告書	2006年10月	12の橋梁の整備の優先順位を決定する。			○	

(注1) 各評価基準の点数を単純に合計している場合も含む。

(注2) 各評価基準を段階評価(例：A,B,Cの3段階評価、○、△、×の4段階評価)し、総合評価している。

(注3) 評価基準間のウェイトを変えて感度分析を行っている。

出所：筆者作成

3.3 ウェイト付け手法の比較

3.3.1 ウェイト付け手法

線形加法モデル等を用いて、複数の指標を統合させた指標を統合指標 (Composite Indicator) という⁶⁾。この統合指標は、多面的な観点から大量の情報を統合し指標の利用者に誤解のないように理解しやすい形で示すためのものであり、収集されるべき情報が欠落や歪みなどを持たず適切に収集され、情報内容と統合手法の信頼性や正確性が担保されなければならない⁶⁾。現在、この統合指標は経済協力開発機構 (Organization for Economic Co-operation and Development: OECD) 等の国際機関において、経済、環境、国際化等の多岐にわたる分野で評価指標として作成・利用されている²⁾。OECD では、2008 年に統合指標を作成する手法についての指針をまとめた Handbook on Constructing Composite Indicators を公表している。様々な統合指標があるなかで、本ハンドブックは、産業競争力や持続可能な開発等の分野において各国の実績の比較や順位付けに用いられている統合指標に焦点をあて、統合指標の複雑性の理解や作成手法の改善に役立てるために作成されたものである⁶⁾。

統合指標の作成では、先の線形加法モデルのように個別情報の統合のため各指標に対するウェイト付けを行うことが多い。前節で指摘したように、線形加法モデルによる統合指標の作成では、合理的な作成ルールに基づいた実務上も操作しやすいウェイト付け手法が求められている。ウェイト付け手法は多様であるが、各手法の長所と短所を考慮し多基準分析の適用目的に合致するものを選択する必要がある。後の多基準分析の手法比較に用いるため、OECD ハンドブックの中からインフラプロジェクトの評価に適用可能なウェイト付け手法を選定し、以下にその概要を整理しておく。

(1) 主成分分析 (Principal component analysis) ^{6), 7)}

主成分分析は、観察された多数の変数の統計的な関係のみに基づき情報を要約して新しい変数 (主成分) を合成する手続きである。第一主成分は元のデータセットの最大の情報を維持した変数の線形結合に相当し、第一主成分 y_1 は以下の式で表すことができる。

$$y_1 = w_1x_{1i} + w_2x_{2i} + \cdots + w_nx_{ni}$$

w_n は各代替案 $i=1, \dots, z$ の n 番目の変数 x のウェイトを表し、このウェイトは合成された変数 y_1 の分散を最大にするように決定される。ここで計算されるウェイトは、複数の観察

されたデータ間の重複した情報を調整するためだけに介在し、各データの理論上の重要性を測るものではないことに注意が必要である。

また、上式の通り、合成された変数 y_i は線形結合で表されるので、各変数 x_{ni} を正規化する必要があるが、正規化によって元のデータの性質を歪めてしまう可能性がある⁸⁾。

(2) 包絡分析法(Data envelopment analysis : DEA) ^{6), 9)}

包絡分析法は、各代替案が同種類のものを投入（入力）して同種類のものを産出（出力）するときに、入力と出力の比を用いて効率性を判断する手法である。以下では包絡分析法の基本的なモデルである、規模の大小にかかわらず収穫一定を仮定している CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) モデルを考える。CCR モデルでは、代替案 $i=1, \dots, z$ のウェイトは、 m 種類の入力 $x_1, \dots, x_m$ にウェイト $v_1, \dots, v_m$ を付けた総和 $\sum_{j=1}^m v_{ji} x_{ji}$ を分母に、 n 種類の出力 $y_1, \dots, y_n$ にウェイト $w_1, \dots, w_n$ を付けた総和 $\sum_{k=1}^n w_{ki} y_{ki}$ を分子にした入出力の比 θ_i を、全ての代替案の入出力の比を 1 以下、かつ、全てのウェイトを非負にする制約のもとで、最大化するように決定する。即ち、各代替案について、

$$\begin{aligned} \max \theta_i &= \sum_{k=1}^n w_{ki} y_{ki} / \sum_{j=1}^m v_{ji} x_{ji} \\ \text{s. t. } &\sum_{k=1}^n w_{ki} y_{ki} / \sum_{j=1}^m v_{ji} x_{ji} \leq 1 \\ &v_{1i}, \dots, v_{mi} \geq 0 \\ &w_{1i}, \dots, w_{ni} \geq 0 \end{aligned}$$

となる (v^*, w^*) を求める。この分数計画問題は以下の線形計画問題に変形することができる。

$$\begin{aligned} \max \theta_i &= \sum_{k=1}^n w_{ki} y_{ki} \\ \text{s. t. } &\sum_{k=1}^n w_{ki} y_{ki} \leq \sum_{j=1}^m v_{ji} x_{ji} \\ &\sum_{j=1}^m v_{ji} x_{ji} = 1 \\ &v_{1i}, \dots, v_{mi} \geq 0 \\ &w_{1i}, \dots, w_{ni} \geq 0 \end{aligned}$$

なお、包絡分析法では、分析結果は採用する入力と出力に全面的に依拠するため^{8), 10)}、その選択は重要な問題である。

(3) Benefit of the doubt approach⁶⁾

Benefit of the doubt approach は、包絡分析法の概念を統合指標に適用する際に用い

られる手法である。Benefit of the doubt approach によるウェイトは、統合指標が各代替案にとって最大となるように決定されるため、各代替案の統合指標の合計スコアが低いことはウェイトに起因しないという特徴を有している。包絡分析法との違いは、入力とは考慮しないで出力のみを取り扱うことである¹¹⁾。したがって、Benefit of the doubt approach による代替案 $i=1, \dots, z$ のウェイトは、 n 種類の出力 $y_1, \dots, y_n$ にウェイト $w_1, \dots, w_n$ を付けた総和 $\sum_{k=1}^n w_{ki} y_{ki}$ を 1 以下、かつ、全てのウェイトを非負にする制約のもとで、最大化することによって求められる。即ち、各代替案について、

$$\max \theta_i = \sum_{k=1}^n w_{ki} y_{ki}$$

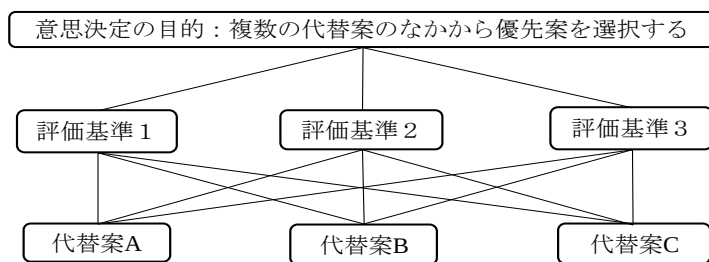
$$\text{s. t. } \sum_{k=1}^n w_{ki} y_{ki} \leq 1$$

$$w_{1i}, \dots, w_{ni} \geq 0$$

となる w^* を求める。

(4) 階層分析法 (Analytic hierarchy process : AHP)⁶⁾

階層分析法は、図 3-1 が示すように代替案の選定問題を、意思決定の目的、評価基準、代替案の階層構造に分解する。そして、評価基準を一对比較することによって各評価基準の重要度を決め、さらにその下の階層である代替案を評価基準ごとに一对比較して決定した重要度に、各評価基準の重要度を乗じてそれらの総和をとったものを、各代替案の合計スコアとして求めるという一連のプロセスによって、システムティックに分解・統合する手法である。



出所：小林 (1997)¹²⁾ の p.305 図 15-2 「AHP の階層図」を筆者が加工

図 3-1 階層別分析法の概念図

一对比較では二つの比較対象となる評価基準のうち、どちらがどれだけ重要かを問い、その尺度を 1 から 9 の 9 段階で表す場合を考える。例えば、評価基準 1 が評価基準 2 に対

して 1（図 3-2 の E_1/E_2 と E_2/E_1 がともに 1）であれば両方の評価基準が等しく重要であり、評価基準 1 が評価基準 2 に対して 9（表 3-2 の E_1/E_2 が 9、 E_2/E_1 が $1/9$ ）であれば評価基準 1 が評価基準 2 よりも 9 倍重要であることを意味する。

表 3-2 評価基準の一对比較表

	評価基準1	評価基準2	評価基準3	重要度
評価基準1	1	E_1/E_2	E_1/E_3	W_1
評価基準2	E_2/E_1	1	E_2/E_3	W_2
評価基準3	E_3/E_1	E_3/E_2	1	W_3

出所：OECD(2008)⁶⁾の p.97 Table 21. Comparison matrix of three individual TAI indicators を筆者が加工

重要度を算出するには様々な方法があり、幾何平均によると簡便であるが、固有値を用いると上記の一对比較表の整合性を確認することができる。即ち、表 3-2 の評価基準 1 と評価基準 2 の関係は $W_1/W_2 = E_1/E_2$ となるべきであるが、人的評価では両者の比率を完全に一致させることは困難である。したがって、固有値を使った Consistency Index を用いて整合性を確認し、この値が一定（概ね 0.1）以上となる場合には一对比較を見直す必要があり、それ以下であれば重要度には大きな影響はないとされている。

(5) Budget allocation process⁶⁾

Budget allocation process は、複数の専門家が自身の経験や主観的な判断に基づいて、与えられた評価基準に対し予算（100 ポイント）を割り当て、各専門家の予算の平均値をウェイトとする方法であり、計算方法が明快であるという利点がある。Budget allocation process で重要なのは、どのような専門家を選ぶかということであるが、自身の専門分野に偏ることなく、大局的な視点で判断することのできる専門家を選ぶことである。

(6) Public opinion⁶⁾

Public opinion は、世論調査を行って人々の意識を把握する手法である。Budget allocation process の手法を適用することも可能であるが、100 ポイントのうち各評価基準に何ポイントを割り当てるかを一般の人々に問うのは難しいため、彼らの関心の程度（例：高い、低い）を回答してもらい、それをあらかじめ決められた尺度に換算して、ウェイトを計算することも可能である。

3.3.2 ウェイト付け手法の比較

3.3.1 で概要を紹介した六つのウェイト付け手法について、長所と短所を表 3-3 に示す。

表 3-3 ウェイト付け手法の長所と短所

手法	長所	短所
主成分分析	・ウェイトは統計的な関係のみによって決定されるため、主観性を排除してウェイトを決定することができる。	・ウェイトの計算に必要な情報は、定量的尺度で評価できなければならない。 ・政策の重要性や利害関係者の選好等は反映されない。
包絡分析法	・ウェイトは各代替案に関する情報のみによって決定されるため、主観性が排除される。 ・各代替案の個性を最も優位に働かせるようにウェイトを決定するので、不公平感がない。 ・各代替案の相対的効率性を測ることができる。	・ウェイトの計算に必要な情報は、定量的尺度で評価できなければならない。 ・入力と出力の組み合わせによって結果が左右される場合がある。 ・効率的な代替案を結んだ包絡線(効率的フロンティア)上にある代替案には優劣をつけることができない。
Benefit of the doubt approach	・ウェイトは各代替案に関する情報のみによって決定されるため、主観性が排除される。 ・各代替案の個性を最も優位に働かせるようにウェイトを決定するので、不公平感がない。	・ウェイトの計算に必要な情報は、定量的尺度で評価できなければならない。 ・フロンティア上にある代替案には優劣をつけることができない。 ・包絡分析法と異なり入力を考慮しないため、入力と出力の比較による効率性を測ることができない。
階層分析法	・専門家の意見に基づくウェイトであり、技術的な操作ができない。 ・評価の過程で専門家の考えが明確になる。 ・一対比較によるため、詳細な定量的情報は必要なく定性的情報も扱えるため、比較的適用しやすい。 ・固有値を用いると、専門家の重要度に対する評価の一貫性のチェックができる。	・評価基準のみならず代替案についても一対比較を行う必要があり、他の方法に比べて人的判断の負担が大きくなる。
Budget allocation process	・専門家の意見に基づくウェイトであり、技術的な操作ができない。 ・評価の過程で専門家の考えが明確になる。 ・計算方法が明快である。	・人的判断に基づくため、多数(10以上)の評価基準のウェイト付けをする場合、矛盾が生じる可能性がある。 ・ウェイトは、各評価基準の重要性を示すものではなく、専門家の関心、政治的介入の緊急性や必要性を示すものになる可能性がある。
Public opinion	・世論を反映し、政策へのコンセンサスを得ることができる。	・人的判断に基づくため、多数(10以上)の評価基準のウェイト付けをする場合、矛盾が生じる可能性がある。 ・ウェイトは、各評価基準の重要性よりも、人々の関心の高さを測るものになる可能性がある。

(注) 包絡分析法により計算された比率は各代替案の効率性を測る比率であり、当該比率は線形加法モデルを用いて統合指標を作成する際に適用するウェイトではないが、包絡分析法の概念を統合指標のウェイト付けに適用したものが Benefit of the doubt approach であるため、表 3-3 に含めている。

出所：OECD(2008)⁶⁾の pp. 101-102 の Table24. Advantages and disadvantages of different weighting methods を筆者が加工

上記の長所と短所に基づいて、各ウェイト付け手法の特徴を比較したのが表 3-4 である。

表 3-4 ウェイト付け手法の比較

特徴 手法	客観性	関与者の 選好の反映	一貫性	定性的情報 の取扱い	代替案の 個性の反映
主成分分析	○	△	○	△	
包絡分析法	○	△	○	△	○
Benefit of the doubt approach	○	△	○	△	○
階層分析法		○	△	○	
Budget allocation process		○		○	
Public opinion		○		○	

(注)○は優れていることを示し、△は一定の条件を満たした場合に優れていることを示す。

出所：筆者作成

表 3-4 が示すように、対象とする六つの手法は、主成分分析、包絡分析法および Benefit of the doubt approach のグループと、階層分析法、Budget allocation process および Public opinion のグループとに大きく分類できる。この分類は、以下の五つの視点をもとにその特徴を明らかにできる。

第一に、客観性確保の視点である。前者のグループは人的判断が介入せず、各代替案に内在する情報やその統計的関係のみに基づいてウェイトを決定する手法である。これに対して、後者のグループは人的判断に基づいてウェイトを決定する手法である。したがって、客観性については、相対的に前者のグループが優れている。

第二は、関与者の選好の反映に関する視点である。客観性確保という視点に対して、専門家や利害関係者の選好を反映したい場合には、後者のグループが適している。ただし、関与者の選好は必ずしも評価基準の重要性とは一致しておらず、どのような人を関与させるかによっても影響を受けるため、関与させる人の選定に留意が必要である。また、前者のグループのいずれの手法による場合でも、ウェイトを計算する際に制約条件を付けることによって、政策の重要度等を一定程度反映することが可能であるので、表 3-4 では△にしている。この点については、3.4 の事例研究を参照されたい。

第三は、判断の一貫性確保の視点である。後者のグループによる人的判断に基づく手法の場合は、評価基準や代替案が多くなればなるほど判断の一貫性を確保するのが難しくなる。ただし、階層分析法では Consistency Index を用いて判断の一貫性を検証できるので、

表 3-4 では△にしている。

第四は、定性的な情報の取扱いに関する視点である。後者のグループは定性的情報の取扱いが可能だが、前者のグループでは、費用便益分析のように貨幣価値への変換は必要なものの何らかの定量的尺度で測ることのできる情報が必要になる。ただし、前者グループの手法による場合でも、定性的情報をその内容や程度に応じて分類し分類ごとにスコアを付けて定量的データに変換して取り扱っている事例⁷⁾もあるので、表 3-4 では△にしている。

最後に、代替案の個性の反映に関する視点である。ここでいう個性とは、代替案の持つ固有の属性を包括的に示す概念である。前者のグループに属する包絡分析法と Benefit of the doubt approach は、他の手法が全ての代替案に対して同一のウェイトであるのに対して、各代替案の個性を最も優位に働かせるようにウェイトを決定する¹⁰⁾。

これら六つの手法の特徴について各視点をもとに比較してみると、多基準分析のウェイト付け手法としては、前者のグループに属する、主成分分析、包絡分析法および Benefit of the doubt approach が相対的に優れていることがわかる。次節ではこれらの手法について、実証データを用いて各手法の実用性に関する比較・検証を行うとともに、課題を明らかにする。

3.4 事例研究による手法の比較分析

第 2 章で紹介した、世界銀行が多数の中小規模のプロジェクトのなかから優先プロジェクトを選定するためのツールとして開発した IPF のパイロット適用プロジェクトのうち、パナマの水・衛生セクターに属するプロジェクトと、スリランカの上水道セクターに属するプロジェクトの二つのデータを用いて、複数のウェイト付け手法によるプロジェクトの順位付けの比較を行う。

上記二つの事例について、使用するデータや手法は以下の通りである。

3.4.1 事例研究 1: パナマの水・衛生セクタープロジェクト

(1) 事例研究 1 の前提

1) 対象プロジェクト

The World Bank, *et al.* (2016)¹³⁾ の水・衛生セクターに属する 34 プロジェクトを対象

として優先順位付けを行う。なお、本報告書によると、当初 35 プロジェクトを対象としていたが、Project2 は収集した評価基準の値が外れ値であり、主成分分析によるウェイトを計算する際に除外しているため、本事例研究でも同プロジェクトは除外した。

2) 評価基準

第 2 章で説明を加えた世界銀行のプロジェクトと同様に、社会・環境に関する指標 (SEI) と財務・経済に関する指標 (FEI) を評価基準とする。SEI と FEI の詳細は表 3-5 の通りである。なお、事例研究 1 および 2 において、SEI と FEI を「評価基準」、SEI と FEI に属する指標を「評価指標」と言う。

表 3-5 事例研究 1 の SEI と FEI

SEI	① Number of beneficiaries (BEN)
	② Direct number of jobs created (EMP)
	③ Number of service recipients living below poverty line (POOR)
FEI	Benefit-cost ratio (BCR)

出所：The World Bank, *et al.* (2016)¹³⁾に基づき筆者作成

3) ウェイト付け手法

FEI の評価指標は一つなのでウェイト付けは不要であり、SEI の評価指標のみウェイト付けが必要となる。

したがって、SEI について、主成分分析と Benefit of the doubt approach によるウェイト付けを行う。なお、主成分分析によるウェイトは、世界銀行の報告書¹³⁾においてその結果が開示されているが、他の評価手法による計算結果との比較に正確を期すため、本事例研究ではエクセルを用いて再度計算している。

上記の二つの手法に加えて、包絡分析法による評価も実施する。本来、包絡分析法は線形加法モデルに用いるウェイトを計算する手法ではなく、各代替案の入力と出力の比を用いて効率性を測る手法であるが、費用便益分析では評価対象とすることができない貨幣価値に変換できない、特に社会・環境の視点からの入力（プロジェクトに対する投入）と出力（プロジェクトからの産出）の効率性を測ることが可能であるため、SEI について包絡分析法を用いた各プロジェクトの評価も行う。包絡分析法を用いる場合は、評価指標を入力

と出力に分類する必要があるが、上記の SEI の三つの評価指標はいずれも出力に該当し、
入力とは各プロジェクトのコストを用いる。

(2) 事例研究 1 の計算結果

(1) 3) の各手法による SEI の計算結果を、表 3-6、表 3-7 および表 3-8 にまとめた。

表 3-6 主成分分析によるウェイトを用いた SEI の計算結果

Project	元データ			正規化 (平均0, 標準偏差1)			ウェイト			SEI	Rescaled SEI (注)
	BEN	EMP	POOR	BEN	EMP	POOR	BEN	EMP	POOR		
1	206,481	125	74,333	1.804	(0.911)	2.254	0.700	0.134	0.702	2.722	84.929
3	315,019	156	63,004	3.193	(0.273)	1.772	0.700	0.134	0.702	3.442	100.000
4	67,265	156	36,996	0.021	(0.273)	0.666	0.700	0.134	0.702	0.445	37.249
5	36,512	98	13,144	(0.373)	(1.467)	(0.349)	0.700	0.134	0.702	(0.702)	13.226
6	43,939	98	8,348	(0.278)	(1.467)	(0.553)	0.700	0.134	0.702	(0.778)	11.622
7	53,247	208	13,844	(0.159)	0.797	(0.319)	0.700	0.134	0.702	(0.228)	23.141
8	3,723	191	1,378	(0.793)	0.447	(0.849)	0.700	0.134	0.702	(1.091)	5.075
9	6,813	189	1,363	(0.753)	0.406	(0.850)	0.700	0.134	0.702	(1.069)	5.530
10	206,481	153	74,333	1.804	(0.335)	2.254	0.700	0.134	0.702	2.799	86.542
11	16,636	152	4,658	(0.627)	(0.355)	(0.710)	0.700	0.134	0.702	(0.985)	7.302
12	116,000	148	25,520	0.645	(0.438)	0.178	0.700	0.134	0.702	0.517	38.760
13	47,401	103	25,123	(0.233)	(1.364)	0.161	0.700	0.134	0.702	(0.233)	23.046
14	3,905	102	1,406	(0.790)	(1.384)	(0.848)	0.700	0.134	0.702	(1.333)	0.000
15	156,698	239	86,184	1.166	1.435	2.758	0.700	0.134	0.702	2.943	89.563
16	161,470	103	41,982	1.227	(1.364)	0.878	0.700	0.134	0.702	1.292	54.991
17	31,223	238	21,544	(0.441)	1.415	0.008	0.700	0.134	0.702	(0.113)	25.550
18	9,788	186	5,579	(0.715)	0.344	(0.671)	0.700	0.134	0.702	(0.925)	8.551
19	15,339	208	4,142	(0.644)	0.797	(0.732)	0.700	0.134	0.702	(0.858)	9.962
20	7,006	203	1,962	(0.751)	0.694	(0.824)	0.700	0.134	0.702	(1.011)	6.748
21	2,890	203	1,329	(0.803)	0.694	(0.851)	0.700	0.134	0.702	(1.067)	5.579
22	20,420	234	11,231	(0.579)	1.332	(0.430)	0.700	0.134	0.702	(0.529)	16.845
23	220,779	243	50,779	1.987	1.518	1.252	0.700	0.134	0.702	2.471	79.685
24	161,470	243	41,982	1.227	1.518	0.878	0.700	0.134	0.702	1.677	63.056
25	5,181	186	2,901	(0.774)	0.344	(0.785)	0.700	0.134	0.702	(1.046)	6.013
26	7,980	184	3,032	(0.738)	0.303	(0.779)	0.700	0.134	0.702	(1.023)	6.505
27	64,856	234	17,511	(0.010)	1.332	(0.163)	0.700	0.134	0.702	0.057	29.109
28	50,694	210	10,139	(0.191)	0.838	(0.477)	0.700	0.134	0.702	(0.356)	20.461
29	47,401	208	25,123	(0.233)	0.797	0.161	0.700	0.134	0.702	0.056	29.095
30	2,313	118	1,411	(0.811)	(1.055)	(0.848)	0.700	0.134	0.702	(1.303)	0.626
31	31,537	162	11,669	(0.437)	(0.150)	(0.412)	0.700	0.134	0.702	(0.614)	15.057
32	7,364	125	2,651	(0.746)	(0.911)	(0.795)	0.700	0.134	0.702	(1.202)	2.752
33	7,602	98	2,129	(0.743)	(1.467)	(0.817)	0.700	0.134	0.702	(1.290)	0.915
34	31,223	103	21,544	(0.441)	(1.364)	0.008	0.700	0.134	0.702	(0.485)	17.773
35	64,856	148	17,511	(0.010)	(0.438)	(0.163)	0.700	0.134	0.702	(0.180)	24.155

(注) Rescaled SEI (z_i) = $(z_i - z_{\min}) / (z_{\max} - z_{\min}) \times 100$

出所：筆者作成

表 3-6 が示す通り、主成分分析により計算されたウェイトは、BEN、EMP、POOR がそれぞれ 0.700, 0.134, 0.702 である。分析対象となったデータ全体の分散に占める主成分の分散の割合を「寄与率」といい、寄与率が 100%に近いほどその主成分がデータの特性をよく説明していることを意味する¹⁴⁾。本事例研究の寄与率は 64%であった。

表 3-7 Benefit of the doubt approach によるウェイトを用いた SEI の計算結果

Project	元データ			正規化 (the min-max method)			ウェイトが非負の場合					BENとPOORのウェイトがEMPのウェイト以上の場合				
							ウェイト			SEI	Rescaled SEI	ウェイト			SEI	Rescaled SEI
	BEN	EMP	POOR	BEN	EMP	POOR	BEN	EMP	POOR			BEN	EMP	POOR		
1	206,481	125	74,333	0.653	0.186	0.860	0.426	0.000	0.790	0.958	95.754	0.426	0.000	0.790	0.958	95.754
3	315,019	156	63,004	1.000	0.400	0.727	1.000	0.000	0.000	1.000	100.000	0.597	0.358	0.358	1.000	100.000
4	67,265	156	36,996	0.208	0.400	0.420	0.426	0.000	0.790	0.420	42.041	0.426	0.000	0.790	0.420	42.041
5	36,512	98	13,144	0.109	0.000	0.139	0.426	0.000	0.790	0.157	15.654	0.426	0.000	0.790	0.157	15.654
6	43,939	98	8,348	0.133	0.000	0.083	1.000	0.000	0.000	0.133	13.312	1.000	0.000	0.000	0.133	13.312
7	53,247	208	13,844	0.163	0.759	0.147	0.000	1.000	0.000	0.759	75.862	0.405	0.405	0.405	0.433	43.347
8	3,723	191	1,378	0.005	0.641	0.001	0.000	1.000	0.000	0.641	64.138	0.405	0.405	0.405	0.262	26.214
9	6,813	189	1,363	0.014	0.628	0.000	0.000	1.000	0.000	0.628	62.759	0.405	0.405	0.405	0.260	26.048
10	206,481	153	74,333	0.653	0.379	0.860	0.426	0.000	0.790	0.958	95.754	0.426	0.000	0.790	0.958	95.754
11	16,636	152	4,658	0.046	0.372	0.039	0.000	1.000	0.000	0.372	37.241	0.405	0.405	0.405	0.185	18.549
12	116,000	148	25,520	0.364	0.345	0.285	0.610	0.384	0.325	0.447	44.699	0.597	0.358	0.358	0.442	44.230
13	47,401	103	25,123	0.144	0.034	0.280	0.426	0.000	0.790	0.283	28.286	0.426	0.000	0.790	0.283	28.286
14	3,905	102	1,406	0.005	0.028	0.001	0.000	1.000	0.000	0.028	2.759	0.405	0.405	0.405	0.014	1.362
15	156,698	239	86,184	0.494	0.972	1.000	0.000	0.000	1.000	1.000	100.000	0.405	0.405	0.405	1.000	100.000
16	161,470	103	41,982	0.509	0.034	0.479	0.426	0.000	0.790	0.595	59.516	0.426	0.000	0.790	0.595	59.516
17	31,223	238	21,544	0.092	0.966	0.238	0.000	1.000	0.000	0.966	96.552	0.405	0.405	0.405	0.526	52.560
18	9,788	186	5,579	0.024	0.607	0.050	0.000	1.000	0.000	0.607	60.690	0.405	0.405	0.405	0.276	27.610
19	15,339	208	4,142	0.042	0.759	0.033	0.000	1.000	0.000	0.759	75.862	0.405	0.405	0.405	0.338	33.795
20	7,006	203	1,962	0.015	0.724	0.007	0.000	1.000	0.000	0.724	72.414	0.405	0.405	0.405	0.303	30.274
21	2,890	203	1,329	0.002	0.724	0.000	0.000	1.000	0.000	0.724	72.414	0.405	0.405	0.405	0.294	29.438
22	20,420	234	11,231	0.058	0.938	0.117	0.000	1.000	0.000	0.938	93.793	0.405	0.405	0.405	0.451	45.112
23	220,779	243	50,779	0.699	1.000	0.583	0.000	1.000	0.000	1.000	100.000	0.597	0.358	0.358	0.983	98.305
24	161,470	243	41,982	0.509	1.000	0.479	0.000	1.000	0.000	1.000	100.000	0.597	0.358	0.358	0.833	83.273
25	5,181	186	2,901	0.009	0.607	0.019	0.000	1.000	0.000	0.607	60.690	0.405	0.405	0.405	0.257	25.732
26	7,980	184	3,032	0.018	0.593	0.020	0.000	1.000	0.000	0.593	59.310	0.405	0.405	0.405	0.256	25.599
27	64,856	234	17,511	0.200	0.938	0.191	0.000	1.000	0.000	0.938	93.793	0.405	0.405	0.405	0.539	53.876
28	50,694	210	10,139	0.155	0.772	0.104	0.000	1.000	0.000	0.772	77.241	0.405	0.405	0.405	0.418	41.805
29	47,401	208	25,123	0.144	0.759	0.280	0.000	1.000	0.000	0.759	75.862	0.405	0.405	0.405	0.480	47.979
30	2,313	118	1,411	0.000	0.138	0.001	0.000	1.000	0.000	0.138	13.793	0.405	0.405	0.405	0.056	5.632
31	31,537	162	11,669	0.093	0.441	0.122	0.000	1.000	0.000	0.441	44.138	0.405	0.405	0.405	0.266	26.628
32	7,364	125	2,651	0.016	0.186	0.016	0.000	1.000	0.000	0.186	18.621	0.405	0.405	0.405	0.088	8.837
33	7,602	98	2,129	0.017	0.000	0.009	1.000	0.000	0.000	0.017	1.691	1.000	0.000	0.000	0.017	1.691
34	31,223	103	21,544	0.092	0.034	0.238	0.000	0.000	1.000	0.238	23.823	0.000	0.000	1.000	0.238	23.823
35	64,856	148	17,511	0.200	0.345	0.200	0.000	1.000	0.000	0.345	34.483	0.597	0.358	0.358	0.311	31.090

