

交通・社会資本整備の評価における不確実性の研究

交通・社会資本整備の評価における不確実性の研究
プロジェクト

2024 年 9 月

公益社団法人 日本交通政策研究会

1. “日交研シリーズ”は、公益社団法人 日本交通政策研究会の実施するプロジェクトの研究
成果、本研究会の行う講演、座談会の記録、交通問題に関する内外文献の紹介、等々を印
刷に付して順次刊行するものである。
2. シリーズはAよりEに至る5つの系列に分かれる。
シリーズAは、本研究会のプロジェクトの成果である書き下ろし論文を収める。
シリーズBは、シリーズAに対比して、より時論的、啓蒙的な視点に立つものであり、
折にふれ、重要な問題を積極的にとりあげ、講演、座談会、討論会、その他の方法によっ
てとりまとめたものを収める。
シリーズCは、交通問題に関する内外の資料、文献の翻訳、紹介を内容とする。
シリーズDは、本研究会会員が他の雑誌等に公けにした論文にして、本研究会の研究調査
活動との関連において復刻の価値ありと認められるもののリプリントシリーズである。
シリーズEは、本研究会が発表する政策上の諸提言を内容とする。
3. 論文等の内容についての責任はそれぞれの著者に存し、本研究会は責任を負わない。
4. 令和2年度以前のシリーズは印刷及び送料実費をもって希望の向きに頒布するものとする。

公益社団法人日本交通政策研究会

代表理事 山 内 弘 隆
同 原 田 昇

令和2年度以前のシリーズの入手をご希望の向きは系列番号
を明記の上、下記へお申し込み下さい。

〒102-0073 東京都千代田区九段北 1-12-6

守住ビル 4階

公益社団法人日本交通政策研究会

電 話 (03) 3263-1945 (代表)

F a x (03) 3234-4593

E-Mail:office@nikkoken.or.jp

日交研シリーズ A-897
令和 5 年度 自主研究プロジェクト
交通・社会資本整備の評価における不確実性の研究
刊行：2024 年 9 月

交通・社会資本整備の評価における不確実性の研究
Uncertainty in the Economic Appraisal of Transport and Social Overhead Capital Projects

主査：朝日 ちさと（東京都立大学）
Name ASAHI, Chisato

要 旨

交通・社会資本整備プロジェクトの多くは、事業の事前評価において費用便益分析を用いる。便益・費用の推定には将来予測にもとづく不確実性が存在するが、特に近年では、物価・労務費の急激な上昇による費用の膨張、気候変動による環境便益の考慮、Covid-19 による交通行動の変化など、事業環境と効果の両面において不確実性が大きくなっている。さらに近年では、行動経済学の知見により、費用と便益の推定には楽観バイアスなどのシステマティックな偏りが生じる可能性が指摘されており、海外の事業評価の実務においてそれらの考慮も進んできている。

このような不確実性や偏りの可能性は、事業評価の有用性や信頼性に影響を与え、さらには地域の環境や活力の基盤である交通・社会資本整備が遅滞なく効率的に実施できるかどうかにもかかわる。そこで、本研究では、交通・社会資本整備の費用便益分析におけるリスク・不確実性の扱いについて、理論および実証研究の知見を整理するとともに、海外の事業評価の実務における考え方および適用を調査し、日本の事業評価における費用便益分析の運用においてリスク・不確実性をどのように反映し得るかについての示唆を得ることを目的とする。

第 1 章および第 2 章では、その性質から便益評価のリスク・不確実性・バイアスについて多くの知見が蓄積されている環境の費用便益分析（環境 CBA）の特徴と米国および英国における適用の状況について論じる。次いで第 3 章および第 4 章では、不確実性下の費用便益分析で課題となる社会的割引率とアノマリーに焦点をあて、意思決定理論および計画理論からのアプローチを示す。

第 1 章「環境 CBA（費用—便益分析）の長所と短所」では、効率的な環境保護・保全や環境規制および環境政策作成のための合理的な環境評価法としての環境 CBA（費用—便益分析）について、研究会で Hanley（2012）を参照点として議論してきた理論・応用・効果の検討により、必ずしも万能とは言えない環境 CBA の長所と短所について整理するとともに、今後の環境評価の在り方の展望を示す。

第 2 章「US/UK との環境費用便益分析の相違」では、Joseph E. Aldy et al（2021）に準拠して、これまでの環境 CBA の技法の展開を簡単に紹介するとともに、環境 CBA を盛んに活用してきている米国および英国の活用法に着目し、両国での環境 CBA の活用、CBA 一般でも問題視されてきている不確実性に対応する将来便益の評価、分析対象の範囲限定、あるいは分析対象財から得られるであろう人々の暮らしへの包括的な便益の評価問題について把握することにより、日本における環境 CBA 活用への示唆を明らかにする。

第 3 章「不確実性と費用便益分析」は費用便益、将来の便益の不確実性に由来して、選好の逆転、非対称なリスク認識、現在バイアスなどのアノマリーが存在することを整理し、不確実性とアノマリーに対する CBA の対応方法と効果を示す。不確実性下の意思決定理論および CBA のアノマリー耐性について論じ、不確実性が割引率に与える影響について理論的に検討する。さらに、不確実性への対応として、感度分析および不確実性を捨象する迅速評価 CBA の意義について概観した。

第 4 章「費用便益分析における不確実性の扱い—楽観主義バイアスと戦略的誤報バイアスに着目して—」では、事業評価における費用便益分析（CBA）におけるリスク・不確実性の扱いについて、近年の理論および実証研究の知見を整理し、従来便益評価で指摘されていた「選好アノマリー」に加え、「計画アノマリー」による楽観主義や戦略的誤報のメカニズムを示した。さらに、イギリス財務省および運輸省のガイドラインにおけるリスク・不確実性・楽観主義バイアスへの対応を調査し、日本の事業評価における CBA の運用における示唆を考察した。

キーワード：費用便益分析、環境費用便益分析、不確実性、リスク、行動経済学、アノマリー、バイアス、割引率、感度分析、迅速費用便益分析

Keywords：Cost-benefit analysis, uncertainty, risk, behavioral economics, anomaly, bias, discount rate, sensitivity analysis, rapid cost-benefit analysis

目 次

第1章 環境CBA（費用—便益分析）の長所と短所	1
1.1 はじめに	1
1.2 政府の政策策定におけるCBAの役割	2
1.3 CBAの実施の仕方	3
1.4 環境CBAの各手法が抱える諸課題	5
1.5 CBA自体が抱える原理上の諸課題	7
1.6 CBAの将来	9
第2章 US/UKとの環境費用便益分析の相違	11
2.1 はじめに	11
2.2 US/UKのE-CBAの相違	13
2.3 社会的割引率問題	14
2.4 カーボン・プライシングへのアプローチの相違	15
2.5 E-CBAにおけるValue of Statistical Life（統計的寿命の価値）の活用	17
2.6 結論	18
第3章 不確実性と費用便益分析	19
3.1 はじめに	19
3.2 期待効用理論	20
3.3 CBAとアノマリー	27
3.4 不確実性と割引率	30
3.5 感度分析	43
3.6 迅速CBA—不確実性の無視	49
3.7 おわりに	57
第4章 費用便益分析における不確実性の扱い	
—楽観主義バイアスと戦略的誤報バイアスに着目して—	60
4.1 はじめに	60
4.2 CBAの実務における不確実性の扱い	61
4.3 不確実性の要因：選好アノマリーと計画アノマリー	62
4.4 計画アノマリーのメカニズム：シグナリング理論	68
4.5 CBAガイドラインにおける不確実性・リスクの扱い	76
4.6 おわりに	87

令和5年度研究メンバーおよび執筆者

(敬称略・順不同、※執筆者)

主 査

朝日ちさと (東京都立大学 都市環境学部 教授) ※第4章

メンバー

朝日 譲治 (明海大学 名誉教授)

臼井 功 (横浜国立大学 名誉教授) ※第3章

上遠野武司 (大東文化大学 経済学部 教授)

桶本 秀和 (城西大学 現代政策学部 非常勤講師)

倉橋 透 (獨協大学 経済学部 教授)

關 哲雄 (立正大学 名誉教授)

庭田 文近 (城西大学 現代政策学部 教授)

樋口 清秀 (早稲田大学 名誉教授) ※第1章 第2章

藤井 秀昭 (京都産業大学 経済学部 教授)

松波 淳也 (法政大学 経済学部 教授)

村野 清文 (三井住友海上火災保険株式会社 顧問)

森 由美子 (東海大学 政治経済学部 教授)

第1章 環境CBA（費用—便益分析）の長所と短所

1.1 はじめに

われわれは、これまで何回かの研究会を開催し、Nick Hanley & Edward B. Barbier 共著の『Pricing Nature :Cost-Benefit and Environmental Policy』をテキストとして、その輪読を通じて、効率的な環境保護・保全や環境規制および環境政策作成のための合理的な環境評価法としての環境に関する費用便益分析（Cost-Benefit Analysis：以下CBA）の理論およびその応用とその効果を検討してきた。

CBA 自体は、ダムや高速道路建設のプロジェクトないし公共投資のために、その建設される公共財が地域コミュニティにとってどれほどのベネフィットおよびコストを生じさせるか。それぞれを金銭的等価価値として評価し、もしそれがネットのベネフィットが正となれば、そのプロジェクトあるいは公共投資は効率的と判定する有効な手法である。

そもそも CBA は、1840 年代のフランスの技術者であり、経済学者であった Jules Dupuit による橋の建設プロジェクトにおけるその建設費に対する通行料の設定を通じてプラスの利益を出すための分析手法が最初である。しかし、それ以後しばらくはこの CBA はそれほど関心が寄せられることはなく、1890 年代の限界革命期になって Alfred Marshall によって生産者余剰・消費者余剰という形式概念を用いてその理論体系化が行われるにすぎなかった。けれども、1950 年代になってようやくアメリカにおいて経済学者 Otto Eckstein が現代の CBA の手法を用いて水資源および洪水管理の問題の評価を行い、これが当時の Green Book report に掲載された。それ以降 CBA は社会インフラやその他の公共部門の投資プロジェクトの主要な投資評価法として盛んに活用されるようになった。ところが 2010 年代以降 OECD などでの CBA で環境評価を行うようになった。それが環境 CBA である。ベネフィット・コストについては経済的収益や経済的コストではなく、Human well-being(人類の幸せ)の増減の方に焦点が当てられることになった。そして、それらの測定法として表明選好法や顕示選好法などが工夫され、それらを用いてさまざまプロジェクトの評価がなされ、それが効率的プロジェクトの実施あるいは効率的政策の実践に大きな貢献をしてきたことは事実である。

本稿では、基礎理論研究会の総括として、Hanley et al の著書の最終章の第 13 章「The strengths and weaknesses of environmental CBA」に依拠しつつ、必ずしも万能とは言えない環境 CBA の長所と短所を紹介することにする。それによって、今後の環境評価の在り方を見通したい。

1.2 政府の政策策定における CBA の役割

CBA は非市場財の価値評価法として盛んに活用されてきているが、特に政府部門の公共投資、プロジェクト策定、政策分析プロセスの合理的意思決定に対し、どのような役割を果たしているのでしょうか。それに対する返答として

- (ア) CBA は効率的な公共投資選択の決定に役に立つ。すなわち、道路建設か病院建設か、CBA を用いればいずれの投資がより高い純便益を得られるかを確定できる
- (イ) Kaldor-Hicks 基準を一貫して使用することで、政府の政策が選挙民の Well-Being (福利厚生) の時間を通じて向上を保証することができる
- (ウ) CBA によって政府の行動および意思決定を測定・評価することができる
- (エ) CBA によって政府の意思決定および政策戦略への効率的支出を改善することができる
- (オ) 使用する CBA に統計的生命価値や CO₂ 削減あるいは社会的割引などの社会的標準値などの重要なパラメータを導入するならば、潜在的生命の価値の価値まで評価することができるので、倫理問題をも取り込むことができる
- (カ) ある目的の公共投資について、いずれがより費用効率的か選択することができる
- (キ) CBA は人々にいろいろな政策やプロジェクトの複合的効果について論理一貫した形で考え、説明し、測定可能にさせる手法であり、政府の環境および資源保護行動に対して有効な情報を提示してくれる
- (ク) CBA は新しい政策の可能性および効果について有効な情報を提示することができる

が挙げられている。

かくして、CBA が環境に対する政策選択および環境管理決定に重要な情報を与えてくれることは理解できるが、これはあくまで時間を通じた効率性の観点からのものであり、その選択の管理における社会的分配効果や便宜性などの点については考慮外となっていることには注意を要しよう。したがって、CBA はあくまで洞察を与えるものであって、政策あるいは運営をいつ、どこに、どのように決定し、実施すればよいかの問題への完全な解を与えるものではないのである。

1.3 CBAの実施の仕方

UK、US 政府は CBA の実施の仕方について詳細なガイドラインを策定し、それによって各種政策策定・管理運営への効率的意思決定・合意確保に活用してきている（HM Treasury（英国財務省）2003、US EPA（米環境保護庁）2000）。

UK では、財務省がそのガイドラインを作成し、CBA が政策評価を行う主要な手段として、それによって公金が社会に対して最大のベネフィットを与える活動に支出するようにすること、またそれが最も効率的な方法で支出されることを保証しうると明言されている。また、同ガイドラインには、投資・プロジェクトの決定が広範囲にわたって影響を及ぼすので、意思決定者やそれぞれの利害関係者へのその結論と提言の説明は重要であると明記され、あらゆるケースにおける透明性を担保している。さらに同ガイドラインには、ベネフィット、コストの評価（非市場財の評価も含）や不確実性の取り扱い、さらには社会的割引についても詳細に説明がなされている。英国ではこのガイドラインに従い、水質管理、洪水リスク管理、沿岸保護活動、あるいは主要な土地の排水プロジェクトなどがこの環境 CBA を用いて評価実践されてきている。

US では、EPA（環境保護庁）が政策評価のガイドラインを出している。ここでは政策評価の目標を「意思決定プロセスのサポートにおける健全な科学の準備とその使用におけるガイドラインの改善」（US EPA2000）としており、これは、以前レーガン大統領時に導入された、提案されるすべての新しい連邦法や規制がそれらの CBA および経済効果の視点でレビューすることを要請した RIAs（規制影響分析）の流れを受けている。ちなみに、US では、1996 年に OMB（行政管理局）が CBA（費用—便益分析）、経済効果分析、および特定グループへの影響分析などの政策評価法を盛り込んだガイドラインを公表しているが、この EPA のガイドラインは OMB のガイドラインをベースにした環境 CBA の政策評価法についてのガイドラインを明記したものと言える。ここでの環境に対する非市場評価法の概要において、統計的生命の価値の推定の再評価を提示している点は注目に値しよう。その一方で、CBA の限界について、

「CBA は、確たる数値結果を生み出す厳密な道具ではなく、むしろ、それは政府のプログラムの潜在的かつ様々な効果をより詳しく説明するための一般的なフレームワークである。これらの効果のいくつかは計量化しうるものの、残りのものは全くの推測できない。」（US EPA2000 P.33 筆者訳）

と明記されているが、US では CBA が政策評価の絶対的な道具と見されていないこともここで注意しておこう。

EU（欧州連合）委員会は、2005 年に影響評価ガイドラインを公表しているが、これによ

れば、影響評価制度の主たる目的として、

- ① 政策企画に対してオープンかつ立証的アプローチを用意することで、社会、経済かつ環境上の影響に対してバランスの取れた分析が可能となり、結果各委員会の提案の質が改善される
- ② 各提案の背後にある合理性が明確化され、トレードオフの評価による各種シナリオの比較ができることで最終的意思決定への効果的なサポートができる
- ③ 共通の評価尺度をベースに内部の対話を促進させるとともに政策展開プロセスについて外部の利害関係者ともよりオープンで透明性のあるコミュニケーションを図ることができる

ことを挙げているが、推奨している影響評価が政治的意思決定に代わるものとはみなしておらず、むしろこの影響評価がその決定に対する政治的議論のベースになるとしている。一方、政策選択の全般的評価は単に純現在価値（Net Present Value：以下 NPV）の自身で評価されるべきではなく、そのいろいろな影響についてはさまざまな方法（質的、量的、金銭的）によっても評価されるべきであり、最終的には手元にあるケースについて選択されうる基準による影響の観点によって選考されたオプションによって順位付けがなされ、そこで討議されることになることが明記されている。

こうした中でも、2007 年以降

- ・乗用車から排出される CO₂ 削減のための規制案
- ・大型車両への EUROVI 規制の簡素化
- ・炭素回収・貯留に関する指令の提案
- ・脆弱な深海の生態系保護案

などの質的評価に CBA が使われ、最終的に有効な政策が採択されることになったが、それを受けての EU 委員会のレポートでは、こうした影響評価の実施は、それぞれの部局において

- ・各スタッフの分析能力の向上
- ・影響評価作業への十分な情報収集力の強化
- ・影響評価への部局間の協力強化

に大いに役立ったことも明記されている。これらは CBA の別の意味での長所として考えられよう。

1.4 環境 CBA の各手法が抱える諸課題

環境 CBA は CBA を環境という非市場財の価値を評価するもので手法であるが、それは環境が人々に提供してくれるサービスの变化（大気や水質の悪化など）が及ぼす人々の効用への効果を貨幣換算値で評価することを意味する。環境の効用への直接効果の評価手法には「表明選考法」と「顕示選好法」の2つがある。表明選考法は仮想評価のように特定の環境変化に対する人々の WTP や WTA を聴取し、集計してベネフィットを評価するが、一方、顕示選好法は特定の環境財に関係する市場での人々の経済活動を評価する。前者は仮想評価法に加え、コンジョイント法があり、後者には代替法やトラベルコスト法、さらにはヘドニック法がある。

表 1.1 環境 C B A

① 表明選考法	1) 仮想評価法：WTP, WTA を聴く（人々に価値を聴く） 2) コンジョイント分析：カードで選考を聴く
② 顕示選好法	1) 代替法：市場取引財への置き換えで評価（人々の活動データから評価） 2) トラベルコスト法：旅行費用で自然の評価 3) ヘドニック・アプローチ：地価をベースに評価

出所）森田（2003）に筆者修正

これらの評価手法に対して、Hanley & Shogren(2005)は、こうした手法はすべて、天然資源を含む環境に対して人々は効用最大化を行う合理的経済行動モデルを前提にしたものであるが、ところが最近人々の行動がこうした合理的行動モデルからかけ離れていることを示唆する大量の証拠が出てきたことに着目し、この実際の行動と合理的行動との乖離を「主要なアノマリー（変異性）」と呼び、それを以下にまとめている。そもそもアノマリーとはある法則や理論から見ての異常であって、それを説明できない事象を意味するのであるが、これらこそ環境 CBA の非市場財である環境を貨幣換算評価における主要な課題、さらに言えば環境 CBA の短所にもなっているのである。すなわち、

- 1) WTP と WTAC との評価の格差の問題
- 2) 選考の不確実性と選考の構造問題
- 3) 仮想的市場のゆがみの問題
- 4) リスクの認識問題

5) 選考の逆転問題

である。

まず1) であるが、ある特定の環境の評価について、その環境を依然と同様に保全していくとしたら、いくら支払うのか (WTP) に対してその環境の悪化に対して以前と同様の効用水準を補償するとしたらどれだけの補償なら受け入れるかとの質問に対して、これは同じ環境悪化の評価であるが、前者の方が後者よりも低い評価になることがしばしば散見されたのである。人は支払う額よりももらう額の方を高く評価しがちである。まさに行動経済学におけるプロスペクト論に似た現象である。この場合まさに WTP で聞く場合と WTAC で聞くのではその評価に大きな差が出てくるということである。

2) であるが、ここでの環境 CBA は対象とする環境に影響をうける人々はあらかじめその環境自体、および変化の影響については既知と仮定している。したがって、どのような状況の変化が起こり、どのような影響があるかすでに分かっており、それに対してアンケートの回答を行うことになっている。これは現実とは大きく乖離していることはいうまでもないであろう。

3) であるが、人々は往々にして仮想的な質問に対しては実際よりも過大に評価してしまうということである。たとえば、大気汚染を削減するとしたらいくら負担するかという質問に対して実際に支払うかどうかはわからない仮想的な質問に対しては事の重大性を認識すればするほど人は実際より高い支払い額を提示することしばしばである。それではその大気汚染削減は過大評価されてしまいがちになるのである。

4) であるが、ここでのリスクの認識はあくまで主観的認識とされており、客観的あるいは科学的リスク評価とは程遠いものとなっている。たとえば、海水浴場の水質改善について科学者が評価する、たとえば人の健康に被害を及ぼさない程度への大腸菌の削減に対して一般市民は大腸菌ゼロで健康被害なしを強調するであろう。したがって、アナリストが海水浴場浄化のベネフィットを見積もろうとするとき、主観的リスクにゆだねるならば、その評価は甚大になりがちであろう。せめて規制管理者と科学者の間だけでも共通のリスク認識を確立させていく必要がありそうだ。

最後に5) であるが、人々が自らの選考を根拠にランク付けをする場合や WTP を根拠にランク付けする場合にしばしば起こりうる。すなわち、互いに競合しあうプロジェクトが存在し、それらを選好する場合、ある条件下では前者のプロジェクトが選好されるが、他の条件下では後者の方が選好されるという逆転がしばしば生ずるとのことである。

以上に加えて、将来への影響あるいはベネフィット・コストを現在価値に評価し直す手段としての社会的割引率あるいは割引法の扱いも大きな問題である。これは CBA による評価結果そのものを大きく左右する。実際には消費者行動を反映させたラムゼイ公式からの数値

や市場金利の数値を採用し、それを一貫して固定的に適用するか通減的に適用するかしているが、その将来の不確実性を伴う評価については依然論争は尽きない。賢明な経済学者たちは、ベースとなる CBA によって感度分析を行い、そのうえで妥当な社会的割引率を確定して使っているとのことである。それが「これくらいのバイオマス設備が妥当でしょう」の発言に繋がれるとのことである。

1.5 CBA 自体が抱える原理上の諸課題

前節では環境 CBA の各手法・手段が抱える課題について紹介したが、その基本原理となる CBA 自体に対して原理面でのいくつかの異論が出されている。

そもそも CBA は、人々が完全情報の下で効用最大化行動を行うとの前提条件の下でそれぞれのベネフィット・コストともその行動を前提にして行われた評価を採用している。人々各人は実際にはこうした合理的行動はしていないし、できない。したがって、CBA は現実からかけ離れたものになるのではないかとの異論がまず挙げられる。また、特定の地点での調査による評価を影響の及ぶ範囲全体への評価としている点は各地点とも均一に影響を受けるとの前提条件の反映であるが、これも非現実的ではないかとの異論がある。さらに、以下の 4 点についての異論：

- a) Kaldor-Hicks テストへの異論
 - b) 影響全体を確定する方法としてのベネフィット・コストの合算への異論
 - c) CBA の適用範囲の確定に対する倫理的異論
 - d) 長期ウェルビーイング（人々の幸せ・福利）の観点での意思決定手段としての CBA への異論
- がある。

まず a) の Kaldor-Hicks テストであるが、あるプロジェクトのネットゲインの算定において、そもそも利得者たちは損失者へどのような補償ができるものであろうか。たとえば、森林開発プロジェクトにおいて、それによる利得者はそこでの森林破壊により効用の損失を受ける人々にその補償に対して Kaldor-Hicks テストが使えるものであろうか。また、もし補償が行われるとしたら、どのような支払いがなされうるのであろうか。例として、森林伐採によって効用が失われる人々が森林伐採から得られる収益の一部は新しい湿地を作る資金に充てられると告げられるならば、その森林開発への反対は少なくなるかもしれない。こうして補償に代わる形での効用損失補填がなされる場合、真なる評価が実現できるかどうかについてはいささか疑わしくなろう。すなわち、WTAC が WTP をかなり上回る部分でのロスに過少評

価がありうるということである。

次に b) である。これは CBA そのもののアキレス腱と考えられているが、人々の間での異時点間の効用比較が可能であること、またそこでの社会的厚生関数はすべての関係者の効用の変化が適切に反映されていると想定されていることは、効用の変化が測定可能と合わせて様々な異論が出されてきているところである。とくに社会的限界効用はすべての人々に均等、すなわちいかなる人に対する効用のゲイン・ロスとも社会全体の合算に有効と想定されている点には大いなる異議が出されている。

環境面でのゲインとロスについてそれが釣り合っているどうか。Alfred(2006)は間接効用関数を用いて環境の質の変化 ($Q1 \rightarrow Q2$) に対してこれを補償する m を導入して均等式を提示している：

$$v(Q1, y-m) = v(Q2, y)$$

v : 間接効用

Q_i : 望ましい環境財 $i = 1, 2$

y : 所得

問題は m を何にするかである。通常は支払い貨幣額が考えられるが、これは環境の変化に対してどれほどのものになるか。理念上は導入可能かもしれないが、実際を考えると論争が起こるところであろう。しかし、もしこの均等式が実際に成立しうるとするならば、環境変化に対する十分な補償が有効であると言えるが、その存在の実証的証拠はいまだ見いだされていないのである。

c) は CBA の適用分野に対する倫理問題である。すなわち人の健康や命あるいは人権などを金銭に置き換えて換算できるかという問題である。Hanley & Barbier (2009) では、UK 議会における奴隷制禁止条例を設定するかどうかの決定に際して CBA の利用が適切だったかどうかについての事例を挙げている。奴隷の確保・維持のコストに対して農業の収穫量拡大のベネフィットで評価したが、彼ら奴隷の家族の苦しみなど貨幣換算していないし、できないであろう。そもそも奴隷となる人々の人権など全く考慮せずに廃止か否かの決定がなされることになった。その他あるプロジェクトによる結果的な環境悪化が健康喪失や寿命の短縮をもたらす場合、そこで人々の生活不安などをどのように貨幣換算できるのであろうか。環境・健康・安心などケースには倫理的問題も生ずるにもかかわらず、経済効率性の観点のみで「合理的判断」をすることは、結果的に経済に偏向した公共政策になってしまいかねないのである。

したがって、人々が環境・健康・安全を考える際には消費者よりも市民として考え、行動する傾向があり、したがって、それに対して効用最大化を前提の CBA 評価はふさわしくないとの主張も一部にはなされてもいる。そこで、倫理問題の絡むプロジェクトについてはあ

らかじめ道徳的規制を行っておくことが推奨されている。それについては、将来の核廃棄物貯蔵の問題の深刻化を予想して、今後一切新規原子力発電所は作らないことを環境政策として言明することなどがその一例となっている。

最後に d)であるが、長期間にわたるウェルビーイングの評価を踏まえた CBA による意思決定問題である。政策分析として割引現在価値を用いる CBA と将来のウェルビーイングの展開可能性との間には潜在的に適合度は低いであろう。将来のネットの富をウェルビーイングにえて評価すれば、矛盾は生じないと主張する人もいるが、ウェルビーイングの将来の維持可能性を富・資産の完全維持可能性に置き換えるには少々無理が出て来ようし、すべての人が必ずしもこうした CBA のルールや維持可能性の解釈に同意することはないであろう。また、人類が依存するエコシステムの機能やグローバルライフサポートサービスに対する何らかのプロジェクトに CBA を適用するケースにおいてこれが将来確実に維持可能と仮定すること自体無理が生ずるのである。悲惨な気候変動回避に向けた大気中の CO₂ 濃度削減などの気候対策などには将来の気候変動の保障ができないために CBA は使えないのである。したがって、環境目標などは国のトップレベルの指導者のフィルターすなわち選考基準として設定されるものであり、CBA は単に選考をパスした政策の中から一つ選択をするための手段として利用されるにすぎないのである。

例えば、ニュージーランドの希少動物「キガラシペンギン」も最低生存可能頭数を確保するために、たとえば 200 万ポンドの支出などは CBA によって判断するのではなく、政治プロセスで決められていくべきものであろう。一方、自然システムの維持可能性の確保を検討する代替法としてその復元力に着目する代替法もある。これは最近注目され始めたシステム生態学からの借用であるが、経済成長による資源枯渇や自然破壊に対して自然はどの程度の復元力を持つか、またどのレベルを越さなければ復元力は確保され続けるのか。経済—自然環境システム（＝エコロジカルシステム）の動態を検討し、それからの政策展開で自然環境は維持確保され続けうるであろう。

1.6 CBA の将来

これまで決定支援システムとしての CBA の長所・短所を見てきた。多くの長所があった。CBA が環境政策に適用されるとき、幾多の実践上かつ概念上の課題に直面するが、その意思決定者に資源の希少性に立ち向かう選択を理解させる、透明性のある方法としての役割を果たしうることは重要であろう。またそれが公共政策の選択にも適用できることは大事なことである。一方、ウェルビーイングなど主観をとらない、将来の確実性に疑義があるケースに

対しての CBA の適用は不都合となる。要するに、効率性の判断手段としての CBA はその透明性の長所がある一方で、効率性に偏っているがゆえに偏った選択しかできないとの弱点をもつということである。

3つの対立点がある。まず、環境の価値付けについてであるが、環境の影響を金銭換算できるならば、電力産出量、通勤時間などの経済量と比較可能になり、合理的政策選択が可能になるが、大気環境基準や公害のコストなどは計量化しにくいので CBA は不適用であろう。次に、CBA の経済効率性への限定についてである。政府の政策決定、資源の誤配分の回避、時間を通じて一貫したウェルビーイングの確保などについては有効であるものの、時間についていえば、現在価値での比較が焦点になるので、将来の分配的関心を薄くしてしまいかねない。最後は、CBA そのものの課題であるが、オープンで透明性かつ一貫性があり、民主的メカニズムでもあるので誰にも受け入れやすいはずであるが、利用がテクノラートの、一般には利用の場がない。これは CBA の重要性の理解が普及にない大きな欠点となっている。

しかし、CBA は、信用、説明責任さらには社会正義を必要とする問題に対処するために多基準分析のような方法と並行して活用されてきているし、明確で一貫した方法での政策効果を判定する手法としては多くの魅力をもつことは間違いない。

いづれにしても、いろいろな欠点はあるもの、将来の CBA はより広範な政策分析および決定へのサポートシステムにおける一構成要素になり続けていくであろう。ただし、「CBA はすべての解答をもたらさない」との認識を前提にしてのことである。これは環境 CBA についても同様なことが言えるのである。

注) 本稿はあくまでも Nick Hanley & Edward B. Barbier『Pricing Nature : Cost-Benefit Analysis and Environmental Policy』の最終章の「The strengths and weaknesses of environmental CBA」の紹介であり、ここでの論考はほとんど著者たちにそれに従っていることをここで強調しておきます。

<参考文献>

- 1) Alfred, J. (2006) "Incommensurability and monetary valuation" *Land Economics*, 82(2).
- 2) Hanley Nick & Edward B. Barbier (2009) *Pricing Nature: Cost-Benefit Analysis and Environmental Policy*, Edward Elgar.
- 3) Hanley Nick & J. Shogren (2005) "Is cost-benefit analysis anomaly-proof?" *Environmental and Resource Economics*, 32(1).
- 4) 樋口清秀 (2017) 「BCA と行動経済学」庭田文近編著『少子・高齢化社会における交通インフラ整備研究』日交研シリーズ A-690.
- 5) US EPA (2000) "Guidelines for preparing economic analysis" US Environmental protection Agency.

第2章 US/UK との環境費用便益分析の相違

2.1 はじめに

財には市場財と非市場財がある。前者は市場でその価値が評価されうるが、後者は評価されるべき市場が存在しない。そこでこれを評価するために工夫されたのが費用便益分析（Cost-Benefit Analysis：以下 CBA）であり、欧米では政策評価によく活用されてきている。この CBA であるが、そもそも CBA は 19 世紀半ばにフランスの技術者であり、経済学者でもあった Jules A Dupuit（1844）の橋の建設コストに対してその回収のための便益換算としての通行料金の設定の工夫から出たものであり、それを人々の選好をベースとした費用と便益として算定し、この純便益によって非市場財としての公共財の道路や橋の経済正当性が評価されることが主張されたものである。要するに、これは消費者余剰を用いてプロジェクトの純便益を測定したのである。このアイデアはその後 A. Marshall（1890）が経済の外部性の是正のための規制への費用／便益の測定で定式化した。その後 Hicks（1939）、Kaldor（1939）らによって Hicks-Kaldor 補償原理と呼ばれるようになった「原状回復のためにはどれほどの支出負担あるいは補償が必要となるか」の定式化が行われた。これはパレート改善がベースとなって展開されたのである。ここにおいて CBA の理論的基礎が確立した。ここで CBA において便益が費用を上回ればその政策は有効となるとの確定がなされるようになったのである。

しかし、非市場財でも道路や橋、公園のような公共財と河川、森、大気などの自然ではその評価には大きな相違がでてくる。前者は経済的恩恵をどのくらい得られるかをかなり推定しやすいのに対して後者は存在して当たり前との念を持つ人々が大半であるのでその評価は実に難しいものになろう。ところが近年とくに環境政策の一層の重要化と環境経済学の大幅な発展によってその政策評価のための CBA の活用が重要視されてきた。そこで CBA の環境政策への活用手法を単なる CBA とは区別して環境費用便益分析（Environmental Cost Benefit Analysis：以下 E-CBA）と呼ぶようになり、これも欧米で盛んに活用されるようになった。

本稿では、Joseph E. Aldy et al（2021）に準拠して、これまでの E-CBA の技法の展開を簡単に紹介するとともに、これまでこの E-CBA を盛んに活用してきている US, UK の活用法に着目し、これら両国では E-CBA をどのように活用しているか、また CBA でも問題視されてきている不確実性に対応する将来のベネフィットの評価や分析対象の範囲限定あるいは分析対象財から得られるであろう人々の暮らしへの便益の評価問題について、両国の状況と将来を把握することで我が国での E-CBA 活用への重要な示唆を明らかにしたい。

1. E-CBA（環境費用便益分析）とは

E-CBA はあくまで CBA の環境評価への応用技法であり、CBA の一部であることは言うまでもない。ある公共財プロジェクトに対する CBA は、

$$\begin{aligned} \text{Bt (t 時点での) それに伴う被害あるいは費用を } C_t \text{ (t 時点での) とすると、} \\ \text{純便益 } NPV = \sum (1 / (1 + r))^t NB_t \quad (1) \\ * NB_t = B_t - C_t \end{aligned}$$

と表すことができる。ここにおいて、このプロジェクトの存続期間内の純現在価値（Net Present Value：以下 NPV）が正（Benefit > Cost）ならば、そのプロジェクトは経済的に妥当であるといえるとする。しかし、現代の環境評価を行う E-CBA にはこうした非市場財に適用される CBA とは異なる課題がある。それは環境自体を貨幣価値への換算が難しい。環境の質の改善またそのことによる死亡リスクの低減などについて人々はその価値は十分あると考えるとしても

かれらが直ちに直接金銭を支払うことはないし、実際、いくら支払うかは不明であろう。ゆえにこれらの非市場財への評価法として、以下の技法が提示されてきている。

① 顕示選好法（Revealed Preference Method）

代替法：市場財への変換した場合の費用を価値として換算。

トラベルコスト法：それを利用するためのアクセス費用を価値として換算。

ヘドニック・アプローチ：地価をベースにその地域環境を評価。

② 表明選考法(Stated Preference Method)

仮想評価法：環境保全などの WTP（支払い意思額）、WTA（受け取り意思額）で評価。

コンジョイント分析：プロファイルと呼ばれる複数の選択肢から選考を徴して集計。

③ 主観的幸福感・健康観尺からの評価（Subjective well-being Valuation）：環境を主観的幸福感、健康感から評価

がある。

これらについて、環境に対して、直接の利用価値（直接利用することで生ずる価値）、間接利用価値（国土保全のような間接的な利用から生ずる価値）、オプション価値（将来に残しておくことで得られる価値）、遺産価値（歴史的遺産のように後世代に残しておくことで得られる価値）、存在価値（生態系、野生動物の存在から得られる価値）などの価値分類が存在するが、これらについて WTP（Willingness to pay）あるいは WTA（Willingness to accept）をベースに価値評価が行われる。

2.2 US/UK の E-CBA の相違

Joseph E. Aldy et al (2021) は US の EPA (環境保護局) が 2015 年に出した US Clean Power Plan と UK の DECC (エネルギー・気候変動省) が 2005 年に出した US Climate Change Act の CBA の公式結果を、US は唯一代表年のみ、UK は年ベースではあるが、表 2.1 にて紹介している。

表 2.1 US/UK の環境規制法の環境 CBA に要る評価 (Bill. 2019USD)

	US Clean Power Plan		UK Climate Change Act
	2030 年の便益・費用		2008 から 2050 までの年ベース便益・費用
割引率	3%	7%	3.5%
天候改善便益	23	23	31-71
大気環境改善	16-39	15-36	2
応諾コスト	9.6	9.6	23-29
純便益	29-52	28-49	4-51

出所) Joseph E.Aldy et al (2021) より

この表により、両国の環境部局が環境政策プロジェクトに E-CBA による費用、便益を長期にわたって算定できたことがわかる。ここでは両国とも二酸化炭素の排出削減により気候変動による被害の減少分を便益として捉え、これとこの政策プロジェクト実行に伴う費用分を費用とし、規定した期間内に生ずるそれらを一定の社会的割引率を使って割り引いた現在割引価値額に算定することで純便益を導出している。そしてそれが正值ならば、それぞれのプロジェクトとも効率的との結論付けされるのである。しかし、Aldy 等は別的手段を用いて SCC (炭素の社会的費用) や炭素排出のプライシングの算定のメカニズムを探索し、それらをこの E-CBA に包含すべき必要性をも強調している。さらに大気の質の改善による人々の生活への便益やコベネフィット (多数の分野に及ぼす便益) などにも必要としている。それについては、両国ともこれらが人々の健康にマイナスの影響をもたらす環境汚染物質の削減において人々の生活への便益として捉えている。それらの便益値の推定には統計的寿命の価値の増加や早期死亡リスクの低下が使われているが、これらについて以下でさらに詳しく見ていこう。

2.3 社会的割引率問題

CBA は、長期とくに異世代にわたって影響をおよぼす公共政策の策定には特に有用であり、最終的確定に重要な情報をもたらしてくれる。そこでの長期あるいは異世代にわたる便益と費用を推定して純便益を確定するにあたっては、将来に生ずる便益・費用を時間軸で将来ほど低くウェイト付けし、これらを集計して総便益・総費用の現在価値を推定し、比較考量することが求められる。そのウェイト付けに必要なのが社会的割引率（(1)式での r ）である。

この社会的割引率については、US は民間投資の収益率：

社会的割引率＝公共投資の収益率＝民間投資の収益率（＝市場利子率）

を使っているが、

UK は US 以外の他の主要先進国と同様に公共事業評価に使われている Ramsey 式：

$$r = \rho + \mu \times g \quad (2)$$

r ：社会的割引率

ρ ：時間選好率＝現在の消費を諦めた場合に、効用を一定に保つための将来の消費増加率

μ ：消費の限界効用弾力性（＝ $(\Delta U/U) / (\Delta C/C)$ ）：U＝効用、

C＝消費

g ：消費の成長率

を採用している。

このように両国で社会的割引率の推定において大きな相違がある。そのうえ将来への不確実性への取り扱いについても相違がある。すなわち、US は民間投資における収益率および市場金利の観察実績値として活用、ここでは貯蓄についての税引き後の金利 3%および民間投資の税引き前の収益率 7%を将来とも不変の社会的割引率とし、それぞれの割引現在価値を推計する。一方、UK は同国 HM Treasury（英国財務省）が用意した ρ 、 μ 、 g のパラメータの経験値を用いて得られる社会的割引率の数値を用いるが、その評価値の感度分析の重要性から評価期間に応じて逡減させている。要するに、US は将来の不確実性に対して社会的割引率においては考慮外とする一方、UK では将来社会的割引率は下がるとの見解で将来の不確実性に対処しつつ効率的な純便益を算定しているのである。

表 2.2 イギリスの逓減する社会的割引率

0～30 年	3.5%	注) ちなみにフランスは 0～30 年 4.0% 30～500 年 2.0%
31～75 年	3.0%	
76～125 年	2.5%	
126～200 年	2.0%	
201～300 年	1.5%	
301～年	1.0%	

出所) 国土交通省「事業評価をめぐる論点」

2.4 カーボン・プライシングへのアプローチの相違

ここで環境とくに気候変動に大きな影響を及ぼす二酸化炭素排出規制に重要なコントロールパラメータにもなりうるカーボン・プライシングに対する US と UK の相違を Aldy et al (2021) に従って紹介しよう。

US では、2010 年に IAWSCC (SCC に関する省庁間ワーキング・グループ) にて、CO₂ の排出が地球の気候に損害を及ぼすものとして、カーボン・プライシングをグローバルな SCC (炭素の社会的費用) として推定値が公表された。しかし、その気候変動の影響の対象を国内のみに限定し、他国・他地域への外部効果などは無視され、SDR (社会的割引率) も先に説明した 3.0%、7.0%と設定し、推計が行われてきている。これに対して、一部の論者から割引率の固定について、時間を通じた環境改善への量的・経済的評価の改善の可能性とグローバルな SCC の算定においては、国内に限定するのではなく、国境外および世界が被る損害をも参入していくべきであり、これは便益の方にも当てはまるとの異論が出され、それに従って IAWSCC (省庁間ワーキング・グループ) にて再検討が行われはした。しかし、2017 年トランプ政権下においてそうしたワーキング・グループは解散させられ、US のカーボン・プライシングは現在では従来と変わらず国内限定、SDR は 3.0%、7.0%として便益・費用の推計が行われてきている。その結果、US のカーボン政策に対する便益の評価がかなり低いものになっていることは否定できない。

一方、UK では、同国 DECC (エネルギーおよび気候変動省) が 2002 年から SCC の推定を行い、その推定値を政策評価の限界排出費用として内生変数として取り扱いし始めたが、当初その SCC の推定は USIAWSCC と同様であったものの、のちに Stern (2007) に従い、限界削減費用の推定を Target Consistent Approach (目標に一貫したアプローチ) に変えた。これは、あらかじめ Carbon Budget(炭素予算：地球温暖化による気温上昇をある上限値に設定し

た場合の CO₂ 排出可能量)を設定したうえでそれに見合うように限界排出削減費用を推定していくものであり、長期の不確実性への合理的対応策になるとみなされ、政策決定や国際間の調整事項として盛んに使われるようになった。ちなみに UK では、2008 年の Climate Change Act において長期の Carbon Budget を設定し、2050 年までに 1990 年ベースラインに対して 80% の削減目標が公表されている。

しかし、UK のカーボン・プライシングは、UK は US とは異なる点は重要である。まず、短期では市場取引可能なものと取引不可能なものに区別し、前者、例えば CO₂ 排出などは実際市場での取引可能であるので、その推定は EU の炭素排出取引システム（ここでは限界削減費用＝許容価格の均衡が成立する）における観察された市場トレンドを利用して年ベースでの取引価格によって行われる。そしてこれを時間の推移に応じてアップデートしてきている。他方、非市場財については、削減目標から導出される限界削減費用が推計される。一方 2030 年以降にわたる長期では、市場取引財と非市場取引財の区別なく、グローバル削減費用モデルから導出される国際炭素価格の予想値から炭素価値が導出されている。

短期における市場財としての取り扱いによる推計値と非市場財として市場では取り扱い不可としての取り扱いによる推計値とでは、当初は非市場取り扱いによる推計値の方が高かったにもかかわらず時間を経るごとに双方は収束していき、2031 年には一致する。そしてその後は推定される国際炭素価格と同一になって推移するとの想定がなされている。さらに、Aldy et al (2012) によれば、2030 年には UK の SCC は US における SDR 3 % による推定値を上回り、そしてそれ以降はかなり急速に上昇していくとのことである。事実 2050 年の UK の炭素価格は、国際 SCC が 85 ドルと推定されるのに対して、314 ドルにもなりそうとのことである。

かくして、これまでの両国での CBA を使った環境評価を概観するに、最も望ましい SDR とは何かについてはいまだ不明であるし、グローバルな環境問題・気候変動問題への挑戦に対して CBA の都合上で対象を国境内に限定してしまうことは、他国との政策協調や多角的気候政策策定・合意への視点を無視してしまいかねない点に留意する必要がある。

しかし、UK のこうした Target Consistent Approach（目標に一貫したアプローチ）は、CBA をその政策が全体的な効率性を高めるかどうかについて確定するために使うよりも、むしろあらかじめ目標を設定してその目標を実現するためにいかに費用を効果的に負担していくかの情報を得るために E-CBA を導入している点には注目に値しよう。ともかくもこのアプローチは、CBA よりも CEA（費用—効果分析）と呼べるものの、その E-CBA の抱える不確実性問題を回避しつつ、政策を実現させていく効果的な費用負担に対する有効な情報を提供してくれるのである。

2.5 E-CBA における Value of Statistical Life（統計的寿命の価値）の活用

環境法や環境政策・環境プログラムは環境の保全・改善に寄与し、それが人々の生活の質と分量を向上させることは言うまでもない。さらに環境規制による疾病や死亡リスクの低下は人々のウェルビーイング（幸福度）をも高めることになるだろう。そこで環境規制の CBA において便益の源泉に使われるようになったのが、「早期死亡リスクの低下」であり、US ではそれを「the value of statistical life（統計的寿命の値）」（US EPA 2014）として、また UK は「the value of a prevented fatality（回避された死亡の価値）」（UK HM Treasury 2014）を金銭価値に換算して使用している。これらは、VSL（統計的寿命の価値）について死亡リスクあるいは死亡の削減に対する人々の WTP の総額を示す。例えば、人口 10 万人の地域で 10 万人に 1 人の死亡リスク削減のための政策に確認が 100 ドル支払う意思があるとするならば、この政策の便益としての累積 WTP の VSL は 10mill.ドル（ 100×100000 ）となるだろう。しかし、この早期死亡リスクの削減価値については、人々は異なる生活環境・生活感を持ち、所得・資産保有状況も異なる。ゆえに、彼らの早期死亡リスクの軽減には様々に異なる評価がなされる。これをどのように集計していくかは大きな問題となるだろう。

こうした問題があるものの、US EPA は 1990 年代後半から the Clean Air Act（1997）からこれを便益要素として使われてきている。一方 UK では、1980 年代から交通政策や保健政策および環境政策にも適用されてきている。ところが、UKDEFR（Department of Environment, Food, and Rural Affairs）では対象とする人々の健康状態は平常との前提のもとで VSLY を集計し、それを活用したり、Life-year Value(質調整生存価値)を活用し出したりとさまざまである。両国では、2000 年以降、

- ① 表明選考法や顕示選好法を使ってヘドニック賃金 VSL を推定する研究
- ② 死亡リスク軽減に対する WTP の年齢別・階層別に変化度。
- ③ レジャー消費への将来的期待と早期死亡リスク削減との関係解析
- ④ VSL の人々の Life cycle 状況での変化度
- ⑤ がん抑制による早期死亡リスク軽減への VSL 推定

などをはじめとして、人々のウェルビーイング増進に対する評価推定研究が特に盛んにおこなわれてきている。しかし、いまだ確たる評価値が出されていないのが実情である。

2.6 結論

環境政策・環境規制に対する CBA はこれらの政策や規制を効率的に設定・実施するのに重要な役割を果たす。とくに公害などの負の外部性や環境や天然資源における市場の失敗を問題と取り上げ、それに対する新たな政策・規制の設定・展開においてはこの分析が焦点を浴びることになる。US、UK ともこの E-CBA を有効に活用し、環境政策・環境規制の設定・実施してきた。しかし、両国での E-CBA の実用化においては著しく異なった手法が用いられ、環境評価が行われてきているのである。

まず、ネットベネフィット流列の割引現在価値を求めるのに必要な SDR（社会的割引率）の設定であるが、双方で正しい割引率など存在せず、互いに異なった設定になっている。US ではあらかじめ提示された資本の機会費用としての割引率（実際の市場金利と民間資本投資への収益率：3%と7%）が採用されているが、UK では、ラムゼイ式の右辺の時間選好率、消費の限界効用の弾力性および消費の実質成長率、それぞれの経験値をこの式に代入して得た数字（3.5%）を使用している。そして、US ではこれら割引率を対象期間固定して割引現在価値を算定するが、UK では設定した割引率（3.5%）が一定期間後には

時間選好率や消費の限界効用の弾力性は減少すると想定して、それを通減させている。UK では、長期の有効な SDR についていろいろ議論・研究がなされてきているが、学界・研究、活用としては長期における SDR として2%を採用している。こうして両国を比較すると環境評価の割引現在価値自体いずれかが過大あるいは誇張した評価がなされていると言わざるを得ない。

<参考文献>

- 1) Aldy Joseph E. ,Giles Atkinson, and Matthew J. Kotchen (2021) “Environmental Benefit-Cost Analysis: A Comparative Analysis Between the United States and the United Kingdom”,
- 2) *Annual Review of Resource Economics*,13.
- 3) Atkinson Giles and Susana Mourato (2008), ”Environmental Cost-Benefit Analysis”,
- 4) *The Annual Review of Environment and Resource*,33.
- 5) Atkinson, Giles, Ben Groom, “Nicholas Hanley and Susana Mourato (2018) Environmental valuation and benefit-cost analysis in U.K.Policy”, *Journal of Benefit-Cost Analysis*,6.
- 6) Fujiwara, Daniel and Ross Cambell (2011) “Valuation Techniques for Social Cost-Benefit Analysis: Stated Preference, Revealed Preference and Subjective Well-Being Approach”
- (ア) HM Treasury Department for Work and Pension, July.
- 7) 樋口清秀（2017）「BCA と行動経済学」庭田文近編著『少子・高齢化社会における交通インフラ整備』日交シリーズ A-690.
- 8) 国土交通省「事業評価をめぐる論点」https://milt.go.jp/page/content/05_200626_shiryo2.
- 9) Stern E.(2006) *The Economics of Climate Change*, Cambridge Uni. Press.
- 10) 竹内憲司（2006）「経済学から見た環境評価」『日本評価研究』第6巻第2号。

第3章 不確実性と費用便益分析

3.1 はじめに

実物資産や金融資産への投資は民間企業だけではなく、中央政府・地方政府やそれらと民間企業が共同出資するいわゆる第3セクターも、道路の建設、上下水道の敷設、河川の改修、ダムや砂防施設の建設、公園・レクリエーション施設・図書館などの開設、土地の開発など公共投資と呼ばれるさまざまな投資を行っている。公共投資も投資である以上、ある公共投資を実行すべきか否かの決定基準は、民間投資と同様に、報収（return、償却前・利子引き前利益）の現価であるべきある。しかし、民間企業の取引する財はすべて市場で取引されるので、価格がついており、その投資の報収はすべて金銭的単位で表しうると考えられるのに対して、公共投資の報収は、例えば（一般）道路建設、河川の改修、公園やレクリエーション施設の建設による便益（benefit）などのように、金銭的単位で表すことが困難であるものも少なくない。また、費用（cost）についても、上記の公共投資は大気汚染、騒音・振動、水質汚濁など、環境に悪影響を与えるので、（社会的）費用として計上しなければならないにもかかわらず、そのような費用も、それが取引される市場が存在しないため困難である（実は、民間企業もかかる社会的費用を社会に与えているが、民間企業の投資決定においてはこのことは無視されているのが現状である）。

費用便益分析（Cost-Benefit Analysis、以下 CBA）、はかかる問題を解決して、すなわち金銭的単位で表すことが困難な公共投資の報収（より一般的には便益）と費用を金銭化して測定可能とし、公共投資の実行の可否を検討するものである。なお、公共投資（より広くは政策）がもたらす正味便益は将来にわたって長期間発生し続けるので、投資決定の時点においてはそれをある割引率で割り引いて、その時点での価値（現価 present value）で表す必要がある¹。以下では、この正味便益の現価を正味現価（net present value）と略称し、NPV と略記

¹ 割引の根拠に関する代表的な2つの説は、時間選好説と資本の機会費用説である。前者は純粹時間選好—便益は遅くより早く生じて欲しいという望み、消費に関して言えば、将来の消費より現在の消費の方を選好する—という人間の基本的な願望に基づく。この願望は行動経済学や神経経済学などにおいては「現在バイアス（present bias）」と呼ばれ、さまざまなアノマリーな行動を導くとされるが、時間選好と現在バイアスという概念自体は非常によく似た意味を持っているように思われる。両者の異同については3.4.5で触れる。