出所：筆者作成

表 3-8 包絡分析法によるウェイトを用いた SEI の計算結果

Project	入力		出力						ウェイトが非負の場合						BENとPOORのウェイトがEMPのウェイト以上の場合						
	元データ	正規化(平均50, 標準偏差10)	元データ			正規化(平均50, 標準偏差10)			ウェイト			出力	SEI	Rescaled SEI	ウェイト			出力	SEI	Rescaled SEI	
			BEN	EMP	POOR	BEN	EMP	POOR	BEN	EMP	POOR				BEN	EMP	POOR				
1	17,650,597	50	206,481	125	74,333	68	41	73	0.000	0.000	0.585	42.468	0.856	85.563	0.000	0.000	0.585	42.468	0.856	85.563	
3	5,887,649	43	315,019	156	63,004	82	47	68	0.524	0.000	0.000	42.971	1.000	100.000	0.218	0.218	0.218	42.971	1.000	100.000	
4	5,991,593	43	67,265	156	36,996	50	47	57	0.000	0.638	0.175	40.083	0.932	93.151	0.150	0.150	0.348	34.357	0.798	79.844	
5	7,450,110	44	36,512	98	13,144	46	35	47	0.053	0.633	0.129	30.800	0.702	70.230	0.150	0.150	0.348	28.442	0.649	64.853	
6	5,971,133	43	43,939	98	8,348	47	35	44	0.053	0.633	0.129	30.587	0.711	71.103	0.150	0.150	0.348	27.875	0.648	64.798	
7	30,000,000	57	53,247	208	13,844	48	58	47	0.053	0.633	0.129	45.279	0.800	79.957	0.218	0.218	0.218	33.429	0.590	59.032	
8	6,800,000	43	3,723	191	1,378	42	54	42	0.053	0.633	0.129	42.046	0.967	96.686	0.218	0.218	0.218	30.125	0.693	69.272	
9	5,250,000	43	6,813	189	1,363	42	54	42	0.053	0.633	0.129	41.806	0.981	98.113	0.218	0.218	0.218	30.120	0.707	70.688	
10	5,000,000	42	206,481	153	74,333	68	47	73	0.000	0.000	0.585	42.468	1.000	100.000	0.150	0.150	0.348	42.468	1.000	100.000	
11	15,300,000	48	16,636	152	4,658	44	46	43	0.053	0.633	0.129	37.234	0.771	77.085	0.218	0.218	0.218	29.039	0.601	60.118	
12	60,000,000	74	116,000	148	25,520	56	46	52	0.053	0.633	0.129	38.528	0.523	52.333	0.218	0.218	0.218	33.572	0.456	45.600	
13	9,000,000	45	47,401	103	25,123	48	36	52	0.000	0.638	0.175	32.238	0.721	72.066	0.150	0.150	0.348	30.579	0.684	68.358	
14	5,000,000	42	3,905	102	1,406	42	36	42	0.053	0.633	0.129	30.457	0.717	71.717	0.150	0.150	0.348	26.201	0.617	61.696	
15	50,000,000	68	156,698	239	86,184	62	64	78	0.000	0.638	0.175	54.646	0.804	80.412	0.150	0.150	0.348	45.923	0.676	67.576	
16	9,980,000	45	161,470	103	41,982	62	36	59	0.180	0.000	0.416	35.701	0.788	78.830	0.180	0.000	0.416	35.701	0.788	78.830	
17	40,000,000	62	31,223	238	21,544	46	64	50	0.000	0.638	0.175	49.703	0.798	79.788	0.218	0.218	0.218	34.876	0.560	55.986	
18	5,000,000	42	9,788	186	5,579	43	53	43	0.000	0.638	0.175	41.685	0.982	98.155	0.218	0.218	0.218	30.460	0.717	71.723	
19	10,000,000	45	15,339	208	4,142	44	58	43	0.144	0.660	0.000	44.509	0.983	98.254	0.218	0.218	0.218	31.469	0.695	69.468	
20	8,000,000	44	7,006	203	1,962	42	57	42	0.144	0.660	0.000	43.677	0.989	98.889	0.218	0.218	0.218	30.810	0.698	69.756	
21	7,000,000	44	2,890	203	1,329	42	57	41	0.000	0.766	0.000	43.601	1.000	100.000	0.218	0.218	0.218	30.636	0.703	70.264	
22	20,000,000	51	20,420	234	11,231	44	63	46	0.000	0.766	0.000	48.486	0.951	95.137	0.218	0.218	0.218	33.437	0.656	65.608	
23	50,000,000	68	220,779	243	50,779	70	65	63	0.144	0.660	0.000	53.046	0.781	78.057	0.218	0.218	0.218	43.110	0.634	63.437	
24	50,000,000	68	161,470	243	41,982	62	65	59	0.053	0.633	0.129	52.112	0.767	76.683	0.218	0.218	0.218	40.637	0.598	59.797	
25	5,000,000	42	5,181	186	2,901	42	53	42	0.053	0.633	0.129	41.489	0.977	97.693	0.218	0.218	0.218	30.082	0.708	70.835	
26	18,000,000	50	7,980	184	3,032	43	53	42	0.053	0.633	0.129	41.254	0.828	82.787	0.218	0.218	0.218	30.083	0.604	60.369	
27	60,000,000	74	64,856	234	17,511	50	63	48	0.144	0.660	0.000	48.951	0.665	66.490	0.218	0.218	0.218	35.261	0.479	47.895	
28	42,825,811	64	50,694	210	10,139	48	58	45	0.144	0.660	0.000	45.432	0.711	71.106	0.218	0.218	0.218	33.104	0.518	51.810	
29	24,397,000	53	47,401	208	25,123	48	58	52	0.000	0.638	0.175	46.029	0.861	86.107	0.218	0.218	0.218	34.313	0.642	64.189	
30	5,413,130	43	2,313	118	1,411	42	39	42	0.053	0.633	0.129	32.531	0.762	76.180	0.218	0.218	0.218	26.810	0.628	62.784	
31	12,674,150	47	31,537	162	11,669	46	49	46	0.053	0.633	0.129	39.022	0.834	83.352	0.218	0.218	0.218	30.555	0.653	65.267	
32	9,000,000	45	7,364	125	2,651	43	41	42	0.053	0.633	0.129	33.544	0.750	74.987	0.218	0.218	0.218	27.381	0.612	61.208	
33	5,500,000	43	7,602	98	2,129	43	35	42	0.053	0.633	0.129	30.001	0.702	70.175	0.150	0.150	0.348	26.256	0.614	61.414	
34	5,000,000	42	31,223	103	21,544	46	36	50	0.000	0.638	0.175	31.971	0.753	75.283	0.150	0.150	0.348	29.738	0.700	70.025	
35	5,000,000	42	64,856	148	17,511	50	46	48	0.053	0.633	0.129	37.744	0.889	88.875	0.218	0.218	0.218	31.399	0.739	73.936	

出所：筆者作成

表 3-7 と表 3-8 の「ウェイトが非負の場合」の計算結果が示すように、Benefit of the doubt approach と包絡分析法によると、各プロジェクトの個性を最も優位に働かせるようにウェイトが決められる¹⁰⁾ため、極端な場合は、一つの評価指標以外のウェイトはゼロになっている。このことは、専門家の意見や政策を反映して評価基準（本事例研究の場合は評価指標）が選定されたにも拘わらず、これらを見捨てたウェイトになっており、関係者にとって受け入れ難い結果を招くことになる。このような偏ったウェイトになる可能性があるという欠点は先行研究でも指摘されており、専門家の意見等を反映させる方法としてウェイト付けをする際に制約条件を付けることが提案されている^{15), 16), 17)}。制約条件を付ける方法には様々な方法があるが、本事例研究では、SEI の三つの評価指標のうち副次的な出力である EMP が最大のウェイトとなり、その他のウェイトがゼロになっているプロジェクトが多数あることから、BEN と POOR のウェイトが EMP 以上のウェイトとなるという制約条件を付けた場合のウェイトも計算し、以下の(3)では、当該制約条件を付けたウェイトを採用している。

(3) 各プロジェクトの順位付けと SEI と FEI による 2 次元評価

(2)の SEI の計算結果に基づいて各プロジェクトの順位付けをしたのが表 3-9 である。ここで FEI については、評価指標が一つであるため、ウェイト付けをすることなく各プロジェクトの BCR の数値を正規化して順位付けを行った。

なお、本プロジェクト全体の予算は、世界銀行の既述の報告書¹³⁾によると、\$342,150,145 であり、表 3-9 の点線より上位に記載されているプロジェクトがこの予算内であるということを示している。

さらに、得られた SEI, FEI に関する二つの統合指標を用いて、プロジェクトの優先順位を視覚的に示すため、以下のグラフ化を行う。つまり、主成分分析、Benefit of the doubt approach および包絡分析法によるウェイトを用いてそれぞれ計算した SEI のスコアを縦軸、FEI のスコアを横軸にとり、各プロジェクトを座標平面にプロットした結果を図 3-2、図 3-3 および図 3-4 に示す。これらの図においても、上記の予算を点線で予算制約線として表示している。

表 3-9 各プロジェクトの順位付け

FEI							SEI											
							主成分分析				Benefit of the doubt approach (注1)				包絡分析法 (注1)			
順位	Project	BCR	正規化 (the min-max method)	正規化 (平均50, 標 準偏差10)	Cost	Cost累計	順位	Project	Cost	Cost累計	順位	Project	Cost	Cost累計	順位	Project	Cost	Cost累計
1	3	4.420	100.000	92.425	5,887,649	5,887,649	1	3	5,887,649	5,887,649	1	3	5,887,649	5,887,649	1	3	5,887,649	5,887,649
2	10	2.879	64.841	75.274	5,000,000	10,887,649	2	15	50,000,000	55,887,649	1	15	50,000,000	55,887,649	1	10	5,000,000	10,887,649
3	35	2.115	47.410	66.771	5,000,000	15,887,649	3	10	5,000,000	60,887,649	3	23	50,000,000	105,887,649	3	1	17,650,597	28,538,246
4	6	1.231	27.242	56.932	5,971,133	21,858,782	4	1	17,650,597	78,538,246	4	1	17,650,597	123,538,246	4	4	5,991,593	34,529,839
5	1	1.148	25.348	56.008	17,650,597	39,509,379	5	23	50,000,000	128,538,246	4	10	5,000,000	128,538,246	5	16	9,980,000	44,509,839
6	16	1.122	24.755	55.719	9,980,000	49,489,379	6	24	50,000,000	178,538,246	6	24	50,000,000	178,538,246	6	35	5,000,000	49,509,839
7	5	1.041	22.907	54.817	7,450,110	56,939,489	7	16	9,980,000	188,518,246	7	16	9,980,000	188,518,246	7	18	5,000,000	54,509,839
8	13	0.603	12.914	49.942	9,000,000	65,939,489	8	12	60,000,000	248,518,246	8	27	60,000,000	248,518,246	8	25	5,000,000	59,509,839
9	15	0.596	12.754	49.864	50,000,000	115,939,489	9	4	5,991,593	254,509,839	9	17	40,000,000	288,518,246	9	9	5,250,000	64,759,839
10	12	0.532	11.294	49.152	60,000,000	175,939,489	10	27	60,000,000	314,509,839	10	29	24,397,000	312,915,246	10	21	7,000,000	71,759,839
11	4	0.495	10.449	48.740	5,991,593	181,931,082	11	29	24,397,000	338,906,839	11	22	20,000,000	332,915,246	11	34	5,000,000	76,759,839
12	7	0.494	10.427	48.729	30,000,000	211,931,082	12	17	40,000,000	378,906,839	12	12	60,000,000	392,915,246	12	20	8,000,000	84,759,839
13	31	0.478	10.062	48.551	12,674,150	224,605,232	13	35	5,000,000	383,906,839	13	7	30,000,000	422,915,246	13	19	10,000,000	94,759,839
14	34	0.391	8.077	47.583	5,000,000	229,605,232	14	7	30,000,000	413,906,839	14	4	5,991,593	428,906,839	14	8	6,800,000	101,559,839
15	23	0.362	7.415	47.260	50,000,000	279,605,232	15	13	9,000,000	422,906,839	15	28	42,825,811	471,732,650	15	13	9,000,000	110,559,839
16	29	0.320	6.457	46.793	24,397,000	304,002,232	16	28	42,825,811	465,732,650	16	19	10,000,000	481,732,650	16	15	50,000,000	160,559,839
17	28	0.287	5.704	46.425	42,825,811	346,828,043	17	34	5,000,000	470,732,650	17	35	5,000,000	486,732,650	17	22	20,000,000	180,559,839
18	24	0.285	5.658	46.403	50,000,000	396,828,043	18	22	20,000,000	490,732,650	18	20	8,000,000	494,732,650	18	31	12,674,150	193,233,989
19	33	0.234	4.495	45.835	5,500,000	402,328,043	19	31	12,674,150	503,406,800	19	21	7,000,000	501,732,650	19	5	7,450,110	200,684,099
20	27	0.221	4.198	45.691	60,000,000	462,328,043	20	5	7,450,110	510,856,910	20	13	9,000,000	510,732,650	20	6	5,971,133	206,655,232
21	19	0.213	4.016	45.602	10,000,000	472,328,043	21	6	5,971,133	516,828,043	21	18	5,000,000	515,732,650	21	29	24,397,000	231,052,232
22	14	0.183	3.331	45.268	5,000,000	477,328,043	22	19	10,000,000	526,828,043	22	31	12,674,150	528,406,800	22	23	50,000,000	281,052,232
23	11	0.138	2.304	44.767	15,300,000	492,628,043	23	18	5,000,000	531,828,043	23	8	6,800,000	535,206,800	23	30	5,413,130	286,465,362
24	18	0.110	1.666	44.455	5,000,000	497,628,043	24	11	15,300,000	547,128,043	24	9	5,250,000	540,456,800	24	14	5,000,000	291,465,362
25	32	0.109	1.643	44.444	9,000,000	506,628,043	25	20	8,000,000	555,128,043	25	25	5,000,000	545,456,800	25	33	5,500,000	296,965,362
26	17	0.101	1.460	44.355	40,000,000	546,628,043	26	26	18,000,000	573,128,043	26	26	18,000,000	563,456,800	26	32	9,000,000	305,965,362
27	9	0.098	1.392	44.322	5,250,000	551,878,043	27	25	5,000,000	578,128,043	27	34	5,000,000	568,456,800	27	26	18,000,000	323,965,362
28	25	0.096	1.346	44.300	5,000,000	556,878,043	28	21	7,000,000	585,128,043	28	11	15,300,000	583,756,800	28	11	15,300,000	339,265,362
29	22	0.090	1.209	44.233	20,000,000	576,878,043	29	9	5,250,000	590,378,043	29	5	7,450,110	591,206,910	29	24	50,000,000	389,265,362
30	20	0.073	0.821	44.044	8,000,000	584,878,043	30	8	6,800,000	597,178,043	30	6	5,971,133	597,178,043	30	7	30,000,000	419,265,362
31	8	0.064	0.616	43.943	6,800,000	591,678,043	31	32	9,000,000	606,178,043	31	32	9,000,000	606,178,043	31	17	40,000,000	459,265,362
32	26	0.056	0.433	43.854	18,000,000	609,678,043	32	33	5,500,000	611,678,043	32	30	5,413,130	611,591,173	32	28	42,825,811	502,091,173
33	30	0.056	0.433	43.854	5,413,130	615,091,173	33	30	5,413,130	617,091,173	33	33	5,500,000	617,091,173	33	27	60,000,000	562,091,173
34	21	0.037	0.000	43.643	7,000,000	622,091,173	34	14	5,000,000	622,091,173	34	14	5,000,000	622,091,173	34	12	60,000,000	622,091,173

(注1) BENとPOORのウェイトがEMPのウェイト以上の場合

(注2) A 優先順位が高いプロジェクト

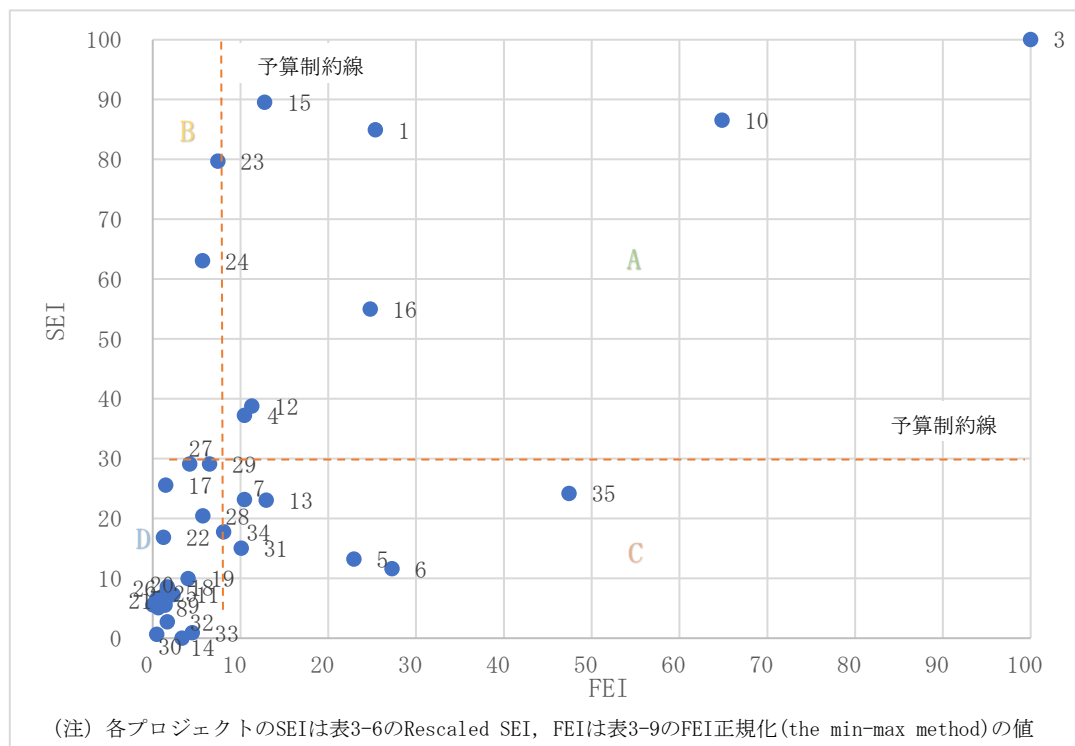
B SEIの優先順位が高いプロジェクト

C FEIの優先順位が高いプロジェクト

D 優先順位が低いプロジェクト

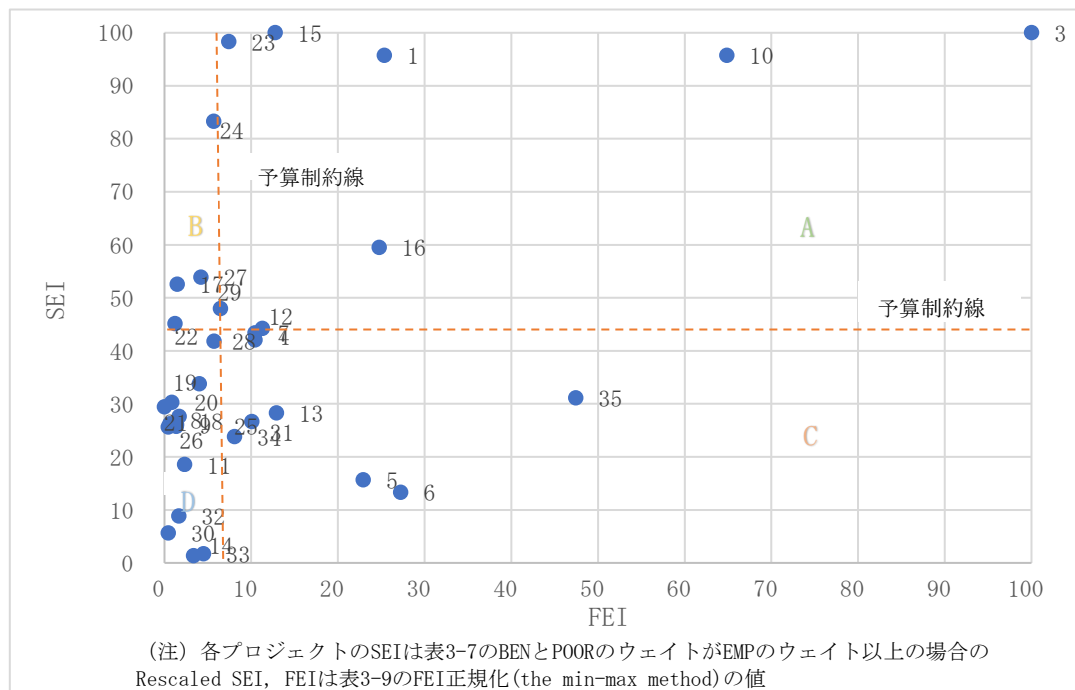
A, B, C, Dは図3-2 (主成分分析), 図3-3 (Benefit of the doubt approach), 図3-4 (包絡分析法)の象限に対応する。

出所：筆者作成



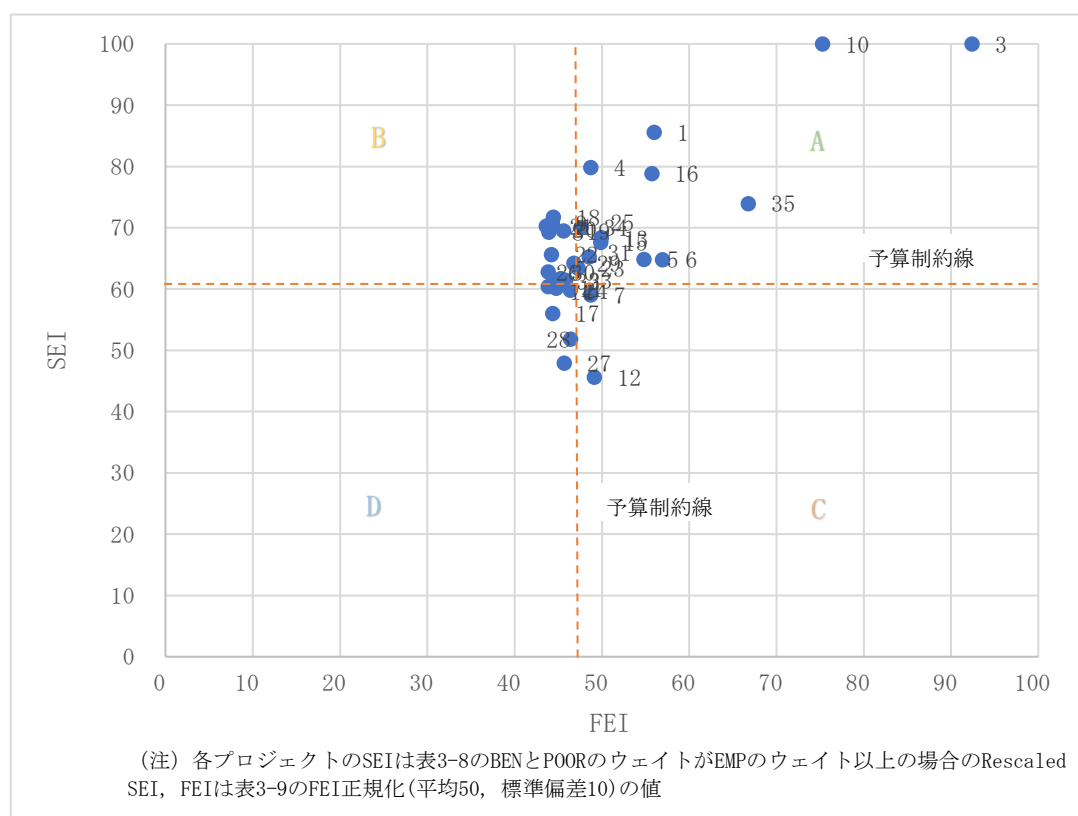
出所：筆者作成

図 3-2 SEI を主成分分析によるウェイトを用いて計算した場合の 2 次元評価



出所：筆者作成

図 3-3 SEI を Benefit of the doubt approach によるウェイトを用いて計算した場合の 2 次元評価



出所：筆者作成

図 3-4 SEI を包絡分析法によるウェイトを用いて計算した場合の 2 次元評価

第 2 章で説明した世界銀行の IPF が提案しているように、上記の図 3-2、図 3-3 および図 3-4 の SEI 軸と FEI 軸にそれぞれ予算制約線を引くことによって、座標平面が四つの象限に区分される。この区分によると、象限 A にあるプロジェクトは両評価基準共に優先順位が高いこと、象限 B にあるプロジェクトは SEI の優先順位が高いこと、象限 C にあるプロジェクトは FEI の優先順位が高いこと、象限 D にあるプロジェクトは優先順位が低いことをそれぞれ意味する。