他方、資本の機会費用説を大ざっぱに言うと：資本は経済全体から見ると稀少であるので、ある計画にある額を投資することは、その額を他の計画には投資できないことを意味する。したがって、特定の計画への投資を選択することは機会費用を含む。このことに注目すれば、割引目的のために資本の社会的機会費用を用いるということは非常に納得的であるとともに、公共部門の計画はそれが取って代わる計画と少なくとも同じくらい成功しなければならないということと同じである。

なお、本章の脚注はすべて筆者によるものである。

する。

さて、投資の便益が将来にわたって発生し続けるとき、将来事象には不確実性がつきものである。将来の便益にはその大きさや発生時期について不確実性が伴う。不確実性下の投資決定（より広くは意思決定）については、選好の逆転（**preference reversal**）、非対称なリスク認識、現在バイアスなどのさまざまなアノマリーが存在することが知られている。小文ではそれらのいくつかに触れるとともに、不確実性やアノマリーに対する CBA の対処法について述べ、不確実性が CBA に与える影響についてサーヴェイする。そのために 2 節では不確実性下の意思決定論を概観し、3 節では CBA がアノマリーに対して耐性的か否か検討し、4 節では不確実性が割引率に与える影響について論じ、5 節では CBA において不確実性に対処する方法である感度分析について概観し、6 節では（環境上の）不確実性を無視する迅速評価（**rapid appraisal**）CBA について紹介し、7 節で結論を述べる。

3.2 期待効用理論

3.2.1 期待効用の導出

不確実性下の意思決定基準について最もソフィスティケートされたものは、フォン・ノイマン＝モルゲンシュテルンによって提起された期待効用基準である。それは大抵の人が当然成立すると考える仮定（すなわち公理）から導かれる（公理的アプローチ）。すなわち、いくつかの投資代替案の中から最適な代替案を選択する意思決定問題において各代替案を、それぞれの利得が賞金であり、各賞金の当たる確率が利得に対応する自然の状態の生起確率であるくじ（**lottery**）と見なし、そのくじの間の選好に関して公理をおいて導く。ここに、代替案をくじと見なすということは次のようなことである：現在時点でそれを採用したとき、将来時点で確率 p_j を持つ j 番目の事象が生起すれば利得 c_j が得られる代替案があるとしよう。この代替案を、確率 p_j を持つ j 番目の事象が生起すれば賞金 c_j が得られるくじと見なすということである。

くじの数を m 、生起しうる事象の数、したがって賞の数を n としよう。また、賞金 $c_1, c_2, \dots, c_n$ がそれぞれ確率 $p_1, p_2, \dots, p_n$ ($p_i \geq 0, \sum p_i = 1$) で当たるくじを、 $[c_1, c_2, \dots, c_n; p_1, p_2, \dots, p_n]$ という記号を用いて表すことにしよう。さらに、任意の選択対象（利得だけではなく、上述のくじも含む） l, l' が与えられたとき、 l が l' より選好されることを $l \succ l'$ 、 l と l' が無差別であることを $l \sim l'$ 、 l が l' より選好されるか、 l と l' が無差別であることを $l \succeq l'$ と表すことにしよう。

期待効用基準を導く公理系を、一般的と思われるバージョンで述べると次のようになる。
公理 1（完備性）：任意の選択対象 l, l' に対して、 $l \succeq l'$ 、 $l' \succeq l$ の少なくとも一方が成り立つ。

公理 2 (推移性) : 任意の選択対象 l, l', l'' について、 $l \succeq l'$ かつ $l' \succeq l''$ ならば、 $l \succeq l''$ である。

公理 3 (連続性) : 任意の選択対象 l, l', l'' について、 $l \succeq l' \succeq l''$ ならば、

$$l' \sim \lambda l + (1 - \lambda)l''$$

となる $\lambda(0 < \lambda \leq 1)$ が存在する。

公理 4 (独立性) : 任意の選択対象 l, l', l'' と実数 $\lambda(0 < \lambda \leq 1)$ に対して、同値関係

$$l \succeq l' \Leftrightarrow \lambda l + (1 - \lambda)l'' \succeq \lambda l' + (1 - \lambda)l''$$

が成り立つ。

公理 1 ~ 4 より、次の定理が得られる。

定理 : 任意の 2 つの代替案 a と a' をそれぞれくじ $l = [c_1, c_2, \dots, c_n; p_1, p_2, \dots, p_n]$ と $l' = [c_1, c_2, \dots, c_n; p'_1, p'_2, \dots, p'_n]$ とみなし、 $U(a) = \sum_j p_j \pi(c_j)$, $U(a') = \sum_j p'_j \pi(c_j)$ とすれば、公理 1 ~ 4 の下で、代替案 a, a' と、それぞれに対応するくじ l, l' との間に、同値関係

$$l \succeq l' \Leftrightarrow U(a) \geq U(a')$$

が成り立つ。ここに $\pi(c_j)$ は次を満たす：公理 1 より、賞金 $c_1, c_2, \dots, c_n$ の間の選好も完備であるから、これらを好ましさの順に序列をつけることができる。そこで最も好ましいものを c^* 、最も好ましくないものを c_* と書くことにすると、公理 3 よりそれぞれの c_j に対して、

$$c_j \sim [c^*, c_*; \pi(c_j), 1 - \pi(c_j)]$$

となる確率 $\pi(c_j)$ が存在する。

さて、任意の選択対象の選好関係をその大小関係で表す実数値関数は効用関数である。したがって $U(a)$ や $U(a')$ は上の代替案、したがってくじの間の選好関係を表す効用関数である。特に、確実に c_j が得られるくじ $[c_j; 1]$ に対する効用関数 $U(c_j)$ は、 $U(c_j) = 1 \times \pi(c_j) = \pi(c_j)$ であるので、確率である $\pi(c_j)$ 自体が確実な c_j に対する効用を表している効用関数と見ることができる。このとき、 $U(a)$ や $U(a')$ は効用の期待値を表していることになるので、期待効用と呼ばれる。したがって上の定理は期待効用を最大にする代替案を選択することが最も好ましいことを意味している。効用関数 $\pi(c_j)$ は元来確率であるので、 $0 \leq \pi(c_j) \leq 1$ であり、期待値計算が可能であるので、基数的効用関数である。このような効用関数はノイマン・モルゲンシュテルン型効用関数と呼ばれる。以下ではこの効用関数を $\pi(\cdot)$ ではなく、経済学において一般的な $u(\cdot)$ で表そう。

3.2.2 危険に対する態度

ここで、下の議論に関連するいくつかの概念を説明しておこう。

将来起こりうる状態は状態 1 と状態 2 の 2 つであり、状態 1 (2) が起これば、所得 $c_1(c_2)$ が確率 $p_1(p_2)$ で得られるとしよう ($p_1, p_2 \geq 0, p_1 + p_2 = 1$)。このとき、期待所得は $c_e = p_1c_1 + p_2c_2$ であり、期待効用は

$$U_r = p_1u(c_1) + p_2u(c_2)$$

である。この期待所得と同じ大きさの所得 c_e が、将来状態 1 が起こっても状態 2 が起こっても得られるとしよう。このときの期待効用は

$$U_e = p_1u(c_e) + p_2u(c_e) = u(c_e)$$

である。

ここで、効用関数 $u(\cdot)$ が図 3.1(a) のように上に凸の関数 (凸関数) であるとする、 $u'' < 0$ であり、図から明かのように、 $U_r < U_e$ である。このことは、期待値が同じ所得であっても、不確実性の下にある所得より、確実に得られる所得の方が好ましいことを意味する。この意味で、凸関数の効用関数を持つ主体は危険回避者 (risk averter) と呼ばれる。なお、 $u'' < 0$ は所得の限界効用逓減を意味する。

図 3.1(a) において確実な所得 c^* は、不確実な所得 c_1 と c_2 の期待効用と同じ大きさの効用を与えている。すなわち

$$u(c^*) = p_1u(c_1) + p_2u(c_2)$$

であるので、 c^* は不確実な所得 c_1 と c_2 の確実性等価 (certainty equivalent) と呼ばれる。この確実性等価と c_1 と c_2 の期待値 c_e の差はリスクプレミアムと呼ばれる。すなわち、リスクプレミアムを π によって表せば、 $\pi = c_e - c^*$ である。 π がそう呼ばれるのはそれが、危険回避者が確実な所得より不確実な所得を選好する際の後者の持つプレミアムを表しているからである。

さて、危険回避者の効用関数に関して、 u' がほぼ一定、したがって $u'' \approx 0$ 、したがって、 $-u''/u' \approx 0$ ならば、この危険回避者は下に述べる危険中立者に近い。したがって、危険を取することをほとんど厭わないので、危険回避の度合い (危険回避度) は小さいと思われる。他方、 $u(c) \approx 1$ ($c_* < c \leq c^*$) である (したがって $u' \approx 0$ 、したがって $-u''/u'$ は非常に大きい) とき、この危険回避者は危険を取することはほとんどしないので、危険回避度は大きいと思われる。以上のことより、 $-u''/u'$ の大きさは危険回避者の危険回避度を示すと思われる。また、経済主体の資産額から独立の絶対額の変動で示される危険 (例えば、 c の絶対額が c' に減少する危険) と、資産額の一定割合での変動で示される危険 (例えば、 c がある割合 q だけ減少し

て $(1-q)c$ になる危険)が区別される。前者は絶対的危険と呼ばれ、それに対応する危険回避度が $-u''/u'$ によって表される絶対的危険回避度である。後者は相対的危険と呼ばれ、それに対応する危険回避度が $-cu''/u'$ によって表される相対的危険回避度である。所得が増大したとき、絶対的危険回避度は下降し、相対的危険回避度は上昇する傾向があることが知られている。また、上の議論から次の定理が得られる。

定理 (Pratt (1964) の定理 1 の一部) : $R_i(x)$ と $\pi_i(x, \bar{c})$ をそれぞれ、効用関数 $u_i(x + \bar{c})$ に対応する絶対的危険回避度およびリスクプレミアムとする。ここに、 x は初期資産、 $\bar{c}$ は所得(確率変数)である。このとき、次の(a)と(b)は同値である。

- (a) すべての x に対して、 $R_1(x) \geq R_2(x)$
- (b) すべての x と $\bar{c}$ に対して、 $\pi_1(x, \bar{c}) \geq \pi_2(x, \bar{c})$

なお、相対的危険回避度は

$$-c \frac{u''}{u'} = -\frac{d \log u'}{d \log c}$$

であるので、限界効用の消費弾力性に等しい。

さて、 $u(\cdot)$ が図 3.1(b)のように下に凸の関数(凹関数)であるとする、 $u'' > 0$ であり、図から明かのように、 $U_r > U_e$ である。このことは、期待値が同じ所得であっても、不確実性の下にある所得の方が確実に得られる所得より好ましいことを意味する。この意味で、凹関数の効用関数を持つ主体は危険愛好者(risk lover)と呼ばれる。なお、 $u'' > 0$ は所得の限界効用逓増を意味する。また、 $u(\cdot)$ が直線である場合は、 $u'' = 0$ であり、 $U_r = U_e$ となる。この効

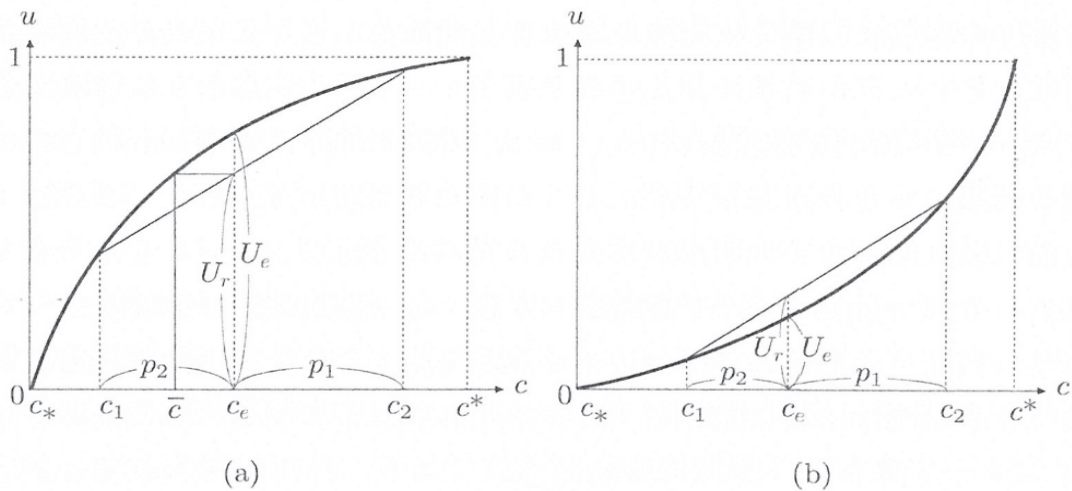


図 3.1 危険回避者(a)と危険愛好者(b)

(出所：拙著 (2021a) 図 8.4)

用関数を持つ主体は危険に関して無関心であり、危険中立者（risk neutral）と呼ばれる。

3.2.3 アレの逆説

期待効用理論においてもっとも有名なアノマリーの一つはアレの逆説（Allais's paradox）であろう。それは次のような2つの実験から得られた逆説である。

実験1：次の2つのくじのどちらかを選ぶ。

l_1 : [10; 1.00]（確実に10億フランもらえる）

l_2 : [50, 10, 0; 0.10, 0.89, 0.01]

実験2：次の2つのくじのどちらかを選ぶ。

l_3 : [10, 0; 0.11, 0.89]

l_4 : [50, 0; 0.10, 0.90]

実験の結果は多くの被験者が実験1では l_1 を、実験2では l_4 を選んだというものであった。

この多くの人々の選択結果を期待効用によって表すと、実験1については

$$u(10) > 0.1 u(50) + 0.89u(10) + 0.01u(0) \quad (1)$$

整理すると、

$$0.11u(10) > 0.1 u(50) \quad (2)$$

同様にして、実験2については

$$0.11u(10) < 0.1 u(50) \quad (3)$$

式(2)と(3)は矛盾するので、期待効用理論は上記の実験における多くの人々の選択行動を説明できないことになる。これがアレの逆説である。

アレの逆説は期待効用理論の前提の独立性公理が侵されているために発生する。何故なら：実験1の l_1 は、[10, 10, 10; 0.10, 0.89, 0.01]と分解できるので、 l_1 と l_2 は0.89の確率で5（億フラン）得られるという点が共通している。ここで、10/11の確率で5億フランを、1/11の確率で何も得られないくじを l' とすると、

$$l_1 = 0.11l_1 + 0.89l_1, \quad l_2 = 0.11l' + 0.89l_1$$

と表せる。したがって、独立性公理から、

$$l_1 > l' \Leftrightarrow l_1 > l_2 \quad (4)$$

となる。他方、実験2における l_3 と l_4 は0.89の確率で何も得られないという点が共通してい

る。ここで、1.00 の確率で何も得られないくじを l'' とすると、

$$l_3 = 0.11l_1 + 0.89l'', \quad l_4 = 0.11l' + 0.89l''$$

と表せる。したがって、独立性公理から、

$$l_1 < l' \Leftrightarrow l_3 < l_4 \quad (5)$$

となる。独立性公理を前提とする式(4)と(5)の l_1 と l' の選好関係は矛盾するので、アレの逆説は独立性公理が侵されていることによることが分かる。

3.2.4 プロスペクト理論

アレの逆説に代表される期待効用理論批判を克服するために様々な工夫がなされ、期待効用理論の一般化が試みられた。そのような一般化の試みの一つに、Kahneman & Tversky (1979) (以下、KT と略記する) において提唱されたプロスペクト理論がある。

プロスペクト理論は人々が不確実性下で意思決定する際の次のような心理現象に注目した理論である。

- ① 人は得をするよりも、損をする方に敏感に反応する。
- ② 人は得られる利益は確実に得たいが、確実な損失は避けたがる。
- ③ 損をしている場面だと、リスクのある行動をとりやすくなる。
- ④ 人の喜びや悲しみは、参照点に依存する。
- ⑤ 人の喜び・悲しみは長くは続かない。
- ⑥ 人は確率を正しく認識していない。

KT は如上の心理現象を確率加重関数 (probability weighting function) と価値関数 (value function) とを用いて定式化する。確率加重関数は (客観) 確率 p とその評価値 $S(p)$ の関係を表すもので、図 3.2(a)のように小さい確率に対しては凹関数、ある限度を超えた大きい確率に対しては凸関数である。これは小さい確率は過大評価し、大きい確率は過小評価することを示し、上記の①を反映している。価値関数は利得 x とその主観的価値 $V(x)$ の関係を表すもので、図 3.2(b)のように正 (一般的には参照点以上) の利得に対しては凹関数、負 (一般的には参照点以下) の利得に対しては凸関数である²。これは上記の①と④を反映している。なお、

² KT はくじ[150, 50; 0.25, 0.75]と確実なくじのどちらが望ましいかの実験を行い、その結果より、価値関数を

$$V(x) = \begin{cases} x^\alpha & (x \geq 0) \\ -\lambda(-x)^\beta & (x < 0) \end{cases}$$

確率加重関数を

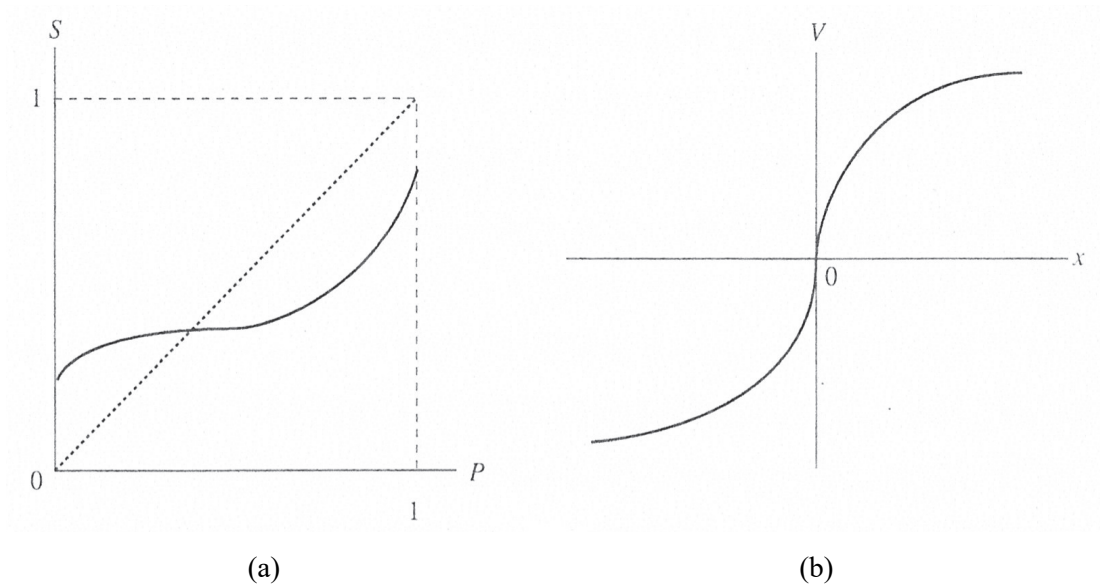


図 3.2 確率加重関数(a)と価値関数(b)

(出所：依田（1997）図 2-7a、b)

一般に

$$S(p) + S(1 - p) < 1 \quad (6)$$

であることが証明されている。

さて、実験 1 の結果を価値関数と確率加重関数を用いて表してみよう。そのためには式(1)において、 $u(\cdot) \rightarrow V(\cdot)$, $0.1 \rightarrow S(0.1)$, $0.89 \rightarrow S(0.89)$, $0.01 \rightarrow S(0.01)$ と換えればよいから、

$$V(10) > S(0.1)V(50) + S(0.89)V(10) + S(0.01)V(0)$$

整理すると、

$$(1 - S(0.89))V(10) > S(0.1)V(50) \quad (7)$$

同様にして、実験 2 については

$$S(0.11)V(10) < S(0.1)V(50) \quad (8)$$

$$w^+(p) = \frac{p^\gamma}{\{p^\gamma + (1-p)^\gamma\}^{\frac{1}{\gamma}}}, \quad w^-(p) = \frac{p^\delta}{\{p^\delta + (1-p)^\delta\}^{\frac{1}{\delta}}}$$

$$\alpha = \beta = 0.88, \lambda = 2.25, \gamma = 0.61, \delta = 0.69$$

と推定した。

である。ここで式 (6) を考慮すると、式 (7) と (8) は矛盾しないので、アレの逆説は克服されたことになる。

3.3 CBA とアノマリー

本節では CBA がアノマリー感受的（アノマリーに陥りやすい、anomaly-susceptible）か、アノマリー耐性的（anomaly-proof）かのどちらであるか検討した Hanley & Shogren (2005) の議論を抄訳によって紹介しよう。なお、[...] は筆者が補った部分である。

3.3.1 概要

このペーパーでは CBA がアノマリー感受的か、アノマリー耐性的のどちらであるか検討する。そのために、4つの問題に取り組む。それらはどのアノマリーあるいは問題が CBA にとって最も厄介と思われるか？ 分析家はこれらの問題に取り組むのにいかなる対処戦略をとるか？ これらの適応戦略は新しい問題を生むか？ そして最後に、これらの戦略を採ることによって CBA の結果は無効になる、あるいはその勧告の力強さは減るか？ 我々が考えるアノマリーは、(i) 価値測度の支払意思額と受入補償額との観察された相違、(ii) 情報の限界が所与の場合の評価、選好の不確実性、選好の構築、(iii) 仮説上の市場の偏り、(iv) リスクの認識、(v) リスクと選好の逆転である。… [上記のアノマリー中で不確実性に関連するのは (iv) と (v) であるので、以下ではそれらについて抄訳する。]

3.3.2 リスクの認識

… CBA に関連する一つの古典的なアノマリーは、環境と健康のリスクについての人々の主観的評価が客観的・科学的評価と異なるという傾向である。この傾向は CBA にとって問題である。何故なら、リスクに対する公共的認識およびリスクを減らす支払意思額は、社会的に客観的な選好よりむしろ社会的に構成される主観的な選好によって動かされるからである。…科学知識への信頼の一般的な下落および科学者への信用の低下もまたリスクの「客観的な」な評価への態度に影響しうる。

この認識のギャップは一部には、大抵の高度に深刻な環境リスクが曖昧で低確率の事象である故に生じる。基準の合理的期待効用モデルとは対照的に、エヴィデンスは人々が低確率のリスクに対しては2つの流儀—リスクを完全に無視するか、過剰に行動するか—で反応す

ることを示唆する³。結果が潜在的に非常に悪いものであるとき、経験はそのような低確率リスクについてどのように考えるかについてほとんど教えない（Cammer & Kunreuther、1989 参照）。カタストロフィに直面する確率⁴が低い人々は、いやな事象が実際に起こる見込みの判断に役立つ情報を探索する。その外部情報源が何らかの確率の概念を教えることなく、深刻さを強調するならば、人々はリスクの認識を上方に偏らせる。政策策定者でさえこの傾向を免れない。リスクに直面する人々は保守的で心配性になる傾向がある。彼らは「最悪に対して計画を立てるとともに最善を期待して」、代替的な選択肢の費用と便益を比較するよりむしろ、最悪のケース回避の政策に過剰投資する（Sunstein、2002 参照）。

かくして、リスクに対する非期待効用行動の一つの説明は、人々は期待効用が要請しているように確率（odds）と結果を同時に考えることはないということである。むしろ人々は2つの要素を分離し、最も魅力のある要素—確かな確率あるいは大きな賞のいずれか—に基づいて意思決定するようである（Machina, 1987）。人々は選択を簡単化するためにこの発見的手法を用いるのである。人々は確率（probability）と結果を分離し、次にまずある一つの要因に集中的に注目し、次いで他の要因に注目する。…

リスクの主観的認識が、環境政策に応用される CBA に対して引き起こす問題は次のようになる。実際の立法、監視および強制はリスクの科学的手段に基づく。例えば、海水浴場の糞便性大腸菌の上限を設定する際は、大腸菌の数と海水浴の後に病気にかかるリスクとの用量反応関係（dose-response relationship）に基づく。しかし、分析家がそのような基準を引き上げる利点を推定しようとするとき、彼らが測定するものは人々の心にある新しい基準の主観的リスク、これらは全く異なったものになろうが、に基づく便益である。かくして人々と規制者/管理者/科学者との間に共通のリスク通貨（common risk currency）は存在しないのである。…

3.3.3 リスクと選好の逆転

経済学者はあらゆる種類の経済学のツールを環境リスクに適用することは合理的行動を

³ 行動経済学では将来事象に対するアノマリーの例として、当たらないリスクは非常に大きいにもかかわらず、それを無視して宝くじを買うこと、事故や災害にあうリスクは非常に小さいにもかかわらず、そのようなリスクに過剰に反応して高額な保険に入ることがしばしば挙げられる。前者はリスクを無視する例、後者はリスクに過剰に反応する例と言える。

⁴ 元の英語は odds。odds をこのように訳出したのは次の理由からである：次のパラグラフに、‘people do not think about odds and consequences simultaneously as expected utility requires’ という文章がある。上述のように、期待効用はある事象が起こったときに得られる効用とその事象が生起する確率の積和として求められる。すなわち、期待効用は確率と結果を同時に考えることを要求する。また、They separate provability and consequences ... という文章もある。したがって、odds と provability は同義として使われていると思われるので、odds を確率と訳出することにした。なお、odds を可能性と訳出した箇所もある。

前提にすることを認識している (Knetsch, 1997)。しかし、何らかの実証的作業において生じる重要なアノマリーは選好の逆転である。選好の逆転は、2つの束の順位付けが、人々が厳密な選好に基づいて行うか、価値に基づいて行うかによって異なるときに起きる (Lichtenstein & Slovic, 1971, Sugden, 1999)。そのような逆転はくじ、代替的利得の束、および確率をめぐる選択の文脈で見られる。

そのような選好の逆転は CBA と環境政策にとって十分に問題になりうる。もし研究者が人々にリスク削減のオプションの支払意思を尋ね、人々が根底にある選好に矛盾する価値を表明するならば、顕示される情報はほとんど役立たない。表明価値は、さまざまな政策の相対的純便益を判断するための根底にある選好に合致すべきである。しかし、もし価値が政策とともに変化するような文脈特長的 (context specific) であるならば、CBA を用いて2つのリスク削減政策を比較することはできない。何故なら、それはリンゴとオレンジを比較しているからである。⁵

3.3.4 タイトルの質問に対する回答

CBA 技術はたとえアノマリーが存在しても、有用な情報を提供しうるか、そしてもしそうならば、その情報は何で、なぜ有用なのか？ このペーパーのタイトルで提出された質問に対する短い回答は「イエス、それは可能である」である。…長い回答はより複雑である。我々は合理的選択が、良いおよび悪い環境政策が何であるかについての大抵の経済学者のアドバイスを下支えすることを知っている。そして、必ずしもあらゆる者がこの見方に同意せず、環境政策を導く合理的行動の前提は、モデルを遠くへ広げ過ぎると議論することを知っている。…我々の再検討は環境政策を制限するあるいは促進するのに役立つ CBA に適用される行動経済学の状態はより厄介である。人々は不合理性に費用がかからないとき、不合理な選択をする。しかし、不合理な行動に価格がつくとき、証拠は人々が合理的な行動を学ぶうことを示唆する。…このことは何らかの観察された行動を除外する公理的合理性の過度に厳密な定義か、あるいはほとんど何も除外しない行動の過度に大まかな見方のどちらかを前提にするよりも、環境政策を下支えする内部的かつ制度依存的な推進力を定義するモデルの種類の探索を続けるべきである。課題は実際に起こることをとらえるのが少なすぎる薄すぎるモデルと、実際に起こらないことを予測するのが多すぎる太りすぎのモデルとの妥協点に向かう歩みを保つことである。対処戦略は生まれ続け、生き残るものもあれば、生き残らないものもあるであろう。そのような作業は対処戦略の必要性和限界をさらに洗練でき、一事前

⁵ ‘compare apples and oranges’ の意味は、Cambridge Dictionary によると、‘used to say that two things are completely different and it is not sensible to compare them’ (2つのものは完全に異なり、比較するのは賢明ではない、と言うために用いられる)、である。

的にあるいは事後的に一決定を今日する必要がある政策策定者にとって CBA をずっと価値あるものにする。

3.4 不確実性と割引率

気候変動対策や原子力計画などの影響は遠い将来にまで及ぶ。このような対策あるいは計画に対する CBA において固定的割引率を採用することは、遠い将来における影響を無視することになるので不適切とされ、イギリス、フランス、ノルウェー、デンマークなど、少なからぬ国において逓減的割引率（decreasing discount rate、DDR）の利用が推奨されている⁶。本節では先ず、将来の不確実性を無視した確実性下での割引率の決定について論じた F. P. ラムゼイの最適貯蓄論について述べ、次いで将来の不確実性が DDR を導くことを証明した M. ワイツマンなどの議論を紹介し、最後に人間行動のアノマリーと双曲割引（hyperbolic discounting）と呼ばれる DDR について触れる。

3.4.1 ラムゼイの最適貯蓄論

Ramsey (1928) は効用が消費のみに依存する単純な効用関数を用いて、社会的に最適な社会的割引率が内生的に決定されることを示した。彼のモデルにおいては、社会的厚生は代表的個人の効用の異時点間の和によって表される。社会的厚生は無限の時間視野にわたって最大化され、純粋時間選好率 ρ によって割り引かれる。時間は連続的に変化し、異時点間厚生は時間的に分離可能と仮定すると、代表的個人の目的関数は

$$U(c(t)) = \int_0^{\infty} u(c(t)) \exp(-\rho t) dt \quad (9)$$

によって表される。ここに、 $c(t)$ は t 時点の消費を、 $u(\cdot)$ は効用関数を表す。 $u(\cdot)$ は時間不変であり、 $u'(\cdot) > 0$ 、 $u''(\cdot) \leq 0$ である。 t 時点の生産要素は資本 $k(t)$ のみであり、それは消費 $c(t)$ と投資 $\dot{k}(t)$ に充てられ得るアウトプット $f(k(t))$ を産出する。すなわち

$$\dot{k}(t) = f(k(t)) - c(t) \quad (10)$$

である。式(9)を式(10)に従って最大化することによって、次のオイラー方程式が得られる：

$$u'(c(t))f'(k(t)) + u''(c(t))\dot{c}(t) - \rho u'(c(t)) = 0$$

⁶ イギリスのDDRについてはHM(2003)を参照せよ。DDR 一般に関しては拙著(2014, 2015, 2017, 2021a)を参照せよ。

完全競争の下では、上式は次のラムゼイ・ルールを意味する：

$$r = \rho + \theta g = \delta$$

ここに $r = f'(k(t))$ は資本の社会的限界生産性であり、異時点間の投資の限界代替率を表す。 $g = \dot{c}(t)/c(t)$ は消費の変化率、 $\theta = -c(t)u''(c(t))/u'(c(t))$ は 3.2.2 で述べたように、相対的危険回避度を表し、それは消費の限界効用の弾力性に等しい。また、それは異時点間の代替の弾力性および異時点間の消費の平滑化に対する選好に関連するが、その説明は省略する。なお、 δ は消費利子率である。⁷ これを CBA における割引率として用いるとき、時間の経過とともに消費の変化率は下落するとすれば、割引率は逓減する。すなわち DDR となる。事実、Newell & Pizer (2005) は時系列シミュレーションによって DDR を実証した。

3.4.2 割引率の不確実性に基づくDDR

計画あるいは政策の将来の費用と便益のフローのみならず、割引率自体、あるいは割引率の決定に影響を与えると考えられる時間選好率、市場利子率、経済成長率などの諸要因の将来の大きさも不確実である。M. ワイツマンは利子率の不確実性が DDR を導くことを、C. ゴーリエ (Gollier, 2001, 2002, 2004) は成長の不確実性が DDR を導くことを示した。

DDR の議論に先鞭をつけたのはワイツマンである。彼は確実性等価割引率 (certainty equivalent discount rate, CEDR) をという概念を導入し、この割引率が $t \rightarrow \infty$ のときの極限の最小可能な値に向かって逓減することを証明した。

いま 2 つの代替案、すなわち、(1) 確実な年利益率のプロジェクトに 1 ポンド投資し、時点 $t = T$ で確実な利得 Z ポンドを生む、(2) 利益率が不確実な $\tilde{r}$ である資本市場に 1 ポンド投資し、時点 $t = T$ で $\tilde{r}T$ ポンドの利得を生む、があるとする。なお、 $\tilde{r}$ のサポートは $[-1, +\infty[$ にある。また、代替案 (2) は代替案 (1) の機会費用を表すとする、代替案 (1) の期待正味現価 (expected net present value, ENPV) は、

$$ENPV = ZE[\exp(-\tilde{r}T)] - 1$$

である。上式における不確実な利益率 (割引率) と同じ結果を生む (平均) CEDR を r^{PV} とし、それを $T = t$ として一般的に表すと

⁷ ラムゼイ・ルールについては本文で述べた定義の他に、その第 1 式 ($r = \rho + \theta g$) のみとするものもある。これによって定められる社会的割引率は最適貯蓄論に基づいているので、規範的なそれである。他方、本文の定義によって定められる社会的割引率は市場の動きを反映している、記述的なそれである。なお、消費利子率 δ に生産面に対応する概念は資本利子率 (資本の限界生産性、資本の機会費用) である。

$$\exp(-r^{PV}t) = E[\exp(-\tilde{r}t)] \Rightarrow r^{PV} = -\frac{1}{t} \ln[E[\exp(-\tilde{r}t)]] \quad (11)$$

である。

r^{PV} は時間にわたって減少し、 $t \rightarrow \infty$ のとき、 $\tilde{r}$ の最低の可能な値に収束することの証明はいくつかあるが、ここでは阪本（2014）の証明を紹介しよう。その証明はPratt（1964）の定理を利用するが、論理展開がやや飛躍している箇所があると思われるので、ここで丁寧に説明しよう。

式（11）において、 r^{PV} は t の関数であるので、 $r^{PV} = r^{PV}(t)$ と書くことにする。ここで凸関数

$$u_1(c) = \exp(tc) \quad (12)$$

を効用関数とする個人1を考える。このとき、 $c = -r^{PV}(t)$ とすると、

$$u_1(-r^{PV}(t)) = \exp(-tr^{PV}(t)) = E[\exp(-\tilde{r}t)] = E[u_1(-\tilde{r})]$$

であるので、 $-r^{PV}(t)$ は効用関数 u_1 を持つ個人1が不確実な消費 $-\tilde{r}$ に直面したときの確実性等価であると見なせる。次に

$$u_2(c) = \exp((t+1)c) \quad (13)$$

を効用関数とする個人2を考える。個人1の場合と同様に、

$$u_2(-r^{PV}(t+1)) = E[u_2(-\tilde{r})]$$

であるので、 $-r^{PV}(t+1)$ は効用関数 u_2 を持つ個人2が不確実な消費 $-\tilde{r}$ に直面したときの確実性等価である。

ここで、効用関数が式(12)であるときの絶対的危険回避度を $R_1(c)$ としよう。

$$u'_1(c) = t \exp(tc), \quad u'_2(c) = t^2 \exp(tc) + \exp(tc)$$

であるので、

$$R_1(c) = -\frac{u''_1(c)}{u'_1(c)} = -\left(t + \frac{1}{t}\right)$$

である。同様にして、効用関数が式(13)であるときの絶対的危険回避度を $R_2(c)$ とすると、

$$R_2(c) = -\frac{u''_2(c)}{u'_2(c)} = -\left(t + 1 + \frac{1}{t+1}\right)$$

である。したがって、任意の $t \geq 1$ に対して

$$R_1(c) - R_2(c) = -\left(t + \frac{1}{t}\right) + \left(t + 1 + \frac{1}{t+1}\right) = \frac{t^2 + t - 1}{t(t+1)} > 0$$

すなわち、任意の $t \geq 1$ に対して

$$R_1(c) > R_2(c) \quad (14)$$

が成り立つ。

さて、個人 i が持つ効用関数 $u_i(c)$ と不確実な消費 $-\tilde{r}$ 、その確実性等価 $-r^{PV}(t)$ に対して、リスクプレミアム $\pi_i(-\tilde{r})$ が

$$u_i(E[-\tilde{r}] - \pi_i(-\tilde{r})) = E[u_i(-\tilde{r})] = u_i(-r^{PV}(t))$$

を満たす $\pi_i(-\tilde{r})$ と定義される。このとき、Pratt(1964)の定理 1 より、式(14)と

$$\pi_1(-\tilde{r}) > \pi_2(-\tilde{r}) \quad (15)$$

は同値である。また、個人 1 の不確実な消費の期待値 $E[-\tilde{r}]$ 、リスクプレミアム $\pi_1(-\tilde{r})$ 、確実性等価 $-r^{PV}(t)$ の間には

$$E[-\tilde{r}] - \pi_1(-\tilde{r}) = -r^{PV}(t) \quad (16)$$

の関係があり、個人 2 の不確実な消費の期待値 $E[-\tilde{r}]$ 、リスクプレミアム $\pi_2(-\tilde{r})$ 、確実性等価 $-r^{PV}(t+1)$ の間には

$$E[-\tilde{r}] - \pi_2(-\tilde{r}) = -r^{PV}(t+1) \quad (17)$$

の関係があるので、式(15)は

$$-r^{PV}(t) < -r^{PV}(t+1) \quad (18)$$

を意味する。したがって

$$r^{PV}(t) > r^{PV}(t+1) \quad (19)$$

であるので、 r^{PV} は時間にわたって減少する。 $\square$

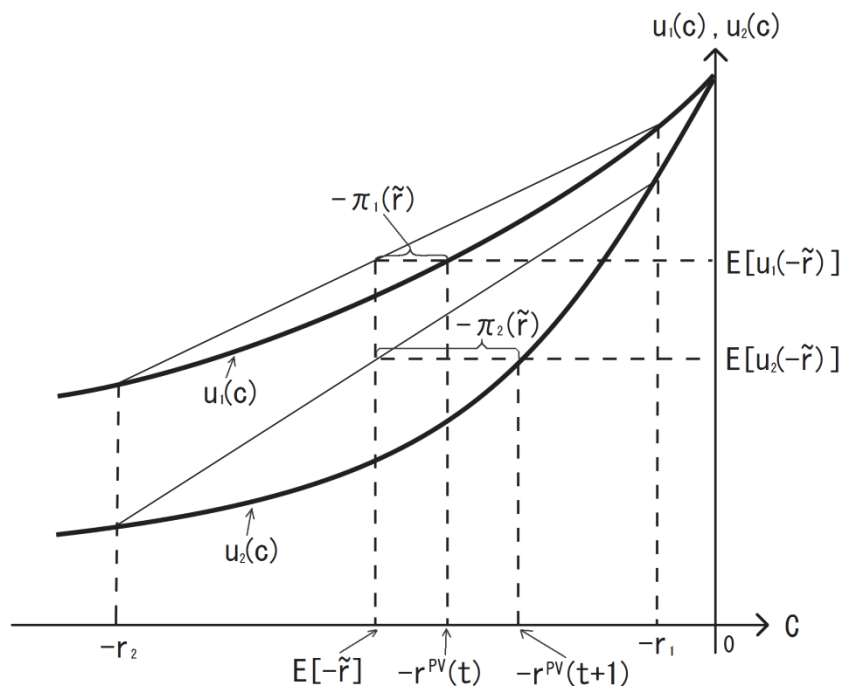


図 3.3 CEDR 通減 (出所：筆者作成)

さて、上記の CEDR 通減の証明においては、効用関数は凸関数で、消費は負である。このことを考慮して、個人 1 の不確実な消費の期待値 $E[-\tilde{r}]$ 、リスクプレミアム $\pi_1(-\tilde{r})$ 、確実性等価 $-r^{PV}(t)$ 、個人 2 の不確実な消費の期待値 $E[-\tilde{r}]$ 、リスクプレミアム $\pi_2(-\tilde{r})$ 、確実性等価 $-r^{PV}(t+1)$ の関係を図示すると、図 3.3 のようになる（図の r_1 と r_2 は不確実な消費の 2 つの結果。これらは両個人に共通であるので、その期待値 $E[-\tilde{r}]$ も共通である）。

3.4.3 ガンマ割引

さらにワイツマンは専門的 Ph.D. レベルの経済学者に対して、専門的に考えた直観をもって応えてもらう、次のようなアンケート調査を行い、2,000 を超える回答に基づいて DDR を導出した：全ての関連する事柄を考慮に入れて、地球的気候変動のあり得る影響を軽減するために提案されている計画の（期待）便益と（期待）費用を時間にわたって割り引くのに用いられるべきと考える実質利子率は何か？（Weitzman, 2001）

彼が受け取った全ての回答の相対的度数分布のヒストグラムは、直観的にガンマ分布と十分類似していると考えられた⁸。そして、彼は時点 t の 1 ドルの現時点における期待値 $A(t)$ は、

⁸ ガンマ分布は 2 つの母数 $k(> 0)$ と $\lambda(> 0)$ （正の実数）によって定まり、その確率密度関数は

$$f(x; k, \lambda) = \frac{\lambda^k x^{k-1}}{\Gamma(k)} e^{-\lambda x} \quad (n1)$$

各時点で確率平均されるべきものは割引率ではなく割引関数であるとして、すなわちその 1 ドルを割り引く率の「正しさの確率」あるいは「現実性の確率」によって加重された、時点 t の 1 ドルの期待現在割引価値であるとして、いくつかの仮定の下で、 $A(t)$ を、

$$A(t) = \frac{1}{(1 + t\sigma^2/\mu)(\mu/\sigma)^2} \quad (20)$$

と求める。ここに、 μ と σ はそれぞれガンマ分布の平均値と分散である。関数 $A(t)$ は時点 t の実効割引関数 (effective discount function) と呼ばれる。

割引関数が方程式(20)である割引は、ガンマ分布に基づく割引であるので、ガンマ割引と呼ぶことができる。なお、(後述する) 割引率が時間を通じて一定の指数割引 (exponential discounting) は、任意の時間間隔において利子支払いが複利計算される、すなわち利子が元金に転化する (convert) 離散的期間数 (転化回数) N が非常に大きい、あるいは σ が非常に小さいガンマ割引の特殊ケースと見ることできる⁹。

さて、時刻 t の実効割引関数が方程式(20)であるとき、対応する実効 (瞬間) 割引率 $R(t)$ は

$$\dot{A}(t) = -\frac{\mu}{(1 + t\sigma^2/\mu)(\mu^2/\sigma^2 + 1)}$$

であるので、

$$R(t) \equiv -\frac{\dot{A}(t)}{A(t)} = \frac{\mu}{1 + t\sigma^2/\mu} \quad (21)$$

である。これより、 μ と σ の任意の一定の正の値に対して、実効割引率は $t = 0$ のときの μ から時間を通して単調に減少する。

上述のように、ワイツマンは利子率の不確実性から DDR を導いたのに対して、C. ゴーリエ (2001, 2002a,b, 2004) は成長の不確実性が DDR を導くことを示したが、ここではこれ以

て表される。ここに、 $\Gamma(k)$ は実部が正の複素数 k に対して定義されるガンマ関数

$$\Gamma(k) = \int_0^\infty x^{k-1} e^{-x} dx$$

である。また、ガンマ分布の平均値 $\mu = 1/\lambda$ 、分散 $\sigma^2 = 1/\lambda^2$ である。

⁹ μ が名目利子率を表し、 N が間隔 $[0, t]$ における等間隔の転化回数を表すとするならば、時点ゼロで預金された貨幣 1 単位は時点 t において $B(t) = (1 + \mu t/N)^N$ 単位に増殖する。 $N = (\mu/\sigma)^2$ とすると、 $A(t) = 1/B(t)$ であり、 $\lim_{N \rightarrow \infty} B(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} (1 + \mu t/N)^N = e^{\mu t}$ 、すなわち、 $\lim_{N \rightarrow \infty} A(t) = e^{-\mu t}$ であるので、指数割引は N が非常に大きい、あるいは σ が非常に小さいガンマ割引の特殊ケースと見ることもできる。

式(n1)において、 $k = 1$ とすると、同式は $f(x; \lambda) = \lambda e^{-\lambda x}$ となる。これは指数分布の確率密度関数であるので、一般的に、指数分布はガンマ分布の特殊ケースである。なお、オペレーションズ・リサーチの待ち行列理論における指数分布とガンマ分布については脚注 9 を参照せよ。

上立入らない。

3.4.4 双曲割引

式(21)は実効割引率 $R(t)$ が時刻 t の分数関数であることを示しているので、両者の関係をグラフで表すと双曲線となる。このことからガンマ割引は双曲割引 (hyperbolic discounting) と呼ばれる (ことがある)。しかし、双曲割引という言葉は行動経済学においてガンマ割引とは異なるニュアンスで使われており、人口に膾炙しているのはむしろこちらの方である。行動経済学では双曲割引は、現在バイアスあるいは時間的不整合性 (time inconsistency) という人間行動のアノマリーを生じさせる要因、ないしそのようなアノマリーを説明する概念として、G. エインズリーによって提唱されたとされる¹⁰。ここで現在バイアスや時間的不整合性について、次の2つの質問に対する回答を例に説明しよう。

質問1：次の2つの中のどちらかを選ぶか。

A：今、1万円もらう。

B：1週間後に1万100円もらう。

質問2：次の2つの中のどちらかを選ぶか。

C：1年後に1万円もらう。

D：1年と1週間後に1万100円もらう。

上記の質問を多くの人々にしたところ、質問1ではAを、質問2ではDを選んだ人が非常に多かったということである。この結果は現在バイアスあるいは時間的不整合性というアノマリーを示している。どちらの質問においても1週間後にもらえる金額の方が多いにもかかわらず、質問1でAを選ぶということは、すぐに1万円もらえるという目先の誘惑に負けた結果と考えられる。これが現在バイアスである。現在バイアスの例としては、今日からダイエットしようとしている人が目の前にあるケーキを見て、ダイエットは明日からにしようと考えを変えてそのケーキを食べてしまうこと、麻薬は将来健康を害することを知っていながら手を出してしまうことなどが挙げられている。

次に時間的不整合性について述べよう。質問1においてBを選ぶことは、週当たりの利子率を r とすると、現価で言えば

$$10,000 < \frac{10,100}{1+r} \quad (22)$$

を意味する。同様に (現時点において) 質問2においてDを選ぶことは、1年を52週として、

¹⁰ G. エインズリーは精神科医、心理学者、行動経済学者であり、ペンシルベニア州コーテスヴィル・ヴェテランズ・アフエアーズ・メディカル・センター主任精神科医およびテンプル大学医学部精神科臨床教授である。彼の主要著書の一つは Ainslie (2001)。

$$\frac{10,000}{(1+r)^{52}} < \frac{10,100}{(1+r)^{53}} \quad (23)$$

を意味する。式 (22) と (23) は同値であるので、現時点と将来時点との選択の間に矛盾はない。このことを両者の間には時間的整合性が存するという。

他方、質問 1 で A を選ぶことは

$$10,000 > \frac{10,100}{1+r}$$

を意味する。これは質問 2 において D を選ぶことを意味する式 (23) と矛盾するので、両者の間には時間的不整合性が存することになる。

また、時間的不整合性は次のような意味でも使われる：質問 1 と 2 においてそれぞれどちらを選択するかを選択基準は、もらえるタイミングと金額である。タイミングを基準にすれば質問 1 では A を、質問 2 では C を選ぶべきであり、金額を基準にすれば質問 1 では B を、質問 2 では D を選ぶべきである。しかし、質問 1 では A を、質問 2 では D を選んだということは、現時点の選択と将来時点の選択では選択基準が異なることを意味する。これも時間的不整合性である。

行動経済学では上記の選択行動がアノマリーではないことが次のように説明される。現時点より 1 週間後の金額を現時点に割り引く割引率（現時点における瞬間割引率）を r_0 、1 年後における瞬間割引率を r_1 としたとき、質問 1 では A を、質問 2 では D を選んだということは、

$$10,000 > \frac{10,100}{1+r_0} \quad (24)$$

および

$$10,000 < \frac{10,100}{1+r_1} \quad (25)$$

を意味する。式 (24) と (25) は、

$$r_0 > r_1 \quad (26)$$

のとき、かつそのときのみ両立する。式 (26) は瞬間割引率が時刻とともに減少することを意味する。すなわち DDR あるいは双曲割引である。

実効割引関数 (20) の一般形として

$$A(t) = \frac{1}{(1+k(1-q)t)^{1/(1-q)}} \quad (27)$$

を考えよう。上式において $q = 0$ とすると

$$A(t) = \frac{1}{1 + kt} \quad (28)$$

となり、そのグラフは双曲線である。上の割引関数は行動経済学でしばしば用いられ¹¹、対応する実効割引率 $R(t)$ は

$$\dot{A}(t) = -\frac{k}{(1 + kt)^2}$$

であるので、

$$R(t) = \frac{k}{1 + kt} \quad (29)$$

である。それは k の任意の一定の正の値に対して、 $t = 0$ のときの k から時間を通して単調に減少する。すなわち DDR である。

なお、式 (27) において、 $q \rightarrow 1$ の極限をとると

$$A(t) = e^{-kt} \quad (30)$$

となる（証明は略）。上式は指数関数であるので、割引関数が上式で表される割引は指数割引（exponential discounting）と呼ばれる。 $\dot{A}(t) = -ke^{-kt}$ であるので、対応する実効割引率 $R(t)$ は $R(t) = k$ と一定である。

Laibson (1997) は離散時間 $t = 0, 1, 2, 3 \dots$ に対して、現時点から直近の 1 期後から現時点への、すなわち、 $t = 1 \rightarrow 0$ のときの割引が双曲割引より急激な準双曲割引（quasi hyperbolic discounting）を提唱した。その割引関数は、 $0 < \beta, \delta < 1$ に対して、

$$A(t) = \begin{cases} \delta^t & t = 0 \\ \beta\delta^t & t \geq 1 \end{cases}$$

である。上記の $t \geq 1$ に対する割引関数 $\beta\delta^t$ は、 $\delta = e^{-k}$ とすれば、指数割引の割引関数(30)を一定割合 β ($0 < \beta < 1$) だけ小さくした割引関数 $A(t) = \beta e^{-kt}$ となる。対応する割引率は

$$R(t) = \begin{cases} 1 - \beta\delta & t = 0 \\ 1 - \delta & t \geq 1 \end{cases}$$

であるので、 $t = 1 \rightarrow 0$ の割引を除いて一定である。

上記の 3 種の割引関数を図示すると、図 3.4 のようになる。図の横軸は t (年)、縦軸は $A(t)$ である。準双曲割引において $\beta = 0.5$, $\delta = 0.975$ であるとき、1 年後の貨幣 1 単位は $A(1) = 0.488$

¹¹ 双曲割引のより一般的な割引関数は $A(t) = (1 + kt)^{-\delta/k}$ である。

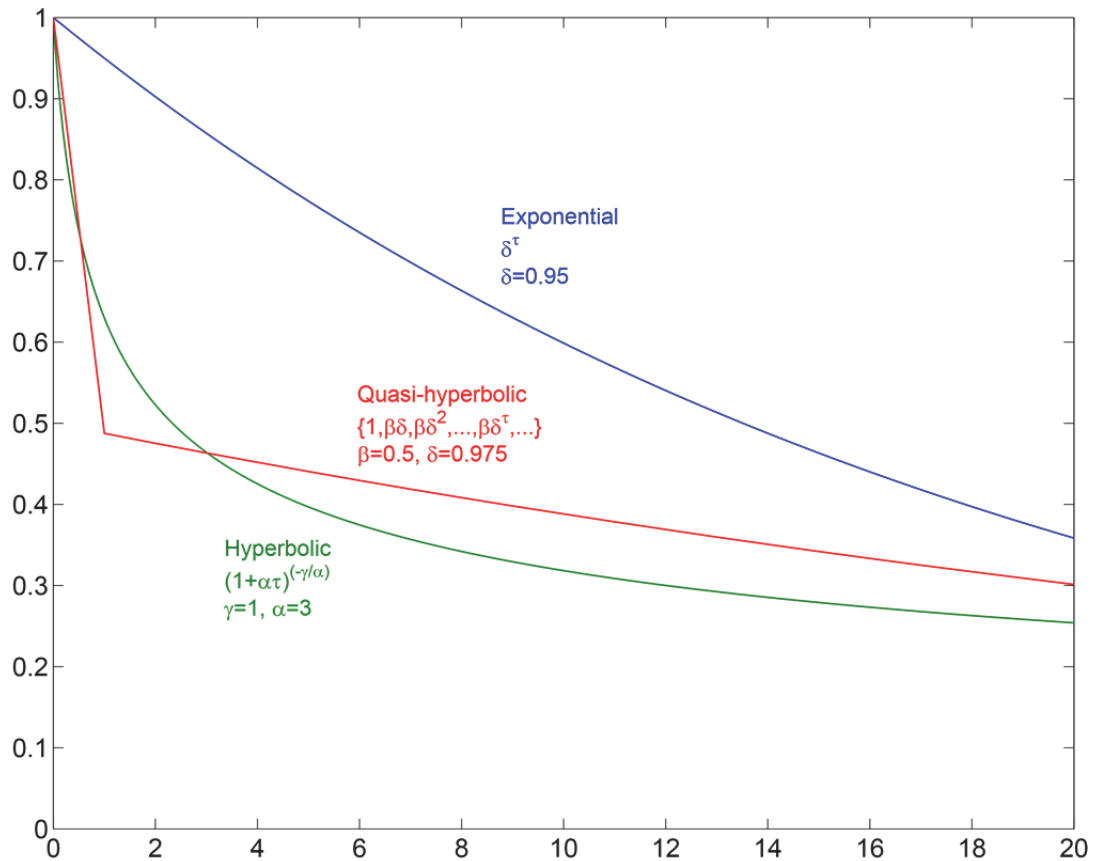


図 3.4 3 種の割引関数 (出所 : Laibson (2002) 図 1)