主成分分析と Benefit of the doubt approach によった場合は、プロジェクトの詳細な順位には差異があるものの、各プロジェクトがどの象限に属するかという観点からは類似の結果となった。これらの手法によるウェイトは、ともに、非負、かつ、BEN と POOR のウェイトが EMP のウェイト以上となっており、具体的なウェイトの数値は異なっても、プロジェクトの順位付けの順序関係の構造は同様に示された。

これに対して、包絡分析法によった場合は、各プロジェクトの貨幣価値に変換できない便益をコストで除して効率性を測っているため、コストが比較的大きいプロジェクトが下

位になっているという傾向を示す。また、本事例研究は、SEI は貨幣価値に変換できない便益に対して、FEI は貨幣価値に換算できる便益に対して、それぞれ経済資源が効率的に利用されているかを測る指標である。このことから本手法は、貨幣価値への変換が容易ではない社会・環境面の便益が軽視されがちであるという費用便益分析の欠点を補う方法として有効に機能することがわかる。

3.4.2 事例研究 2: スリランカの上水道セクタープロジェクト

(1) 事例研究 2 の前提

1) 対象プロジェクト

Darwin Marcelo, *et al.* (2018)¹⁸⁾ の 24 プロジェクトを対象として優先順位付けを行う。なお、本報告書によると、当初 28 プロジェクトを対象にしていたが、このうち 4 プロジェクト (Project 2, 9, 25 および 26) は、収集した評価基準の値が外れ値であるため、主成分分析によるウェイトを計算する際に除外しており、本事例研究でもこれらは除外した。

2) 評価基準

世界銀行のプロジェクトと同様に、社会・環境に関する指標 (SEI) と財務・経済に関する指標 (FEI) を評価基準とする。SEI と FEI の詳細は表 3-10 の通りである。

表 3-10 事例研究 2 の SEI と FEI

SEI	① New beneficiaries per \$ invested (BEN) ② Jobs created per \$ invested (EMP) ③ Poverty level (POOR) ④ Continuity of water supply (CON) ⑤ Existing safe water coverage (COV) ⑥ Prevalence of water-borne diseases (DIS)
FEI	① Benefit-cost ratio (BCR) ② Existing water resource yield (RES) ③ Non-revenue water (NON)

出所: Darwin Marcelo, *et al.* (2018)¹⁸⁾ に基づき筆者作成

なお、世界銀行のプロジェクトでは上記に加えて Bacterial quality of water も SEI の評価指標としているが、一部のプロジェクトにおいて当該データが入手不能のため、本事例研究では上記の六つの評価指標を採用した。

3) ウェイト付け手法

最初に、事例研究 1 と同様に比較対象のベースとなる主成分分析によるウェイト付けを行う。なお、ここで用いる主成分分析によるウェイトは、世界銀行の報告書¹⁸⁾においてその結果が開示されているが、事例研究 1 と同様に他の評価手法による計算結果との比較に正確を期すため、本事例研究ではエクセルを用いて再度計算している。

次段階として、包絡分析法の代わりに「DEA ノン効率分析」¹⁰⁾によるウェイト付けを行うこととした。当初は、事例研究 1 と同様に、Benefit of the doubt approach と包絡分析法によるウェイト付けを想定した。3.3.1 で説明したように、Benefit of the doubt approach は入力には差がないという前提を置くものの、両手法とも入力から出力が生まれるという関係に基づく分析手法である。一方、事例研究 2 の入出力データに該当する上記 2) の SEI と FEI の評価指標は、必ずしも入力と出力に関するデータではないため、包絡分析法を用いることができないケースに該当する。したがって、これらの評価指標を使ってウェイト付けをする方法として、包絡分析法から派生した DEA ノン効率分析を用いることとした。

包絡分析法は、元来、Decision Making Unit(DMU)の効率性を相対的に評価する手法である¹⁹⁾が、DEA ノン効率分析とは、出力を最大、入力を最小にして効率を最大化する DEA モデルを、効率性以外の多元的評価に拡張適用する¹⁰⁾モデルである。即ち、入力を非負で値が小さい方が望ましいとするマイナス指標、出力を非負で値が大きい方が望ましいとするプラス指標で置き換え、プラス指標(分子)をマイナス指標(分母)で除した値を各 DMU の評価値、換言すると本事例研究では各プロジェクトの評価値とする手法である¹⁰⁾。なお、DEA ノン効率分析の手法は、Quality of life の評価^{20), 21)}のほか施設の整備や補修の順位付け^{22), 23)}など既に多数の評価事例に用いられている。

上記の DEA ノン効率分析の概念に基づいて、表 3-10 に示した SEI と FEI を以下の通りプラス指標とマイナス指標に分類した。まず、SEI の①BEN は投資額 100 万米ドル当たりの新規受益者数、②EMP は投資額 100 万米ドル当たりの新規雇用者数であり、どちらも多ければ多いほどプロジェクトの便益が大きいと解釈できるので、プラス指標とする。③POOR は

プロジェクト実施地域の貧困レベル（貧困ライン以下で暮らす人々の割合）、④CON はプロジェクト実施地域の 1 日当たり水供給時間（1 日当たりの水供給時間に応じた区分ごとにスコア化し、水供給時間が長い区分ほどスコアを低くしている）、⑤COV は安全な水にアクセスできない人口割合、⑥DIS は過去 5 年間における 10 万人当たりの不衛生な水に起因する病気の患者の年間平均人数であり、いずれもこれらの値が大きい値ほどプロジェクト実施の必要性が高いと解釈できるので、プラス指標とする。

次に、FEI の①BCR は費用便益比率であり大きい値ほど経済資源の利用の効率性が高いことを示すのでプラス指標、②RES は水源の確保の高さをスコア化しており大きい値ほどプロジェクトの実行可能性が高いと解釈できるのでプラス指標、③NON は既存の水供給システムの無収水率であり大きい値ほどプロジェクトの必要性が高いと解釈できるのでプラス指標である。

以上より、本事例研究の場合は、SEI、FEI とともに全てプラス指標となった。DEA ノン効率分析では、マイナス指標・プラス指標間は、効率分析とは異なり入出力のような有機的関係に制約されることもないため、評価指標がプラス指標（またはマイナス指標）のみであっても問題はない¹⁰⁾。

以上の考察より、事例研究 2 では、主成分分析と DEA ノン効率分析によってウェイト付けを行う。

(2) 事例研究 2 の計算結果

まず、主成分分析を用いた SEI のウェイトについて、(a)ウェイトに制約条件を付けない場合、(b)全てのウェイトが非負の場合、(c)全てのウェイトが 0.1 以上、かつ、政策（COV のウェイトが他の指標のウェイト以上、かつ、EMP のウェイトが他の指標のウェイト以下）を反映した場合の計算を行い、表 3-11 にまとめた。

表 3-11 主成分分析による SEI のウェイト

	BEN	EMP	POOR	CON	COV	DIS	寄与率
(a) ウェイト制約なし	0.221	0.669	(0.436)	(0.161)	0.534	0.053	28%
(b) ウェイトが非負	0.000	0.679	0.000	0.048	0.715	0.156	26%
(c) ウェイトが 0.1 以上、 かつ、政策反映	0.234	0.234	0.234	0.402	0.786	0.234	20%

出所：筆者作成

本事例研究の場合、スリランカ政府は、EMP はその大部分がプロジェクト建設期間中の一時的な雇用に限定されるため EMP のウェイトを最も低くし、COV のウェイトを最も高くしたいと考えている。スリランカ政府の意向を尊重し、本事例研究では(c)を採用する。

なお、寄与率は、(a) (b) (c) の各場合にそれぞれ 28%, 26%, 20%となった。事例研究 1 の主成分分析の寄与率は 64%であることから、事例研究 1 のほうがデータの特徴をよく説明したウェイトであると言える。

表 3-11 に示したウェイトを用いて計算した各プロジェクトの SEI を表 3-12 にまとめた。

表 3-12 主成分分析によるウェイトを用いた SEI の計算結果

Project	元データ						正規化 (平均0, 標準偏差1)						(a) ウェイト制約なし		(b) ウェイトが非負		(c) ウェイトが0.1以上, かつ, 政策反映	
	BEN	EMP	POOR	CON	COV	DIS	BEN	EMP	POOR	CON	COV	DIS	SEI	Rescaled SEI (注)	SEI	Rescaled SEI (注)	SEI	Rescaled SEI (注)
1	1,748	22.48	7.15	2	19.96	338.34	0.001	0.452	(0.260)	0.080	0.075	0.864	0.489	62.125	0.500	44.775	0.339	42.197
3	6,391	16.65	4.07	1	6.69	114.96	2.631	(0.442)	(1.035)	(0.884)	(0.852)	(0.732)	0.385	59.966	(1.066)	12.332	(0.926)	18.608
4	1,241	22.26	6.78	1	27.78	413.29	(0.287)	0.419	(0.353)	(0.884)	0.621	1.399	0.919	71.059	0.905	53.180	0.409	43.509
5	695	23.05	6.73	1	41.00	127.34	(0.596)	0.540	(0.366)	(0.884)	1.544	(0.643)	1.322	79.414	1.329	61.957	0.610	47.244
6	2,768	32.65	4.37	1	20.50	103.79	0.578	2.012	(0.960)	(0.884)	0.113	(0.811)	2.052	94.573	1.279	60.915	(0.075)	34.488
7	720	19.81	5.53	1	22.72	172.75	(0.582)	0.043	(0.668)	(0.884)	0.268	(0.319)	0.460	61.515	0.129	37.087	(0.502)	26.511
8	663	14.86	8.64	2	22.68	254.67	(0.614)	(0.716)	0.115	0.080	0.265	0.266	(0.522)	41.121	(0.252)	29.204	0.018	36.214
10	1,543	14.91	10.24	1	22.50	568.15	(0.115)	(0.709)	0.517	(0.884)	0.252	2.505	(0.314)	45.437	0.049	35.428	0.358	42.561
11	1,974	30.21	6.31	1	41.00	260.44	0.129	1.638	(0.472)	(0.884)	1.544	0.307	2.313	100.000	2.224	80.494	1.235	58.905
12	1,563	24.21	8.08	2	33.60	520.23	(0.104)	0.718	(0.026)	0.080	1.028	2.162	1.119	75.209	1.565	66.840	1.485	63.568
13	2,094	13.61	18.64	3	4.11	196.27	0.197	(0.908)	2.630	1.044	(1.032)	(0.151)	(2.438)	1.333	(1.329)	6.879	0.023	36.302
14	780	16.62	5.30	1	2.90	45.58	(0.548)	(0.446)	(0.726)	(0.884)	(1.117)	(1.227)	(0.622)	39.049	(1.336)	6.738	(1.924)	0.000
15	3,656	11.22	8.50	1	7.17	67.19	1.081	(1.275)	0.079	(0.884)	(0.818)	(1.073)	(1.000)	31.199	(1.661)	0.000	(1.277)	12.068
16	726	16.50	9.21	2	26.90	115.50	(0.578)	(0.465)	0.258	0.080	0.560	(0.728)	(0.304)	45.649	(0.025)	33.894	0.118	38.074
17	671	17.70	6.09	1	8.20	329.07	(0.609)	(0.281)	(0.527)	(0.884)	(0.746)	0.797	(0.306)	45.610	(0.642)	21.115	(1.088)	15.600
18	622	15.03	6.00	1	8.80	328.11	(0.637)	(0.690)	(0.550)	(0.884)	(0.704)	0.791	(0.554)	40.455	(0.891)	15.950	(1.164)	14.174
19	1,077	27.65	6.53	3	12.19	137.81	(0.379)	1.245	(0.416)	1.044	(0.468)	(0.568)	0.482	61.981	0.472	44.204	0.024	36.328
20	647	11.63	6.65	2	17.00	288.41	(0.623)	(1.212)	(0.386)	0.080	(0.132)	0.507	(0.836)	34.598	(0.834)	17.130	(0.473)	27.057
21	810	29.19	10.99	4	61.41	162.20	(0.531)	1.481	0.706	2.008	2.970	(0.394)	1.806	89.476	3.165	100.000	3.439	100.000
22	1,256	12.70	7.37	4	4.00	134.37	(0.278)	(1.048)	(0.205)	2.008	(1.040)	(0.593)	(1.584)	19.077	(1.453)	4.318	(0.508)	26.404
23	506	16.69	21.64	2	3.86	199.03	(0.703)	(0.436)	3.385	0.080	(1.050)	(0.131)	(2.502)	0.000	(1.063)	12.383	(0.297)	30.338
24	1,677	13.98	6.30	2	4.02	239.20	(0.040)	(0.851)	(0.474)	0.080	(1.038)	0.156	(0.930)	32.641	(1.293)	7.627	(1.068)	15.968
27	7,611	31.54	7.03	3	13.30	69.59	3.322	1.842	(0.290)	1.044	(0.390)	(1.056)	1.659	86.419	0.857	52.173	1.008	54.673
28	485	13.58	8.28	4	21.00	31.58	(0.715)	(0.913)	0.024	2.008	0.148	(1.327)	(1.095)	29.226	(0.626)	21.440	0.236	40.287

(注) Rescaled SEI (z_i) = $(z_i - z_{\min}) / (z_{\max} - z_{\min}) \times 100$

出所：筆者作成

また、FEI のウェイトについても、(a) ウェイトに制約条件を付けない場合、(b) 全てのウェイトが非負の場合、(c) 全てのウェイトが 0.1 以上、かつ、政策（BCR のウェイトが他の指標のウェイト以上）を反映した場合の計算を行い、表 3-13 にまとめた。

表 3-13 主成分分析による FEI のウェイト

	BCR	RES	NON	寄与率
(a) ウェイト制約なし	0.600	(0.693)	0.400	45%
(b) ウェイトが非負	0.707	0.000	0.707	34%
(c) ウェイトが0.1以上、 かつ、政策反映	0.704	0.100	0.704	32%

出所：筆者作成

表 3-13 が示すように、(a) (b) の場合は、RES が評価に適切に反映されないため、本事例研究では(c)を採用する。

表 3-13 に示したウェイトを用いて計算した各プロジェクトの FEI を表 3-14 にまとめた。

表 3-14 主成分分析によるウェイトを用いた FEI の計算結果

Project	元データ			正規化 (平均0, 標準偏差1)			(a) ウェイト制約 なし		(b) ウェイトが非負		(c) ウェイトが0.1 以上、かつ、政策反 映	
	BCR	RES	NON	BCR	RES	NON	FEI	Rescaled FEI (注)	FEI	Rescaled FEI (注)	FEI	Rescaled FEI (注)
1	0.58	3	11.26	(0.781)	1.668	(1.659)	(2.288)	0.000	(1.725)	0.000	(1.549)	0.000
3	1.09	2	18.16	(0.228)	0.417	(0.502)	(0.626)	37.390	(0.516)	32.348	(0.472)	31.076
4	1.33	2	35.00	0.033	0.417	2.321	0.659	66.310	1.664	90.684	1.698	93.623
5	2.22	2	12.11	0.997	0.417	(1.516)	(0.297)	44.794	(0.367)	36.343	(0.323)	35.356
6	2.44	1	12.95	1.236	(0.834)	(1.375)	0.769	68.798	(0.098)	43.521	(0.181)	39.445
7	0.92	2	25.94	(0.412)	0.417	0.802	(0.215)	46.641	0.276	53.536	0.316	53.794
8	0.33	3	20.46	(1.052)	1.668	(0.116)	(1.833)	10.223	(0.826)	24.051	(0.655)	25.788
10	0.88	3	18.07	(0.455)	1.668	(0.517)	(1.636)	14.664	(0.688)	27.754	(0.517)	29.758
11	2.92	1	21.00	1.756	(0.834)	(0.026)	1.621	87.966	1.224	78.901	1.134	77.379
12	3.33	1	25.00	2.201	(0.834)	0.645	2.156	100.000	2.012	100.000	1.919	100.000
13	0.41	1	24.48	(0.965)	(0.834)	0.557	0.223	56.494	(0.288)	38.442	(0.370)	34.004
14	1.04	1	11.18	(0.282)	(0.834)	(1.672)	(0.260)	45.644	(1.382)	9.184	(1.458)	2.631
15	0.53	3	19.98	(0.835)	1.668	(0.197)	(1.736)	12.425	(0.730)	26.631	(0.559)	28.555
16	0.67	3	23.12	(0.683)	1.668	0.329	(1.434)	19.211	(0.250)	39.463	(0.082)	42.313
17	0.22	1	17.00	(1.171)	(0.834)	(0.696)	(0.402)	42.428	(1.320)	10.820	(1.397)	4.387
18	0.28	1	22.00	(1.106)	(0.834)	0.142	(0.028)	50.850	(0.682)	27.909	(0.762)	22.710
19	0.53	1	25.00	(0.835)	(0.834)	0.645	0.335	59.034	(0.135)	42.553	(0.217)	38.412
20	0.95	2	15.86	(0.379)	0.417	(0.888)	(0.872)	31.871	(0.896)	22.181	(0.850)	20.174
21	3.16	2	25.00	2.017	0.417	0.645	1.178	77.995	1.882	96.512	1.914	99.868
22	1.26	1	25.00	(0.043)	(0.834)	0.645	0.810	69.715	0.425	57.531	0.340	54.469
23	1.09	1	32.00	(0.228)	(0.834)	1.818	1.169	77.789	1.124	76.245	1.036	74.535
24	1.94	1	17.90	0.694	(0.834)	(0.546)	0.776	68.951	0.105	48.963	0.021	45.280
27	2.21	1	24.24	0.987	(0.834)	0.517	1.377	82.467	1.063	74.611	0.975	72.780
28	0.87	1	25.00	(0.466)	(0.834)	0.645	0.556	64.009	0.126	49.529	0.042	45.890

(注) Rescaled FEI (z_i) = $(z_i - z_{\min}) / (z_{\max} - z_{\min}) \times 100$

出所：筆者作成

次に、DEA ノン効率分析によるウェイトを用いて計算した各プロジェクトの SEI を表 3-15 にまとめた。(a)は全てのウェイトが非負の場合、(b)は全てのウェイトが 0.1 以上、かつ、政策 (COV のウェイトが他の指標のウェイト以上、かつ、EMP のウェイトが他の指標のウェイト以下) を反映した場合である。主成分分析の場合と同じく (b)を採用する。

表 3-15 DEA ノン効率分析によるウェイトを用いた SEI の計算結果

Project	元データ						正規化 (the min-max method)						(a) ウェイトが非負										(b) ウェイトが0.1以上、かつ、政策反映									
													ウェイト						SEI	Rescaled SEI	ウェイト						SEI	Rescaled SEI				
	BEN	EMP	POOR	CON	COV	DIS	BEN	EMP	POOR	CON	COV	DIS	BEN	EMP	POOR	CON	COV	DIS			BEN	EMP	POOR	CON	COV	DIS						
1	1,748	22.48	7.15	2	19.96	338	0.177	0.525	0.175	0.333	0.292	0.572	0.020	0.911	0.000	0.127	0.000	0.442	0.777	77.725	0.523	0.146	0.146	0.146	0.523	0.523	0.695	69.499				
3	6,391	16.65	4.07	1	6.69	115	0.829	0.253	0.000	0.000	0.065	0.155	0.939	0.000	0.000	0.000	0.000	0.861	0.912	91.200	0.682	0.100	0.100	0.100	0.682	0.262	0.675	67.537				
4	1,241	22.26	6.78	1	27.78	413	0.106	0.515	0.154	0.000	0.425	0.711	0.000	0.883	0.000	0.000	0.000	0.510	0.818	81.793	0.100	0.100	0.100	0.100	0.628	0.591	0.765	76.532				
5	695	23.05	6.73	1	41.00	127	0.029	0.552	0.151	0.000	0.651	0.178	0.000	0.657	0.000	0.000	0.335	0.468	0.664	66.444	0.100	0.100	0.100	0.100	0.628	0.591	0.588	58.792				
6	2,768	32.65	4.37	1	20.50	104	0.320	1.000	0.017	0.000	0.301	0.135	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	100.000	0.682	0.100	0.100	0.100	0.682	0.262	0.561	56.054				
7	720	19.81	5.53	1	22.72	173	0.033	0.401	0.083	0.000	0.339	0.263	0.000	0.657	0.000	0.000	0.335	0.468	0.500	49.996	0.100	0.100	0.100	0.100	0.628	0.591	0.420	42.007				
8	663	14.86	8.64	2	22.68	255	0.025	0.170	0.260	0.333	0.338	0.416	0.000	0.000	0.669	0.350	0.222	0.674	0.646	64.620	0.100	0.100	0.496	0.100	0.496	0.496	0.555	55.541				
10	1,543	14.91	10.24	1	22.50	568	0.148	0.172	0.351	0.000	0.335	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	100.000	0.516	0.100	0.384	0.100	0.516	0.516	0.917	91.725				
11	1,974	30.21	6.31	1	41.00	260	0.209	0.886	0.127	0.000	0.651	0.427	0.000	0.925	0.000	0.000	0.194	0.128	1.000	100.000	0.625	0.100	0.100	0.100	0.625	0.506	0.855	85.479				
12	1,563	24.21	8.08	2	33.60	520	0.151	0.606	0.228	0.333	0.525	0.911	0.000	0.199	0.000	0.000	0.000	0.966	1.000	100.000	0.100	0.100	0.100	0.100	0.605	0.605	1.000	100.000				
13	2,094	13.61	18.64	3	4.11	196	0.226	0.112	0.829	0.667	0.021	0.307	0.764	0.000	0.998	0.000	0.000	0.000	1.000	100.000	0.485	0.100	0.485	0.100	0.485	0.485	0.748	74.836				
14	780	16.62	5.30	1	2.90	46	0.041	0.252	0.070	0.000	0.000	0.026	0.000	0.971	0.472	0.000	0.000	0.000	0.278	27.767	0.284	0.284	0.284	0.284	0.284	0.284	0.111	11.060				
15	3,656	11.22	8.50	1	7.17	67	0.445	0.000	0.252	0.000	0.073	0.066	0.835	0.000	0.979	0.000	0.000	0.000	0.618	61.835	0.550	0.100	0.550	0.100	0.550	0.100	0.430	43.025				
16	726	16.50	9.21	2	26.90	116	0.034	0.246	0.293	0.333	0.410	0.156	0.656	0.000	0.857	0.000	0.529	0.424	0.556	55.635	0.485	0.100	0.485	0.100	0.485	0.485	0.491	49.102				
17	671	17.70	6.09	1	8.20	329	0.026	0.302	0.115	0.000	0.091	0.554	0.000	0.199	0.000	0.000	0.000	0.966	0.596	59.555	0.100	0.100	0.203	0.100	0.588	0.588	0.436	43.572				
18	622	15.03	6.00	1	8.80	328	0.019	0.178	0.110	0.000	0.101	0.553	0.000	0.199	0.000	0.000	0.000	0.966	0.569	56.906	0.100	0.100	0.203	0.100	0.588	0.588	0.427	42.651				
19	1,077	27.65	6.53	3	12.19	138	0.083	0.767	0.140	0.667	0.159	0.198	0.000	0.946	0.000	0.115	0.000	0.380	0.877	87.660	0.284	0.284	0.284	0.284	0.284	0.284	0.572	57.170				
20	647	11.63	6.65	2	17.00	288	0.023	0.019	0.147	0.333	0.241	0.479	0.000	0.000	0.000	0.804	0.000	0.804	0.653	65.279	0.100	0.100	0.100	0.128	0.598	0.598	0.492	49.215				
21	810	29.19	10.99	4	61.41	162	0.046	0.839	0.394	1.000	1.000	0.243	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1.000	100.000	0.100	0.100	0.100	0.100	0.748	0.100	1.000	100.000				
22	1,256	12.70	7.37	4	4.00	134	0.108	0.069	0.188	1.000	0.019	0.192	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000	100.000	0.383	0.100	0.100	0.383	0.383	0.383	0.531	53.073				
23	506	16.69	21.64	2	3.86	199	0.003	0.255	1.000	0.333	0.016	0.312	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	100.000	0.100	0.100	0.496	0.100	0.496	0.496	0.718	71.767				
24	1,677	13.98	6.30	2	4.02	239	0.167	0.129	0.127	0.333	0.019	0.387	0.413	0.000	0.000	0.802	0.000	0.736	0.621	62.119	0.540	0.100	0.100	0.181	0.540	0.540	0.395	39.535				
27	7,611	31.54	7.03	3	13.30	70	1.000	0.948	0.168	0.667	0.178	0.071	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	100.000	0.692	0.100	0.100	0.100	0.692	0.100	1.000	100.000				
28	485	13.58	8.28	4	21.00	32	0.000	0.110	0.240	1.000	0.309	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000	100.000	0.100	0.100	0.100	0.424	0.424	0.100	0.590	59.004				

出所：筆者作成

また、DEA ノン効率分析によるウェイトを用いて計算した各プロジェクトの FEI を表 3-16 にまとめた。(a)は全てのウェイトが非負の場合、(b)は全てのウェイトが 0.1 以上、かつ、政策 (BCR のウェイトが他の指標のウェイト以上) を反映した場合である。主成分分析の場合と同じく (b)を採用する。

表 3-16 DEA ノン効率分析によるウェイトを用いた FEI の計算結果

Project	元データ			正規化 (the min-max method)			(a) ウェイトが非負					(b) ウェイトが0.1以上、かつ、政策反映				
							ウェイト			FEI	Rescaled FEI	ウェイト			FEI	Rescaled FEI
	BCR	RES	NON	BCR	RES	NON	BCR	RES	NON			BCR	RES	NON		
1	0.58	3	11.26	0.116	1.000	0.003	0.000	1.000	0.000	1.000	100.000	0.652	0.652	0.100	0.728	72.752
3	1.09	2	18.16	0.280	0.500	0.293	0.511	0.844	0.163	0.613	61.294	0.652	0.652	0.100	0.537	53.749
4	1.33	2	35.00	0.357	0.500	1.000	0.000	0.000	1.000	1.000	100.000	0.494	0.494	0.494	0.917	91.676
5	2.22	2	12.11	0.643	0.500	0.039	0.596	0.874	0.000	0.820	81.992	0.652	0.652	0.100	0.749	74.890
6	2.44	1	12.95	0.714	0.000	0.074	1.000	0.000	0.000	0.714	71.383	0.942	0.100	0.100	0.680	67.984
7	0.92	2	25.94	0.225	0.500	0.620	0.375	0.683	0.525	0.751	75.094	0.494	0.494	0.494	0.664	66.389
8	0.33	3	20.46	0.035	1.000	0.390	0.000	1.000	0.000	1.000	100.000	0.652	0.652	0.100	0.714	71.375
10	0.88	3	18.07	0.212	1.000	0.289	0.000	1.000	0.000	1.000	100.000	0.652	0.652	0.100	0.819	81.897
11	2.92	1	21.00	0.868	0.000	0.412	1.000	0.000	0.000	0.868	86.817	0.942	0.100	0.100	0.859	85.902
12	3.33	1	25.00	1.000	0.000	0.580	1.000	0.000	0.000	1.000	100.000	0.942	0.100	0.100	1.000	100.000
13	0.41	1	24.48	0.061	0.000	0.558	0.000	0.000	1.000	0.558	55.835	0.623	0.100	0.623	0.386	38.575
14	1.04	1	11.18	0.264	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.264	26.367	0.942	0.100	0.100	0.248	24.837
15	0.53	3	19.98	0.100	1.000	0.369	0.000	1.000	0.000	1.000	100.000	0.652	0.652	0.100	0.754	75.365
16	0.67	3	23.12	0.145	1.000	0.501	0.000	1.000	0.000	1.000	100.000	0.494	0.494	0.494	0.813	81.261
17	0.22	1	17.00	0.000	0.000	0.244	0.000	0.000	1.000	0.244	24.433	0.623	0.100	0.623	0.152	15.216
18	0.28	1	22.00	0.019	0.000	0.454	0.000	0.000	1.000	0.454	45.424	0.623	0.100	0.623	0.295	29.489
19	0.53	1	25.00	0.100	0.000	0.580	0.000	0.000	1.000	0.580	58.018	0.623	0.100	0.623	0.423	42.338
20	0.95	2	15.86	0.235	0.500	0.196	0.596	0.874	0.000	0.577	57.663	0.652	0.652	0.100	0.498	49.850
21	3.16	2	25.00	0.945	0.500	0.580	1.000	0.109	0.000	1.000	100.000	0.942	0.103	0.100	1.000	100.000
22	1.26	1	25.00	0.334	0.000	0.580	0.529	0.000	0.811	0.648	64.760	0.623	0.100	0.623	0.570	56.955
23	1.09	1	32.00	0.280	0.000	0.874	0.000	0.000	1.000	0.874	87.406	0.623	0.100	0.623	0.719	71.851
24	1.94	1	17.90	0.553	0.000	0.282	1.000	0.000	0.000	0.553	55.305	0.942	0.100	0.100	0.549	54.918
27	2.21	1	24.24	0.640	0.000	0.548	0.529	0.000	0.811	0.783	78.345	0.623	0.100	0.623	0.740	73.991
28	0.87	1	25.00	0.209	0.000	0.580	0.529	0.000	0.811	0.581	58.121	0.623	0.100	0.623	0.491	49.146

出所：筆者作成

(3) 各プロジェクトの順位付けと SEI と FEI による 2 次元評価

(2)の計算結果に基づいて各プロジェクトの順位付けをしたのが表 3-17 である。

本プロジェクト全体の予算は、世界銀行の既述の報告書¹⁸⁾によると、\$354.3 million と見積もられ、表 3-17 の点線より上位に記載されているプロジェクトが予算内であるということを示している。

また、主成分分析と DEA ノン効率分析によるウェイトを用いてそれぞれ計算した SEI のスコアを縦軸、FEI のスコアを横軸にとって、各プロジェクトを座標平面にプロットしたのが図 3-5 と図 3-6 である。これらの図においても、上記の予算を点線で予算制約線として表示している。

表 3-17 各プロジェクトの順位付け

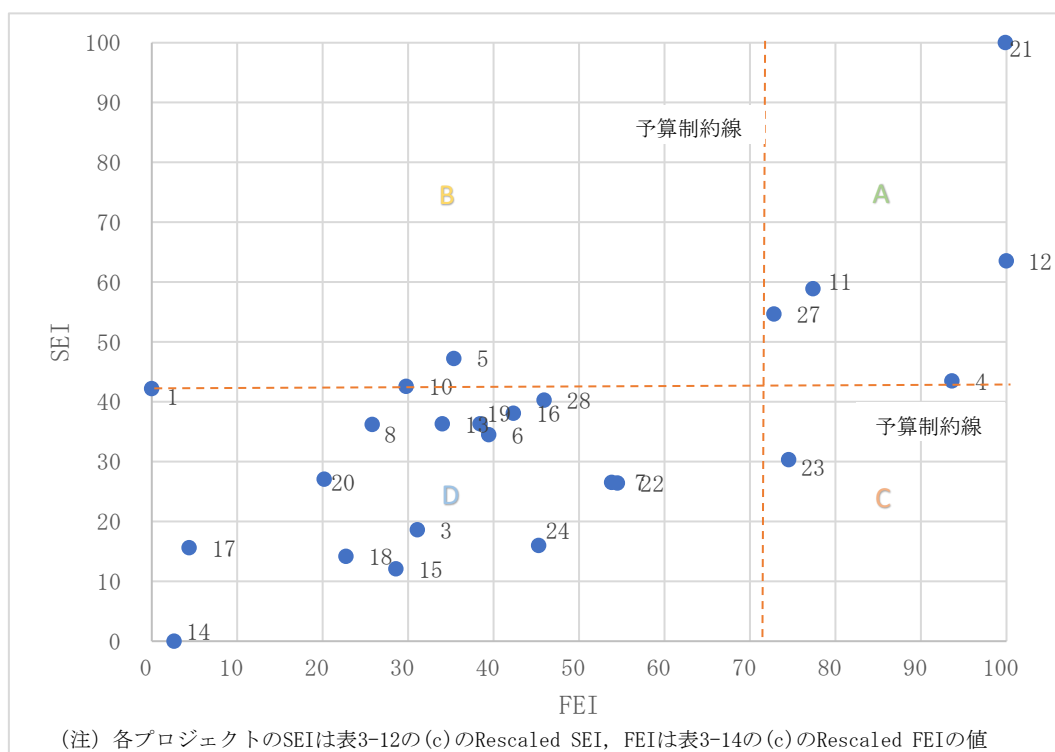
主成分分析によるウェイト付け(注1)								DEAノン効率分析によるウェイト付け(注1)							
FEI				SEI				FEI				SEI			
順位	Project	Invest- ment	Invest- ment累計	順位	Project	Invest- ment	Invest- ment累計	順位	Project	Invest- ment	Invest- ment累計	順位	Project	Invest- ment	Invest- ment累計
1	12	20	20	1	21	102	102	1	12	20	20	1	12	20	20
2	21	102	122	2	12	20	122	1	21	102	122	1	21	102	122
3	4	60	182	3	11	40	162	3	4	60	182	1	27	14	136
4	11	40	222	4	27	14	176	4	11	40	222	4	10	34	170
5	23	109	331	5	5	91	267	5	10	34	256	5	11	40	210
6	27	14	345	6	4	60	327	6	16	111	367	6	4	60	270
7	22	98	443	7	10	34	361	7	15	67	434	7	13	75	345
8	7	359	802	8	1	9	370	8	5	91	525	8	23	109	454
9	28	94	896	9	28	94	464	9	27	14	539	9	1	9	463
10	24	159	1,055	10	16	111	575	10	1	9	548	10	3	45	508
11	16	111	1,166	11	19	13	588	11	23	109	657	11	28	94	602
12	6	102	1,268	12	13	75	663	12	8	134	791	12	5	91	693
13	19	13	1,281	13	8	134	797	13	6	102	893	13	19	13	706
14	5	91	1,372	14	6	102	899	14	7	359	1,252	14	6	102	808
15	13	75	1,447	15	23	109	1,008	15	22	98	1,350	15	8	134	942
16	3	45	1,492	16	20	357	1,365	16	24	159	1,509	16	22	98	1,040
17	10	34	1,526	17	7	359	1,724	17	3	45	1,554	17	20	357	1,397
18	15	67	1,593	18	22	98	1,822	18	20	357	1,911	18	16	111	1,508
19	8	134	1,727	19	3	45	1,867	19	28	94	2,005	19	17	57	1,565
20	18	95	1,822	20	24	159	2,026	20	19	13	2,018	20	15	67	1,632
21	20	357	2,179	21	17	57	2,083	21	13	75	2,093	21	18	95	1,727
22	17	57	2,236	22	18	95	2,178	22	18	95	2,188	22	7	359	2,086
23	14	92	2,328	23	15	67	2,245	23	14	92	2,280	23	24	159	2,245
24	1	9	2,337	24	14	92	2,337	24	17	57	2,337	24	14	92	2,337

(注1) ウェイトが0.1以上、かつ、政策反映の場合

(注2) A 優先順位が高いプロジェクト B SEIの優先順位が高いプロジェクト C FEIの優先順位が高いプロジェクト D 優先順位が低いプロジェクト

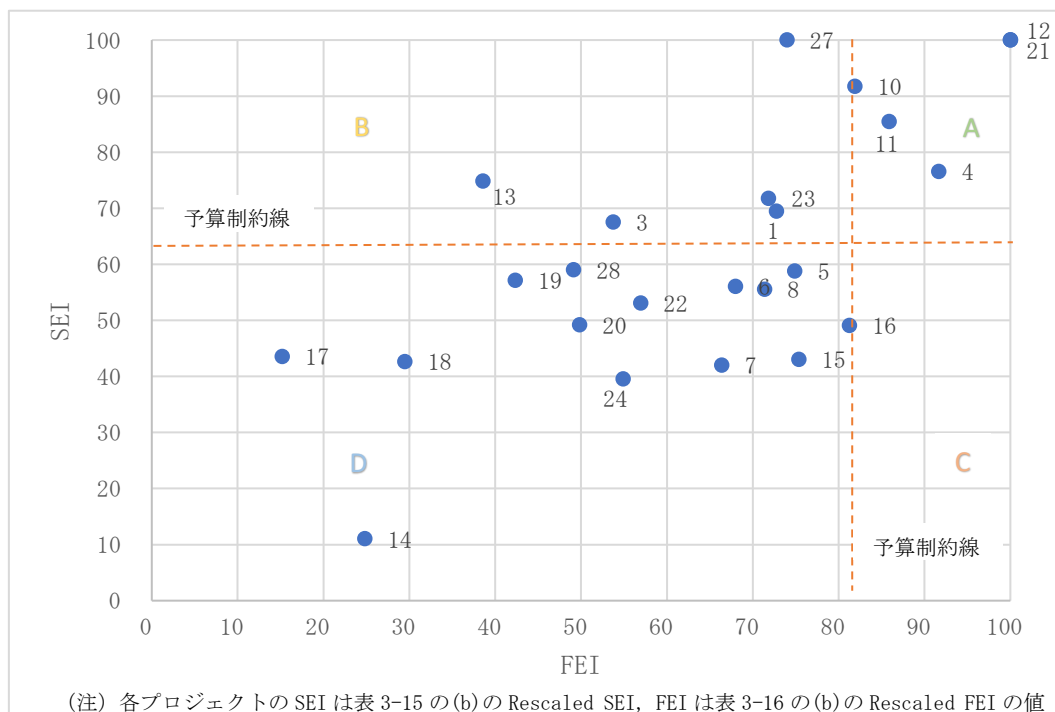
A, B, C, Dは図3-5 (主成分分析)、図3-6 (DEAノン効率分析)の象限に対応する。

出所：筆者作成



出所：筆者作成

図 3-5 主成分分析によるウェイトを用いて計算した場合の 2 次元評価



出所：筆者作成

図 3-6 DEA ノン効率分析によるウェイトを用いて計算した場合の 2 次元評価

主成分分析によった場合、DEA ノン効率分析によった場合ともに、プロジェクトの詳細な順位には差異があるが、特に優先順位の高いプロジェクトはほぼ同様の結果が得られた。

3.5 多基準分析の適用に向けた提言

3.5.1 多基準分析の適用目的に応じた手法の選択

途上国においてインフラプロジェクトの選定に多基準分析を用いることについて、世界銀行が提案した IPF⁷⁾と本研究による提案を表 3-18 にまとめた。

表 3-18 世界銀行の IPF と本研究の多基準分析適用に関する提案の比較

	世界銀行の IPF	本研究
多基準分析を用いる目的・理由	・多数の中小規模のプロジェクトのなかから優先プロジェクトを選定する際、データや予算等のリソースに制約があり費用便益分析ができない場合、暫定的な措置として IPF による優先プロジェクトの選定を行う。 ・IPF による優先プロジェクトの選定は、プロジェクトの正式な融資審査の代替となるものではない。IPF によって選定されたプロジェクトは正式な融資審査の候補プロジェクトとなり、厳密な費用便益分析を実施して融資の可否を判断する。	・途上国内の絶対的貧困を削減するために整備する主に小規模な社会インフラプロジェクトの選定に多基準分析を用いる。 ・上記のインフラプロジェクトは、地域格差や所得格差等の課題を解決するために実施するものであり、経済効率性以外の多様な視点や価値観を評価に反映できる多基準分析が有用である。 ・地域に密着したインフラプロジェクトの場合は、地域住民等の関係者のプロジェクトに対するオーナーシップがプロジェクトの成功に不可欠なため、地域住民等の意見を反映させ、政治的なプロセスで社会的な合意をとりながらプロジェクト選定することが可能な多基準分析は有用である。
多基準分析の手法	・主成分分析によるウェイト付けを用いた線形加法モデル	・包絡分析法 ・Benefit of the doubt approach によるウェイト付けを用いた線形加法モデル ・DEA ノン効率分析

出所：筆者作成

表 3-18 が示すように、世界銀行の IPF と本研究による提案は、多基準分析を用いる目的・理由が異なり、多基準分析の手法も異なる。世界銀行の IPF は、データ等の制約によって、費用便益分析ができない場合の暫定的な措置として、IPF を用いて優先プロジェクトを選定することを想定し、客観的なウェイト付けの手法である主成分分析による固定ウェイトを用いることを提案している。一方、本研究では、途上国内の絶対的貧困を削減するための小規模な社会インフラプロジェクトを選定するために、経済効率性以外の視点を考慮できる多基準分析を用いることを提案している。そのため、本研究では、客観性の観点のみならず、多様な視点や価値観を評価に反映させる必要があるという観点も考慮し、

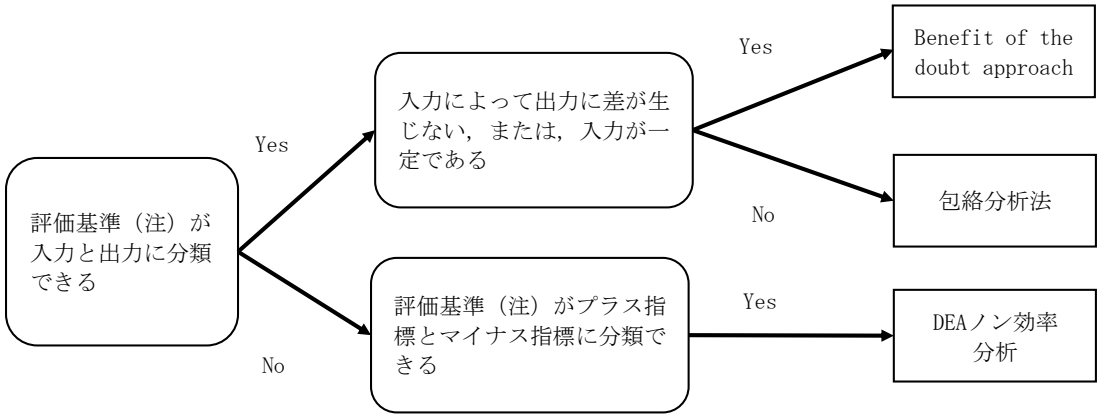
同一セクターに属するプロジェクトであっても各プロジェクトの個性を反映できる可変ウェイトを用いる包絡分析法, Benefit of the doubt approachによるウェイト付けを用いた線形加法モデルおよび DEA ノン効率分析による評価を提案した。

また、主成分分析によるウェイトは、寄与率が低くなると分析対象のデータの特性を十分に説明できず、その意味の解釈が難しい場合がある。本研究で提案したウェイト付け手法は、各プロジェクトの個性を最も優位に働かせるように決定されたウェイトであるという明確な根拠を説明でき、公平性が担保された手法であることも、実用面において大きな利点である¹⁰⁾。

なお、主成分分析、包絡分析法、Benefit of the doubt approach および DEA ノン効率分析のいずれによっても、ウェイトを計算する際に制約条件を付けることによってウェイトの偏りを是正し、関係者の選好等の人的判断を一定程度反映させることができることは、事例研究1と2で検証した通りである。

3.5.2 プロジェクトの個性を生かした評価手法の選択

3.5.1 に記載した通り、多基準分析の手法として、事例研究1では、Benefit of the doubt approachによるウェイト付けを用いた線形加法モデルと包絡分析法、事例研究2では、DEA ノン効率分析の手法を提案した。これらの手法の適用条件を図3-7に示した。



（注）第3章の事例研究1および2の場合は、評価指標のことを指す。

出所：筆者作成

図3-7 Benefit of the doubt approach、包絡分析法および DEA ノン効率分析の適用条件

効率性の観点から評価ができるのは、Benefit of the doubt approach と包絡分析法である。ただし、Benefit of the doubt approach によるウェイトは入力を考慮していないため、投資額を入力とする場合、投資額が同額の代替案の効率性を比較することはできるが、投資額が異なる代替案の効率性は比較することはできない。

DEA ノン効率分析は、用いる各評価基準には入出力のような有机的関係が必ずしも要求されない¹⁰⁾ため上記の二つの手法のように効率性を評価することはできない。しかし、評価基準をプラス指標とマイナス指標に分類できる限り自由に選択することができる¹⁰⁾ため、プロジェクトの必要性や実行可能性等の観点も取り入れて評価することが可能になり、多様な視点や価値観を反映させられるという利点がある。

3.6 結言

第3章では、途上国におけるインフラプロジェクトの優先順位付け手法として、二つの事例研究を通して、1)Benefit of the doubt approach によるウェイトを使った線形加法モデルによる評価、2)費用便益分析を補完するための包絡分析法による貨幣価値に変換できない便益を対象とした効率性評価、3)DEA ノン効率分析による評価、の三つの手法を提案した。第2章で検討したように、途上国内の絶対的貧困の削減を目指すためにインフラ整備が行われる場合には、経済効率性以外の多様な視点や価値観を反映させることができる評価方法が望ましいという観点からも、有用な評価方法である。本研究で提案した三つのウェイト付け手法は、各プロジェクトの個性を最も優位に働かせるように決定されたウェイトであるという明確な根拠を説明できるため、客観性に加えて公平性が担保された手法であることも、実用面において大きな利点である¹⁰⁾。

一方、本研究の検討対象にはしなかったが、主成分分析および提案した三つの手法による評価結果は、採用する評価基準（第3章の事例研究1および2の場合は評価指標）のデータに全面的に依拠する^{8),10)}ため、評価基準の選択の判断が重要である。二つの事例研究ともに主に水供給に関するセクターであったが、これらの事例のSEIとFEIはその内容も数も異なる。プロジェクト目標、地域特性、データの入手可能性等によっても評価基準は異なるが、過不足なく適切なSEIやFEIが選択されていたかの検証が必要である。さらに、多数の地域を対象とした小規模なインフラ整備を行うプロジェクトの場合には、プロジェクト自体の評価ではなく、プロジェクトの実施機関を多基準分析によって選定する場合も

ある。このような場合には、SEI や FEI の指標による 2 次元評価は適用できないため、実施機関のガバナンスや財務健全性等の観点からどのような評価基準が適切であるか、今後の研究課題である。

参考文献

- [1] 堀江典子, 萩原清子, 「多基準分析の今日的意義と課題」, *総合都市研究*, 第 82 号, pp. 93-103, 2003.
- [2] Michael Freudenberg, Composite Indicators of Country Performance: A Critical Assessment, *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 2003/16, OECD Publishing, 2003.
- [3] Department for Communities and Local Government, *Multi-criteria analysis: a manual*, London, 2009.
- [4] 萩原清子, 「費用・便益分析と多基準分析: 政策決定の考え方」, *佛教大学総合研究所紀要*, 2011(1), pp. 13-57, 2011.
- [5] JICA 図書館ポータルサイト, 「JICA 図書館蔵書検索」,
(2019 年 11 月 1 日～2019 年 11 月 22 日取得, <https://libopac.jica.go.jp>)
- [6] OECD, *Handbook on Constructing Composite Indicators: METHODOLOGY AND USER GUIDE*, 2008.
- [7] Darwin Marcelo, Cledan Mandri-Perrott, Schuyler House, and Jordan Z. Schwartz, An Alternative Approach to Project Selection: Infrastructure Prioritization Framework, *World Bank Working Paper*, 2016.
- [8] 中井達, 『政策評価－費用便益分析から包絡分析法まで－』, ミネルヴァ書房, 2005.
- [9] A. Charnes, W.W. Cooper, and E.L. Rhodes, Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, No. 6, pp. 429-444, 1978.
- [10] 橋本昭洋, 『DEA フレックス総合評価法 社会システム分析への適用』, 筑波大学出版会, 2015.
- [11] Hideyuki Mizobuchi, Measuring World Better Life Frontier: Composite Indicator for OECD Better Life Index, *Social Indicator Research*, 118, pp.987-1007, 2014.
- [12] 小林潔司, 『道路投資評価の社会経済評価』, 第 15 章 効果(影響)の総合評価, 東洋経済新報社, 1997.
- [13] The World Bank and Ministry of Economy and Finance of Panama, Prioritizing Infrastructure Investments in Panama: Pilot Application of the World Bank Infrastructure Prioritization Framework, 2016.
- [14] 涌井良幸, 涌井貞美, 『多変量解析がわかる』, 技術評論社, 2011.
- [15] R. G. Dyson and E. Thanassoulis, Reducing Weight Flexibility in Data Envelopment Analysis, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 39, No. 6, pp.563-576, 1988.
- [16] R. Allen, A. Athanassopoulos, R.G. Dyson, and E. Thanassoulis, Weights Restrictions and Value Judgements in Data Envelopment Analysis: Evolution, Development and Future Directions, *Annals of Operations Research*, Vol.73, pp.13-34, 1997.
- [17] Laurens Cherchye, William Moesen, Nicky Rogge, and Tom Van Puyenbroeck, An introduction to 'benefit of the doubt' composite indicators, *Social Indicators Research*, Vol.82(1), pp.111-145, 2007.
- [18] Darwin Marcelo, Deblina Saha, Aditi Raina, and Schuyler House, Prioritizing Water Supply Infrastructure Investments in Sri Lanka: An Application of the World Bank Infrastructure Prioritization Framework, 2018.
- [19] 刀根薫, 企業体の効率性分析手法 DEA について, *Institute for Policy Science research report*. B 巻 87 号(B-5), 1987.
- [20] Akihiro Hashimoto, Hitoshi Ishikawa, Using DEA to evaluate the state of society as measured by multiple social indicators, *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.27, No.4, pp.257-268, 1993.
- [21] Joe Zhu, Multidimensional quality-of-life measure with an application for Fortune's best cities. *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.35, No.4, pp.263-284, 2001.
- [22] 海原 莊一, 荒川 雅生, 佐藤 丈晴, 中山 弘隆, 古川 浩平, 「包絡分析法を用い

- た客観的な急傾斜地崩壊対策施設整備優先順位設定法」，*砂防学会誌*，Vol. 57，No. 2，pp. 39-47，2004.
- [23] 三上 修一，高田 直幸，高橋 清，大島 俊之，向井 隆行，「サービス効果を考慮した橋梁の補修順位決定法に関する研究」，*構造工学論文集*，Vol. 54A，pp. 472-483，2008.

第4章 機関投資家や民間企業によるインフラ投資 の特徴と投資評価の課題

4.1 緒言

近年、日本をはじめとする各国のインフラ需要は、多様なニーズに対応して増大している。G20 Global Infrastructure Outlook の試算¹⁾によると、世界のインフラ投資支出を現在の傾向に基づいて推計した場合、2016年から2040年までの25年間ににおいて78.8兆米ドル、インフラ需要は93.7兆米ドルであり、両者の差異は14.9兆米ドルである。これを1年当たりには換算すると、インフラ投資支出は3.2兆米ドル、インフラ需要は3.7兆米ドルになり、両者の差異は0.5兆米ドルである¹⁾。また、2015年時点におけるインフラ投資支出がGDPに占める割合は3%であり、この差異を埋めるには3.5%まで引き上げる必要がある¹⁾。

こうした旺盛な投資需要がある一方、日本を含む先進国では厳しい財政制約のもと政府によるインフラの新規投資ができないばかりか、老朽化したインフラの維持管理・更新費用も十分確保できない状況にある。また、新興国や途上国におけるインフラ整備は、従来、約70%を公的資金、約20%を民間資金、残りの約10%を国際開発金融機関や二国間援助による資金によって賄われてきた²⁾が、アジアやアフリカを中心とした地域の経済発展に伴い、エネルギーや交通等の様々なインフラ需要は高まり続けているものの、先進国同様に財政的困難から政府資金の活用が難しく、結果として民間による投資が期待されている。

他方、年金基金や保険会社等の長期負債をもつ機関投資家等にとっては、長期安定的なキャッシュフローを生み、分散投資効果やインフレーションヘッジ効果も期待できるとされるインフラ投資が、2000年代に入って新たなアセットクラスとして認識されるようになった³⁾。加えて、昨今では、ESG投資が注目されていることや、世界的に超低金利が長期化していることを反映して、インフラ投資は有力な投資対象となっており、今後見込まれるインフラ投資とその資金需要の差異を埋めるには、民間、特に機関投資家等の資金力のある投資家が重要な役割を果たすと考えられる。

また、単に資金面からの必要性のみならず、民間の経営力や技術力を生かして経営効率を向上させよりよいインフラサービスを提供するという目的から、1980年代以降、欧州や

豪州を中心とする諸外国では、PPP/PFI の手法によって民間企業がインフラ投資を行ってインフラサービスを提供するようになり、現在では世界中にこうした動きが広まってきた⁴⁾。そして、このような状況を日本企業も含め多くの民間のインフラ関連企業が事業拡大の機会と捉え、世界各地でインフラ投資を行っている。

インフラ投資市場は、金融危機前の 2006 年は約 1,500 億米ドルだったが 2015 年には 3,000 億米ドルを超える規模に成長している⁵⁾。その一方で、市場では非上場インフラファンド等による投資待機資金（ドライパウダー）が年々積み上がっており、資金の需要と供給ともにニーズは伸びているが両者の間には隔たりがある⁶⁾。これは、投資家にとって投資可能な案件が不足しているということであるが、豪州のアセットリサイクリングの取組みはこの隔たりを埋めるものとして注目されている^{6), 7)}。また、プロジェクト計画の不十分さ、適切な投資ビークルの欠如、リスクの透明性と開示の不十分さ、プロジェクトパフォーマンスデータの欠如、法律や規制のリスクといった様々な要因も民間によるインフラ投資の障害になっていると指摘される⁸⁾。機関投資家や民間企業は、インフラ投資のリスクとリターンを合理的に見積もり、適切な投資判断を行うための方法論とツールを求めている。

本研究ではこうした背景をもとに、機関投資家や民間企業の立場から行うインフラ投資の評価手法に焦点を当て、先行研究のレビューによってその現状と課題を整理する。以下、4.2 ではインフラ投資の特性と形態を整理した上で、機関投資家や民間企業がインフラ投資に参画する場合の主な投資形態である非上場のインフラ投資について、4.3 では投資スキームの特徴と課題を説明する。4.4 では 4.3 で説明したプロジェクトファイナンス型のインフラ投資の課題に関して、投資評価モデルの構築の必要性を述べ、評価方法について考察を加える。

4.2 インフラ投資の特性と形態

4.2.1 なぜインフラ投資なのか

前節で述べたように現在、先進国、新興国および途上国のいずれかを問わず、世界中のインフラプロジェクトにおける巨額の資金需要に対して如何に長期的な資金供給を確保するのが、国際政策上の重要な議題となっている。2014 年の G20 において、需要を増加させ生産性や成長を引き上げる上でインフラストラクチャーの重要性を認識し⁹⁾、その後、日本政府が推進する「質の高いインフラ投資」の重要性が G20 のみならず OECD, APEC 等の多