であるので、半分以上に大きく割り引かれることが分かる。また、2年後の貨幣 1 単位は $A(2) = 0.475$ であるので、1 年後と 2 年後の割引の大きさはそれほど変わらないと言える。

ここで、ワイツマンのガンマ割引と双曲割引を視覚的に比較してみよう。まず、実効割引関数について比較しよう。 $\mu = 0.04$, $\sigma = 0.03$ としたガンマ割引の実効割引関数(20)を図示するために、エクセルで 25 年ごとの t に対応する $A(t)$ の値を求めて両者の関係を折れ線グラフで表示し、それをスムージングすると、図 3.5 の実線のようなになる。これと双曲割引の実効割引関数を比較するためには、式 (28) の k の値を定める必要がある。そこで、ガンマ割引と双曲割引の比較に意味があるためには、両者の割引率は同じ値から減少し始めなければならない、すなわち、 $t = 0$ のときの割引率は同じでなければならない、ことを考慮しよう。このとき、

$$\text{ガンマ割引の } R(0) = 0.04 = \text{双曲割引の } R(0) = k$$

であるので、 $k = 0.04$ と定めるのがよいことになる。このとき、双曲割引の実効割引関数は

$$A(t) = \frac{1}{1 + 0.04t}$$

となる。この t と $A(t)$ の関係を上と同様の方法によって図示すると、図 3.5 の点線のようにになる。次いで、実効割引率について比較しよう。 $\mu = 0.04$ 、 $\sigma = 0.03$ としたガンマ割引の実効割引率(21)と、 $k = 0.04$ と定めた双曲割引の実効割引率(29)を図示すると、図 3.6 のようになる。どちらの図においてもガンマ割引と双曲割引の相違はほとんど見られないと言ってよいと思われる（このことはガンマ割引は双曲割引の一種であるので、当然であると言えば当然であるが）。

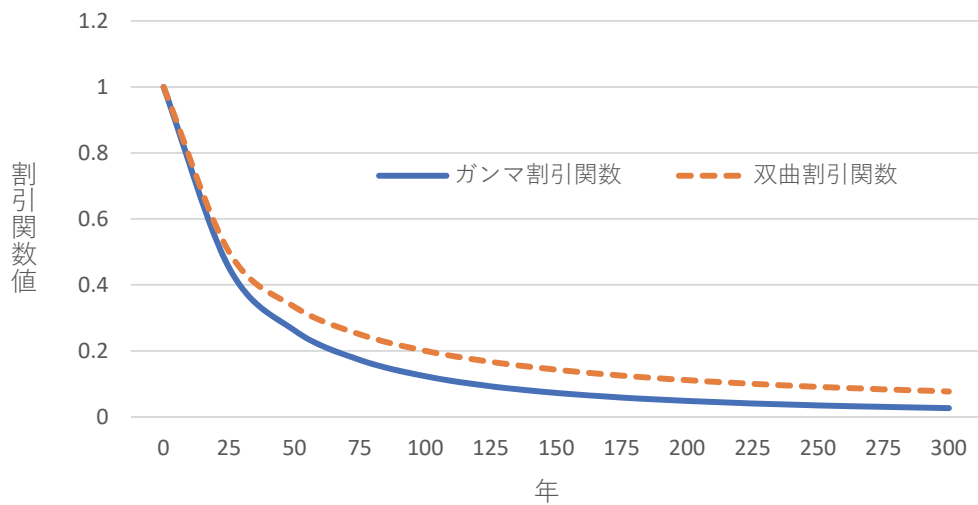


図 3.5 2種の割引関数 (出所：筆者作成)

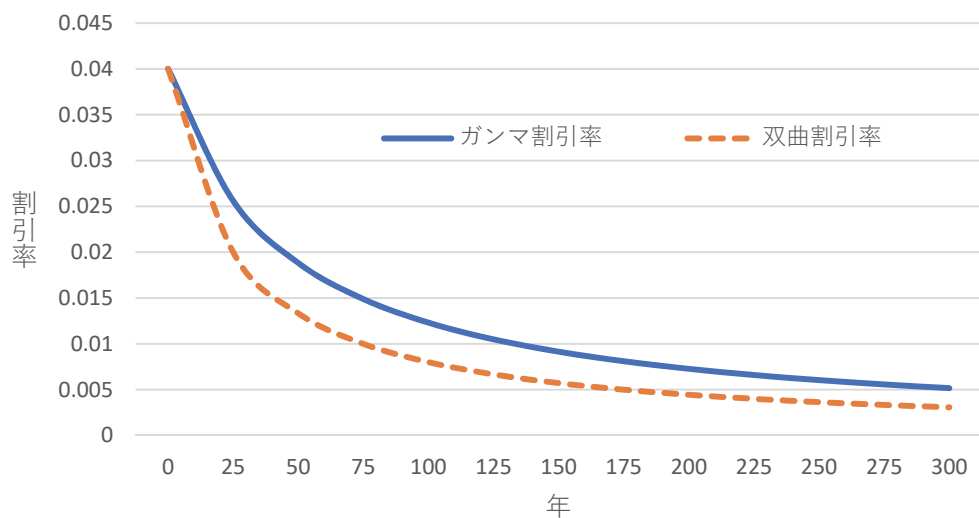


図 3.6 2種の割引率 (出所：筆者作成)

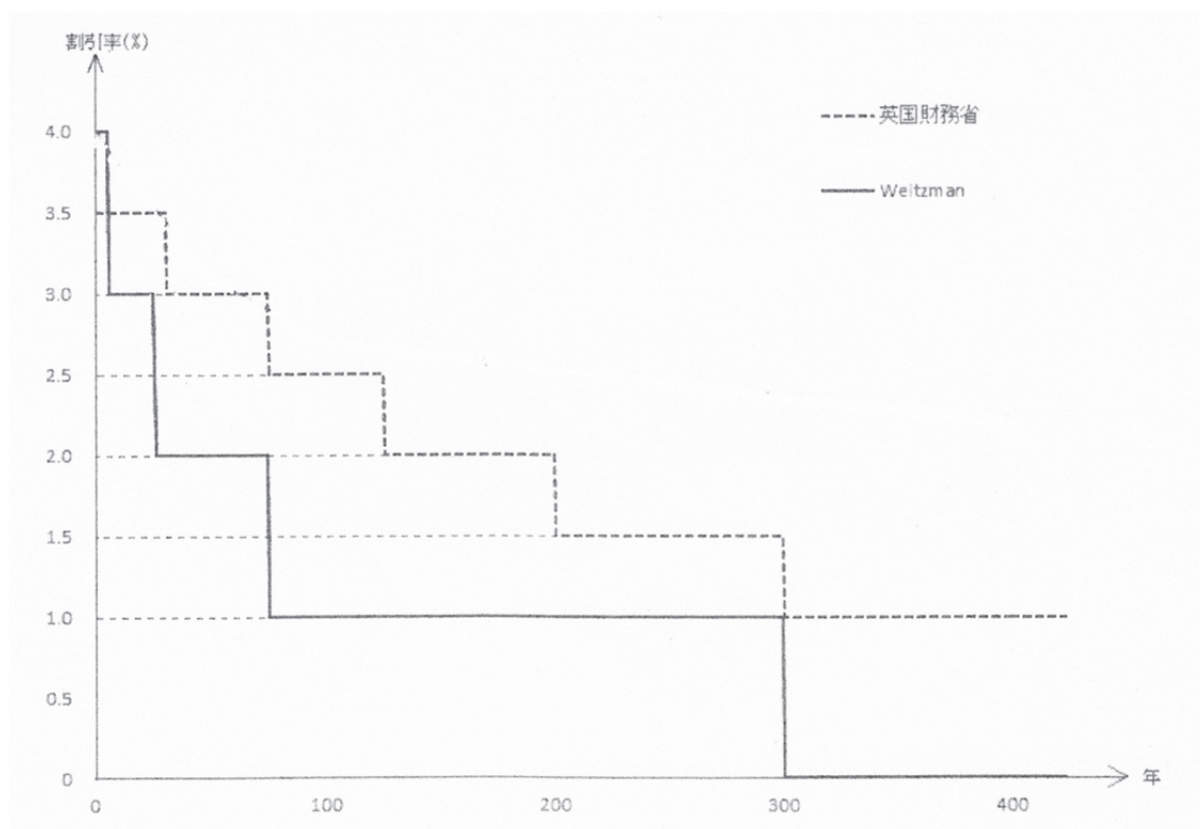


図 3.7 の 2 種の DDR

(出所：筆者作成)

さて、ワイツマンは図 3.6 のガンマ割引率を近似して、図 3.7 の実線で示される DDR を提案した。英国財務省はこのワイツマンの提案やゴーリエその他の研究結果に基づいて、図 3.7 の点線で示される DDR を推奨している¹²。上述のように、双曲割引はアノマリーと考えられていた人間行動の合理性を説明するものとして提案されたが、図 3.5、3.6 に示されたガンマ割引と双曲割引の近似性は、双曲割引が数十年～数百年という遠い将来に及ぶ DDR の根拠にもなりうることを示している。双曲割引において想定される将来は、ダイエットの例では 1 日後、p.36 の質問では 1 年後という近い将来であるのが通常であるにもかかわらず、である。

3.4.5 時間選好と現在バイアス

脚注 1 で「時間選好と現在バイアスという概念自体は非常によく似た意味を持っているように思われる。両者の異同については 3.4.5 で触れる」と述べた。ここでこの点について触れよう。

¹² 英国以外の DDR については拙著 (2014, 2021a) を参照せよ。

先ず、時間選好の定義について見てみよう。Frederick et al. (2002) には次の叙述がある：我々は時間割引と時間選好とを区別する。我々は時間割引という言葉、不確実性や嗜好の変化のような将来の結果によって生じる期待効用を減じる要因を含む、将来の結果に対する関心がより小さいいかなる理由も包含するように広く用いる。我々は時間選好という言葉、より具体的に、遅延 (delayed) 効用より即時効用の方を選好するということを指すために用いる。時間割引は時間選好より広い概念として用いるというこの主張は、上述のように、時間選好は時間割引の根拠の一つとされていることから納得的である。

なお、Hanley & Barbier (2009, p.149) は、時間選好に関して様々な動機が示唆されているとして次のように述べる：非耐忍 (impatience、せっかち)、将来給付を受けて集まるためには近くにいないかも知れないという事実、将来の便益は現在の便益より不確実であるということ、将来はより豊かになっていると期待するので、追加的な所得の各単位を今日より価値が低いと評価するかも知れないということ。

他方、現代バイアスの定義の表現の仕方は、次のようにさまざまである：「人は目の前にあることを過大評価してしまう (現代バイアスの提唱者とされるカーネマン)」、「将来の望ましい結果は現在のそれより価値が小さいと認識されるので、現在のものをもっと後のものより欲する傾向 (O'Donoghue & Rabin, 1999)」、「将来の報酬を犠牲にして即時の報酬を過大評価する性向」、「現在の楽しみを優先して、計画を先延ばししてしまう人間の特性」、「目の前のご褒美やコストを重視しすぎてしまい、判断が歪むこと」、「割引率は最初は高くなり、時間がたつにつれて低くなる。これを専門用語で準双曲割引という。“双曲”という言葉の意味を知らないのであれば、あなたの語彙力はむしろ正常だ。…本書では、この言葉はできるだけ使わず、この種の選好を指す現代的な表現である現在バイアスという言葉を使うことにする (Thaler, 2015)」。

これらの定義においては、現在バイアスを人の傾向、性向、特性、心理現象などと性格付けているものが多い。

以上より、時間選好と現在バイアスという概念は、即時に得られるということを将来得られることより優先させるという点で非常によく似た意味を持っているように思われる。しかし、両者には次のような違いがあるという主張がある：現在を重視するという意思決定の動機が現在バイアスで、その結果が時間選好ということある。言い換えると、現在バイアスという人の心の偏りによって今が重要だと錯覚し、その結果として時間選好という今を好む傾向が現れるのである。すなわち、現在バイアスは動機あるいは原因で、時間選好はその結果であるということである。

しかし、現在バイアスの例としてしばしばあげられるダイエットとケーキ、将来の健康と麻薬、p.38 の実験やマシュマロ実験の結果は、意思決定の結果を示しており、意思決定の動機を直接示してはいないので、現代バイアスという言葉が動機あるいは原因を意味するとは

限らないことになる。また上述のように、Thaler (2015) は（双曲時間）割引と現代バイアスと同義としている。そして、Frederick et al. (2002) は時間割引という言葉は、将来の結果に対する関心がより小さいいかなる理由も包含する広い概念、時間選好という言葉は遅延効用より即時効用の方を選好することを意味する具体的な概念と述べる。この2つの主張を合わせると、現代バイアスは将来の結果に対する関心がより小さいいかなる理由も包含する広い概念、時間選好は遅延効用より即時効用の方を選好することを意味する具体的な概念ということになる。

3.5 感度分析

3.5.1 国交省マニュアル

感度分析の目的 公共事業には、計画から供用までに要する事業期間が長い、供用後の耐用年数が長いなどの特性があり、将来の費用や便益に大きな影響を及ぼす不確実な要因が多数存在する。そのような要因として、用地買収や資材の購入に予想外の費用や時間がかかる、予想外の障害が発生して設計変更をせざるを得ない、需要が予想と異なる等々である。もちろん、このような不確実な要因に対して、科学的、論理的にもっとも確からしいと考えられる前提条件や仮定を設定して将来の費用・便益の予測を行い、これに基づいて費用便益分析を行うことは当然である。しかしそれにも限度があるため、国土交通省（2009）は感度分析を行って、費用便益分析の結果を絶対的・一義的なものとしてでなく、幅をもったものとして算出し、示すことを推奨している。

国交省（2009）は感度分析の目的について次のように述べる：

- ・事業の適切な執行管理や国民へのアカウンタビリティを果たすとともに、事業評価の精度や信頼性の向上を図るため将来の不確実性を考慮した事業評価を実施する。
- ・費用便益分析結果に大きな影響を及ぼす要因について感度分析を実施し、その要因が変化した場合の費用便益分析結果への影響の大きさや変動の許容範囲を把握する。
- ・感度分析を行い、費用便益分析の結果を幅を持って示す。

なお、国交省(2009)には主要事業分野の費用便益分析マニュアル等における感度分析の取り扱い状況が表 3.1 のようにまとめられている。それによると、感度分析を義務付けている国交省関係のマニュアルはないようである。

感度分析の手法 国交省（2009）では感度分析には要因別感度分析、上位ケース・下位ケース分析、モンテカルロ感度分析の3つの手法があると述べられ、その概要が次のように説明

表 3.1 感度分析の取り扱い状況

事業分野	マニュアル等の名称	マニュアル等における感度分析の取り扱い	影響要因、変動幅
道路・街路	費用便益分析マニュアル（案）	×	—
	道路投資の評価に関する指針（案）	△	・交通需要：± 10 % ・事業費：± 10 % ・工期：想定期間× 1.2
港 湾	港湾整備事業の費用対効果分析マニュアル	△	・需要 ^{*1} ・費用 ^{*1} ・割引率 ^{*1}
海 岸	海岸事業の費用対効果分析手法（平成 9 年度版）	×	—
空 港	空港整備事業の費用対効果分析マニュアル 1999	△	・社会的割引率：6 %（基準値 4 %） ・需要予測： ^{*2} ・建設費：+10 % ・建設期間：+ 2 年
	鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル 99	△	・社会的割引率：6 %（基準値 4 %） ・生成交通需要：-10 % ・建設期間：+10 % ・総費用：+10 %
新 幹 線	新幹線プロジェクトの費用対効果分析マニュアル 99	△	・社会的割引率：6 %（基準値 4 %） ・総需要：予測結果× 0.9 ・建設期間：想定期間× 1.1 ・総費用：総費用× 1.1
航路標識	航路標識整備事業の費用対効果分析マニュアル	△	・社会的割引率：6 %（基準値 4 %） ・建設期間： ^{*3} ・総需要：予想結果× 0.9
優良建築物等整備事業、地区再開発事業	優良建築物等整備事業・地区再開発事業の費用対効果分析マニュアル案	△	・収入条件： ^{*4} ・競合施設の出現： ^{*5} ・工期： ^{*6}
河 川	治水経済調査マニュアル（案）	×	—
砂 防	土石流対策事業の費用便益分析マニュアル（案）	×	—
住 宅	公営住宅整備事業の新規事業採択時評価手法の解説（案）	×	—
	住宅宅地関連公共施設整備促進事業費用対効果分析マニュアル（案）		
	住宅市街地整備総合支援事業費用対効果分析マニュアル		
	密集住宅市街地整備促進事業費用対効果分析マニュアル		
	住宅地区改良事業等 費用対効果分析マニュアル		
下 水 道	下水道事業における費用効果分析マニュアル（案）	×	—
公 園	大規模公園費用対効果分析手法マニュアル	×	—

【凡例】

- ：感度分析を義務付け
- △：必要に応じて感度分析を実施することを推奨
- ×

【注釈】

- *1：変動幅の設定無し
- *2：需要予測で前提とした人口フレーム、経済フレーム、交通サービスなどを変化させた場合の需要予測結果を用いた分析（変動幅の設定無し）
- *3：5 年以上の建設期間を要する事業などでは、前提としている建設期間を 2 年延長、あるいは 20%延長、など
- *4：賃貸条件の 10%程度減少あるいは上昇による便益への影響
- *5：数 km 圏内に同規模同内容の再開発事業が出現する等で、賃貸床想定稼働率の 10%程度減少による便益への影響
- *6：1.5 倍程度遅延することによる費用及び便益への影響

（出所：国交省（2009）表 1-1）

されている。

1) 要因別感度分析の概要：分析で設定した前提条件や仮定のうち、一つだけを変動させた場合の分析結果への影響を把握する手法。

2) 上位ケース・下位ケース分析：分析で設定した前提条件や仮定のうち、主要なもの全てを変動させた場合に、分析結果が良好になる場合（上位ケースシナリオ分析）や悪化する場合（下位ケースシナリオ分析）を設定し、分析結果の幅を把握する手法。

3) モンテカルロ感度分析：分析で設定した前提条件や仮定の主要なもの全ての変数に確率分布を与え、モンテカルロシミュレーションによって、分析結果の確率分布を把握する手法。

まず、要因別感度分析の手順について、国交省（2009, 2023）に基づいて説明しよう。

①影響要因の設定：不確実な要因のうち、費用便益分析結果に大きな影響を及ぼす主要な影響要因を設定する。その際、同種事業の再評価や事後評価の結果から得られるデータに基づいて設定することが望ましいとされる。影響要因は具体的には、用地買収費、用地買収費を除く工事費、維持管理費、工期、需要量などである。

②基準値の設定：各影響要因について基準値（ベースケース）を、評価の時点においても確からしいと考えられる前提条件や仮定として設定された値に設定する。

③影響要因の変動幅の設定：基準値を中心とした変動幅を、社会経済データや同種事業の費用便益分析結果、事例分析等に基づいて、例えば、データを大きい順に並べたときの上位70%と30%の順位にくる値（70%値および30%値）をそれぞれ上限値、下限値とするなどして設定する。ただし、社会経済データや同種事業の費用便益分析結果、事例分析等の蓄積が不十分な影響要因については、基本ケース値の $\pm 10\%$ を変動幅の標準とする。それ以上に不確実性の度合いが大きい又は小さいと想定される影響要因については、実務経験者や有識者の意見等に基づいて変動幅を設定する。

④感度分析の実施：各影響要因の値が基準値から変動した場合の費用便益分析の結果に及ぼす影響を分析する。

次に、上位ケース・下位ケース分析については次の手順に従って実施するとされる。

① 上記の要因別感度分析を実施する。

② 上位ケースシナリオと下位ケースシナリオの設定：①の要因別感度分析において設定した要因ごとの上限値と下限値を利用して、費用便益分析結果が良好になるケース（上位ケースシナリオ）や悪化するケース（下位ケースシナリオ）を設定する。理論的には上（下）位ケースシナリオは各要因の上（下）限値の組から成ると考えられるが、（i）各影響要因が、その変動幅の上限値や下限値の値になる確率はかなり低いと考えられ、複数

の影響要因が同時にそうした極端な値になる確率はさらに低いと考えられること、(ii) 例えば、ある二つの影響要因間に強い負の相関関係がある場合、双方が同時に上限値をとることはできないため、これが現実的な上位ケースシナリオにはなりえないことなどにより、上位ケース、下位ケースの設定にあたっては、各影響要因の上限値と下限値だけでなく、既存の事後評価結果、事例等を参考に、現実的な上位ケース、下位ケースの状況をそれぞれいくつか想定する必要がある。

③ 上位ケース・下位ケース分析の実施：いくつか設定された上位ケースシナリオと下位ケースシナリオについて、費用便益分析を実施し、その結果がとりうる値の幅を把握する。

最後に、国交省（2023）はモンテカルロ感度分析について次のように述べる：

- ・なお、費用便益分析結果の幅を精緻に把握するためには、想定しうるあらゆるシナリオを想定して費用便益分析を実施し、その確率分布を把握する必要がある。これを実施しうる手法がモンテカルロ感度分析である。

- ・ただし、モンテカルロ感度分析を実施する上では、各影響要因の生起確率分布の形状やパラメータ値を適切に設定するとともに、影響要因間の関係を分析に適切に反映させることが不可欠であるが、現時点では困難である。今後、それらに必要なデータ、分析および知見の蓄積を待つ必要がある。

3.5.2 モンテカルロ感度分析の例

国交省（2023）がモンテカルロ感度分析について触れているのは上だけであるので、ここで、国交省（2023）のように各要因の生起確率分布を同時に考慮するのでなく、1つの要因の生起確率分布だけを考慮したモンテカルロ感度分析の例を紹介しよう。その例は高崎外（2005）である。彼らは公共事業の事業費が当初の予測に比して膨張する事例が多く、かつそのバラツキも大きく見えるので、計画時に不確実性を考慮した事業費予測あるいは費用便益分析を行うことができれば、事業執行のリスク評価をより効果的に実行することができるとして、①高速道路事業を対象として、まず過去の事業執行例から予測事業費と実績事業費の差違を調査し、予測事業費の不確実性を確率論的に把握上で、②シミュレーションにより計画時の費用便益分析の不確実さの程度を把握する。

彼らが高速道路建設事業における 40 区間の事業費実績データ（国土技術センターの平成 15 年度報告書）に基づいて調査した事業費膨張比をヒストグラムに示すと図 3.8 のようになる。図の横軸は、供用開始までに要した km 当たりの実績事業費と計画時の予測事業費との比を示している。事業費膨張比の最小値=0.86、最大値=2.05、平均値=1.30、標準偏差=0.2862

である。計画時に比べて事業費が膨張している事例が全体の 80 %近くを占めており、平均でも 30 %増大、また危険率 5 %で 1.79 倍以上に事業費が膨張することが予想されるとする。

図の曲線は、ヒストグラムに近似させたアーラン分布曲線である。アーラン分布は 2 つの母数 k (正の整数) と λ (正の実数) によって定まり、その確率密度関数は

$$f(x; k, \lambda) = \frac{(\lambda k)^k x^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\lambda k x} \quad (31)$$

によって表され、平均値 $= 1/\lambda$ 、分散 $= 1/k\lambda^2$ である¹³。

高崎外 (2005) は次の条件の下で、予測事業費の不確実性が費用便益費に与える影響をシミュレーションする。

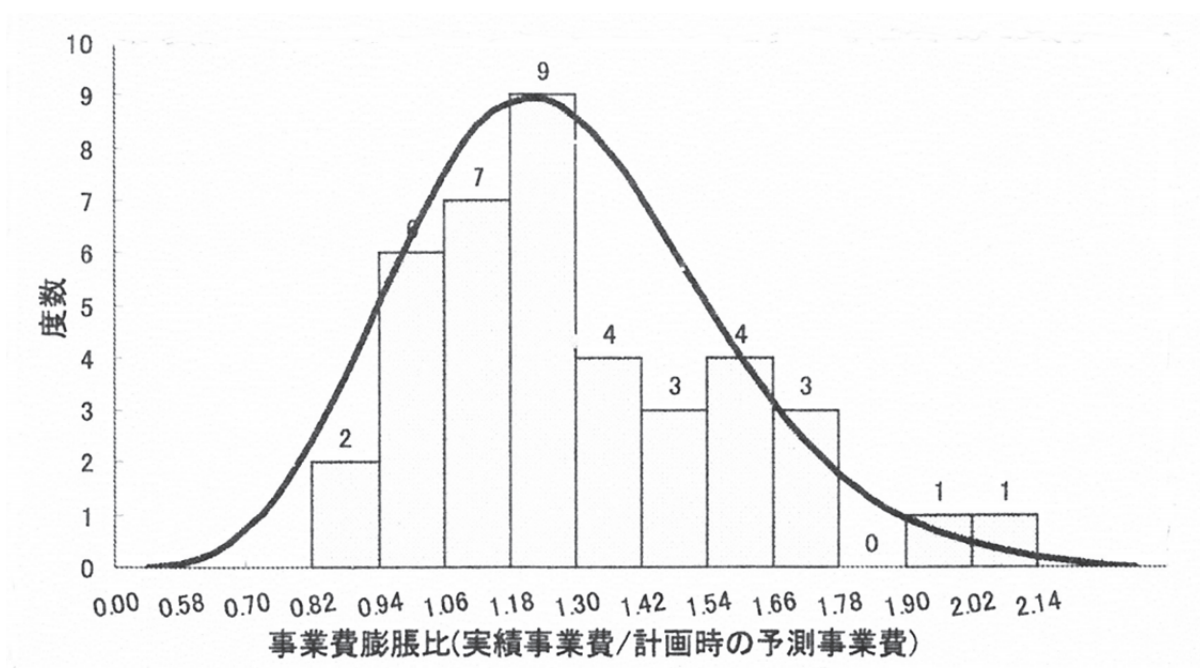


図 3.8 高速道路建設事業の事業費膨張比の分布

(出所：高崎外 (2005) 図-1)