くの国際会議の場で確認されており¹⁰⁾、国際社会における取組みとして、量のみならず「ライフサイクルコスト、安全性、自然災害に対する強靱性、社会環境基準、ノウハウの移転等に配慮した」¹¹⁾質も兼ね備えたインフラ投資が重要視されている。

民間のインフラ関連企業によるインフラ投資は、欧州や豪州の企業が先行しており、自国の PPP ビジネスで蓄積した経験やノウハウを生かして世界各地でインフラビジネスを展開している⁴⁾。これに対し日本企業の場合は、豊富な経験をもつ総合商社をはじめ高い技術力をもつインフラ関連企業もアジアを中心とする新興国等で質の高いインフラ投資に取り組んでいる。

他方、機関投資家等の動向として、EDHEC Infrastructure Institute-Singapore が実施した調査¹²⁾等では、年金基金や保険会社等の機関投資家や政府系投資機関が運営するファンドであるソブリンウェルスファンドのインフラストラクチャーに対する投資意欲の高まりが確認されている。しかし、こうした投資家にとって投資インセンティブとなるインフラ投資のメリットは、一般企業の株式や債券等の金融商品のメリットと比べると、依然として捉えどころがないことや、機関投資家はその受託者責任を果たすべく投資対象資産のリスクとリターンに基づいて投資判断を厳格に行わなければならない²⁾ことから、インフラ投資の特性を理論面でも明らかにすることは喫緊の課題となっている。そもそも、機関投資家やソブリンウェルスファンドにとって、インフラ投資の魅力は何だろうか。図 4-1 にインフラ資産の特性とそれに対応した機関投資家にとってのメリットを示した。

一口にインフラストラクチャーと言っても案件の個別性が強く、これが図 4-1 に示した特性に対し様々なバイアス、影響を与えることになる。具体的には、国・地域（先進国、新興国）、事業段階（グリーンフィールド型（新規整備案件）、ブラウンフィールド型（既存施設の改修・拡張や運営・管理案件））、業種（参入規制あり、参入規制なし）、収益構造（政府負担型、利用者負担型）も様々であり¹³⁾、必ずしも図 4-1 の特性に当てはまらない場合がある。投資家は、こうした個別特性を踏まえ、インフラ投資案件の特性を自らの投資目的やリスクアペタイトに照らし合わせて投資判断を行い、投資ポートフォリオを形成することになる。

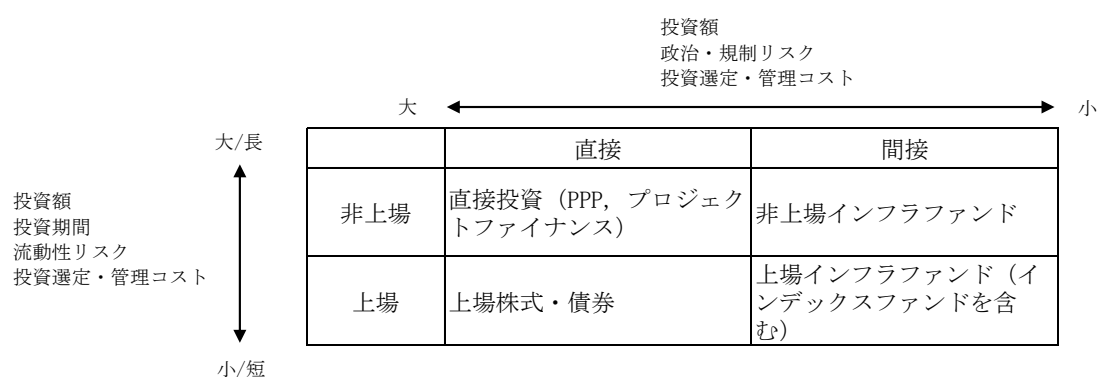
インフラ投資の特性	機関投資家にとってのメリット
規制や長期契約を裏付けにして、長期安定的で予測可能なキャッシュフローを生む	Asset Liability Management の観点から長期負債との整合性を有す
景気変動に対して相関が低いため、株式や債券等の伝統的投資資産に比べて価格変動が小さい	分散投資効果が期待できる
物価に連動した利用料収入となるように価格設定をすることができる（ただし、料金の改定は必ずしも容易ではない ¹⁴⁾ ）	インフレヘッジ効果を有す
社会にとって必須サービスを提供している	投資に ESG の視点を組み入れることができる

出所：福島，菅（2014）¹⁵⁾の p. 37 図表 1-9 「インフラ投資の特性と年金基金や保険会社との親和性」を筆者が加工

図 4-1 インフラ投資の特性と機関投資家にとってのメリット

4.2.2 インフラ投資の形態

インフラ投資の形態は、投資家による投資資産への関与の方法（直接・間接）と、市場取引か否か（上場・非上場）という二つの観点で分類すると、図 4-2 に示すように四つのタイプに分類できる。



出所：Bitsch, *et al.* (2014)¹⁶⁾の p.109 Figure 1. Most common forms of infrastructure investment を筆者が

加工

図 4-2 インフラ投資の形態

(1) 直接投資と間接投資

直接投資は、その目的に応じて大きく二つに分類することができる。

一つはインフラ事業そのものに関心を持ち、ノウハウをもったインフラ関連企業が実際にインフラ事業を運営する目的で行う投資である¹⁵⁾。英国や豪州等では、1980年代から1990年代にかけて政府がPPP/PFIを導入し公共サービスに民間部門の参入の機会が拡大してきた^{17), 18)}が、中国、韓国、台湾、フィリピン、ベトナム等のアジアにおいても、1997年のアジア通貨危機の際に、国際開発金融機関が支援の見返りにインフラ市場の民間開放を要請した⁴⁾ことや、その後のマクロ経済の発展や投資環境の改善によってPPP/PFIの導入が進んだ¹⁹⁾。日本でも、2011年のPFI改正法によって導入された公共施設等運営権制度（いわゆる「コンセッション」）によって、民間企業がインフラ事業への単なる資金提供のみならず、主に空港等の分野でインフラ運営に携わる例が増えてきている¹⁵⁾。

もう一つは、長期安定的な利益を得ることを目的として行う機関投資家による投資である¹⁵⁾。代表的な例として、従来、プライベートエクイティファンド（PE）のような投資ファンドに資金運用を任せていた機関投資家が、PEのマネジャーによる投資実績の報告の不十分さに不満を持ち、自らその機能を内製化してインフラプロジェクトに直接投資するようになった²⁰⁾ことが挙げられる。

ただし、直接投資の場合、投資期間が長期間かつ投資額が巨額であること、投資インフラプロジェクトに関する政治、法規制等の様々な外的な要因によるリスクが高いことから、参加主体は主として資金力のある専門的な知識やノウハウを持った一部の投資家に限られる¹⁶⁾。そのため、投資対象インフラ資産についての高い運用ノウハウや豊富な経験を持った運用会社等が他の投資家と共同で投資をする場合もある。

また、上場しているインフラ関連企業の株式や債券を購入することも直接投資に分類される。

これに対して、インフラファンドに投資する形態は、間接投資となる。インフラファンドは、1990年代半ばに豪州の投資銀行によって組成されたのが始まりで、2000年代初めにドットコムバブルが崩壊した後に、インフラ資産が新たなアセットクラスの一つとして位置づけられ、2000年代半ば以降急速に発展した³⁾。2008年の金融危機以降も複雑な仕組みの金融商品よりも実物資産であるインフラ資産は堅実な投資対象であると投資家から認識され³⁾、近年ではESG投資への注目の高まりからも機関投資家等にとってアセットクラスの重要な選択肢の一つになっている²¹⁾。

非上場インフラファンドの場合、最低限必要となる投資額は直接投資（PPP、プロジェクトファイナンス）に比べて小さいため、規模の小さい（機関）投資家でも参加可能であること、複数の投資先に分散投資することによってビジネスリスクの集中を回避できることが利点である¹⁶⁾。

上場インフラファンドの場合は、ビジネスリスクの分散効果があることは上記と同じであるものの、公開市場を通じて一般の個人投資家も投資できる点が非上場の場合とは異なる。日本では、東京証券取引所が2015年に創設した太陽光発電施設等のインフラ施設を投資対象とするインフラファンド市場に上場したインフラファンド（投資法人）が存在する²²⁾。ここでは広義に捉え、インフラ関連の上場企業の株式・債券、当該株式・債券を組み入れたインフラファンドおよび何等かの指標に値動きが連動することを目指すインデックスファンドも含める。

既述の EDHEC Infrastructure Institute-Singapore が機関投資家等を対象に実施した調査¹²⁾によると、直接投資を選好する理由としては、投資対象資産や投資の時期を自ら決定できることを挙げている。一方、間接投資を選好する理由としては、投資プロセスを内製化した場合に生じる高いコストがかからないことを挙げている。

(2) 上場と非上場

投資対象資産が上場されている場合は、市場で売却できることから流動性を確保できる。これに対し非上場の場合は、投資対象となるインフラ資産（事業）の性質上、満期まで数十年間に渡って保有することが一般的であり、セカンダリーマーケットで売却することは稀である。ファンドの場合であっても容易に売却することはできず、流動性は極めて低い²⁰⁾。

既述の EDHEC Infrastructure Institute-Singapore が実施した調査¹²⁾によると、投資家が上場インフラ投資を選好する理由としては、流動性や透明性の高さおよび安価なアクセスを挙げている。一方、非上場インフラ投資を選好する理由としては、アクティブ運用の形態であること、資本市場の多様化として認識されていること、加えてより良いパフォーマンスを得られることを挙げている。

機関投資家は保有資金の運用先選択の際、プロジェクトに内在するリスクを勘案しながら、一定のコスト負担のもとで投資収益（リターン）を最大化するように上記で説明した投

資形態を選択していると言える。

なお、インフラ関連の上場企業の株式・債券そのものや当該株式・債券を組み入れたインフラファンドは、インフラ投資として扱われないことが多い。また、Preqin社の2018年1月時点の調査によると、機関投資家がインフラ投資を行う場合の形態としては、非上場ファンドが78%、直接投資が32%と回答している²³⁾。したがって、機関投資家やインフラ事業に携わる民間企業の観点からのインフラ投資の評価を対象とする本研究の目的に照らし、以下においては、「非上場のインフラ投資」を中心として論ずる。

4.3 インフラ投資スキームの特徴と課題

4.3.1 インフラ投資の契約関係と資金調達方式

機関投資家や民間企業が行うインフラ投資は、一方が他方に対し、独立したインフラ資産に対する投資を委任する機会を創り出すという契約関係から生じており、“relationship specific investments”（関係特殊投資）である²⁴⁾。即ち、投資家にとってこの契約関係の外側では、殆どあるいは全く価値を生むことがなく、委任された長期の契約期間に渡り、当該資産を有効活用することによって生まれるキャッシュフローを得る権利が与えられ、それによって初めて投資を回収することができる²⁴⁾。また、インフラ投資の委任契約は、投資を委任する側と実行する側の双方で合意した収益モデルが組み込まれたリスク分担の仕組みによって特徴づけられており、独立したインフラプロジェクトが組成される²⁴⁾。

このような特徴をもったインフラプロジェクトの資金調達方式としては、借入金の計画的な返済、出資に対する規則的な配当支払、長期間に渡るキャッシュフローの高い予測可能性、という特徴をもつプロジェクトファイナンスが多く利用されている²⁰⁾。プロジェクトファイナンスとは、「特定されたプロジェクトが対象で、原則として主たる返済原資が当該プロジェクトのキャッシュフローに依拠し、かつ担保が当該プロジェクトの資産に限定されるファイナンス」²⁵⁾である。

プロジェクトファイナンスは、長期の経済耐用年数や償却年数を必要とする大型設備向けの融資に適し、裏を返せば、長期の安定した一定の収益が見込める必要がある²⁶⁾。こうした点がインフラプロジェクトの特徴に合致していることに加え、出資金の提供者（スポンサー）の立場からは、資金調達におけるレバレッジを上げることによって投資のリターン、即ちROE（Return on Equity）を向上させる²³⁾ことができる。金融機関等のレンダー

の立場からは、プロジェクトファイナンスはこのレバレッジにより経営者（スポンサー）を長期間に渡ってプロジェクトにコミットさせ、その行動を最適化するガバナンスのメカニズムが内包されたいわゆるコーポレートガバナンスの特殊なモデルと捉えることができる²⁰⁾。さらに、返済原資や担保が限定されることからコーポレートファイナンスに比べてリスクが高くなる分、金利も高く設定することから重要な収益源となる¹⁴⁾という利点がある。

4.3.2 安定した将来キャッシュフローを確保するための課題

プロジェクトファイナンスを利用したインフラプロジェクトに対する投資は、前項で説明した通り、インフラ資産を実物資産として捉えるよりも金融資産、即ち、将来キャッシュフローに対する契約上の権利と捉えるほうが理解しやすい²⁴⁾。投資家にとって最も重要なものはキャッシュフローであり、インフラ投資に参画する投資家を増やすためには、安定したキャッシュフローを得られるという確度の高い予測を可能にすることが不可欠である。そのため、プロジェクトライフを通じて安定したキャッシュフローを得られるような仕組みを導入するというファイナンスの制度面の対応と、キャッシュフロー予測の精度を上げる理論の構築が期待されている。

前者については、例えば、日本でも2012年から導入されている再生エネルギーの固定価格買取制度¹⁵⁾や、海外では主に道路等の分野で定着している民間のサービス提供のパフォーマンス（稼働率やサービス内容）に基づいて公共セクターから対価が支払われるアベイラビリティペイメント型²³⁾を導入するという制度面の対応である。現在の日本のコンセッション方式もプロジェクトファイナンスのスキームが採用されており、利用料金の徴収を行って独立採算で成り立つ公共施設等、即ち十分なキャッシュフローを生み出す事業を対象としている¹⁵⁾。しかしながら、巨額の更新投資が必要で（十分な）キャッシュフローを生み出しにくい上下水道や一般道路のような分野にこそ民間の知恵や資金が必要であり^{27), 28)}、内閣府が公表している「PPP/PFI 推進アクションプラン（令和2年度改訂版）」²⁹⁾においてキャッシュフローを生み出しにくいインフラへのPPP/PFIの導入の支援が謳われていることから、今後の制度の発展が期待される。

後者については、非上場のインフラ投資案件に関する情報は一般的に入手が困難であり、入手できたとしても案件の個別性が強いこと、また、インフラファンドについては2000年代半ば以降に組成された案件が多いため、一定量のトラックレコードが蓄積されるにはま

だ時間がかかる¹⁷⁾ことから、過去の案件の実績値に基づくキャッシュフローの予測は容易ではない。最近ではビッグデータの活用により、精度の高い需要予測ができる投資家もいる²⁷⁾ようであるが、インフラ投資に参画できる投資家の裾野が広がるような、理解しやすく使い勝手のよいキャッシュフローモデルの構築が求められている。

4.3.3 インフラファンドのスキームと問題点

間接投資によってインフラ投資を行う場合は、インフラファンドを組成して投資家から資金を集め、インフラファンドからプロジェクトの運営主体となるビークル（主に Special Purpose Company : SPC）に資金を拠出（投資）する²⁷⁾。一般的にインフラファンドは PE と同様の仕組みであり、ファンドマネジャーとしてゼネラルパートナー（General Partner : GP）がファンドを運用し、リミテッドパートナー（Limited Partner : LP）がファンドに対して資金の拠出をコミットする。GP は、LP から拠出された資金をプロジェクトの運営主体であるビークルに投資し、ビークルからインフラ資産に投資を行ってキャッシュフローを得る。このキャッシュフローから GP に対する管理報酬や成功報酬を差し引いて、LP に対する配当を分配する¹⁶⁾。

このようなインフラファンドのスキームに起因して、投資家とファンドマネジャーの利益の不一致（プリンシパル＝エージェント問題）が生じる³⁰⁾。

インフラ資産は頻繁に取引されるものではなく、かつ公開市場で取引されるものではないので、年金基金等の機関投資家にとってもアクセスは容易ではない。そのため、投資案件の情報を入手できるネットワークや、投資案件の評価を適切に行って投資資金を配分することができる能力を有するファンドマネジャーには、投資家の利益を最大にするように業務を遂行することが期待されており、その役割は重要である。しかし、理論的には投資家とファンドマネジャーとの利益は必ずしも一致しない。

投資家は、景気後退局面においても投資資産の価値が大きく下がることなく、長期安定的なキャッシュフローを得ることを期待してインフラ資産に投資しているにもかかわらず、ファンドマネジャーが自らの成功報酬を得ようとして、レバレッジを高めたり、リスクの高い資産を選択したりするようになるという問題が生じる³⁰⁾。また、ファンドマネジャーに対する報酬について、インフラ投資は債券や公益事業の株式型のリターンにもかかわらず、PE 型の報酬を支払わなければならない³¹⁾、加えて、資産購入や売却等の取引に係るアドバイザーをファンドマネジャーの関連企業が務め、そのアドバイザーフィー等の取引

関連費用がファンドマネジャーのマネジメントフィーよりも多額になる場合もあるなど、インフラ資産取引の複雑さが増すほどファンドマネジャーやその関連企業に対する報酬が多額になり、投資家の最終リターンに影響を及ぼすことになる³²⁾。さらに、投資期間についても両者には差異があり、ファンドの大半は10年程度のクローズドエンド型の投資期間であるのに対し、機関投資家の場合は30年から50年という長期間に渡って保有できるアセットクラスを求めている³¹⁾。

投資家が自らの意向に沿ったインフラ投資を行うために、第三者に任すことなく投資家自身で直接投資を行うことが考えられるが、時間も費用もかかりノウハウも必要なため、同じ意向をもつ投資家による共同投資というアプローチが採られるようになった³¹⁾。表4-1は共同投資の例である。共同投資プラットフォームを設立することによって、そこに情報が集まりやすくなり、投資案件を探しやすくなる³¹⁾。また、当該プラットフォームを利用することによって、従来は一部の大規模なファンドのファンドマネジャーしかアクセスできなかった投資先にアクセスできるようになる³¹⁾ことや、単独ではインフラ投資のハードルが高かった投資家にとっては、新たなアセットクラスとしてインフラストラクチャーが加わりポートフォリオが充実するとともに、インフラ投資の経験を積みノウハウを蓄積することもできる⁷⁾という利点もある。その反面、共同投資は、適切な投資ビークルの設立が容易ではないことや、多数の関係者間の発言力等の力関係の調整が難航しやすいという問題がある³¹⁾。

表 4-1 共同投資の例

名称	概要
Pension Infrastructure Platform	National Association of Pension Funds と Pension Protection Fund によって 2012 年に設立された、英国の全ての年金制度が参加可能な投資プラットフォームであり、同国のインフラストラクチャーに投資を行うことによって得られる利益を共有することを目的としている。
Global Strategic Investment Alliance	Ontario Municipal Employees Retirement System が 2012 年に立ち上げ、日本の企業年金連合会、三菱商事、国際協力銀行、みずほコーポレート銀行も参画し、主に北米や欧州の空港、鉄道、港湾等の大型インフラへの投資を目的とした共同投資アライアンスである。
Philippine Investment Alliance for Infrastructure Fund	フィリピン政府が主導し、民間セクターによるフィリピンにおけるインフラ投資促進を目的に立ち上げられた非上場ファンドであり、Government Service Insurance System fund, Asian Development Bank および Dutch pension fund asset manager である APG の三者が主要投資家、Macquarie Infrastructure and Real Assets がファンドマネジャーである。

出所：OECD(2014) ³¹⁾に基づき筆者が作成

4.3.4 長期的な視点による投資評価の困難さ

前項で説明したように、多くのアセットオーナー（機関投資家）の投資スタイルは長期志向であるが、実際には短期的なパフォーマンスのプレッシャーに直面して、個々の投資判断は短期的な利益を重視して行われる傾向があると指摘されている ³³⁾。そのような指摘に対する改善案と事例をまとめたのが表 4-2 である。

表 4-2 長期的な視点による投資判断を行うための改善案と事例

改善案	事例
アセットオーナーの評議会や CEO が、長期的な目標とその目標を達成するためにどのようなリスクをどこまでとれるか（リスクアペタイト）、短期的に受け入れられるベンチマークからの乖離の程度を明確にする。	シンガポールのソブリンウェルスファンドの GIC Private Limited は、20 年間という時間軸で投資価値を高めることを公約し、長期的成長が見込めるとして、比較的変動の大きいアジアの新興市場に投資を行ってきた。
アセットオーナーは、内部の投資専門家および外部のファンドマネジャーが長期の投資期間にコミットするような仕組みを取り入れる。	Canada Pension Plan Investment Board は、長期の実績が確定するまでパフォーマンスに基づく現金報酬の大部分の支払いを繰り延べるなどの試みを行っている。
長期的な視点での投資を支援する適切なコーポレートガバナンスを導入する。アセットオーナーの評議会は、専門性があり独立した機関でなければならない。	New Zealand Superannuation Fund は、金融投資のマネジメントに関する経験や専門性のあるメンバーから構成された評議会によって監督され、評議会は政府からも独立している。また、“a prudent, commercial basis”での投資に限定されている。

出所：Barton, *et al.* (2014)³³⁾に基づき筆者が作成

4.4 新たな投資評価モデルの構築に向けて

4.4.1 信頼性のある投資評価モデル構築の必要性

前節では、インフラ投資スキームの特徴と課題を説明したが、本節では、4.3.2で説明したプロジェクトファイナスを利用したインフラプロジェクトに対する投資の評価の課題について考察を加える。インフラ投資の評価は、結果として様々な関係者（ステークホルダー）に対して影響を与える。例えば、間接投資に比べ直接投資を行う場合は、投資額の規模が大きく分散投資によるリスク低減の効果もないため、対象プロジェクトの評価を見誤ると投資家に与える影響がより大きくなる。インフラ関連企業がインフラ事業を運営する目的で行う投資の場合は、当該企業に直接損失が生じるのみならず、料金の値上げ等によって最終的には利用者（住民）が不利益を被る可能性もある。また、年金基金や保険会社等

の機関投資家による投資の場合は、加入者等に対する将来の年金や保険料の支払いに影響を及ぼすことが考えられる。ファンドによる間接投資を行う場合も、ファンドマネジャー（GP）から報告されるパフォーマンスデータを理解しファンドマネジャー（GP）の評価をしなければならない⁵⁾。信頼できる投資評価モデルを構築することは、4.3.3で説明したインフラファンドによる間接投資をした場合に生じるプリンシパル＝エージェント問題を改善するためにも、また、4.3.4で説明した長期的な視点で投資評価を行うためにも必要不可欠である。

4.4.2 非上場インフラ投資の評価方法

(1) インフラ資産の評価方法

非上場のインフラ投資の評価モデルを検討する前に、インフラ資産の一般的な評価方法を概観する。インフラ資産の評価方法については、表 4-3 に示すインカムアプローチ、マーケットアプローチ、コストアプローチの三つのアプローチがある。個々の資産評価手法または複数の評価手法の組み合わせの選択は、評価の条件（評価対象、評価目的、データ入手可能性）に応じて異なる。インカムアプローチとマーケットアプローチは、通常、事業が継続するという前提のもとで価値を見積もるときに使用される。一方コストアプローチは、通常、将来キャッシュフローを予想できない場合や事業を清算する場合に使用される³⁴⁾。非上場のインフラ資産の場合は、後述するように、実務では通常インカムアプローチが用いられているが、マーケットアプローチによる観察可能なデータが入手可能な場合には、これらを組み合わせて分析することにより精度の高い評価結果を得ることが望ましい³⁴⁾。

表 4-3 インフラ資産の評価アプローチ

アプローチ	内容
インカムアプローチ	インフラ資産の事業から将来期待される利益ないしキャッシュフローに基づいて事業価値を算定するアプローチ
マーケットアプローチ	市場での取引価格、またはインフラ資産の事業と類似する取引と比較することで、相対的な価値を算定するアプローチ
コストアプローチ	インフラ資産の事業の取得・建設費用に着目して算定するアプローチ

出所：日本公認会計士協会、経営研究調査会研究報告第 56 号³⁵⁾に基づき筆者が作成

従来、インフラ資産の評価は、主に再調達原価法等によるコストアプローチによって行われていた³⁶⁾。一方、日本のコンセッション方式の運営権対価の算出³⁷⁾や固定価格買取制度のある再生可能エネルギー発電設備の評価³⁵⁾においては、インカムアプローチの手法であるDCF法(Discount Cash Flows Method)が採用されている。

インフラ資産(事業)の価値を評価する場合、その価値形成要因の分析が重要である³⁵⁾ため、以下では、投資家の視点による非上場インフラ投資の価値形成要因と、プロジェクトファイナンスの特徴を考慮した評価方法を検討する。

(2)投資家の視点から見た非上場インフラ投資の価値形成要因と評価方法の条件

直接投資であるか間接投資であるかにかかわらず非上場のインフラ投資は、通常、プロジェクトの途中でインフラ資産(事業)を売却して資金を回収することは容易ではない。事業会社が建設段階から出資するインフラ事業が運営段階に移行した後で、その持分の一部をインフラファンドに売却して出資を回収する場合等もある³⁸⁾が、プロジェクトの組成から終了まで保有し続けることが殆どである²⁰⁾。次項で説明するように、参考になるようなデータも極めて少なく、市場価格もないため、投資の意思決定時および投資後も長期の保有期間に渡って定期的にその投資価値を評価するには、市場価格以外の何等かのベンチマークを用いる手法に頼らざるを得ないという手法選択の上での制約も存在する。そこで、投資家の投資目的を考えると、インフラ資産を使用することによって生み出される収益力、即ち、キャッシュフローによって投資を回収し、超過利益を得ることを期待して投資するのであるから、非上場のインフラ投資の評価は、結局、将来得られると予測されるキャッシュフローに行きつく。デットファイナンス(融資・社債)の場合は元本の返済と利息の支払、エクイティファイナンス(出資)の場合は配当という形で投資家が享受できる部分についての予想(期待)を反映するモデルを構築することが必要になる。

このように、投資プロジェクトから期待されるキャッシュフローに基づいて価値を評価する方法は、表4-3に示した三つのアプローチのうちインカムアプローチに基づくものである。インカムアプローチは、一般的に将来の収益獲得能力を価値に反映させやすく、投資プロジェクト独自の収益性等を基に価値を測定することから、投資プロジェクトが持つ固有の価値を示すことが可能である³⁹⁾。

プロジェクトファイナンスを利用したインフラプロジェクトでは、4.3.1で説明したように、特定のプロジェクトを遂行するために事前に合意された計画(契約)に基づいて、債

権者に返済しその後にスポンサーに配当を行うこと、加えて建設コストの予算超過や収益の変動があった場合等のリスク分担が投資の委任契約で明確に決められていることから、プロジェクト期間における長期のキャッシュフロー予測が可能になる。こうしたプロジェクトファイナンスの特徴は、企業がその信用力で資金調達を行う形態であるコーポレートファイナンス⁴⁰⁾と比較して、キャッシュフロー予測を行う上でも有利に作用する。インカムアプローチの代表的な手法である DCF 法は、プロジェクトの価値の源泉が評価対象プロジェクトから将来創出されるキャッシュフローにあるという想定に基づくものであり³⁵⁾、長期のキャッシュフロー予測が可能なプロジェクトファイナンスを利用したインフラプロジェクトの評価に適している。

4.4.3 非上場インフラ投資の評価の課題

前項で指摘したように、現在、非上場インフラ資産の評価はインカムアプローチを中心に様々な事例が蓄積されてきている。一方で、有料道路や空港等の新たな建設の場合には需要予測が過大になる傾向があることや、事業環境の変化による下振れリスク（ダウンサイドケース）の予測が困難であること等の実務上の課題も報告されている⁴¹⁾。そのため、新たな評価手法の開発や既存評価手法の改善の必要性が高まっている。この点に関し先行研究⁴²⁾、⁴³⁾、⁴⁴⁾では、非上場のインフラ投資の評価モデルを構築するには、以下の三つの重要な課題に取り組む必要があると指摘している。

(1) 固有データの不足

非上場の投資に関する情報の収集が困難であることはインフラ投資の場合も例外ではなく、プロジェクトの初期投資額や転売時の価格を観察できたとしても、数十年に及ぶプロジェクトのライフサイクルの各時点における様々なタイプのプロジェクトの代表的なデータを利用できる可能性は極めて低い。また、観察したデータが現在の評価対象プロジェクト評価に直接参考になるとは限らない。その代わり、経験的に価格を導き出すだけの十分なデータを観察できないという前提に立ち、新しいデータが観察される都度、配当の時系列データに反映させモデルを更新する手続を評価アプローチに組み込むことは可能である。

(2) 割引率の期間構造

前項で述べたように実務で用いられている DCF 法では、将来のキャッシュフローを一定

の割引率で割り戻すことにより NPV が得られ³⁹⁾、インフラプロジェクトの場合は、この割引率について、インフラ投資特有のリスクプロファイルの時間的変化を反映する割引率の期間構造を推定する必要がある。プロジェクトに複数のフェーズがあり、アセットオーナーによるプロジェクト期間中の意思決定やその実行によってプロジェクトのリスクが時間の経過とともに変化する場合を想定すると、プロジェクト評価に一定の割引率を用いることは適切ではない。実際、そのような割引率を用いることは、リスクフリーレート、アセットベータおよび市場リスクプレミアムを将来の全ての時点で確定的かつ一定であると仮定することに相当する。適切な評価額を得るために、これらの変数は動的かつ確率的に捉えることが望ましい。

したがって、長期の投資期間を通じて一定の割引率を用いることは、リスク管理に有用なパフォーマンス測定を必要とする長期投資家にとって不十分である。

(3) 固有の価格が存在しないこと

インフラ投資市場は通常「不完全市場」である。即ち、同一資産が二人の投資家によって異なって評価され得る。これは、取引コストが高く、異なる投資家が異なる理由でインフラ資産を評価する可能性があるために、裁定取引の機会がないということである。その結果、価格は投資家の選好にある程度依拠し、スプレッド幅が大きくなる。

4.5 結言

第4章では、先行研究に基づいてインフラ投資の特徴と課題を整理し、機関投資家や民間企業によるインフラ投資の主な形態である非上場のインフラ投資の評価方法について考察を加えた。インフラ資産の評価は、インフラ投資の契約に基づき、投資家はインフラ資産を有効活用することによって生み出されるキャッシュフローを得る権利が与えられること、また、インフラ投資に多く利用されているプロジェクトファイナンスの特徴は、当該キャッシュフローの予測を可能にすることから、実務ではインカムアプローチの代表的な手法である DCF 法が用いられている。インカムアプローチによって価値を算定する場合、過去に観察された市場や類似プロジェクト等の外的要因のデータに基づくものではなく、投資対象プロジェクトの契約の特徴や、所在地や事業段階等のプロジェクト自体の特性等の内的要因に基づいて予測される⁴²⁾将来の収益獲得能力の評価となるため、評価者の主観

的意見が介入する余地が大きく客観性を確保することが課題となる。キャッシュフローに時間価値を取り入れた DCF 法によると、数十年にわたる長期のキャッシュフローを予測しなければならないため、生み出されるキャッシュフローの大きさのみならず、投資家に帰属するキャッシュフローを認識するタイミングや、インフラ投資特有のリスクプロファイルの時間的变化をどのように割引率に反映させるかという点について検討する必要がある。

参考文献

- [1] Global Infrastructure Hub, *Global Infrastructure Outlook*, 2017.
- [2] Georg Inderst and Fiona Stewart, *Infrastructure Investment in Infrastructure in Emerging Markets and Developing Economies*, Public-Private Infrastructure Advisory Facility, 2014.
- [3] Georg Inderst, *Infrastructure as an asset class*, *EIB Papers*, Vol.15 No.1, pp. 70-104. 2010.
- [4] 中村英夫 編著, 長澤光太郎, 平石和昭, 長谷川専 著, 『インフラストラクチャー概論』, 日経BP社, 2017.
- [5] 田中可久, 「グローバルインフラ投資のススメ①～世界の主要投資家動向から見るインフラ投資市場～」, 三井住友トラスト基礎研究所レポート, 2018.
- [6] 公益財団法人 年金シニアプラン総合研究機構, 『インフラ投資に関する調査研究 (2020 年版) 令和元年度 研究報告書』, 2020.
- [7] 竹下智, 「豪州のインフラ民営化における 2 つの工夫—アセットリサイクリングと年金基金による共同インフラ投資—」, *野村資本市場クォーターリー* 2018 年春号, pp. 160-180, 2018.
- [8] BP20 Panel of six international accounting net networks, *UNLOCKING INVESTMENT IN INFRASTRUCTURE Is current accounting and reporting a barrier?*, 2014.
- [9] Global Infrastructure Hub, *About Global Infrastructure Hub* (2021 年 3 月 16 日取得, <https://www.gihub.org/about/about/>)
- [10] 外務省, 「質の高いインフラ」, (2021 年 3 月 24 日取得, <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/bunya/infrastructure/index.html>)
- [11] 財務省, 「質の高いインフラパートナーシップ」, (2021 年 4 月 21 日取得, https://www.mof.go.jp/international_policy/economic_assistance/pqi/index.html)
- [12] Frédéric Blanc-Brude, Tim Whittaker, and Grace Chen, *Towards Better Infrastructure Investment Products?*, EDHEC Infrastructure Institute Publication, 2016.
- [13] 藤井佑二, 「インフラファイナンスにおけるインフラファンド～多様なリスク・リターンを持つ, インフラファイナンスの新たな担い手～」, *大和総研調査季報* 2011 年 春季号 Vol. 2, pp. 152-167, 2011.
- [14] 加賀隆一, 『国際インフラ事業の仕組みと資金調達』, 中央経済社, 2010.
- [15] 福島隆則, 菅健彦, 『よくわかるインフラ投資ビジネス』, 日経 BP 社, 2014.
- [16] Florian Bitsch, Axel Buchner, and Chirstoph Kaserer, *Risk, Return and Cash Flow Characteristics of Infrastructure Fund Investments*, *EIB Papers*, Vol. 15, No. 1, pp. 106-136, 2010.
- [17] 奥山清次, 吉川和孝, 「年金基金によるインフラファンド投資」, 三菱 UFJ 信託銀行調査情報, 2011 年 6 月号.
- [18] 日本貿易振興機構 (ジェトロ) 海外調査部アジア太平洋課, 『豪州及び日本のインフラ分野における PPP プロジェクト～民間部門参入の促進に向けて～』, 2010.
- [19] 佐々木仁, 『海外インフラ投資入門 PPP の仕組みと本質』, 中央経済社, 2018.
- [20] Frédéric Blanc-Brude, *Benchmarking Long-Term Investment in Infrastructure*, EDHEC-RISK Institute, 2014.
- [21] 田中邦明, 「拡大するインフラ投資」, 三菱 UFJ 信託銀行資産運用情報, 2020 年 9 月号
- [22] 日本取引所グループ, 「インフラファンド 概要」, (2021 年 3 月 16 日取得, <https://www.jpx.co.jp/equities/products/infrastructure/outline/index.html>)
- [23] 佐藤正謙, 岡谷茂樹, 村上祐亮, 福島隆則, 『インフラ投資 PPP/PFI/コンセッションの制度と契約・実務』, 日経 BP 社, 2019.
- [24] Frédéric Blanc-Brude, *Towards Efficient Benchmarks for Infrastructure Equity Investments*, EDHEC-RISK Institute, 2013.

- [25] 加賀隆一, 『プロジェクトファイナンスの実務～プロジェクトの資金調達とリスク・コントロール』, 社団法人金融財政事情研究会, 2007.
- [26] 宮川智紀, 「プロジェクトファイナンスに関する一考察」, *石油・天然ガスレビュー*, Vol. 52, No. 5, 2018 年 9 月号.
- [27] 大竹喜久, 黒木重史, 佐藤正謙, 奈尾真一, 渡辺晶, 「ポスト平成・これからの日本～2020 年東京五輪とその先に向けて～ 第 3 回 インフラ投資市場の未来」, *ARES 不動産証券化ジャーナル*, Vol. 44, pp. 6-19, 2018.
- [28] 石川卓弥, 「PFI 事業, コンセッション事業の現状と今後の方向性について」, *ARES 不動産証券化ジャーナル*, Vol. 51, pp. 19-40, 2019.
- [29] 内閣府, 「PPP/PFI 推進アクションプラン (令和 2 年改定版)」, (2021 年 3 月 19 日取得, https://www8.cao.go.jp/pfi/actionplan/action_index.html)
- [30] Gordon L. Clark, Ashby H.B. Monk, Ryan Orr, and William Scott, The New Era of Infrastructure Investing, *Pensions: An International Journal*, Vol. 17, 2, pp. 103-111, 2012.
- [31] OECD, Pooling of Institutional Investors Capital-Selected Case Studies in Unlisted Equity Infrastructure, OECD Publishing, 2014.
- [32] Georg Inderst, Pension Fund Investment in Infrastructure, *OECD Working Papers on Insurance and Private Pensions*, No. 32, OECD publishing, 2009.
- [33] Dominic Barton and Mark Wiseman, Focusing Capital on the Long Term, *Harvard Business Review*, Vol. 92, No. 1-2, 2014.
- [34] Michael Underhill, *The handbook of infrastructure investing*, Wiley, 2010.
- [35] 日本公認会計士協会, 経営研究調査会研究報告第 56 号『東京証券取引所インフラファンド市場におけるインフラ資産等の評価業務』, 平成 27 年 8 月 17 日
- [36] 竹末直樹, 藤堂政行, 小林潔司, 「PPP/PFI 手法におけるアセットマネジメントのためのインセンティブ評価」, *グローバルビジネスジャーナル*, Vol. 6 No. 1, pp. 20-30, 2020.
- [37] 内閣府, 『公共施設等運営権及び公共施設等運営事業に関するガイドライン』, 令和 2 年 7 月 17 日改正
- [38] 藤井佑二, 「日立総研レポート 多様化が求められるインフラ事業の資金調達」, *日立総研*, Vol. 8-2, pp. 12-15, 2013.
- [39] 日本公認会計士協会, 経営研究調査会研究報告第 32 号『企業価値評価ガイドライン』, 平成 25 年 7 月 3 日改正
- [40] 加賀隆一, 『新版 プロジェクトファイナンスの実務～プロジェクトの資金調達とリスク・コントロール』, 一般社団法人金融財政事情研究会, 2020.
- [41] Global Infrastructure Hub, *Allocating Risks in Public-Private Partnership Contracts*, 2016.
- [42] Frédéric Blanc-Brude and Majid Hasan, The Valuation of Privately-Held Infrastructure Equity Investments, EDHEC-RISK Institute, 2015.
- [43] Rajeev J. Sawant, *Infrastructure Investing: Managing Risks & Rewards for Pensions, Insurance Companies & Endowments*, Wiley, 2010.
- [44] Barbara Weber, Mirjam Staub-Bisang, and Hans Wilhelm Alfen, *Infrastructure as an Asset: Investment Strategy, Sustainability, Project Finance and PPP*, Wiley, 2016.

第5章 インフラプロジェクトのエクイティ投資の 評価モデル

5.1 緒言

第4章で説明したように、機関投資家や民間企業がインフラ投資を行う場合は、インフラ資産を将来キャッシュフローに対する契約上の権利と捉え、インフラ資産を有効活用することによって生まれるキャッシュフローに基づいて事業価値を算定するインカムアプローチによることが合理的であり、インカムアプローチの手法であるDCF法を用いて評価を行うことが実務においても定着してきている。インフラ資産（事業）から生成されるキャッシュフローに時間価値を取り入れたDCF法によると、キャッシュフローと割引率によって投資価値を評価する¹⁾ことになるため、キャッシュフロー予測の精度を上げることと、投資期間を通して変動する割引率を推定する理論の構築が期待されている。

キャッシュフロー予測については、インフラ資産（事業）が生み出す将来キャッシュフローの大きさと、それを認識するタイミングが問題になる。前者については、様々な条件下で多様なリスク要因を考慮して収入・費用予測を行う必要があり、確定的な方法・ツールは存在せず、対象とするインフラ資産（事業）の特性等に応じて、実務では感度分析や感度分析とモンテカルロシミュレーションを組み合わせた方法等が採用されている^{1), 2)}。また、需要変動リスクを負担するか否かという収益構造に着目して、デットファイナンスの評価モデルを構築する先行研究³⁾や、ベイズ推定を用いて将来配当を予測するエクイティファイナンスの評価モデルを構築する先行研究⁴⁾が行われている。後者については、コーポレートファイナンスとプロジェクトファイナンスを利用した場合の投資家に帰属するキャッシュフローの生成メカニズムの差異に着目した、エクイティの評価モデルに関する先行研究⁵⁾も行われているが、基本モデルの提案に留まり、筆者が知る限り実用性に関する検討を含めた実証研究は極めて少ない。

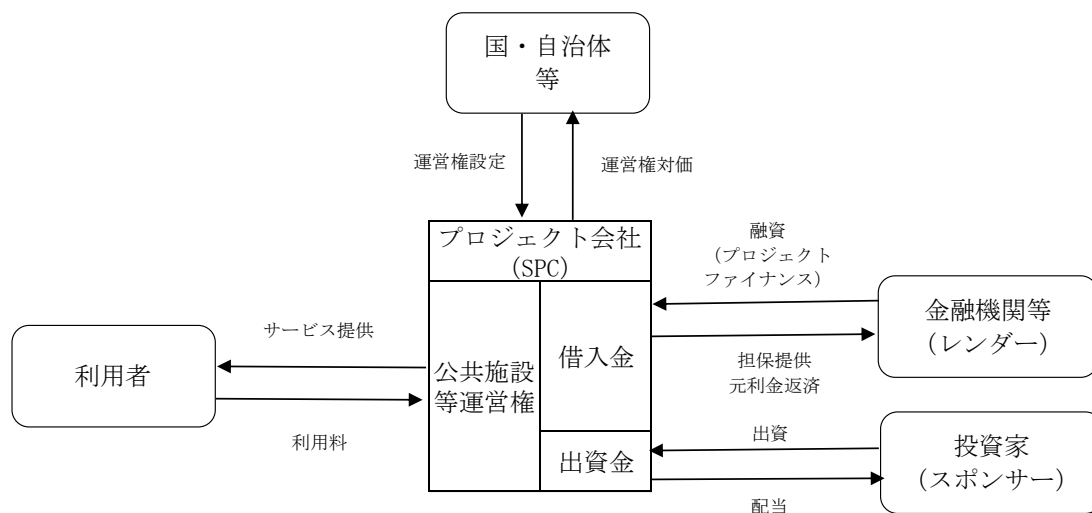
こうした背景を踏まえ、本研究では、プロジェクトファイナンスを利用した場合の投資家に帰属するキャッシュフローの生成メカニズムに着目した上述の先行研究⁵⁾による評価モデルをベンチマークとして、日本のコンセッション事例を基にした仮想プロジェクトの将

来キャッシュフローのシミュレーションを行い、評価手法としての特徴を明らかにするとともに実務上の観点から考察を行う。なお本研究では、5.2 に後述するように、デットよりも相対的にリスクが高く評価が難しいエクイティの評価を対象とする。以下、5.2 ではインフラ資産（事業）の評価にとって重要なプロジェクトファイナンスの特徴を説明する。その特徴がエクイティ投資の評価に与える影響に着目した先行研究による評価モデルを5.3 で説明する。当該モデルを用いて5.4 では仮想プロジェクトの将来キャッシュフローのシミュレーションを行い、先行研究によるシミュレーション結果と比較し考察を加える。

5.2 プロジェクトファイナンスの特徴

5.2.1 プロジェクトファイナンスを利用した資金調達スキーム

プロジェクトファイナンスを用いてインフラ投資を行う場合の資金調達スキームを図 5-1 に示す。プロジェクトによって関係当事者やスキームは異なるが、図 5-1 は、日本のコンセッションを想定している。



出所：福島、菅（2014）⁶⁾の p.77 図表 2-6「コンセッション方式の一般的な資金調達スキーム」を筆者が加工

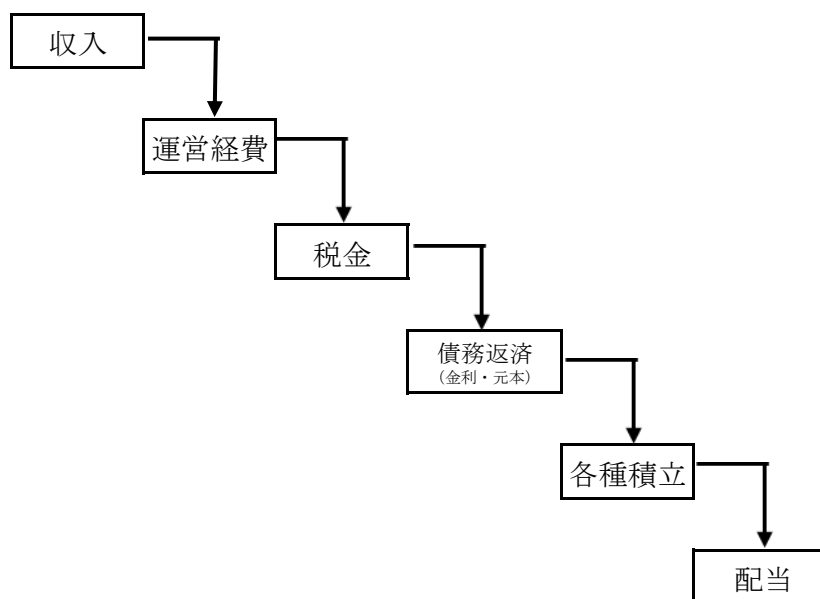
図 5-1 インフラ投資（コンセッション方式）の資金調達スキーム

プロジェクトファイナンスの場合、レンダーに対する借入金の返済原資は特定プロジェクトのキャッシュフローと資産のみであるため、事業に関するリスクを徹底的に洗い出し、そのリスクを誰がどのようにコントロールするかという債権保全策（セキュリティパ

ッケージ)を事業当事者間の交渉によりとりまとめ、融資可能な案件に作り上げていく¹⁾。

5.2.2 キャッシュウォーターフォール

プロジェクト会社（SPC）が得た収入（キャッシュフロー）は最終的にはプロジェクト会社（SPC）に帰属するが、レンダーにとっての担保でもある¹⁾ため、その使途は事前に特定されたものに限られるのみならず、その支払順序もあらかじめ定められ、厳密な管理がなされる⁷⁾。一般的な支払順位を図で表したのが図5-2である。



出所：筆者作成

図5-2 キャッシュウォーターフォール

図5-2が示すように、キャッシュが上から下へ順に滝のように流れていく構造は「キャッシュウォーターフォール（Cash Waterfall）」と呼ばれている¹⁾。

運営経費と税金は事業継続のための必須支出項目であり最優先で支払われ、続いてレンダーに対する金利・元本の返済、債務返済や大規模修繕等のための積み立てを行い、最後に投資家（スポンサー）への配当金の支払が行われる⁷⁾。

プロジェクトからの収入は主となる口座（メインアカウント）に入金され、そこからその口座内に設けられた支払順位ごとのサブアカウントに入金され、支払期日が到来すると各サブアカウントから支払がなされる¹⁾。

このように、キャッシュの流れをあらかじめ明確化しておき、プロジェクト会社（SPC）の裁量でキャッシュが目的外の用途に流出するのを防ぐ¹⁾。

デットは元本、金利、返済期日が定められ、プロジェクト会社（SPC）が得たキャッシュフローはエクイティに優先してその支払いに充当されるが、エクイティには返済義務がなく各種支払いや積み立て後の剰余分から配当として分配され、その配当額はプロジェクト会社（SPC）が実施するインフラ事業の業績に応じて変動する⁸⁾。そのため、投資家（スポンサー）は、レンダーに比べてより高いリスクをとる一方で、より高いリターンを狙える。ただし、レンダーも相対的に低いとはいえずリスクをとってプロジェクトファイナンスを行っている。上述の通り、債権保全策（セキュリティパッケージ）の構築やキャッシュフローの厳密な管理を行うことにより、デフォルト（債務不履行）の発生率およびデフォルト状態からの回復率の調査によると、同一格付けのコーポレートファイナンス案件よりもプロジェクトファイナンス案件のほうが好ましいという結果もある¹⁾。

こうしたプロジェクトファイナンスの資金調達・返済のメカニズムを考慮すると、資金提供者の立場から将来得られるキャッシュフローの評価は、レンダーよりも投資家（スポンサー）、即ちデットの評価よりもエクイティの評価のほうがより難しいと言える。

以下においては、このような特徴をもつプロジェクトファイナンスを利用した場合の「エクイティ投資の評価」を対象とする。

5.3 先行研究によるエクイティ投資の評価モデル

5.3.1 エクイティ投資を評価する二つのアプローチ

投資家は通常、プロジェクトファイナンスを行った場合のエクイティ投資の評価をするために、以下の二つのアプローチのいずれかを用いる²⁾。

1) FCF/WACC アプローチ

フリーキャッシュフロー（Free Cash Flows : FCF）を加重平均資本コスト（Weighted Average Cost of Capital : WACC）で割り引き、デットの価値を差し引くことにより、エクイティの価値を間接的に評価する

2) ECF/ K_E アプローチ

エクイティキャッシュフロー（Equity Cash Flows : ECF）を資本コスト（Cost of Equity : K_E ）で割り引くことにより、エクイティの価値を直接評価する

投資額の現在価値とプロジェクトによって生み出されるキャッシュフローの現在価値の合計とが等しくなる割引率のことを内部収益率（IRR）と言い、インフラ資産（事業）の投資評価の重要な指標として用いられている⁷⁾。1)の概念に基づくIRRを「プロジェクト（フィナンシャル）IRR」，2)の概念に基づくIRRを「エクイティIRR」と言う。両指標の特徴をまとめたのが、表5-1である。

表5-1 プロジェクト（フィナンシャル）IRR とエクイティIRR

	プロジェクト（フィナンシャル）IRR	エクイティIRR
分析目的	プロジェクト全体の収益率	各投資家による投資の収益率
投資額	プロジェクト全体の投資額	各投資家の投資額
リターン額	SPC 全体に帰属する FCF	投資家に帰属する FCF（=ECF）
ハードルレート	プロジェクト資金の調達コスト (WACC)	各投資家のリターン目標値 (K_E)

出所：佐々木（2018）⁷⁾ p.167 図表 15-1 「フィナンシャルIRR とエクイティIRR の違い」を筆者が加工

プロジェクト（フィナンシャル）IRR またはエクイティIRR がハードルレートを上回れば採算がとれる、換言すると、投資対象となると考えることができる。プロジェクト（フィナンシャル）IRR とエクイティIRR は、分析の視点をプロジェクト全体とするか、各投資家とするかという点で異なり、プロジェクトファイナンスのスキームにおいてレンダーは前者を、投資家は後者を重視する⁷⁾。

エクイティの価値は、上記の二つのアプローチのどちらによっても理論的には同等である²⁾が、本研究では直接エクイティの価値を算定することができる2)のアプローチについて考察する。

5.3.2 ECF/ K_E アプローチによるエクイティ投資の評価手順

Esty（1999）²⁾は、プロジェクトファイナンスを行った場合のエクイティ投資の評価を行うためのモデルを構築した。以下では当該モデルに基づいて、ECF/ K_E アプローチによるエクイティ投資の評価手順を説明する。

ステップ 1

先述のキャッシュウオーターフォールルールに基づき、運営費用や元利金の支払い等を済ませた後の全ての残余キャッシュフローを配当として投資家に分配されると仮定して、ECF を計算する。

ECF＝元利金支払いに充当可能なキャッシュ (Cash Available for Debt Service : CADS)

－元本支払い (Principal Payments)

－利息支払い (Interest Payments)

－エクイティ投資 (Equity Investments)

ここで、

CADS＝利息および税金控除前利益 (Earnings before interest and taxes : EBIT)

＋償却費 (Amortization)

－税金 (Taxes)

－設備投資 (Capital Investment)

－純運転資本の増加 (Increases in Net Working Capital : NWC)

－債務返済準備金勘定の資金 (Funds for the Debt Service Reserve Account : DSRA)

ステップ 2

資本資産価格モデル (Capital Asset Pricing Model : CAPM) を使用して予想資本コスト (K_E) を見積もる。CAPM によると、資本コスト (投資家の期待資本利益率) は、リスクフリーレート (R_f)、ベータ (β_E) および市場リスクプレミアム ($R_M - R_f$) を用いて、

$$K_E = R_f + \beta_E (R_M - R_f)$$

で求めることが出来る。

ステップ 3

ステップ 1 で求めた ECF とステップ 2 で求めた K_E より、エクイティ投資の価値が求まる。

$$\text{エクイティ投資の価値} = \text{ECF} / K_E$$

5.3.3 ECF 認識のタイミングに影響を与えるプロジェクトファイナンスの特徴

5.2.2 で示したプロジェクトファイナンスのキャッシュウオーターフォールルールの特徴は、SPC 内部のキャッシュフローの用途について「投資制限」と「配当制限」という二つの制限が存在することであり、Jackowicz, *et al.* (2017)⁵⁾は、これらが ECF 認識のタイミ

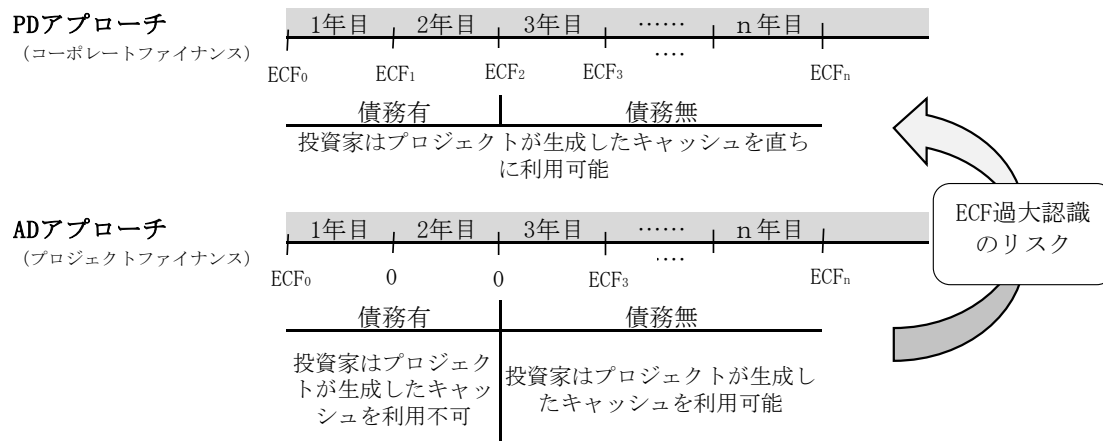
ングに与える影響を以下のように説明している。

第一は、投資制限についてである。通常の NPV 計算の前提の一つは、FCF の時間的分布が企業またはプロジェクトの価値に影響を与えないことである。これは FCF を利用して NPV が正である他のプロジェクトの資金へと充当できる、即ち、再投資が可能であるからであり、コーポレートファイナンスの場合に当てはまる。一方、プロジェクトファイナンスでは、借り手となる法的にも経済的にも独立した SPC が単一の事業を実施する^{1), 7), 9), 10)}という最も重要な特徴を有する。このような制限のもとでは、再投資の機会はなく、SPC 内のキャッシュの増加分を投資家に帰属する FCF として扱うことはできないという影響を及ぼす。