¹³ アーラン分布はオペレーションズ・リサーチの待ち行列理論の創始者 A.K.アーランによって提唱されたもので、あるサービス施設への客の到着が全くランダムな場合のポアソン到着と、一定時間ごとに規則正しく到着するレギュラー到着の中間の場合の、到着の時間間隔の分布を表す。一般的にはアーラン分布は、脚注 4 で述べたガンマ分布において、母数 k を正の整数に限定した特殊形である。なお、式(31)において $k = 1$ とすると、式 (n1) の場合と同様に、 $f(x; \lambda) = \lambda e^{-\lambda x}$ となる。この指数分布の確率密度関数は、単位時間当たりの客の平均到着率が λ であるポアソン到着の、ある 1 人の客が到着してから次の客が到着するまでの時間間隔の分布 (あるいはサービス施設が開いてから最初の客が到着するまでの時間の分布) を表す。これに対してアーラン分布 (およびガンマ分布) は、ある k 人の客が到着してから次の k 人の客が到着するまでの時間間隔の分布 (あるいはサービス施設が開いてから最初の k 人の客が到着するまでの時間の分布) を表す。

また、式 (n1) あるいは(31)において $k \rightarrow \infty$ とすると、 $f(x; \lambda) = 1/\lambda$ となる (証明略)。これは確率 1 で $1/\lambda$ という値をとる単位分布の確率密度関数であり、レギュラー到着の時間間隔の分布を表す。

- ① 便益は一定であるとして、予測事業費が不確実な場合と確定的な場合の費用便益比の比

$$R = \frac{\frac{B}{C'}}{\frac{B}{C}} = \frac{C}{C'} = \sum_{u=1}^{s+1} \left\{ \frac{C_{1u}}{(1+i)^u} + \frac{C_{2u}}{(1+i)^u} \right\} / \sum_{u=1}^{s+1} \left\{ \frac{C_{1u}'}{(1+i)^u} + \frac{C_{2u}'}{(1+i)^u} \right\} \quad (32)$$

によって不確実性を検討する。ここで、 C_{1u} は確定的に予測された道路整備に要する事業費、 C_{1u}' は C_{1u} に不確実性をもたせた事業費、 C_{2u} は道路維持管理に要する費用である。

②費用を現在価値に換算する基準年を施行命令時とし、道路整備に要する事業費は、施行命令が出て供用開始までの期間 (s) に等価に分けられて執行されるものとする。また道路維持管理に要する費用は、 $C_{2u}=0.43$ 億円/ km/年とする。

③供用期間 t は 40 年とし、施行命令（基準年）から供用開始までの期間 s は各事業の実績を用いる。また、社会的割引率は 4 %とする。

④計算の手順を以下に示す。

ステップ 1：過去のデータより、計画時の単位長さあたり事業費を期間 s で割って C_{2u} を求める。

ステップ 2：アーラン分布を示す乱数を発生させ、それに相当する膨張比を求める。その膨張比を C_{1u} に乗じて C_{1u}' とし式(32)を計算する。この手順を 100 回繰り返す。

ステップ 3：過去のデータから次の C_{1u} を決め、ステップ 1 から同様に繰り返す。

数値シミュレーション結果、式(32)の費用便益比の不確実性の指標 R の平均値=0.82、標準偏差=0.144であった。また、 R の分布を図示すると、アーラン分布で近似させることができることが分かった（アーラン分布のパラメータ： $\lambda=1.22$ 、 $k=33$ ）。すなわち、予測事業費が平均的に 30 %程度上昇すると、費用便益比も平均的に 20 %近く低下することが明らかとなった。確率的には、標準偏差は 0.1440 と大きく（変動係数 = 17.6 %）、5%の危険率で費用便益比は 60 %以下に低下すると推測される。したがって確定論的に求めて得られた予想される費用便益比は、相当程度の不確実さを持っていると認識しておく必要があるといえる。

高崎外（2005）は最後に費用の現価を定める 3つのパラメータについて感度分析を行い、次のように結論する：

- ①社会的割引率の 4 %を±10 %程度変動させた場合の費用算定に及ぼす影響は 4 %程度である。
- ②供用期間の標準は 40 年であったが、50 年に延長しても費用はほとんど変らない。
- ③施行命令時を基準年次とした場合、基準年次から供用開始までの期間の平均は 10 年であるが、±2 年で 5 %弱の影響を及ぼしている。

以上から、実際の範囲でパラメータを変動させた場合、社会的割引率および基準年次から供用開始までの期間の影響度合いが比較的高いといえ、供用期間のそれは小さい。いずれにしても、パラメータの設定に多少の不確実性を伴っていても、費用の現在価値算出に及ぼす影響は比較的小さいといえる。

3.6 迅速 CBA—不確実性の無視

ある政策ないし計画について本格的な (full blown) CBA を実施することは、その政策ないし計画の内容によっては費用と時間がかかりすぎ、非常に困難ないし不可能な場合がある。特に将来の費用/便益に不確実性が伴う場合はそうである。このようなとき、不確実性に対処する方法の一つとして不確実性を無視するという方法が考えられる。Pearse & Koundouri (2004) (以下、PK と略記する) の迅速評価 CBA はそのような方法の一つであるので、ここで紹介しよう。

3.6.1 概要

PK は「概要」において次のように述べる。

このペーパーの目的は環境立法の費用と便益を決定するための代替的な「迅速評価」の方法論を探究することである。焦点は[2003 年 10 月にヨーロッパ委員会 (European Commission、EC) によって提案された] REACH (Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals、化学品の登録、評価、許可、以下ではリーチ) として知られるヨーロッパ連合 (EU) の新しい化学品政策である。この立法の完全かつ厳密な費用便益評価は、情報不足のゆえに不可能である。そこで、何らかの「次善の」アプローチが必要となる。加えて、完全な費用便益評価は費用がかかり勝ちであり、短期間で遂行することは不可能である。リーズナブルな仮定を置くことと、便益を推定するための異なる方法論を追求することにより、利得と損失のおよその推定値を得ることができると論じる。ともに障害調整生存年 (disability-adjusted life year、DALY、以下ではダリー) の概念に基づく 2 つの方法論を採用する。ダリーは健康損失の測定度であり、異なる形態の罹患率 (morbidity) と早期死亡率 (premature mortality) との比較を可能にする。我々は政策手段の費用と直接比較するために、ダリーを金銭化しようと努める。第 1 のアプローチは、医療支出 (health expenditure) がダリーの原因を回避し治療するために発生するという推測に基づいて、英国と EU における医療支出に的を絞る。かくして、ダリー当たりの医療支出はダリーの価値の尺度であり、この支出は環境管理によるダリーの減少によって回避される。第 2 のアプローチは「統計的生命価値 (value of a statistical life、VOSL)」

の「アンカー」推定値、および暗黙の (implied) 「生命年」の価値 (value of a 'life year', VOLY) に基づくダリーに対する支払意思額を割り当てる。我々はこれらのモデルに基づいて、リーチの費用が便益より大きいことはありうる一方、第2のアプローチは便益が費用を超える強い確率を明らかにすることを示す。我々のモデルはあらゆる環境上の便益を明白に除外する故、我々の便益の推定値は最小値であると考ええる。概して言えば、我々自身の判断はリーチが純便益を生み出すということである。結果は今日までになされた他の部分的な研究と矛盾しない。

3.6.2 ダリーの概要

ここで、上記の概要の中に現れたダリーと VOSL について、まずダリーから簡潔に説明しておこう。

ダリーは病気やケガ、自殺、事故などが社会に与えるダメージ (PK はこれを健康損失と呼んだ) の測度である。ダリーは 1990 年代初めにハーバード大学のクリストファー・マーレー教授らによって開発されたもので、それまで健康状態や QOL (生活の質) を表す指標として用いられていた「質調整生存年 (Quality Adjusted Life Years, QALY、以下ではクオリー)」という概念がもつ次のような欠陥を改善したものとされる：クオリーはある人について、完全な健康状態を 1、死亡を 0 として健康状態や QOL を数値化し、それに生存年数を乗じた積を求めて完全な健康状態の生存年数に換算したものである。一般に、医薬品を投与すればこのクオリーは大きくなると考えられるので、クオリーによって各種の医薬品投与 (より一般的には医療サービス) の効果を比較することは可能である。しかしそれは各個人に対してのみ可能である。何故なら健康状態の数値化が個人の主観によっているため、それを社会全体に適用して、ある医療政策の是非といった社会全体での医療の質を評価することは困難だからである。

ダリーは健康ではない人の障害の程度や期間を考慮して平均寿命を調整した生存年数 (寿命) である。より具体的に言えばダリーは、完全な健康状態を維持したまま理想の寿命を生きる (理想の寿命を過ぎた時点で死亡する) という理想的な状況からみて、人々がそれより早く死亡する早期死亡によって失われた年数 (喪失余命年数、Years of Life Lost, YLL)、および人々の健康状態に生じた事故による障害をもちつつ暮らした年数 (有障害年数、Years of Life Lost due to Disability, YLD) の合計である。このように、ダリーは理想の寿命を想定するため、また、健康状態や障害の判断を、クオリーのように患者の選好で行うのではなく、専門家グループなどが行うため、医療政策の検討、評価に適しているとされる。WHO や世界銀行は国ごと、疾患ごとにダリーを算出して、医療政策の評価に用いている。

YLL は死因・年齢・性別に、死亡数 N と死亡年齢における理想の寿命までの平均余命 L との

積によって算出される。すなわち

$$YLL = N \times L$$

である。一方、特定要因、特定の時間スパンの YLD は障害の発生数 I 、障害が治癒もしくは死亡するまでの平均年数 L の他に、その障害の深刻さを 0（完全な健康）から 1（死亡）の間の値で反映させたウェイト要素 DW を考慮して算出される。すなわち

$$YLD = I \times DW \times L$$

である。1 ダリーは、本来健康な状態で過ごすはずだった人生を、1 年失ったことを意味する。

3.6.3 VOSLの概要¹⁴

VOSL は人命を金銭化する主要な 2 つの方法の中の 1 つであり、確率的な死亡のリスクを削減することから得られる便益に基づいて金銭化する。他の 1 つは死亡による逸失利益（得べかりし所得）や慰謝料などの損害額に基づいて金銭化する方法である。この方法に対しては、人命の価値は人が生来持っているもので、後天的な逸失利益などによって定まるようなものではないなどの批判がある。そこで多くの国においては、このような批判から免れ得る VOSL が、生命の危険に影響を及ぼす公共事業あるいは政策の CBA において、生命の価値を金銭的に表す指標として用いられているのである。

VOSL とは誰とは特定できない、統計的に（確率的に）発生する 1 件当たりの死亡の回避に対する支払意思額に基づいて算定されるもので、理論的には次のように定義される：人々の効用関数を $U_s(M)$ とする。ただし、 M は所得であり、 s は生死の状態を表し、事故によって死亡した場合は $s = D(\text{Death})$ 、事故が生じない場合は $s = A(\text{Alive})$ であるとする。死亡事故発生確率は現状では p であるが、事故対策を行うことでそれが p から、 r ($0 < r < p$) をその低下分（死亡リスクの削減幅）として、 $p - r$ まで低下するとする。この事故対策のオプション価格 OP は次式によって定義される¹⁵。

$$pU_D(M) + (1 - p)U_A(M) = (p - r)U_D(M - OP) + (1 - p + r)U_A(M - OP)$$

¹⁴ VOSL については拙著（2021a, 2021b）を参照せよ。

¹⁵ オプション（自由選択・選択権）は日常的には、①標準仕様の完成品に対する追加注文、②航空機購入の際の仮発注などの意味で用いられるが、経済学では通常、上述の事故対策や、ファイナンスにおけるプットやコールのオプションなどのような、現時点での意思決定に内在する将来の不確実性を回避ないし軽減するための手段という意味で用いられる。このとき、その手段に対する最大支払意思額がオプション価格である。なお、次式の OP を「事故対策に対する支払意思額」に換えたとき、支払意思額 $< OP$ ならば、次式の左辺 $<$ 右辺であるので、「事故対策を行う」方が厳密に選好され、（最大）支払意思額 $= OP$ ならば、「事故対策を行う」と「事故対策を行わない」とは無差別である。

VOSL は理論的には限界オプション価格として定義される。すなわち、

$$VOSL = \frac{dOP}{dr} = \frac{U_A - U_D}{(p-r)U'_D + (1-p+r)U'_A}$$

である。なお、 $U_A > U_D$ であるので、 $dOP/dr > 0$ である。したがって、リスク削減幅が大きくなるほどオプション価格は増大する。

上では、VOSL は限界オプション価格 dOP/dr によって定義されたが、限界オプション価格を評価することは困難であるため、オプション価格をリスク削減幅で割ったもの、すなわち OP/r で VOSL を代用することが実証研究では一般的に行われている。具体的にはそれは

$$(\text{リスク削減幅}(r) \text{ に対する最大支払意思額}) \div (\text{リスク削減幅}(r))$$

によって算出される。例えば、次のような質問に答えてもらうアンケート調査を行ったとしよう：死亡する確率を 5/100,000 から 3/100,000 に削減できる仮想の安全グッズが開発されたと仮定したとき、その安全グッズに対する WTP はいくらか。このとき、この質問に対する人々の回答の平均が 1 万円ならば、VOSL は、 $10,000/(5/100,000 - 3/100,000) = 5$ (億円) となる。

上記の VOSL を求める方法は CBA の表明選好法の一手法の仮想市場法による方法である。この他の VOSL を求める方法として、顕示選好法の一手法のヘドニック法がある。この方法において、政策/プロジェクトの便益が反映されると思われる間接市場として最も多くとられる市場は、欧米においては労働市場である。労働市場には安全性がより低い職種に対しては高い賃金を払わないと労働者が集まらない、あるいは職場の安全性を高める費用を相殺するために労働者の賃金を低くする、という職種・職場の安全性と賃金のトレードオフが存在する。ヘドニック法はこのことに着目して、賃金率を決定する要因には学歴、経験、雇用形態などとともに、当該職種の労働災害による死亡率があるとして、それらを説明変数とする回帰分析を行い、限界的な労働災害死亡率の変化に伴う賃金率の変化を推定する、という方法をとる。このとき、VOSL は (賃金率の変化) $\div$ (労働災害死亡率の変化) によって求められる。

なお、ヘドニック法が適用される間接市場として、労働市場に次いで多いのは日本を含めて自動車市場であると思われる。そこではより安全性が高い (事故死亡率等がより低い) 自動車ほど価格が高いということに着目してリスク削減に対する支払意思額が推計される。そのほか、住居の安全性 (安全な立地場所、火災や地震に強い住宅) と資産価格のトレードオフに着目する方法などがある。

如上の仮想市場法とヘドニック法によって推定された VOSL の推定例は欧米には数多くあり、その推定結果はともに、例えば合衆国運輸省や環境保護庁などの公的機関のガイドライ

ンにおいて利用が推奨されている VOSL の値の基礎となっている。因みに、その VOSL の値は 1,000 万ドル／人である（2019 年価格）。

なお、上記の欧米に見られる死亡リスクと賃金率の強い関係は我が国では見られないので、我が国では VOSL の推定にヘドニック法はほとんど使われていない。したがって、我が国における VOSL の推定は仮想市場法によるものがほとんどということになる。しかし、その推定結果の公的利用は、国土交通省の交通事故による死亡損失以外にはない。因みに、その大きさは 2.4 億円／人である（2004 年度価格）。

3.6.4 次善的アプローチ

PK は上述の概要において、[リーチの] 完全かつ厳密な費用便益評価は、情報不足のゆえに不可能である、と述べた。彼らが指摘する情報不足は主に次に関連するものである：(a)化学製品曝露と人の健康への影響とを結びつける用量-反応関係、(b)化学製品産業の詳細な行動モデルの欠如、これはリーチが化学製品産業の行動に与える影響に関して、また代替品に関して利用者間に、かなりの不確実性が存在することを意味する、(c)曝露とエコシステムとの関係に関する事実上のゼロ知識。

理想的なアプローチを実行するための情報と資源は利用できない。第 1 に、リーチの作用の仕方、したがってリーチを履行するフルコストは依然として完全には明らかでない。…第 2 に、リーチの便益を、改善された公共的なおよび職業上の健康の観点から決定する疫学的基礎は、影響を受ける多くの化学製品について未知である。…

それ故にこのペーパーでは我々は所謂「次善」アプローチに頼っている。重要な変数とパラメータについてリーズナブルと見なす仮定を置き、リーチの便益を評価するための 2 つの異なるモデルを採用する。環境便益はそのような効果を価値づける詳細な「表明選好」アプローチなしでは、また容量-反応関数に関するずっと良い情報なしでは推定できないと判断するので、健康便益のみを評価する。…したがって、リーチの便益はここに示す推定値を超えると判断する。

モデルは疾病と早期死亡の負荷を単一の単位で推定するための手続きであるダリーの概念に基づく。…化学製品への曝露から生じるダリーの一部の世界銀行の推定値を採用している。そして、リーチがダリーを減少させる程度について一つの仮定ーリーチは健康への曝露を 10% だけ減らすーを置く。この仮定は化学物質数の減少に関する欧州委員会の推定値（8 - 12%）によって示唆される仮定と密接に対応する。

最後に、ダリーを 2 つの非常に異なる方法で査定する。第 1 のアプローチーモデル Iーはイギリスと EU の医療支出を検討する。この支出はダリーの原因の回避と治療に費やされると仮定すると、ダリー当たりの医療支出を算出できる。そして、この単位費用に、リーチに

よって節約されたダリー数を乗じれば、リーチによって節約された医療支出を推定しうる。

第2のアプローチモデルⅡは同じ道を進むが、ダリーの「値」はこうむる健康管理費用より大きく、問題の健康状態を回避するための個人の WTP を含まなければならないことに注意する。汚染制御の世界銀行の研究で採用された手続に従い、「VOSL」の「アンカー」推定値と暗黙の「VOLY」とに基づいて WTP の値をダリーに割り当てる。…支払意思額は健康管理費用を上回るに違いない故、モデルⅡはモデルⅠより規制にとって有利な結果をもたらすと自信をもって期待する。事実、モデルⅡは便益が費用を上回る非常に強い可能性を生む。

なお、PK はリーチの費用について次のように述べる：「費用便益分析に」関連する費用は、誰が費用を負担するかに関係なく、「政策有り」の状況の総費用マイナス「政策無し」の状況の総費用、である。政策無しの文脈は現行の法律の継続に関係がある。関連する費用は政策に影響されるあらゆる行為者に生じる費用である。…リーチ提案の進展中には数多くの法律順守費用（compliance cost）が引用された。2003 年にはずっと幅がある推定値が…広まった。しかしながら、欧州委員会の「統一見解」の数字は 52 億ユーロである（CEC, 2003）。…委員会の見解を踏まえて、また、法律順守費用を詳しく探求していないので、ここでは 52 億ユーロという数字を採用する。

3.6.5 モデルⅠーダリーと健康管理費用

第1のモデルはリーチの便益の近似を目指して、「障害調整生命年」すなわちダリーの概念を利用する。…まず、WHO/世界銀行のデータベースより「認められた市場経済」（‘Established Market Economies’、EMEs）のダリーの推定値を求める。次に、EMEs 地域の 1 人当たりのダリー数を計算する。3 番目に、イギリスと EU の総ダリーを入手するために、1 人当たりのダリー数をイギリスと EU に適用し、関連する人口数を乗じる。4 番目に、EME 諸国において「農業-工業による」汚染によると判断されるダリーの部分〔PK はこれを下で「化学的に誘発された」ダリーと呼ぶ〕の世界銀行の推定値を採用する。その低い推定値は 0.6%、高い推定値 2.5%である（Lvovsky, 2001）。農業-工業による汚染によって失われたダリーは、化学品への曝露によると解釈される。5 番目に、リーチによって減縮あるいは回避されたダリーの推定値を与えるために、農業-工業による汚染の曝露のいかなる部分がリーチによって減縮されるかについて判断する。最後にダリーを評価する異なる手続きを採用する。その第1ーモデルⅠーは保健サービス費用である。

PK は 2006 年から 2020 年までのリーチの総便益を健康管理費用に基づいて算出するためにまず、各年のダリーを保健サービス支出で価値づけ、割引率 3%で 2000 年に割り引いて現価を求める。次にその現価を 15 年分合計してリーチの総便益とする。それは化学的に誘発さ

れたダリーが 0.6%のとき 48.3 億ユーロ、2.5%のとき 201.4 億ユーロである。

PK は如上の総便益の導出に用いた数値を表「EU に関する化学的に誘発された健康管理支出とリーチの回避費用」にまとめている。それを 2006 年について示すと：NHS (National Health Service、国民保健サービス) = 603,970,650 (千ユーロ)、CPI (消費者物価指数、基本年は 2000 年) = 113、実質 (deflated) NHS 支出 = 653,675,412 (千ユーロ)、割引 NHS 支出 (割引率 3%、2003 年現在) = $653,675,412 / (1.03)^3 = 598,205,601$ (千ユーロ)、化学的に誘発された NHS 支出 (0.6%と仮定) = $598,205,601 \times 0.006 = 3,589,234$ (千ユーロ)、化学的に誘発された NHS 支出 (2.5%と仮定) = $598,205,601 \times 0.025 = 14,955,140$ (千ユーロ)。如上の計算プロセスを年ごとに 2020 年まで繰り返し、化学的に誘発された NHS 支出の 2 つのケースについてそれぞれ合計すると、48,341,994 (千ユーロ)、201,424,976 (千ユーロ) となる。

3.6.6 モデルⅡ－ダリーとWTP

モデルⅠのアプローチは早期死亡と健康障害の「真の」費用を著しく過小評価する。このことの理由は、健康管理費用は健康障害の治療、改善、あるいは回避に国家によって配分される資源のみを指すということである。費用便益評価はその基本的価値判断として、価値を決定するものは個人の選好であるという概念を採用する。…「支払意思額」はそれによって選好が顕示される手段である。

…VOSL は所与の人口に影響するリスクの変化の集計的評価に対する便利な短縮形である。…ここでの手続きは VOSL と罹患率の値を別々に推定するのでなく、次のつながりを築くことである：(a) 死の危険の変化に対する WTP、すなわち VOSL、(b) ダリーと早期死亡の同値性、(c) 対応するダリーの値。Lvovsky et al. (2000) はこの種の分析を上海やマニラなどの 6 都市について実行する。彼らは彼らの値を約 240 万 US ドル (2003 年価格) という VOSL に「固定する」('anchor')。そして彼らはいくつかの健康の最終状態の各々 (早期死亡、慢性気管支炎など) について、1 万症例当たりの失われたダリー数を算出する。1 早期死亡は 10 ダリーと同値であると仮定して、各々の健康の最終状態に対する WTP の値を導出できる。例えば、慢性気管支炎は 0.12 早期死亡と同値である。…すべての (不良) 健康状態を回避するための WTP が導かれる。このことより、ダリー当たりの 6 都市全般の平均 WTP の値を推測できる。そして、この WTP の値を、1 人当たりの所得の [6 都市が属する] 国に対するヨーロッパおよびイギリスとの比に応じてスケールアップする。その結果はヨーロッパ/イギリスのダリーの妥当な値がダリー当たりおよそ 90,000 ユーロであることを示唆する¹⁶。これはダ

¹⁶ 疾病と死亡のリスクを回避するための WTP に基づくダリーの値の 6 都市の平均は 10,089 ユーロ、6 カ国に対するイギリスの所得の比は 9.4、したがって、イギリスのダリーの値は、 $10,000 \times 9.4 = 94,836$ (ユーロ) である (2003 年価格)。

リー当たりおよそ 5600 ユーロという健康支出の数字と比較しうる。比率は 16 である。表 3.2 はモデルⅡに関する結果を示す。ダリーの値が高い方（90,000 ユーロ）のとき、費用が便益を超える機会は小さい一方、便益が費用を著しく超えることはよりありそうである。ダリーの値が低い方（50,000 ユーロ）のとき、費用が便益を超えるか便益に届かないかは五分五分である。総じて、モデルⅡは便益が費用を超える機会は五分五分より大きいことを示唆する。

なお、平等原則がダリーには明示的に導入されており、この世界疾病負担研究（Global Burden of Disease Study）は世界の総ての地域で同じ値を採用している。すなわち、失われた健康寿命の計算に当たっては、総ての人口グループについて同じ「理想的な」平均余命を使用し、年齢や性別以外の総ての非健康要因（人種、社会経済的な地位、職業など）を排除している。最も重要なことは、特定の健康状態で暮らしている総ての人に対して同じ「障害ウェイト」を使っている点である。

2 つのモデルからの結果の要約は表 3.2 に示される¹⁷。結果は EU についてのみ示される。モデルⅡがモデルⅠより高い結果を生むと期待するであろう。モデルⅠに基づく、費用が便益より大きくなりうるが、それはとてもありそうにない。モデルⅡは便益が費用より明らかに大きいことを示唆する。しかしながら、この結論を確かなものにするために多くの仮定がなされたことを再び強調する。…モデルはいかなる環境便益も明らかに除外しているので、便益の推定値は最小値であるとみなす。総じて、我々自身の判断はリーチが純便益を生むということに自信があるということである。

しかしながら、より重要なことは方法論である。フル費用便益評価は、たとえ十分な情報が利用可能なときでさえ、非常に費用がかかるかも知れないということを注意した。情報が化学品の曝露の場合のようにひどく不足しているときは、詳細な科学的情報に代わって用いられるべき最良な判断が可能な「迅速評価」の技術が要求される。我々の「ダリー」アプローチは一つのそのような迅速評価技術を提供する。それはまた化学品曝露より一般的である。