第二は、配当制限についてである。プロジェクトファイナンスでは、レンダーの立場から投資家への配当実施の条件として、一定額以上の積立金を確保することを求めたり、SPC の財務指標が一定値を達成することを求めたりする場合がある⁷⁾。このような配当制限は、「コベナンツ (covenants)」と呼ばれる。コベナンツとは、レンダーが「プロジェクトファイナンスの場合、単一の事業からの返済に依拠するため、経営の自由度や事業の柔軟性を縛る」⁹⁾約束のことである。プロジェクトファイナンスでは、あらかじめ契約で設定された条件として、単一の事業から生み出されたキャッシュフローのみがレンダーに対する債務返済の原資になる^{1), 7), 9), 10)}ように設定されている。この条件は、債務が完済されるまで配当による資金流出を回避ないし遅らせることを意図したものであり、こうしたコベナンツの効力が有効である限り、FCF はそれが生成された時点で直ちに投資家に帰属するものとして扱うことはできないという影響を及ぼす。

以上をまとめると、コーポレートファイナンスと異なりプロジェクトファイナンスの場合は、投資制限および配当制限によって FCF の利用に大きな制約を受けることになるため、これらの制限が投資評価に影響を及ぼすことが予想される。

なお、FCF が生成された時点で ECF を認識するアプローチを PD (Potential Dividends) approach、FCF を投資家に配当した時点で ECF を認識するアプローチを AD (Actual Dividends) approach といい、両者のアプローチの違いを示したのが図 5-3 である。後者のアプローチでは、配当されたキャッシュフローのみが投資家にとって価値を付加するため、ECF は支払われた配当と出資の払い戻しから新たな出資を控除して算定する¹¹⁾。



出所: Jackowicz, *et al.* (2017)⁵⁾の Figure 1. Differences in the timing of cash flows and investment

expenditures in corporate finance and project finance ventures を筆者が加工

図 5-3 PD アプローチと AD アプローチの ECF 認識のタイミングの違い

両者のアプローチの違いを明らかにするため、簡単なモデルを用いて投資評価を行う。
ここでは以下の前提条件に基づいてエクイティ価値 (NPV) とエクイティ IRR を算出した。

前提条件

- ・ 初期投資 : 1500
- ・ 毎期末に生じるネットキャッシュフロー : 300
- ・ 投資家の期待資本利益率 (K_E) : 10%

ケース

- ・ 基本ケース : プロジェクトによる FCF が生成された時点で、投資家への配当支払いを直ちに行う。
- ・ ケース 1 : 配当制限によって、4 年間は配当を留保し、5 年目から配当を行う。
- ・ ケース 2 : 配当制限によって、6 年間は配当を留保し、7 年目から配当を行う。
- ・ ケース 3 : 配当制限によって、8 年間は配当を留保し、9 年目から配当を行う。

なお、いずれのケースもプロジェクト期間における配当の合計額は 3,000 である。

表 5-2 配当制限による配当留保期間を設けた場合のエクイティ価値 (NPV) と
エクイティ IRR に与える影響の分析

基本ケース：配当留保期間なし

年度		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
①初期投資		(1,500)										
②リターン			300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
③=①+②		(1,500)	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
配当			300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
PDアプローチ：	NPV	343				15.1%						
ADアプローチ：	NPV	343				15.1%						

ケース1：配当留保期間4年

年度		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
①初期投資		(1,500)										
②リターン			300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
③=①+②		(1,500)	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
配当			0	0	0	0	1,500	300	300	300	300	300
PDアプローチ：	NPV	343				15.1%						
ADアプローチ：	NPV	138				11.6%						

ケース2：配当留保期間6年

年度		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
①初期投資		(1,500)										
②リターン			300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
③=①+②		(1,500)	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
配当			0	0	0	0	0	0	2,100	300	300	300
PDアプローチ：	NPV	343				15.1%						
ADアプローチ：	NPV	(40)				9.6%						

ケース3：配当留保期間8年

年度		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
①初期投資		(1,500)										
②リターン			300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
③=①+②		(1,500)	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
配当			0	0	0	0	0	0	0	0	2,700	300
PDアプローチ：	NPV	343				15.1%						
ADアプローチ：	NPV	(239)				7.9%						

出所：筆者作成

表 5-2 の計算結果より，AD アプローチによると配当留保期間が長期化すればするほど NPV, エクイティ IRR とともに小さくなる．AD アプローチに基づいた場合，ケース 2 とケース 3 は，NPV がマイナス，エクイティ IRR が投資家の期待資本利益率 10% よりも低いいため，投資可能なプロジェクトではないと判断される．

上記の結果から，既述の先行研究⁵⁾が指摘したように，プロジェクトファイナンスでは，レンダーが付加した配当制限が有効である限り，プロジェクトによって生成され SPC の内部に蓄積された FCF を，投資家は自由に利用できないにもかかわらず，NPV の計算において ECF として認識すると，投資判断を誤る可能性がある．こうした特徴を踏まえると，プロジェクトファイナンスの投資に際しては，コーポレートファイナンスで用いる通常の投資評価モデルではなく，プロジェクトファイナンスの ECF の特性を考慮した投資評価モデルの構築が必要であると指摘できる．

5.3.4 プロジェクトファイナンスを利用した場合のエクイティ投資の評価モデル

以下では、評価モデルの実証分析を行うためのベンチマークとする、プロジェクトファイナンスを行った場合のエクイティ投資の評価モデルを Jackowicz, *et al.* (2017)⁵⁾に基づいて説明する。

まず、標準的な ECF は以下のように計算する。

$$ECF = PAT + A - WCI - I + D_N - D_R + RV_{ECF} \quad (1)$$

ここで、

PAT (Profit After Tax) : 税金控除後利益,

A (Amortization) : 償却費,

WCI (Non-Cash Working Capital Investment) : 非現金運転資本投資 (NWC を増やすための支出),

I (Capital Investment) : 設備投資,

D_N (New Debt) : 新規債務 (新規借入による収入),

D_R (Debt Repayment) : 債務返済 (借入返済による支出) ,

RV_{ECF} (Residual Value) : 分析の最終年度の残存価値 (非現金資産の市場価値から未払債務を控除)

ECF は、投資家にとっての剰余金であるので、投資家による出資 (P_I) と投資家に対する配当 (P_F) との差、SPC のキャッシュの変動 (ΔC) および RV_{ECF} を用いて、上式 (1) は以下の式 (2) に置き換えることができる。

$$ECF = P_F - P_I + \Delta C + RV_{ECF} \quad (2)$$

なお、 ΔC の増加 (減少) は、プロジェクトによって生成され (費やされ)、かつ投資家に (投資家から) 移転されなかった資金を表わす。

一方、前項で示した通り、プロジェクトファイナンスの場合、投資家に帰属するキャッシュフローを計算するときは、プロジェクト個別のコベナントを考慮しなければ、ECF の過大認識の可能性があるため、標準的な ECF を示す上式 (2) について改良の余地があることが明らかとなった。既述の先行研究⁵⁾では、プロジェクトファイナンスにおける ECF は、投資家からの (現金または現物出資による) 実際の支出と投資家に対する払い戻しに関するキャッシュフローのみを考慮することを提案している。この考え方を反映すると、分析の最終年度を除く各年度 i のプロジェクトファイナンスの ECF_{PF} は、極めてシンプルな形として以下の式 (3) で表すことができる。

$$ECF_{PF,i} = P_F - P_I \quad (3)$$

また、分析の最終年度 L の ECF_{PF} は以下の式 (4) で表すことができる。

$$ECF_{PF,L} = P_F - P_I + C \quad (4)$$

ここで、C は SPC の清算年度のキャッシュ残高を表す。なお、プロジェクトの終了時点における残存インフラストラクチャーの見積売却額は、投資家への支払い (P_F) または SPC の清算年度のキャッシュ残高 (C) に既に含まれているため、残存価値 (RV) は上式 (4) には含めない。

(3) および (4) に従って $ECF_{PF,i}$ と $ECF_{PF,L}$ を決定したら、以下の式 (5) により NPV_{PF} を計算する (5.3.2 のステップ 3 参照)。

$$NPV_{PF} = \sum_{i=0}^n \frac{ECF_{PF,i}}{(1+r_e)^i} + \frac{ECF_{PF,L}}{(1+r_e)^{n+1}} \quad (5)$$

ここで、 r_e は投資家の期待資本利益率 (資本コスト) を表し、モデルを単純化するため一定とする。また、 $n+1$ はプロジェクトが FCF を生成する期間の数である。

5.4 シミュレーション

5.4.1 の四つのケースの ECF に基づいて NPV とエクイティ IRR を計算し、その特性を明らかにする。なお、各ケースの ECF は、5.4.2 の前提条件に基づいて作成した貸借対照表 (B/S) と損益計算書 (P/L) からキャッシュフロー計算書 (C/F) を作成して求めている。

5.4.1 シミュレーションを行うケース

5.3.4 で説明した標準的な ECF モデルと、プロジェクトファイナンスの ECF_{PF} モデルに基づく ECF を算出する。具体的には以下の四つのケースを設定した。

ケース 1：標準的な ECF モデル (5.3.4 の (1))

$$ECF = PAT + A - WCI - I + D_N - D_R + RV_{ECF}$$

ケース 2：ケース 1 を変形した ECF モデル (5.3.4 の (2))

$$ECF = P_F - P_I + \Delta C + RV_{ECF}$$

ケース 3：プロジェクトファイナンスの ECF_{PF} モデル (5.3.4 の (3) および (4))

$$ECF_{PF} = P_F - P_I + C$$

ケース 4：ケース 3 の P_F を実際の配当金額ではなく配当可能限度額とする ECF_{PF} モデル

$$ECF_{PF} = P_F - P_I + C$$

ただし、

期末現預金残高 > 最低現預金残高の場合： $P_F = \text{期末現預金残高} - \text{最低現預金残高}$

期末現預金残高 $\leq$ 最低現預金残高の場合： $P_F = 0$

5.4.2 シミュレーションの前提条件

本研究では、愛知道路コンセッション株式会社の IR 情報を参考にして、以下の前提条件に基づく仮想のインフラプロジェクトの ECF 推移のシミュレーションを行った。

- ① 事業セクター：有料道路事業
- ② 投資手法：日本のコンセッション方式（公共施設等運営権の取得）
- ③ デット調達方式：プロジェクトファイナンスによるローン
- ④ 財務情報：仮想のプロジェクトを設定するが、1 年度から 4 年度までの B/S と P/L は、愛知道路コンセッション株式会社の第 1 期から第 4 期までの決算書¹²⁾を参考にして C/F を作成している。5 年度以降は、仮定において B/S、P/L および C/F を作成している。主な仮定は以下の通りである。
 - ・運営権の対象は有料道路 1 路線、運営権設定期間は 27 年間とする。
 - ・運営権対価の支払額の総額 1,377 億円のうち、一時金は 150 億円、残額は分割払いとし、運営権対価の支出額の総額の現在価値によって資産（固定資産）および負債（その他負債）に計上している。
 - ・プロフィットシェアリング条項はない。
 - ・固定資産は定額法で償却する。また、5 年度以降の固定資産の取得はない。
 - ・プロジェクトファイナンスによって調達したローンは、5 年度以降は毎年 8 億円ずつ（最終返済年度は残額）返済する。また、5 年度以降の利息は 4 年度の支払利息を期首残高と期末残高の平均残高を除して算出した利率を用いて計算している。
 - ・5 年度から 10 年度までの営業収益と営業費用は 2 年度から 4 年度までの 3 年間の平均値とする。
 - ・11 年度以降は、競合する道路が建設されるため、営業収益はそれまでの 4 割減、営業費用は 3 割減とする。
 - ・法定実効税率は 30% とする。
 - ・最終年度において、資産を帳簿価格で換価し負債を帳簿価格で弁済して残った現預金

は投資家に分配する。

⑤ 配当：

- ・ ケース 1, ケース 2 およびケース 3

5 年度以降の配当は, 4 年度の配当性向に基づくものとする。

- ・ ケース 4

配当制限を設定する。具体的には, 1 年度と 2 年度は配当不可, 3 年度から 13 年度までは最低現預金残高を 130 億円, 14 年度以降は最低現預金残高を 100 億円とする。

⑥ 資本コスト：10%とする。

5.4.3 シミュレーション結果

5.4.2 の前提条件に基づいて作成した B/S と P/L から作成した C/F を表 5-3 に示す。また, 5.4.1 に記載した各ケースの ECF の推移を表 5-4 に示す。

表 5-3 仮想インフラプロジェクトの B/S, P/L および C/F

(単位：十億円)

年度	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
貸借対照表																												
現預金		9.0	24.2	12.9	14.0	16.4	15.2	14.2	14.3	13.6	13.2	14.3	13.6	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6	12.6	12.5	12.4	12.4	12.3	12.3	12.2	12.1	12.1	0.0
その他流動資産		12.0	1.8	2.8	6.7	3.7	4.3	4.8	4.2	4.4	4.4	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	0.0
固定資産		163.0	157.2	150.7	144.5	138.0	131.5	125.0	118.5	112.0	105.5	99.0	92.5	86.0	79.5	73.0	66.5	60.0	53.5	47.0	40.5	34.0	27.5	21.0	14.5	8.0	1.5	0.0
資産合計		184.0	183.2	166.4	165.2	158.1	151.0	144.0	137.0	130.0	123.1	115.9	108.7	101.5	94.9	88.4	81.8	75.2	68.7	62.1	55.5	49.0	42.4	35.9	29.3	22.7	16.2	0.0
1年内返済予定長期借入金		0.6	1.5	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
長期借入金		18.0	16.8	7.0	6.2	5.4	4.6	3.8	3.0	2.2	1.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他負債		164.3	163.4	157.3	156.6	150.1	143.6	137.1	130.6	124.1	117.6	111.1	104.6	97.9	91.2	84.5	77.8	71.1	64.4	57.7	51.0	44.3	37.6	30.9	24.2	17.5	10.8	0.0
負債合計		182.9	181.7	165.0	163.6	156.3	149.0	141.7	134.4	127.1	119.8	112.5	105.2	97.9	91.2	84.5	77.8	71.1	64.4	57.7	51.0	44.3	37.6	30.9	24.2	17.5	10.8	0.0
純資産		1.1	1.5	1.4	1.6	1.8	2.0	2.3	2.6	2.9	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.9	4.0	4.1	4.3	4.4	4.5	4.7	4.8	5.0	5.1	5.2	5.4	0.0
負債・純資産合計		184.0	183.2	166.4	165.2	158.1	151.0	144.0	137.0	130.0	123.1	115.9	108.7	101.5	94.9	88.4	81.8	75.2	68.7	62.1	55.5	49.0	42.4	35.9	29.3	22.7	16.2	0.0
損益計算書																												
営業収益		7.5	15.6	16.3	16.2	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6
営業費用		(5.7)	(12.0)	(13.0)	(12.5)	(12.5)	(12.5)	(12.5)	(12.5)	(12.5)	(8.8)	(8.8)	(8.8)	(8.8)	(8.8)	(8.8)	(8.8)	(8.8)	(8.8)	(8.8)	(8.8)	(8.8)	(8.8)	(8.8)	(8.8)	(8.8)	(8.8)	(8.8)
営業利益		1.8	3.6	3.3	3.7	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
支払利息		(0.8)	(1.5)	(1.5)	(1.4)	(1.2)	(1.1)	(0.9)	(0.8)	(0.6)	(0.4)	(0.3)	(0.1)	(0.1)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他営業外損益		(0.8)	(1.6)	(1.4)	(1.8)	(1.7)	(1.7)	(1.7)	(1.7)	(1.7)	(1.7)	(1.7)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)
経常利益		0.2	0.5	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	0.2	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
税引前当期純利益		0.2	0.5	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	0.2	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
法人税等		(0.1)	(0.2)	(0.1)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.3)	(0.3)	(0.4)	(0.4)	(0.0)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)
当期純利益		0.1	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
キャッシュフロー計算書																												
税引前当期純利益		0.2	0.5	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	0.2	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
法人税等支払額		0.0	(0.1)	(0.2)	(0.1)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.3)	(0.3)	(0.4)	(0.4)	(0.0)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)
償却費		3.0	6.3	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	1.5
流動資産の増減	WCI	(12.0)	10.3	(1.1)	(3.9)	3.0	(0.6)	(0.5)	0.6	(0.2)	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6
その他負債の増減 (注)	WCI	41.5	(1.0)	(6.1)	(0.7)	(6.5)	(6.5)	(6.6)	(6.5)	(6.6)	(6.6)	(6.1)	(6.6)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(10.8)
営業活動によるキャッシュフロー		32.7	16.0	(0.4)	2.3	3.5	(0.1)	0.1	1.3	0.6	1.0	1.9	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	(6.4)
固定資産の購入	I	(43.3)	(0.5)	0.0	(0.3)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
投資活動によるキャッシュフロー		(43.3)	(0.5)	0.0	(0.3)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
株式の発行による収入	P ₁	1.0																										
長期借入による収入	D ₈	18.6																										
長期借入金返済による支出	D ₈		(0.3)	(10.6)	(0.7)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.6)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
配当金の支払額	P ₂			(0.3)	(0.2)	(0.2)	(0.3)	(0.4)	(0.4)	(0.5)	(0.6)	(0.1)	(0.1)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(5.7)
財務活動によるキャッシュフロー		1.0	18.6	(0.3)	(10.9)	(0.9)	(1.0)	(1.1)	(1.2)	(1.2)	(1.3)	(1.4)	(0.9)	(0.9)	(0.8)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(5.7)
現預金増減額	△C	1.0	8.0	15.2	(11.3)	1.1	2.4	(1.2)	(1.0)	0.1	(0.6)	(0.4)	1.0	(0.7)	(0.7)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(12.1)
期首現預金残高		0.0	1.0	9.0	24.2	12.9	14.0	16.4	15.2	14.2	14.3	13.6	13.2	14.3	13.6	12.9	12.8	12.7	12.6	12.6	12.5	12.4	12.4	12.3	12.3	12.2	12.1	12.1
期末現預金残高		1.0	9.0	24.2	12.9	14.0	16.4	15.2	14.2	14.3	13.6	13.2	14.3	13.6	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6	12.6	12.5	12.4	12.4	12.3	12.3	12.2	12.1	0.0

(注) 公共施設等運営権の対価の分割による支払は、財務活動によるキャッシュフローに含めるべきであるが、本シミュレーションでは、営業活動によるキャッシュフローのその他負債の増減に含めている。

出所：筆者作成

表 5-4 各ケースの ECF の推移

(単位：十億円)																													
年度		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
ケース1																													
EBITDA	PAT	4.0	8.3	8.4	8.4	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	2.0
利息支払		(0.8)	(1.5)	(1.5)	(1.4)	(1.2)	(1.1)	(0.9)	(0.8)	(0.6)	(0.4)	(0.3)	(0.1)	(0.1)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
税金		0.0	(0.1)	(0.2)	(0.1)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.3)	(0.3)	(0.4)	(0.4)	(0.0)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)
運転資本増加	WCI	29.5	9.3	(7.2)	(4.6)	(3.5)	(7.1)	(7.1)	(5.9)	(6.8)	(6.6)	(4.3)	(6.6)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(6.7)	(8.2)
設備投資	I	(43.3)	(0.5)	0.0	(0.3)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
新規借入	D _N	18.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
元金返済	D _r	0.0	(0.3)	(10.6)	(0.7)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.6)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
残存価値調整 (注1)	RV _{ECF}			(10.6)	10.6																								
ECF		0.0	8.0	4.6	(0.4)	1.3	2.7	(0.9)	(0.7)	0.5	(0.2)	0.2	1.1	(0.6)	(0.5)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	(6.4)
累計ECF		0.0	8.0	12.6	12.2	13.5	16.1	15.2	14.6	15.1	14.9	15.1	16.2	15.6	15.1	15.2	15.3	15.5	15.6	15.7	15.8	15.9	16.0	16.1	16.3	16.4	16.5	16.6	10.2
IRR		(4.1) %																											
NPV		12.5																											
資本コスト		10%																											
ケース2																													
投資家による出資	P _I	(1.0)																											
投資家に対する配当	P _F				0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	5.7
NCF	△C	1.0	8.0	15.2	(11.3)	1.1	2.4	(1.2)	(1.0)	0.1	(0.6)	(0.4)	1.0	(0.7)	(0.7)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(0.1)	(12.1)
残存価値調整 (注1)	RV _{ECF}			(10.6)	10.6																								
ECF		0.0	8.0	4.6	(0.4)	1.3	2.7	(0.9)	(0.7)	0.5	(0.2)	0.2	1.1	(0.6)	(0.5)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	(6.4)
累計ECF		0.0	8.0	12.6	12.2	13.5	16.1	15.2	14.6	15.1	14.9	15.1	16.2	15.6	15.1	15.2	15.3	15.5	15.6	15.7	15.8	15.9	16.0	16.1	16.3	16.4	16.5	16.6	10.2
IRR		(4.1) %																											
NPV		12.5																											
資本コスト		10%																											
ケース3																													
投資家による出資	P _I	(1.0)																											
投資家に対する配当	P _F				0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	5.7
清算時現預金 (注2)	C																												
ECF _{FF}		(1.0)	0.0	0.0	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	5.7
累計ECF _{FF}		(1.0)	(1.0)	(1.0)	(0.7)	(0.5)	(0.2)	0.1	0.4	0.8	1.3	1.9	1.9	2.1	2.2	2.4	2.6	2.8	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	10.2
エクイティIRR _{FF}		20.4%																											
NPV _{FF}		1.4																											
資本コスト		10%																											
ケース4																													
配当前現預金増減額		1.0	8.0	15.2	(11.0)	1.3	2.7	(0.9)	(0.7)	0.5	(0.2)	0.2	1.1	(0.6)	(0.5)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	(6.4)
調整 (注1)				(10.6)	10.6																								
調整後現預金増減額		1.0	8.0	4.6	(0.4)	1.3	2.7	(0.9)	(0.7)	0.5	(0.2)	0.2	1.1	(0.6)	(0.5)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	(6.4)
積立(取崩)		1.0	8.0	4.6	(0.6)	0.0	0.0	(0.9)	(0.7)	0.5	(0.2)	0.2	1.1	(0.6)	(0.5)	(1.9)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	(10.0)
積立(取崩)後期末現預金残高		1.0	9.0	13.6	13.0	13.0	13.0	12.1	11.4	11.9	11.8	11.9	13.0	12.4	11.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	0.0
配当可能額	P _F	0.0	0.0	0.0	0.2	1.3	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	3.6
投資家による出資	P _I	(1.0)																											
ECF _{FF}		(1.0)	0.0	0.0	0.2	1.3	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	3.6
累計ECF _{FF}		(1.0)	(1.0)	(1.0)	(0.8)	0.5	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	5.2	5.3	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.3	6.4	6.5	6.6	10.2
エクイティIRR _{FF}		38.5%																											
NPV _{FF}		2.7																											
資本コスト		10%																											

(注1) 3年度の「長期借入金返済による支出」は、1年度に「その他流動資産」に計上されている未収消費税が還付されるまでの一時的な借入金と考えられるため、その影響を除外するための調整である。

(注2) ケース3では、最終年度のP_Iに含まれる。

出所：筆者作成

5.4.4 考察

表 5-4 に基づき、累計 ECF/累計 ECF_{PF}、NPV およびエクイティ IRR をまとめたのが表 5-5 である。

表 5-5 各ケースの累計 ECF/累計 ECF_{PF}、NPV およびエクイティ IRR

	累計 ECF/累計 ECF _{PF} (百万円)	NPV (百万円)	エクイティ IRR (%)
ケース 1	10,220	12,495	(4.10)
ケース 2	10,220	12,495	(4.10)
ケース 3	10,220	1,407	20.42
ケース 4	10,220	2,723	38.48

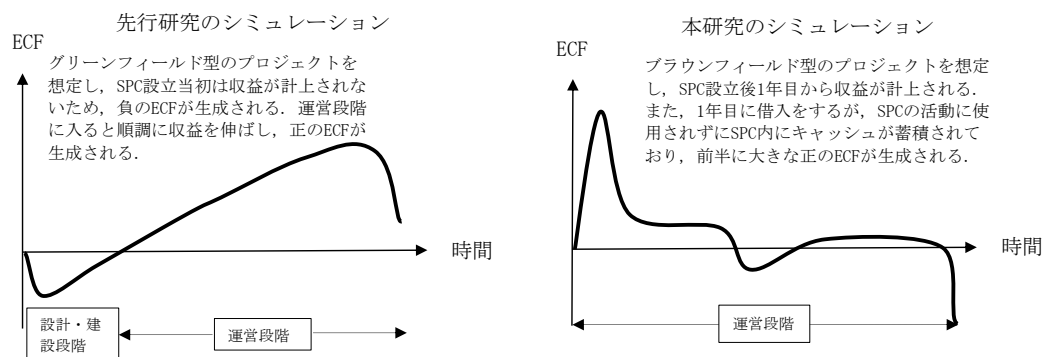
出所：筆者作成

いずれのケースも累計 ECF/累計 ECF_{PF} は同額であるが、NPV とエクイティ IRR が異なるのはケースにより ECF の認識の時点が異なるからである。これは、既述の先行研究⁵⁾のシミュレーションにおいても確認されているが、本研究では先行研究⁵⁾で言及されなかった以下の二点を新たに指摘するとともに、実務適用の観点から考察を加える。

第一に、プロジェクト期間内における ECF の正負の生成時期と、NPV およびエクイティ IRR の計算結果との関係についての論点である。ケース 1 とケース 2 は、NPV が累計 ECF よりも大きくなり、エクイティ IRR は負になっている。これは、プロジェクト 1 年目に正の ECF が生成され、後年に負の ECF が生成されるためである。その要因は以下の諸点である。1) 本シミュレーションで想定した日本のコンセッション方式は、ブラウンフィールド型のプロジェクト（稼働中の施設）が対象であり、プロジェクト 1 年目から収益が計上されること、2) 1 年目にプロジェクトファイナンスによって調達した資金が SPC の活動に使用されるまで SPC 内に蓄積することによって、プロジェクト期間の前半に大きな正の ECF が生成されること、3) 一方、プロジェクト期間の中盤では事業環境の変化（本シミュレーションでは競合道路の完成）による収益の低下や借入金の返済、最終年度では負債の弁済によって、負の ECF が生成されること、である。

投資という経済活動は、まず自らの資金を投資対象に拠出して、後にその投下資本を回収するとともに利益を獲得しようとする行為であるため、初年度（資金を拠出した年

度)は負の ECF となり、その後正の ECF (損失の場合は負の ECF) となるが、標準的な ECF モデルに基づいたケース 1 とケース 2 においては、ECF の生成の仕方を時系列でみるとこのようになっていない。この点に関し、先行研究のシミュレーションでは、モデルの基本的な特徴を示すため、プロジェクト前半の設計・建設段階では ECF が負、運営開始後に ECF が正になるグリーンフィールド型のプロジェクトを想定しており、このような矛盾は明らかになっていない。図 5-4 に、標準的な ECF モデルに基づいた場合の先行研究と本研究のシミュレーションによる ECF 生成の推移を示した。



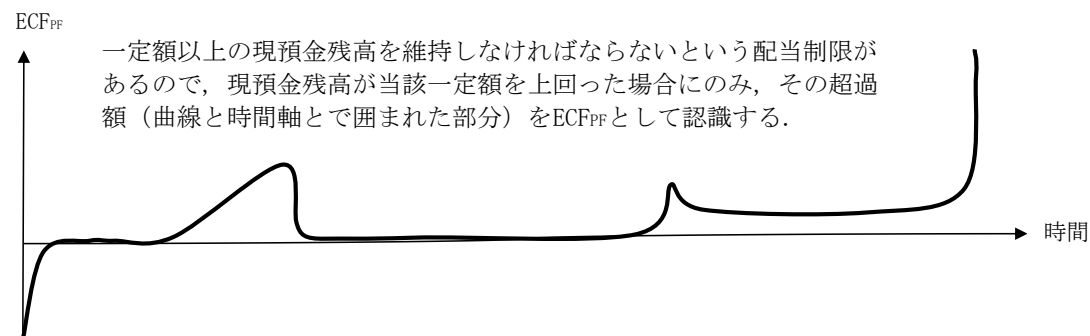
(注) 上記の両シミュレーションの ECF の推移は、各年度の ECF の正確な数値を結んだ曲線ではなく、イメージ図である。

出所：筆者作成

図 5-4 標準的な ECF モデルに基づいた場合の先行研究と本研究のシミュレーションによる ECF 生成の推移

第二に、プロジェクトファイナンスの ECF_{PF} モデルを用いた場合、 P_F を実際の配当金額とするか配当可能限度額とするかという論点である。既述の先行研究⁵⁾では前者のケース (本シミュレーションではケース 3) についてはシミュレーションを行っているものの、後者のケース (本シミュレーションではケース 4) については言及していない。ケース 3 は実際に配当した (または、過去の配当性向に基づいて配当すると予測される) キャッシュフローを配当の時点で P_F として認識し、ケース 4 は、配当するか否かに拘わらず、キャッシュウォーターフォールルールに基づいて配当可能なキャッシュフローを P_F として認識している。

ケース 4 の ECF_{PF} 生成の推移を図 5-5 に示した。



（注）上記の曲線は、ケース4の各年度のECF_{PF}の正確な数値を結んだ曲線ではなく、イメージ図である。

出所：筆者作成

図 5-5 ケース 4 の ECF_{PF} 生成の推移

仮に、ケース 3 においてケース 4 と同じ配当制限を付加して配当可能限度額を配当する場合は、毎年度の ECF_{PF} はケース 4 と同額になり、ECF_{PF} 生成の推移は図 5-5 の曲線と一致し、NPV とエクイティ IRR も一致する。ただし、配当可能限度額まで配当せずその一部を SPC 内に留保する場合は、配当金額に基づいて ECF_{PF} を認識するケース 3 はケース 4 に比べて ECF_{PF} の認識が遅くなるため、NPV とエクイティ IRR は小さくなる。この点に関し、プロジェクトファイナンスの場合は、5.3.3 で説明した投資制限によって SPC 内に留保されたキャッシュを再投資する機会はなく、投資家は配当を受けて初めてそれを自由に利用することができるため、配当金額に基づいて ECF_{PF} を認識することが適切であると言える。

なお、配当金額に基づいてエクイティ価値を算定する点は、非上場株式の株式価値を計算する手法である「配当還元法」に共通しているが、配当還元法のデメリットとして指摘されている配当性向が低い場合には過小評価しやすい¹³⁾ことは、プロジェクトファイナンスを利用したエクイティ投資を評価する場合には当てはまらない。それは、先述の通り、配当可能限度額のうち配当されないで SPC に留保されたキャッシュは、投資制限があるため自由に再投資することができず、投資家にとって価値を生み出さないからである。

以上より、プロジェクトファイナンスを利用したエクイティ投資を評価する場合は、ケース 3 の評価モデルを用いることが適切であると言える。

ベンチマークとして先行研究⁵⁾のモデルを用いた以上の検証と考察の結果から、プロジェクトファイナンスを利用したインフラプロジェクトのエクイティ投資の評価モデルについて、本研究のシミュレーション結果は先行研究⁵⁾による提案を支持し、上記の二つの新た

な指摘事項によって、実務適用上の条件をより明確かつ厳密に示したことになる。先行研究⁵⁾と本研究のシミュレーションの比較を表 5-6 にまとめた。

表 5-6 先行研究⁵⁾と本研究のシミュレーションの比較

	先行研究	本研究
プロジェクトタイプ	グリーンフィールド型	ブラウンフィールド型（日本のコンセッション方式）
シミュレーションを行うケース	標準的なECFモデルとプロジェクトファイナンスのECF _{PF} モデルの比較	左記に追加して、プロジェクトファイナンスのECF _{PF} モデルについては、 P_F を配当金額とする場合と配当可能限度額とする場合の比較も行う。
シミュレーション結果	(1) 標準的なECFモデルとプロジェクトファイナンスのECF_{PF}モデルの比較 ・累計ECF＝累計ECF_{PF} ・累計ECF>NPV>NPV_{PF} ・エクイティIRR>エクイティIRR_{PF}>0	(1) 標準的なECFモデルとプロジェクトファイナンスのECF_{PF}モデルの比較 ・累計ECF＝累計ECF_{PF} ・NPV>累計ECF>NPV_{PF} ・エクイティIRR<0, エクイティIRR_{PF}>0 (2) プロジェクトファイナンスのECF_{PF}モデルについて、P_Fを配当金額とする場合と配当可能限度額とする場合の比較（注） ・配当可能限度額を全額配当する場合： NPV_{PF}＝NPV_{PFR}, エクイティIRR_{PF}＝エクイティIRR_{PFR} ・配当可能限度額の一部をSPC内に留保する場合： NPV_{PF}<NPV_{PFR}, エクイティIRR_{PF}<エクイティIRR_{PFR}
考察	(1) 標準的なECFモデルによると、最初の投資は実際よりも遅く認識され、ECFは実際よりも早く投資家に帰属すると認識される。そのため、標準的なECFモデルに基づいて計算したNPVとエクイティIRRを用いて投資の収益性を測ると、評価を誤る（過大評価する）ことになる。	(1) 標準的なECFモデルによると、最初に正のECF、後年に負のECFが生成される場合があり、投資の収益性を測るECFモデルとして適さない。 (2) 配当可能限度額の一部をSPC内に留保する場合、投資制限があるため、留保されたキャッシュは再投資ができず、投資家にとって価値を生まない。したがって、配当可能限度額に基づいたNPV_{PFR}とエクイティIRR_{PFR}によって投資の収益性を測ると、評価を誤る（過大評価する）ことになる。 上記より、プロジェクトファイナンスのECF_{PF}モデル、即ち$ECF_{PF}=P_F-P_I+C$（なお、P_Fは配当限度額ではなく実際の配当金額）に基づいて計算したNPV_{PF}、エクイティIRR_{PF}によって投資の収益性を測ることが適切である。

(注)プロジェクトファイナンスのECF_{PF}モデルについて、 P_F を配当金額とする場合のNPVとエクイティIRRは、NPV_{PF}、エクイティIRR_{PF}と表記する。また、 P_F を配当可能限度額とする場合のNPVとエクイティIRRは、NPV_{PFR}、エクイティIRR_{PFR}と表記する。

出所：筆者作成

5.5 結言

第 5 章では、プロジェクトファイナンスを利用したインフラプロジェクトのエクイティ投資の評価について、コーポレートファイナンスとの違い、即ち「投資制限」と「配当制

限」が SPC 内部のキャッシュフローの使途に制約を課すことによって ECF を認識するタイミングに影響を及ぼすことに着目した先行研究⁵⁾の評価モデルをベンチマークとして、ブラウンフィールド型の日本のコンセッション方式の仮想プロジェクトが生成する ECF のシミュレーションを行った。その結果に基づき以下の二つの考察を加えることによって、先行研究⁵⁾が提案した評価モデルを支持する明確な根拠を示し、実務適用上の条件をより明確かつ厳密に示した。

第一に、SPC 内のキャッシュの増加分を ECF として認識する標準的な ECF モデルは、プロジェクトファイナンスを利用したインフラプロジェクトのエクイティ投資の評価に用いると、ECF の推移を適切に反映できない。本来、投資は自らの資金を拠出（負の ECF を認識）した後に投下資本を回収（正の ECF を認識）するという経済活動である。しかし、当該評価モデルをブラウンフィールド型のインフラプロジェクトのエクイティ投資の評価に用いると、最初に正の ECF を認識しその後に負の ECF を認識する場合があるからである。

第二に、先行研究⁵⁾が提案した評価モデルの ECF_{PF} の構成要素である P_F を配当金額とするか配当可能限度額とするかという論点に関し、配当金額とすることが適切である。プロジェクトファイナンスの場合は、SPC 内に留保されたキャッシュは、投資制限によって自由に再投資することができず、投資家にとって価値を生み出さないからである。実務でプロジェクトファイナンスを利用したインフラプロジェクトのエクイティ IRR を計算する際には、留保資金の再投資ができないことが明確になっていない場合があるが、この制約は投資価値に影響を及ぼす要因であり、実務上も考慮しなければならない重要な特徴である。

最後に今後の研究課題について述べる。プロジェクトファイナンスを利用したインフラプロジェクトのエクイティ価値を DCF 法によって評価すると、プロジェクトが生成したキャッシュフローのうち投資家に帰属するキャッシュフロー、即ち ECF と割引率の二つによって決まる。本研究では ECF の生成のタイミングについて検討し、プロジェクトが生成するキャッシュフローの大きさの予測については感度分析や感度分析とモンテカルロシミュレーションを組み合わせた方法等が採用されていることは既述の通りである。一方、割引率について、5.4 のシミュレーションではプロジェクト期間を通じて一定の割引率（資本コスト）を使用した。4.4.3 に記載したように、インフラ投資特有のリスクプロファイルの時間的变化を反映させた割引率を使用することが適切であるため、そのような割引率を推定する実用的な手法の開発が期待される。

参考文献

- [1] 加賀隆一, 『プロジェクトファイナンスの実務～プロジェクトの資金調達とリスク・コントロール』, 社団法人金融財政事情研究会, 2007.
- [2] Benjamin C. Esty, Improved Techniques for Valuing Large-Scale Projects, *The Journal of Structured Finance*, Vol. 5, Issue 1, pp.9-25,1999.
- [3] Frédéric Blanc-Brude, Majid Hasan, and Omneia R. H. Ismail, Unlisted Infrastructure Debt Valuation & Performance Measurement, EDHEC-RISK Institute. 2014.
- [4] Frédéric Blanc-Brude and Majid Hasan, The Valuation of Privately-Held Infrastructure Equity Investments, EDHEC-RISK Institute, 2015.
- [5] Krzysztof Jackowicz, Pawel Mielcarz, and Pawel Wnuczak, Fair value, equity cash flow and project finance valuation : ambiguities and a solution, *Managerial Finance*, Vol. 43 No. 8, pp. 914-927, 2017.
- [6] 福島隆則, 菅健彦, 『よくわかるインフラ投資ビジネス』, 日経BP社, 2014.
- [7] 佐々木仁, 『海外インフラ投資入門』, 中央経済社, 2018.
- [8] 村松健二郎, 「インフラ・エクイティへの投資について」, 三菱 UFJ 信託銀行資産運用情報, 2015年4月号
- [9] 宮川智紀, 「プロジェクトファイナンスに関する一考察」, 石油・天然ガスレビュー, Vol. 52, No. 5, 2018年9月号.
- [10] Enzo Scannella, Project finance in the energy industry: New Debt-Based Financing Models, *International Business Research*, Vol. 5 No. 2, pp. 83-93. 2012.
- [11] Ignacio Vélez-Pareja and Carlo Alberto Magni, Potential dividends and actual cash flows in equity valuation. A critical analysis, *Estudios Gerenciales*, Vol. 25, No. 113, pp. 123-150, 2009.
- [12] 愛知道路コンセッション株式会社, 「IR情報」, (2021年4月26日取得, www.arcc.jp/company/ir.html).
- [13] 日本公認会計士協会, 経営研究調査会研究報告第 32 号 『企業価値評価ガイドライン』, 平成 25 年 7 月 3 日改正

第6章 結論

本研究は、インフラ資産（事業）の投資評価に関する二つの課題について検討した。

一つ目の課題は、開発援助機関等の立場から途上国におけるインフラプロジェクトの選定に費用便益分析ではなく多基準分析を用いる理論的根拠は何か、また、多基準分析を行う際にどのような手法を用いることが適切であるかであり、第2章と第3章で論じた。

二つ目の課題は、機関投資家や民間企業の立場から先進国・新興国におけるインフラ整備のために投資を行うため、インフラ資産（事業）の評価をどのように改善すべきかであり、第4章と第5章で論じた。

まず、一つ目の課題について研究成果をまとめる。開発援助機関等が途上国のインフラプロジェクトに融資をする場合、費用便益分析を実施することが原則である。しかし、筆者が現在従事している小規模の主に社会インフラを多数整備するプロジェクトでは、高い社会的および経済的な便益を生むことが期待されるが、それを定量化することが難しいため、費用便益分析は実施されていない。そのような場合に、どのような基準で実施プロジェクトを選定するのが合理的であり、説明責任を果たすと言えるのか、疑問に思ったことがこの課題に着目したきっかけである。

第2章では、JICAの過去10年間の円借款によるインフラプロジェクトについて、費用便益分析の実施の有無と実施していない場合の理由を調査した結果、上記と同様の理由で費用便益分析が実施されていないプロジェクトが一定数あり、これらのプロジェクトの多くでは、筆者が従事しているプロジェクトも含め多基準分析を用いて実施プロジェクト（または小規模インフラプロジェクトの実施機関）が選定されていることが明らかとなった。途上国のインフラプロジェクトの選定に多基準分析を用いることに関しては、筆者が知る限り、世界銀行の先行研究¹⁾があるのみである。当該先行研究は、限られたリソースで多数の中小規模のプロジェクトのなかから優先プロジェクトを選定しなければならない場合に、まず多基準分析を用いて優先度の高いプロジェクト選定し、その後に多基準分析によって選定されたプロジェクトについて厳密な費用便益分析を実施するというものである。これに対し本研究では、多基準分析をプロジェクト選定に用いる理論的根拠を、開発経済学におけるインフラ整備の必要性の観点から検討した。豊かな国と途上国との間の経

格差というマクロの観点と、途上国内における絶対的貧困というミクロの観点から貧困を撲滅することが不可欠であるという開発経済学の理念のもと、マクロとミクロの両面から貧困削減を目指すインフラ整備が開発援助機関等の支援によって行われてきた^{2),3)}。マクロの観点からは、国レベルの経済発展に寄与する大規模な経済インフラの整備が進められているが、投資額が大きく経済効率性を軽視することはできないため、理論的に明快な合理性を与える費用便益分析はプロジェクトの選定に必須である。一方、ミクロの観点からは、地方部や農村部等の貧困度が高い地域の住民の生活環境の改善を図るために、小規模の主に社会インフラの整備が行われているが、経済効率性以外の視点、即ち、地域格差や所得格差の解消や貧困度等の多様な視点を考慮する必要性が高いため、多基準分析によるプロジェクト選定が望ましいと結論づけた。

第3章では、多基準分析を用いる際の課題の一つである各評価基準のウェイト付け手法に着目し、世界銀行の実際のプロジェクト^{4), 5)}のデータを用いた二つの事例研究を通して、新たなウェイト付け手法の提案を行った。実務では、均一なウェイトや専門家や利害関係者の意見に基づくウェイトが用いられることが多いが、これらは必ずしも政策ニーズを反映していない、客観性に欠けるという欠点が指摘されている³⁾。そのため、世界銀行の先行研究では、客観性に主眼をおいた主成分分析によるウェイト付けを提案している¹⁾。これに対し、本研究では、第2章で指摘したようにミクロの観点から貧困削減を目指すインフラプロジェクトの場合には、多様な視点や価値観を反映させることができる評価方法が望ましいという実務上のニーズを踏まえ、客観性に加えて、プロジェクトの個性（特徴）を反映することのできる三つの手法を提案した。具体的には、1) Benefit of the doubt approach によるウェイトを使った線形加法モデルによる評価、2) 費用便益分析を補完するための包絡分析法による貨幣価値に変換できない便益を対象とした効率性評価、3) DEA ノン効率分析による評価、である。3.5.2の図3-7には、これらの手法の適用条件を示した。また、主成分分析によるウェイトは、寄与率が低くなると分析対象のデータの特性を十分に説明できず、その意味の解釈が難しい場合がある。一方、本研究で提案した三つの手法は、各プロジェクトの個性を最も優位に働かせるように決定されたウェイトであるという明確な根拠を説明でき、公平性が担保された手法であることも、実用面において大きな利点である⁶⁾。世界銀行による先行研究と本研究による提案の概要・違いは3.5.1の表3-18にまとめ、多基準分析を用いる根拠・理由によって適した手法が異なることも示した。

以上の研究成果は、途上国におけるインフラプロジェクトの選定手法として、費用便益分析と、その補完的手法として多基準分析の役割、両手法の関係を明確にし、加えて、多基準分析の新たな手法を提案したことに意義があると考ええる。

本研究では多基準分析を用いる際のウェイト付け手法に着目したが、多基準分析の適用に関しては、理論面および実務上の観点から以下の課題が残されている。第一に、ウェイト付けのみならず評価基準の選択も評価結果を大きく左右するので、セクター、プロジェクト目標、地域特性、データの入手可能性等に応じて、どのような評価基準が適切であるのか検証する必要がある。第二に、多数の地域を対象とした小規模なインフラ整備を行うプロジェクトの場合には、プロジェクト自体の評価ではなく、プロジェクトの実施機関を多基準分析によって選定する場合もあるので、実施機関のガバナンスや財務健全性等の観点からどのような評価基準が適切であるのかも検討する必要がある。第三に、優先プロジェクトの選定手法として、多基準分析を導入するための包括的な適用指針の体系化が求められる。

次に、二つ目の課題について研究成果をまとめる。途上国のみならず、先進国や新興国においても、多様なニーズに対応してインフラ整備に必要な資金需要は増大し、その供給との間には大きな隔たりがある。この隔たりを埋める役割を果たすことが期待されているのが、機関投資家や民間企業である。インフラ投資に参画する投資家や企業を増やすためには、インフラ投資のリスクとリターンを合理的に見積もり、適切な投資判断を行うための方法論とツール（予測・分析モデル）が求められている。

第4章では、機関投資家や民間企業によるインフラ投資の主な形態である非上場のインフラ投資の特徴と投資評価の課題を、先行研究に基づいて整理した。インフラ投資は、一方が他方に独立したインフラ資産に対する投資を委任する機会を創り出すという契約関係から生じており、委任された長期の契約期間に渡り、当該インフラ資産を有効活用することによって生まれるキャッシュフローを得る権利が与えられる⁷⁾。したがって、投資家にとってはインフラ資産を実物資産として捉えるよりも金融資産、即ち、デットファイナンスの場合は元本の返済と利息の支払、エクイティファイナンスの場合は配当という形で享受できる将来キャッシュフローに対する契約上の権利と捉えることができる⁷⁾。それゆえ、投資家は、安定したキャッシュフローを生み出すという確度の高い評価モデルを構築することが不可欠である。

インフラ資産(事業)から将来期待される利益ないしキャッシュフローに基づいて事業価値を算定するアプローチを「インカムアプローチ」と言い、実務ではインカムアプローチの手法であるキャッシュフローに時間価値を取り入れた DCF 法が用いられている⁸⁾。

また、インフラ投資プロジェクトのデットの調達方式として多く利用されているプロジェクトファイナンスでは、原則として単一のプロジェクトを遂行するために事前に合意された計画(契約)に基づき、プロジェクト期間に渡って債権者に返済し、その後に投資家に配当を行う⁹⁾こと、加えて、リスク分担が上記の投資の委任契約で明確に決められている⁷⁾ことから、長期に渡るプロジェクト期間のキャッシュフロー予測が可能になる。しかしながら、このキャッシュフロー予測は、過去に観察された市場や類似プロジェクト等の外的要因のデータに基づくものではなく、投資対象プロジェクトの契約の特徴や、所在地や事業段階等のプロジェクト自体の特性等の内的要因に基づいて予測される¹⁰⁾将来の収益獲得能力の評価となるため、評価者の主観的意見が介入する余地が大きくなる。それゆえ、投資評価モデルの条件として、プロジェクトが生み出す将来キャッシュフローの大きさ、投資家に帰属するキャッシュフロー (ECF) を認識するタイミングおよびインフラ投資特有のリスクプロファイルの時間的変化を反映する割引率¹⁰⁾の推定が課題であることを指摘した。

第5章では、上記の課題のうち、ECF を認識するタイミング、即ち、どの時点で投資家が投資成果(リターン)を認識できるかについて検討した。インフラ投資プロジェクトに多く利用されているプロジェクトファイナンスの特徴である「投資制限」と「配当制限」が ECF を認識するタイミングに影響を及ぼすことに着目した Jackowicz, *et al.* (2017)¹¹⁾による評価モデルをベンチマークとし、日本の有料道路のコンセッションの事例を基にして、エクイティ投資をした場合を想定し、将来キャッシュフローのシミュレーションを行った。当該評価モデルは、プロジェクトファイナンスを利用した場合の ECF_{PF} は、1) 投資家による出資 (P_I)、2) 投資家に対する配当 (P_F)、3) プロジェクト会社 (SPC) の清算年度のキャッシュ残高 (C) の三つの要素から構成され、 $ECF_{PF} = P_F - P_I + C$ とシンプルに表すことができる。本研究では、愛知道路コンセッション株式会社の決算書¹²⁾を参考にして、仮想プロジェクトの ECF 推移のシミュレーションを行い、以下の二点を新たに指摘した。

第一に、SPC 内のキャッシュの増加分を ECF として認識する標準的な評価モデルは、プロジェクトファイナンスを利用したインフラプロジェクトのエクイティ投資の評価に用いると、ECF の推移を適切に反映できない。本来、投資は自らの資金を拠出(負の ECF を認

識)した後に投下資本を回収(正の ECF を認識)するという経済活動である。しかし、当該評価モデルをブラウンフィールド型のインフラプロジェクトのエクイティ投資の評価に用いると、最初に正の ECF を認識しその後に負の ECF を認識する場合があるからである。第二に、先行研究¹¹⁾が提案した上記の評価モデルの ECF_{PF} の構成要素である P_F を配当金額とするか配当限度額とするかという論点に関し、配当金額とすることが適切である。プロジェクトファイナンスの場合は、SPC 内に留保されたキャッシュは、投資制限によって自由に再投資することができず、投資家にとっては価値を生み出さないからである。

以上の研究成果は、5.4.4 の表 5-6 にまとめたように、先行研究とは ECF の生成の仕方が異なるタイプのプロジェクトのシミュレーションを行うことによって、先行研究で提案された評価モデルについて新たな考察を加え、実務適用上の条件をより明確かつ厳密に示したことに意義があると考ええる。

本研究では、DCF 法による評価の課題のうち、ECF の認識のタイミングに着目した。一方、割引率については、本研究のシミュレーションでは、プロジェクト期間を通じて一定の割引率(資本コスト)を使用したが、インフラ投資特有のリスクプロファイルの時間的变化を反映させた割引率を使用することが適切であるため、そのような割引率を推定する実用的な手法の開発が期待される。

最後に、本研究の二つの課題の研究成果を組み合わせた今後の研究課題を述べる。日本の政府開発援助の特徴として、「アジアの国々を中心として、その経済発展を支える基盤(経済インフラ)を形成するために、多額の借款を供与してきた」¹³⁾ことが挙げられ、2019 年の日本の二国間政府開発援助実績¹⁴⁾によると、当該合計に占める経済インフラの割合は 5 割を超えている。既述の通り、多くの途上国や新興国ではインフラ整備資金が不足しており、民間が参画することを企図した経済インフラプロジェクトは今後増えていくと予想される。このようなプロジェクトでは、エクイティ IRR を計算することが実務として定着している。多基準分析は目的や状況に応じて適用可能な順応性の高いツールであるため、評価基準にエクイティ IRR を取り入れたり、多基準分析によって優先度が高いと評価されたプロジェクトについてエクイティ IRR を計算したりするなどして、民間が参画可能なインフラプロジェクトの選定をするツールの開発も有用であると考ええる。

参考文献

- [1] Darwin Marcelo, Cledan Mandri-Perrott, Schuyler House, and Jordan Z. Schwartz, An Alternative Approach to Project Selection: Infrastructure Prioritization Framework, *World Bank Working Paper*, 2016.
- [2] 絵所秀紀, 「開発経済学と貧困問題」, *国際協力研究*, Vol.13 No.2, 1997.
- [3] 中村英夫 編著, 長澤光太郎, 平石和昭, 長谷川専 著, 『インフラストラクチャー概論』, 日経BP社, 2017.
- [4] The World Bank and Ministry of Economy and Finance of Panama, Prioritizing Infrastructure Investments in Panama: Pilot Application of the World Bank Infrastructure Prioritization Framework, 2016.
- [5] Darwin Marcelo, Deblina Saha, Aditi Raina, and Schuyler House, Prioritizing Water Supply Infrastructure Investments in Sri Lanka: An Application of the World Bank Infrastructure Prioritization Framework, 2018.
- [6] 橋本昭洋, 『DEA フレックス総合評価法 社会システム分析への適用』, 筑波大学出版会, 2015.
- [7] Frédéric Blanc-Brude, Towards Efficient Benchmarks for Infrastructure Equity Investments, EDHEC-RISK Institute, 2013.
- [8] 日本公認会計士協会, 経営研究調査会研究報告第 56 号『東京証券取引所インフラファンド市場におけるインフラ資産等の評価業務』, 平成 27 年 8 月 17 日
- [9] Frédéric Blanc-Brude, Benchmarking Long-Term Investment in Infrastructure, EDHEC-RISK Institute, 2014.
- [10] Frédéric Blanc-Brude and Majid Hasan, The Valuation of Privately-Held Infrastructure Equity Investments, EDHEC-RISK Institute, 2015.
- [11] Krzysztof Jackowicz, Pawel Mielcarz, and Pawel Wnuczak, Fair value, equity cash flow and project finance valuation: ambiguities and a solution, *Managerial Finance*, Vol. 43 No. 8, pp. 914-927, 2017.
- [12] 愛知道路コンセッション株式会社, 「IR情報」, (2021年4月26日取得, www.arcc.jp/company/ir.html).
- [13] 渡辺利夫, 『開発経済学入門 (第3版)』, 東洋経済新報社, 2010.
- [14] 外務省, 『2020 年版開発協力白書 日本の国際協力』, 2021.