表 3.2 リーチの費用と便益の要約（EU のみ、10⁹ ユーロ、現価、割引率＝3 %）

	便 益	費 用	純便益	B/C 比
モデルⅠ	4.8-20.1	5.2	－0.4-14.9	0.92-3.87
モデルⅡ（ダリー当たり 9 万ユーロ）	22.4-93.3	5.2	17.2-88.1	4.3-17.94
モデルⅡ（ダリー当たり 5 万ユーロ）	12.3-51.3	5.2	7.1-46.1	2.17-9.87

（出所：PK 表 5）

¹⁷ 表 3.2 の便益欄について：モデルⅠの値の導出は本文中に説明されている。モデルⅡの例えば 22.4（10⁹ ユーロ）は、化学的に誘発されたダリーの総費用 223.9（10⁹ ユーロ）の 10%として求められている。

3.7 おわりに

CBA は金銭的単位で表すことが困難な公共投資の便益と費用を金銭化して測定可能とし、公共投資の実行の可否を検討するものである。その際、公共投資（より広くは政策）がもたらす正味便益は将来にわたって長期間発生し続けることに留意しなければならない。特に、将来事象には不確実性がつきものであるので、将来の便益にはその大きさや発生時期について不確実性が伴うことに留意しなければならない。不確実性下の投資決定（より広くは意思決定）については選好の逆転、非対称なリスク認識、現代バイアスなどのさまざまなアノマリーが存在することが知られている。本章ではそれらのいくつかに触れるとともに、不確実性に対する CBA の対処法について述べ、不確実性が CBA に与える影響についてサーヴェイする。そのために具体的に言えば、3.2 節では不確実性下の意思決定論を概観し、3.3 節では CBA がアノマリーに対して耐性的か否か検討し、3.4 節では不確実性が割引率に与える影響について論じ、3.5 節では CBA において不確実性に対処する方法である感度分析について概観し、3.6 節では不確実性を無視する迅速評価 CBA について紹介した。しかし、不確実性下の意思決定のアノマリーに関しても、アノマリーに対する CBA の対処法に関しても、そのサーヴェイは体系的でもなく、十全でもないので、さらなる彫琢を必要とするところである。

<参考文献>

- 1) Ainslie, G. (2001) *Breakdown of Will*, Cambridge UP. (邦訳：山形浩生訳『誘惑される意志—人はなぜ自滅的行動をするのか』NTT 出版、2006 年。
- 2) Allais, M. (1953) “Le comportement de l’homme rationnel devant le risqué: critique des postulats et axiomes de l’école Américaine,” [Rational man’s behavior in the presence of risk: critique of the postulates and axioms of the American school], *Econometrica* vol.21 No.4, pp.503-46
- 3) Allais, M. (1990) “Criticism of the postulates and axioms of the American school” in Moser, P. K., (Ed.) *Rationality in Action: Contemporary Approaches* pp.113-139, Cambridge UP (Reprinted from Allais, M. and O. Hagan, eds., (1979) *Expected Utility Hypotheses and the Allais Paradox : Contemporary Discussions under Uncertainty with Allais Rejoinder*, pp.67-95, D. Reidel Publishing.
- 4) Camerer, C. and H. Kunreuther (1989) “Decision process for low probability events: policy implications”, *Journal of Policy Analysis Management*, 8, pp.565-92.
- 5) Commission of the European Communities (2003) “Extended Impact Assessment”, SEC (2003) 1171/3, Commission Staff Working Paper.
- 6) Frederick, S., G. Loewenstein and T. O’Donoghue (2002) “Time discounting and time preference”, *Journal of Economic Literature*, 40, pp.351-401.
- 7) Gollier, C. (2001) *The Economics of Risk and Time*, MIT Press.
- 8) Gollier, C. (2002a) “Time Horizon and Discount Rate”, *Journal of Economic Theory*, vol.107 No.2 pp.463-473.
- 9) Gollier, C. (2002b) “Discounting an Uncertain Future”, *Journal of Public Economics*, vol.85 No.2 pp.149-166.
- 10) Gollier, C. (2004) “Maximizing the Expected Net Future Value as an Alternative Strategy to Gamma

- Discounting”, *Finance Research Letters*, vol.1 No.2 pp.85-89.
- 11) Gollier and Weitzman (2010) “How should the distant future be discounted when discount rates are uncertain?”, *Economics Letters*, 107 pp.350-353.
 - 12) Hanley, N and J. Shogren (2005) “Is cost-benefit analysis anomaly-proof?”, *Environmental and Resource Economics*, vol.32 No.1 pp.13-34.
 - 13) HM Treasury (2003), *The Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government*, HM Treasury.
 - 14) 依田高典 (1997) 『不確実性と意思決定の経済学 限定合理性の理論と現実』日本評論社。
 - 15) Kahneman, D. and A. Tversky (1979) “Prospect Theory: An Analysis Decision under Risk”, *Econometrica*, Vol. pp.263-291.
 - 16) Knetsch, K. (2005) “Gains, losses and the US-EPA economic analysis guidelines: a hazardous product?”, *Environmental and Resource Economics*, vol.32 No. pp.91-112.
 - 17) 国土交通省 (2009) 『公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針 (共通編)』
 - 18) 国土交通省 (2023) 『公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針 (共通編)』
 - 19) Laibson, D. (1997) “Golden Eggs and Hyperbolic Discounting,” *Quarterly Journal of Economics*, Vol.112 No.2 pp.443-477.
 - 20) Laibson, D. “Intertemporal Decision Making,” (article reference code: 708), in Nadel, I. ed. *Encyclopedia of Cognitive Science*.
 - 21) Lichtenstein, S. and P. Slovic (1971) “Reversals of preferences between bids and choices in gambling decisions”, *Journal of Experimental Psychology* 101 pp.16-20.
 - 22) Lvovsky, K., G. Hughes, D. Maddison, B. Ostro, and D. W. Pearce (2000) “Environmental Costs of Fossil Fuels: A Rapid Assessment Methodology with Application to Six Cities, *Environment Department Paper* No.78. World Bank, Washington, DC.
 - 23) Machina, M. (1987) “Choice and under uncertainty: problems solved and unsolved”, *Journal of Economic Perspectives*, 1, pp.121-54.
 - 24) Newell, R. and W. Pizer (2003) “Discounting the Benefits of Climate Change Mitigation: How Much do Uncertain Rates Increase Valuations?”, *Journal of Environmental Economics and Management*, vol.46 No.1 pp.52-71.
 - 25) Pearce, D. W. and P. Koundouri (2004) “Regulatory assessment for chemicals: a rapid appraisal cost-benefit approach”, *Environment Science and Policy*, vol.7 pp.435-49.
 - 26) Pratt, J. (1964) “Risk Aversion in the Small and in the Large”, *Econometrica*, vol.32 No. pp.122-136.
 - 27) Ramsey, F. P. (1928) “A Mathematical Theory of Saving”, *Economic Journal*, vol.38 No. 152 pp.543-559.
 - 28) 坂本浩章 (2014) 「地球温暖化問題と社会的割引の理論」
 - 29) Sugden, R. (1999) “Alternatives to the neo-classical theory of choice,” in I. Bateman and K. Wills eds., *Valuing Environmental Preferences: Theory and Practice of the Contingent Valuation Method*, Oxford UP.
 - 30) Sunstein, C. (2002) *Risk and Reason*, Cambridge UP.
 - 31) Thaler, R. H. (2011) *Misbehaving: The Making of Behavioral Economics*, W. W. Norton & Company (邦訳: 遠藤真美訳(2016) 『行動経済学の逆襲』 早川書房)。
 - 32) 臼井功 (2014) 「環境影響を考慮した費用便益分析における社会的割引率についてー通減的割引率の理論と実証ー」『交通政策の社会的費用便益分析の研究』日交研シリーズ A-611。
 - 33) 臼井功 (2014) 「環境影響を考慮した費用便益分析における社会的割引率についてー通減的割引率の理論と実証ー補遺ー」『道路整備と環境評価』日交研シリーズ A-634。
 - 34) 臼井功 (2021a) 『ビジネスエコノミクスーミクロ経済学・経営科学の応用』日本経営数学会叢書 専修大学出版局。
 - 35) 臼井功 (2021b) 「河川舟運の費用便益分析ー統計的生命価値を中心にー」『都市交通における河川の活用と課題』日交研シリーズ A-816。
 - 36) Weitzman, M. (1994) “On the ‘Environmental’ Discount Rate”, *Journal of Environmental Economics and Management*, vol.26 No.1 pp.200-209.

- 37) Weitzman, M. (1998) "Why the Far-Distant Future Should Be Discounted at Its Lowest Possible Rate", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol.36 No.3 pp.201-208.
- 38) Weitzman, M. (2001) "Gamma Discounting", *American Economic Review*, vol.91 No.1 pp.261-271.

第4章 費用便益分析における不確実性の扱い —楽観主義バイアスと戦略的誤報バイアスに着目して—

4.1 はじめに

費用便益分析（Cost Benefit Analysis: 以下 CBA と略す）は、便益と費用のいずれも将来の予測に基づく計算を行うため、評価結果にはつねに不確実性をともなう。評価結果に関連する要素は、便益であれば政策インパクト、貨幣換算の原単位、推計モデルの妥当性等、費用であれば建設費や人件費、技術革新、デフレーターの妥当性等があり、それぞれの要素に予測であるがゆえの不確実性が存在する。また、プロジェクト全体として、用地買収や原材料の入手の困難、建設会社の倒産、地質改良や生態系への配慮の必要などにより、工期遅延や費用の増加が生じる可能性がある。CBA のプロセスのうち、このような不確実性を扱うのが感度分析であり、それぞれの要素について不確実性の程度を反映させた複数の推計値を示すことにより、評価結果の不確実性に関する情報を提供している。

これらのプロジェクトをとりまく環境や条件における不確実性をどのように正確に扱えるかについては、伝統的に便益や費用の認識や金銭換算の技術において、選好アノマリーと呼ばれる人間の認知バイアスが問題とされてきた。さらに近年では、CBA がプロジェクトの意思決定に資する要因であることから、計画アノマリーと呼ばれる評価者の認知バイアスや戦略バイアスの影響が指摘されている。そこで本章では、交通・社会資本整備の CBA におけるリスク・不確実性の扱いについて、近年の理論および実証研究の知見を整理するとともに、海外の事業評価の実務における考え方および適用を調査し、日本の事業評価における CBA の運用においてリスク・不確実性をどのように有効に反映し得るかについての示唆を得ることを目的とする。

4.2 では、CBA の実務における不確実性の扱いを概観し、4.3 では不確実性の要因として選好アノマリーと計画アノマリーについて説明する。4.4 では、計画アノマリーが生じるメカニズムについて、CBA の結果を意思決定者に対するシグナルとみなし、シグナリング理論を援用して考察する。4.5 では、英国財務省のプロジェクトの事前評価のガイドラインである The Green Book とそれに基づく英国運輸省の計画アノマリーに関するガイドを参照し、リスク・不確実性に由来するアノマリーの扱いを紹介する。

4.2 CBA の実務における不確実性の扱い

日本の CBA を用いた事業評価では、B/C への影響が大きい需要予測と費用全体について、10～20%増減したケースの計算結果を示すことで感度分析としている場合が多いが、このような対応が不十分であることは諸所で指摘されている。金本（2020）では、そのような機械的な計算には不確実性の程度が反映されていないため、ほとんど意味がないと指摘している。すなわち、たとえば需要が 10%減少した場合の評価結果には、10%の減少がどの程度の確からしさで起こるかについての情報がないため、もとの評価結果がどの程度確からしいかについても判断ができない。また、需要予測と費用全体を感度分析の対象とすることについても、評価の目的に対して不足がある。B/C の信頼性を判断するためには、便益や費用のどの要素が評価結果のブレをもたらす可能性があるかについての情報が有用である。そのためには、便益や費用の各要素の予測にかかわるパラメータ等について、それらの確率分布を反映させた感度分析を行う必要がある。

感度分析の主な方法には、部分感度分析、ワースト・アンド・ベストケース分析、モンテ・カルロ・シミュレーション等の方法がある。いずれを用いるかは、不確実性の判断の必要性やデータ制約等の評価の文脈も踏まえ選択されることになるが、Boardman, et al. (2018) では次のような戦略を推奨している。実務における CBA では不確実なパラメータが複数ある場合が一般的であるが、その場合の第一選択肢は、採用したパラメータが妥当であるという思い込みに基づく評価結果を示すことがないよう、モンテ・カルロ・シミュレーションを採用すべきであるとされる。次点は部分的感度分析であるが、その場合にはパラメータの選択が重要であり、純便益に大きな影響があること、不確実性が大きいこと、また社会的割引率のように一定の値を適用することが定められている場合、などが選択基準となる。ワースト・アンド・ベストケース分析は、モンテ・カルロ・シミュレーションが実行できない場合の劣後する手法とされる。

国土交通省（2023）では、感度分析について「要因別感度分析」（部分感度分析）を標準的な手法とし、再評価や事後評価の結果の蓄積を踏まえ、「上位ケース・下位ケース分析」（ワースト・アンド・ベストケース分析）を実施することに努める、モンテ・カルロ・シミュレーションについては感度分析の結果を精査する必要があるときに行うとされている。

4.3 不確実性の要因：選好アノマリーと計画アノマリー

4.3.1 CBAにおける不確実性の源泉

CBA の評価結果に関連する不確実な要素は、前述したように便益・費用ともに多くある。これらの予測不確実性が生じる理由として、単に将来のことは確率的にしかわからないという視点のほか、意思決定におけるアノマリーの問題が指摘されてきた。ここでアノマリーとは、伝統的に経済学で仮定されてきた「合理的経済人」の仮定を逸脱する変則的な選択のことであり、人間の意思決定のヒューリスティクスによって生じる体系的な偏りをあらわす。この知見は、Kahneman and Tversky (1979) で発表されたプロスペクト理論に代表されるように、経済学の意思決定理論に心理学的知見を取り込んで展開されてきた行動経済学の成果である。

(1) 選好アノマリー

CBA における便益評価の分野では、このアノマリーの問題は環境に関する非利用価値の貨幣換算において特に課題となってきた。Hanley and Barbier (2009) では、環境の便益評価の分野において問題となってきた「選好アノマリー」を次の5つに分類している。

①支払い意思額 (WTP) と補償受入れ意思額 (WTAC) との乖離

②選好の WTP における構築問題

③仮想市場バイアス

④リスクへの態度

⑤選好の逆転

①および③については、WTP と WTAC の差は理論的に想定されるものより大きくなるという問題であり、そのバイアスに対処するためには、どちらを用いるべきかについての基準にしたがうべきとされている。また、WTAC を回答させる場合に抵抗による金額回答の程度が大きくなることや、WTP の回答は環境損失に対する補償が、補償の対象や支払いの方法によって異なることが分かっている。

②は、人々は環境に対してある固定的な選好をもっており、しかもそれは対象の環境財そのものというより、文脈に依存して構築されるというものである。たとえば、ある環境改善に対する便益は、その負担が公平か、あるいはその決定が民主的なプロセスを経ていたか、といった広い意味での文脈に依存する。

④および⑤は、人々のリスク認知に関するアノマリーである。人々の主観的なリスク評価は、客観的なリスク評価と体系的に異なる。その理由は、多くの環境リスクの事象が、曖昧な低確率と大きな深刻さをもつことに求められる。低確率事象に対して、人々の反応は、無

視するか過剰反応するか**bi-modal**な分布をもつことがわかっている。さらに、事象の生起は低確率だがその被害が深刻である場合の意思決定の経験はまれである。その場合には期待値計算のようにオッズと結果を同時に考えることをせず、確率と結果を分けたうえで、最も注意を引き付けられる方のみを用いて判断をするというヒューリスティクスを用いることがわかっている。このようなリスク認知のヒューリスティクスが存在する場合、CBAにおいて問題となるのは、リスクや安全に関する政策効果について、科学的な根拠と、それをヒューリスティクスで判断する受益者との間に共通のリスク尺度が存在しないことである。また⑤については、代替案の中でもっとも選好される政策が、その価値を問われたときには1位を表明しないという、「選好と価値の逆転」現象が明らかとなっている。その場合、CBAによる代替案の評価では、もっとも選好される政策を選択できないことになってしまう。

また選好アノマリーには、戦略バイアスの問題もある。政策による便益を問われた回答者は、自分の選好を正直に開示する場合に期待される結果よりも望ましい結果を獲得するために、自らの真の選好を偽って表明することがわかっている (Boardman et al., 2018)。公共財のフリーライダー問題は古典的な例であるが、CBAでは、表明選好法の仮想市場法等で生じる戦略的回答の問題として知られている。たとえば、仮想市場法においてある財のWTPが自由回答方式で求められた場合、WTPの総額によって供給が決まると予想すると、供給が好ましい場合には真の選好よりも大きなWTPを表明するインセンティブをもつ。結果として、集計されるWTPは過大になる可能性がある。一方、財が供給された場合の負担をしなければならぬと予想すると、真の選好よりも小さく、かつ財が供給される程度には大きなWTPを表明するインセンティブがはたらき、結果として集計されるWTPは過少となる。このように、戦略的な回答は金銭的負担が強制か否かといった制度的な文脈にも依存することが知られている。

(2) 計画アノマリー：計画と意思決定における問題

これらの選好、リスク認知、戦略バイアスによる不確実性を、公共部門の計画における予測の不正確さの問題として検証したのが、Flyvbjergらによる一連の研究である (Flyvbjerg, et al. 2002, 2004a, 2004b, 2018)。Flyvbjerg (2008) では、計画における予測の不正確さの原因として、①技術的要因、②心理的要因、③政治経済的要因の3つを挙げ、予測の不正確さには①の技術的要因では説明できない偏りがあることから、②心理的要因による「楽観主義バイアス」と、③政治経済的要因による「戦略的誤報バイアス」が不正確さの主因であると述べている。その論拠を概観しよう。

まず、予測における不正確さの理由をデータが不完全であることや、予測モデルが不完全であることとする従来の見方を、次の2つの理由で否定している。第一に、データやモデル

の不備が理由であれば、予測値は真の値からランダムに変動するはずであるが、予測値と実績値の差の分布を検証すると一貫して著しく非正規であり、平均値はゼロから著しく異なっている。第二に、交通の需要予測など、計画の予測値はこれまで専門的な場で議論されているため、たとえば学術雑誌の査読プロセス等を通じて誤差とその原因が認識されれば、時間の経過とともに精度が向上することが期待される。しかしながら、数十年にわたる改良にもかかわらず、予測の精度には何の影響も与えていない。以上の理由により、不正確さの問題の所在はバイアスであり、予測技術の限界によるエラーではないと結論付けている。

一方、「楽観主義バイアス」と「戦略的誤報」は、計画分野における「計画アノマリー」をもたらす主因であるとされる。ここで、「楽観主義バイアス」とは「人は非意図的に、将来の出来事を実際の経験によって正当化されるよりも肯定的に判断する認知傾向をもつこと」であり、「戦略的誤報バイアス」とは「プロジェクトの予測担当者や計画担当者が、意図的かつ戦略的に便益を過大評価すること」である。これらのうち、「楽観主義バイアス」については、Kahneman and Tversky (1979) や Lovallo and Kahneman (2003) による一般的な示唆が、計画における予測についても成り立つことを挙げる。他方の「戦略的誤報バイアス」については、Wachs (1989, 1990) や Flyvbjerg et al. (2002) により、計画における予測において生じることを検証し、その要因は政治的・組織的な圧力にあること、例えば、資金制約による競争がある場合や、インセンティブの調整不足などにあるとする。

Flyvbjerg (2008) では、予測の不正確さをもたらす「楽観主義バイアス」と「戦略的誤報」は、計画の構成要素を「インサイド・ビュー」でみることによって生じる帰結であり、「アウトサイド・ビュー」をとることによって予防できるとする。この視点は Kahneman & Tversky (1979) や Kahneman (1994) によって提示された不確実性の下での計画と意思決定に関する理論に基づいている。その中の「計画の誤謬」問題では、人は計画された行動のコスト、完了時間、リスクを過小評価する一方で、同じ行動の便益を過大評価することが示されている。この原因は、計画の関係者が計画の構成要素に焦点を当てた「インサイド・ビュー」をとることにある。よって、計画の実施者や評価者が「アウトサイド・ビュー」をとる、すなわち、すでに完了した同様の計画や事業から得た分布情報を用いて、計画の構成要素を外部との比較でみることによって、計画の誤謬問題は緩和される。また、その体系的な手法である「参照クラス予測」を用いるべきであるとする。

Flyvbjerg (2008) ではこの知見を交通計画分野に応用し、たとえば交通インフラ・プロジェクトにおける費用予測の不正確さが統計的に有意であること（表 4.1）や、需要予測が実績と 20%以上異なる事業数は全体の 84%におよび、60%以上乖離する事業も 40%程度あることを示し、その原因は「インサイド・ビュー」にあるとみている（表 4.2）。

表 4.1 交通インフラ・プロジェクトのコスト予測の不正確さ

Type of project	Average inaccuracy (%)	Standard deviation (SD)	Level of significance, <i>p</i>
Rail	44.7	38.4	<0.001
Bridges and tunnels	33.8	62.4	0.004
Road	20.4	29.9	<0.001

Source: Flyvbjerg database on large-scale infrastructure projects.

出典：Flyvbjerg (2008)

表 4.2 交通インフラ・プロジェクトの需要予測の不正確さ

	Rail	Road
Average inaccuracy (%)	-51.4 (SD = 28.1)	9.5 (SD = 44.3)
Percentage of projects with inaccuracies larger than $\pm 20\%$	84	50
Percentage of projects with inaccuracies larger than $\pm 40\%$	72	25
Percentage of projects with inaccuracies larger than $\pm 60\%$	40	13

Source: Flyvbjerg database on large-scale infrastructure projects.

出典：Flyvbjerg (2008)

4.3.2 アノマリーへの対応

(1) 選好アノマリー

Hanley and Barbier (2009) によれば、認知バイアスを最小にすることは優れた調査手順によってアノマリーを透明化し、対応することは可能である。たとえば、3.3.1 節で前述した WTP と WTAC の乖離については、行動経済学におけるプロスペクト理論の損失回避によって、一定程度の説明が可能であり、また同一財に対する顕示選好法と表明選好法の比較等の研究結果から、一般的には WTAC でなく WTP を用いるべきであることが基準として示されている。

一方、戦略バイアスは、メカニズムデザイン問題として対応される。メカニズムデザインとは、「人々のインセンティブを入念に考慮に入れたうえで、経済や政治に関する集団的決定の仕組みを作ろうとする学問分野」(坂井、2014) である。社会における集団的意思決定では、個々人の選好に関する情報が必要であるが、選好は私的情報であるため、計画担当者を含む他人からは分からない。アンケート等で把握しようとすることは可能であるが、それが正しいと証明することは難しい。なぜなら、真の選好を正直に表明するかどうかは、本人のイン

センティブに依存するため、第三者は表明された選好が真か否かをインセンティブとの関係で判断しなければならないからである。したがって、メカニズムデザインは、正直に真の選好を表明することが常に得策であるような制度（耐戦略性を満たすメカニズム）を設計することを目的とする。特に、金銭移転が可能で、人々の選好が金銭について準線形である経済モデルでは、グローヴス・メカニズム（Groves, 1973）が示されており、グローヴス・メカニズムの条件が成立していれば、効率性と耐戦略性が満たされることが知られている。

たとえば、仮想市場評価法では、自由回答法ではなく2段階2肢選択法を用いるべきことがNOAAのガイドラインで定められているが、その理由は、一定の条件のもとでは2肢選択法によるWTPの表明が耐戦略性をもつからである。Carson et al. (1999) は、評価対象の公共財が新規に整備されるものであり、かつ支払負担が強制できるとき、回答者には自らの真の選好を表明しないインセンティブがなくなる、すなわち2肢選択法は耐戦略性を満たす手法であることを明らかにした。一方、もし公共財への支払いが任意である場合には、回答者は実際には支払いをしないですむので、真の選好を超える付け値を応諾することで公共財の整備可能性を高めようとするインセンティブをもつ。この場合、2肢選択法は誘因整合的ではないので、活用すべきではないことになる。

以上により、CBAのプロセスにおいて、便益の推計時の選好アノマリー（認知バイアスと戦略バイアス）は、主に非市場財の表明選好法における課題として認識されてきたことを見てきた。認知バイアスは行動経済学の知見を活かした対応が、戦略バイアスについてはメカニズムデザインにおける耐戦略的な調査手法の設計による対応がなされてきた。

（2）計画アノマリー

計画アノマリー（楽観主義バイアスと戦略的誤報バイアス）については、アウトサイド・ビューをとること、すなわち参照クラス予測が有効とされる（Flyvbjerg, 2008）。計画アノマリーが生じる背景には、計画や事業が固有の事象とみなされ、共通の属性をもつその他のプロジェクトの情報の分布の中に当該プロジェクトを位置づける発想がないからであるとされる。この分布情報の無視や過少評価が楽観主義バイアス等の主因であり（Kahneman & Tversky, 1979b, p.316）、他のプロジェクトの分布情報を用いてアウトサイド・ビューをとるための体系的な方法が「参照クラス予測」である。参照クラス予測の手順を図4.1に示す。

- ① 過去の類似プロジェクトの中から、関連する参照クラスを特定する。そのクラスは、統計的に十分意味のある大きさでなければならないが、特定のプロジェクトと真に比較できる程度に特定されていなければならない。
- ② 選択した参照クラスの確率分布を同定すること。これには、統計的に意味のある結論を出すために、参照クラス内の十分な数のプロジェクトについて、信頼できる経験的データにアクセスする必要がある。
- ③ 特定のプロジェクトを参照クラスの分布と比較し、当該プロジェクトで最も可能性の高い結果を予測として導出する。

出典：Flyvbjerg（2008）

図 4.1 参照クラス予測のプロセス

参照クラス予測とその背景にあるエラーの示唆は、個人の意思決定を含む汎用性の高いものであるが、Flyvbjerg（2008）は Flyvbjerg et al.（2004）に基づく交通インフラ・プロジェクトを対象とした実証研究から、交通インフラ計画における有用性について述べている。インサイド・ビューの場合、計画や事業の担当者は便益や費用が発現する過程についてのシナリオを作る、生じうる事象を想定する、また自らの組織や委託先の能力や管理の水準を測る、などの必要がある。これらのプロセスでは担当者の認知や判断のバイアスが生じうるが、アウトサイド・ビューをとれば、それらのすべてを間違える可能性は低くなる。また、その優位性は、新たなインフラ建設や新技術の採用、新たなタイプの需要が想定される場合など、非定型的なプロジェクトの場合ほど大きいという。理由は、非定型的なプロジェクトではその特殊性のため、楽観主義や戦略的虚偽のバイアスが大きくなるからである。

一方、参照クラス予測には、プロジェクトの属性に関する分布情報を得るため、統計分析に耐えうるサイズの参照クラスのデータセットが必要である。新たな技術の採用など、非定型的なプロジェクトの場合には、非定型性ゆえに参照クラスを設定することができない可能性がある。過去に全く比較可能性のない新規性の場合には参照クラスの設定は難しいが、たとえば当該地域や当該分野では新たな取り組みや技術採用であっても、他地域や他分野を含めて参照クラスを設定することで解決される場合は多い。よって、非定型プロジェクトとみなされていても、プロジェクトの分野や地域を広くとった参照クラスを構築することにより、アウトサイド・ビューの採用が可能な場合は多いとされる。

4.3.3 小括

以上により、CBA の評価結果に関する予測不確実性の源泉は、以下のように整理される。

第一に、便益や費用に関する諸変数が確率変数であるため、それらの多様な確率分布を踏まえた評価結果の変動が生じること、第二に、便益や費用を推計する過程に認知バイアスが存在すること、第三に同じく推計過程に戦略バイアスが存在すること、である。そして、認知バイアスと戦略バイアスは、便益を推定する際に支払い意思額 WTP に関連する選択や選好表明における選好アノマリーとして、計画や事業の予測値推計等の際に計画アノマリーとして顕れるものと整理される。

4.4 計画アノマリーのメカニズム：シグナリング理論

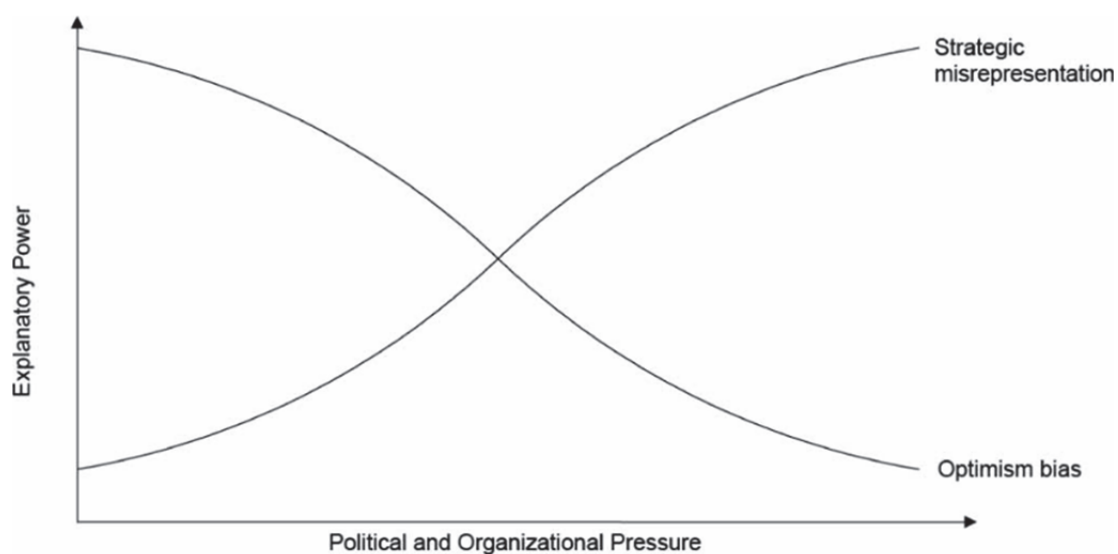
4.4.1 楽観主義バイアスと戦略的誤報バイアスの関係

計画アノマリーへの対応は参照クラス予測によるアウトサイド・ビューをとることが有効であると示されたが、参照クラス予測は従来、非意図的な楽観主義バイアスの改善のために開発されたものである。一方、戦略的誤報バイアスの場合、コスト予測の過少評価や需要予測の過大評価といった傾向は同様であり、また参照クラスのデータは楽観主義バイアスのみが識別されているわけではないため、参照クラス予測の活用は戦略的誤報バイアスに対しても結果的に有効である可能性は高い。

しかしながら、バイアスの方向性は同じであっても「原因が異なれば、可能な治療法も異なる」(Flyvbjerg, 2008) ため、戦略的誤報バイアスが生じるメカニズムの理解は重要である。たとえば、交通インフラ・プロジェクトでは、コスト予測と実際のコストの差は、政治的・組織的圧力によって最もよく説明されることが指摘されている。この場合の問題は、予測の精度が低いことは参照クラス予測の活用で明らかになるかもしれないが、計画や事業の担当者には予測の精度を高めるインセンティブがない場合には、参照クラス予測のようなアウトサイド・ビューをとるインセンティブもないことである。たとえば、都市の交通インフラ・プロジェクトの場合、国の財源による補助やそのための事業化認定の根拠のひとつとして、事業の費用対効果が用いられるとすれば、他都市のプロジェクトとの事業化の競争下では、CBA や関連する予測を下方修正するインセンティブははたらない。

Flyvbjerg (2008) では、計画アノマリーにおける 2 つのバイアスについて、図 4.2 のような関係を報告している。2 つのバイアスは併存するものであり、政治的・組織的な働きかけが弱い場合には楽観主義バイアスの影響が大きい、働きかけが大きくなるにともなって、戦略的誤報バイアスの影響が支配的になることを示している。したがって、戦略的誤報バイアスについては、インセンティブの観点からそれがどのような場合に生じるか、またどのような制度設計によって軽減されるかについて検討する必要がある。次節では、メカニズムデ

ザインの分野における最適シグナリングのモデルを用いて、この点を考察する。



出典：Flyvbjerg（2008）

図 4.2 楽観主義バイアスと戦略的誤報バイアスの関係

4.4.2 メカニズムデザインと最適シグナリング

メカニズムデザインにおけるシグナリング理論では、経済主体の意思決定に影響を与える手法として、インセンティブの直接的なコントロールではなく、情報のコントロールによって経済主体の予測を変化させるメカニズムに注目する。金融政策における市場の期待のコントロールが代表例として挙げられるが、ここでは CBA 結果が、プロジェクトの採択や継続にかかわる主体の意思決定に影響を与える「情報」とであるとみなす。情報提供者が意思決定者に対して情報優位にあるとき、どのような情報（シグナル）を提示すれば、意思決定者の期待を変化させ、情報提供者の期待利得を最大化できるか、は「最適シグナリング問題」と呼ばれるが、田村（2014）ではその基本的なモデルが解説されている。本節では、田村（2014）で解説される Kamenica and Gentzkow（2011）のアプローチを用いて、CBA の提示を最適シグナリング問題としてとらえ、戦略的誤報バイアスのメカニズムについて検討する。

4.4.3 モデルの概要

最適シグナリング問題の構造は、次のように示される（図 4.3 および図 4.4 も参照）。

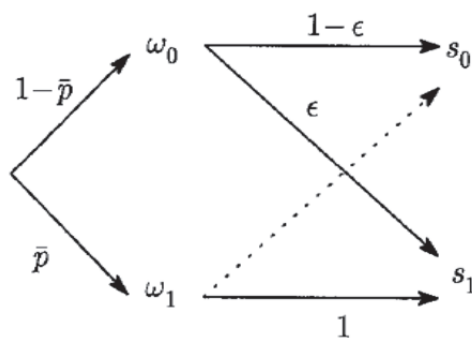
プレーヤーは、「プロジェクトの意思決定者」と「評価情報の情報提供者」とする。

① 情報提供者は、プロジェクトの効率性の評価情報について、意思決定者よりも情報優位にある。

- ② 情報提供者は、意思決定者がプロジェクトを採択したときに利得を得る。
- ③ 情報提供者は、自らの期待利得を最大にするように、プロジェクトの効率性のシグナリングのルールを設定する。効率性のシグナルを費用便益比 (B/C) とすると、
- B/C が 1 以上のとき (状態 ω_1)、かならず必ず $B/C \geq 1$ (シグナル s_1) を出す
 - B/C が 1 未満のとき (状態 ω_0)、 $1 - \epsilon$ の確率で正しい情報である $B/C < 1$ (シグナル s_0) を表示するが、 ϵ の確率で誤報 $B/C \geq 1$ (シグナル s_1) を表示する。
- ④ 状態 ω が実現すると、③のシグナリングのルールにしたがって、シグナル表示が決まる。
- ⑤ 意思決定者はシグナル s を観察し、状態 ω に対する事前予想 $\bar{p}$ を更新して事後予測 μs をベイズルールにより形成し、行動 a (a_0 =採択、 a_1 =非採択) を選択する。
- ⑥ 情報提供者の利得が決まる。

(1) 意思決定者の選択問題

これらの設定において、意思決定者の選択問題に関する変数は図 4.6 のように表される。すなわち、意思決定者はプロジェクトの B/C の結果について、事前の予測 $\bar{p}$ を持っているが、情報提供者が示す B/C のシグナルをみて、予測 $\bar{p}$ を事後予測 p に更新し、それに応じて採択が非採択かの行動 a を表明する。



出典：田村 (2014)

図 4.3 戦略的誤報

- $state \Omega = \begin{cases} \omega_0: B/C < 1 \\ \omega_1: B/C \geq 1 \end{cases}$
- $action A = \begin{cases} a_0: not\ accept \\ a_1: accept \end{cases}$
- $gain u(a_i, \omega_j) = \begin{cases} 1 & \text{if } i = j \\ 0 & \text{if } i \neq j \end{cases}$
- $ex\ ante\ expectation\ for\ state\ M = \begin{cases} \bar{\mu}(\omega_0) = 1 - \bar{p} \\ \bar{\mu}(\omega_1) = \bar{p} \end{cases}, 0 \leq \bar{p} \leq 1$
- $signal S^\epsilon(s, \pi)$ with misinforming
 - $\pi^\epsilon(s_0|\omega_0) = 1 - \epsilon, \pi^\epsilon(s_1|\omega_0) = \epsilon, \pi^\epsilon(s_0|\omega_1) = 0, \pi^\epsilon(s_1|\omega_1) = 1$
- $ex\ post\ expectation\ for\ state\ M = \mu_s = \frac{\pi(s|\omega)\bar{\mu}(\omega)}{\sum_{\omega' \in \Omega} \pi(s|\omega')\bar{\mu}(\omega')} = \begin{cases} \bar{\mu}(\omega_0) = 1 - p \\ \bar{\mu}(\omega_1) = p \end{cases}$

出典：田村（2014）より作成

図 4.4 戦略的誤報モデル

（2）情報提供者の選択問題

情報提供者の選択問題は、誤報確率 ϵ を含むシグナルの選択によって、自らの期待利得を最大にすることである。このとき、期待利得が最大になるようなシグナルを最適シグナルという。情報提供者の利得は意思決定者が a_1 （プロジェクトを採択する）を選択することで最大になると仮定される。したがって情報提供者は、意思決定者が a_1 を選択する確率を最大にするシグナリング戦略をとることが最適となり、意思決定者の事後予想 p をコントロールすることで a_1 の採択確率を高めるようなシグナリングを行う。

（3）最適シグナルにおける誤報確率

以上の設定にもとづく選択問題を解いた帰結について、田村（2014）では誤報確率 ϵ の選択による情報提供者の期待利得（表 4.3）を示している。さらに、Kamenica and Gentzkow (2011) のビリーフデザインアプローチを用いて、情報提供者が意思決定者の事後予想をコントロールして a_1 の採択確率を高めるような最適シグナルの条件（表 4.4）を解説している。なおここでは、 B/C が 1 以上となるかどうかの事前予想 $\bar{p}$ の大きさを情報提供者が判断する際、便宜的に $1/2$ を基準としている。

表 4.3 によれば、誤報確率 ϵ が 0、つまり B/C の情報をそのまま報告するとき、情報提供

者の期待利得は $\bar{p}$ であるが、B/C の情報を「完全非開示」にした場合には期待利得が 1 になる可能性があり、一定の誤報確率を選択する「不完全開示」の場合には $\bar{p}$ よりも大きな期待利得となる可能性がある。すなわち、B/C を開示しないか、「実際よりも B/C がよい」と誤報告したほうが利得が大きくなる。

この結果は、意思決定者の B/C に関する事前予想 $\bar{p}$ に依存するため、表 4.4 では意思決定者の事前予想と最適シグナルとの関係を整理している。事前予想 $\bar{p}$ が 1/2 より低いときには、最適シグナルは 1/2 以下の誤報確率となる。一方、事前予想 $\bar{p}$ が 1/2 以上であると、最適な誤報確率 ε は 1 となる。すなわち、意思決定者がこのプロジェクトは B/C が 1 以上である確率が高いと予想する状況では、たとえ実際には B/C が 1 未満となったとしても、1 以上であると報告することが情報提供者にとって最適となる。

表 4.3 誤報確率モデルの結果

誤報確率 ε	意思決定者の行動	情報提供者の期待利得
$\varepsilon = 0$ (完全開示)	$s_0 \Rightarrow a_0$ $s_1 \Rightarrow a_1$	$\bar{p}$
$\varepsilon = 1$ (完全非開示)	事前予想のみに基づいて行動を選択する $\bar{p} < 1/2$ のとき a_0 $\bar{p} \geq 1/2$ のとき a_1	$\bar{p} < 1/2$ のとき 0 $\bar{p} \geq 1/2$ のとき 1
$0 < \varepsilon < 1$ (不完全開示)	s_1 が表示されたとき $\varepsilon \leq \frac{\bar{p}}{1-\bar{p}}$ ならば事後予想が 1/2 以上 $\rightarrow a_1$ $\varepsilon > \frac{\bar{p}}{1-\bar{p}}$ ならば事後予想が 1/2 未満 $\rightarrow a_0$	$\varepsilon \leq \frac{\bar{p}}{1-\bar{p}} \rightarrow \Pr(a_1) = \varepsilon(1-\bar{p}) + \bar{p}$ $\varepsilon > \frac{\bar{p}}{1-\bar{p}} \rightarrow \Pr(a_1) = 0$

出典：田村（2014）をもとに作成

表 4.4 最適シグナル

意思決定者の事前予想	意思決定者の事後予想の分布	情報提供者の期待利得	最適シグナル
$\bar{p} < 1/2$	$\tau(0) = 1 - 2\bar{p}$ $\tau(1/2) = 2\bar{p}$	$2\bar{p}$	$\varepsilon = \frac{\bar{p}}{1-\bar{p}}$
$\bar{p} \geq 1/2$	$\tau(\bar{p}) = 1$	1	$\varepsilon = 1$

出典：田村（2014）をもとに作成

4.4.4 最適シグナルの前提条件の検討：国土交通省所管事業の新規事業採択評価を事例として

最適シグナル問題の標準的モデルによれば、計画アノマリーにおける戦略的誤報は理論的には生じうる可能性があること、すなわちプロジェクトの評価情報である CBA 結果は、一定の前提のもとでは信頼性を確保できない可能性があることが示された。このモデルの前提

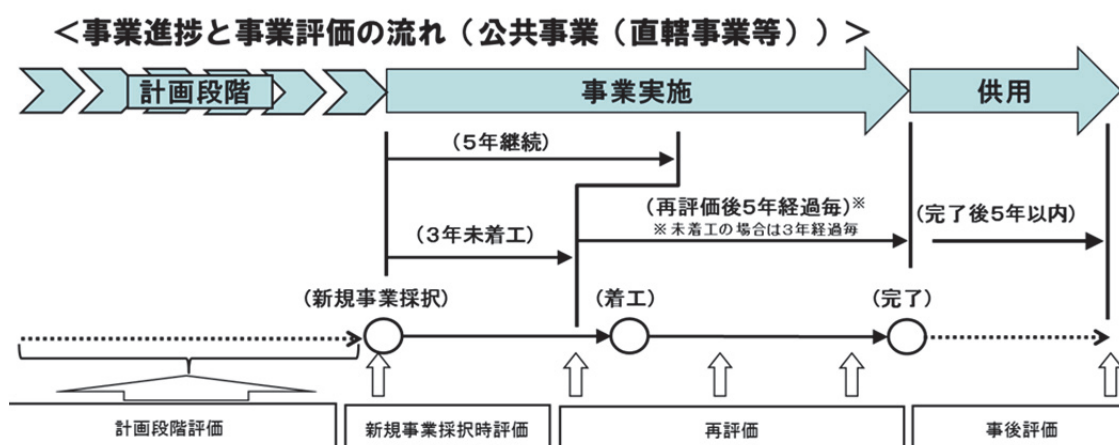
のポイントは、以下のように整理できる。

- ① プロジェクトの意思決定者は、プロジェクトの効率性（B/C）の状態について何等かの事前予想をもっており、それが B/C の評価情報によって更新されること。
- ② 情報提供者が B/C の評価結果の情報を提供する仕組みであること。
- ③ 情報提供者はプロジェクトの採択によって利得を得ること。

これらの条件は、プロジェクトの評価制度における評価の実施者、情報提供者、意思決定者に対する情報優位の程度、評価情報提供のタイミングなどの制度設計に依存する。ここでは、CBA が活用される日本の事業評価制度において①から③が該当するかを確認するため、国土交通省所管事業の新規事業採択評価の評価要領を事例として検討しよう。

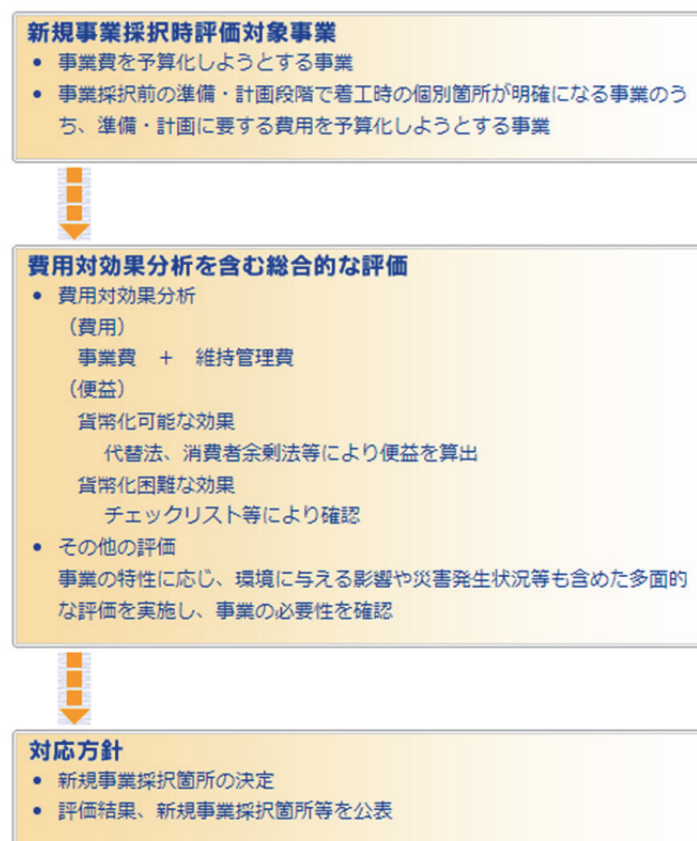
国土交通省所管の公共事業（直轄事業等）は、図 4.5 のように実施される。計画段階から供用までに 4 つの評価があり、このうち「新規事業採択時評価」では「費用対効果分析を含め、総合的に実施するもの」との記載があり、CBA 等の実施対象となっている。さらに「新規採択時評価」「再評価」「事後評価」では、評価目的に「公共事業の効率性及びその実施過程の透明性の一層の向上を図るため」と定められ、効率性が評価の対象となっており、CBA が実施される場合が多い。

「新規事業採択評価」の概要は図 4.6 に示され、具体的には「国土交通省所管公共事業の新規事業採択時評価実施要領」（以下、評価実施要領という）に定められた枠組みで評価を行う。評価実施要領には、評価対象事業、評価の実施主体、実施時期、学識経験者等の第三者委員会の関与、対応方針の決定、評価結果の公表等について定められていることから、これを①—③の検討のために用いる。



出典：国土交通省 web ページ

図 4.5 国土交通省所管の公共事業（直轄事業等）における事業評価



出典：国土交通省 web ページ

図 4.6 新規採択事業評価の概要

①について、新規事業採択時における意思決定者とは、事業の採択を決定する主体である。評価実施要領によれば、評価結果は「原則として年度予算の支出負担行為の実施計画が承認される前までに」（事業の種類によっては承認された後に）、また「政府予算案の閣議決定時に、個別箇所です算措置を公表する事業については、原則として概算要求書の財務省への提出時に」公表することが定められている。すなわち、予算の承認にかかる財務省・財務大臣・内閣、および広義には公表対象である国民が意思決定者であるといえる。一方、その前の段階として、同要領では「本省等は、当該事業の予算化について、直轄事業負担金の負担者である都道府県・政令市等に意見を聴いた上で、学識経験者等の第三者から構成される委員会等の意見を聴くとともに、地方支分部局等と協議しつつ、評価に係る資料に検討を加え、当該事業の予算化に係る対応方針を決定する」とされている。この場合、予算化される事業として承認を得る前に、実質的な対応方針の決定をしているという点で、意思決定者は国土交通省の内部の意思決定機関であるともいえる。さらに「都道府県・政令市等」と「学識経験者等の第三者から構成される委員会等」で意見を聞くとされていることから、これらも意思決定過程の一翼を担うともいえる。

以上により、①については、事業所管部局から B/C 等の情報提供をうけて対応方針を決定する本省等という意思決定者（第一段階）と、それを受けて予算化を承認する財務省・国民という事業評価制度上の意思決定者（第二段階）との二段階の構造があると整理される。いずれも事業の効率性についての評価情報が事前にはないため、何等かの事前予想をもって事業に対応しており、B/C という情報提供によって事前予想が更新されるという構造を想定することに無理はないであろう。予算化の実質的な方針決定の段階という点で、「本省等」を意思決定者とする第一段階のほうがシグナリング理論の前提への適合度が高いとも考えられる。

②について、同要領では「評価の実施主体は、本省又は外局（以下「本省等」という。）とする」としている。これは予算化にかかる対応方針を B/C を含む評価結果によって予算部局（財務省・国民）に示すという点で、「本省等」が情報提供者の役割を担っているといえる。このような制度上の情報提供者の役割に加え、①でみた二段階構造を前提とすると、「本省等」を意思決定者とした場合の情報提供者は、事業を所管する「地方支分部局等」となる。これは、評価実施要領の「1 評価の実施手続 (3) ①直轄事業」において、「地方支分部局等は、評価を行うに当たって必要となるデータの収集、整理等（以下「データ収集等」という。）を行い、評価を受けるために必要な資料（以下「評価に係る資料」という。）を作成するとともに、本省等に提出する」との記載から確認できる。

次に③について、情報提供者たる「本省等」または「地方支分部局等」は、事業採択によって利得を得るのであろうか。これは「評価実施要領」の「第3 評価を実施する事業」において、評価を実施する事業が「事業費を予算化しようとする事業」と規定されていることから、制度のうえで自明であるといえる。プロジェクトの採択＝予算化を企図するもののみが評価対象となる。このことは、費用に見合うかどうかは評価次第ではあるが、少なくとも何等かの社会的課題に対するニーズがあり、その便益を見込んで事業化が企図されているのだから、そのことによって組織のミッションを果たすという利得が得られると考えられる。①の2段階構造において情報提供者が「地方支分部局等」である場合も、事業採択によって同様の利得があるとみなして差し支えないであろう。

以上により、シグナリング理論の前提①—③は、政策評価制度における公共事業の評価の構造に該当すると考えられる。すなわち、B/C の評価結果が意思決定者にとってシグナルとなるとときに、その信頼性が確保できない構造的課題（戦略的誤報バイアス）がある可能性がある。

4.4.5 小括

本節では、CBA における不確実性が事業の計画に関する諸要素の予測であり、かつその評価情報の活用が計画から事業の実施、評価までの一連の過程に位置づけられることから、計

画アノマリーに着目した。計画アノマリーにおける楽観主義バイアスと戦略的誤報バイアスの関係を概観し、両者の原因が異なること、そして戦略的誤報バイアスについてはその性質から、次善の参照クラス予測によるアウトサイド・ビューをとるインセンティブがない可能性があることから、シグナリング理論を用いて、バイアスが生じるメカニズムにアプローチした。それらの示唆を、CBA が評価情報として用いられる公共事業の新規事業採択時評価の制度を事例として検討した結果、B/C の評価情報が戦略的誤報である可能性があることを示した。

4.5 CBAガイドラインにおける不確実性・リスクの扱い

CBA における予測不確実性と、それにともなう不正確さの源泉であるバイアスについて、実務のガイドラインではどのように扱われているであろうか。

4.5.1 CBAガイドライン: Green Book(ANNEX5)

Flyvbjerg (2008) によれば、楽観主義バイアスに対応するための参照クラス予測を導入した初めての事例は、イギリス財務省の事業評価のガイドラインである **The Green Book** (UK HM Treasury, 2022) である。これは、財務省が委託した MacDonald (2002) による実証研究のエビデンスに基づいている。MacDonald (2002) は、過去 20 年間のイギリスの大規模公共事業の結果をレビューし、プロジェクトのコストや期間を過小評価したり、プロジェクトの便益を過大評価したりすることによって、プロジェクトの事前評価における楽観主義が高水準にあることを示した。さらに、プロジェクトを期間通りに、コスト通りに実施するために、プロジェクト見積もりにおける楽観主義を判断し、最小化する方法を提示している。イギリス財務省は、**The Green Book** を改訂するにあたってこの成果を活用し、プロジェクトの評価者は「プロジェクトのコスト、便益、期間の見積もりに対して、経験に基づいて明確な調整を行うべきであること」および「その調整は、過去のプロジェクトや他の類似プロジェクトのデータに基づくことが推奨される」ことを反映させた (UK HM Treasury, 2003)。さらに、大規模公共事業のコスト、便益、期間に関する有効な推定値を確保するためのインセンティブとして、大規模公共事業のための資金配分は、楽観バイアスの調整の有効性に依存すると述べている (UK HM Treasury, 2003)。

財務省による **The Green Book** の改訂と勧告をうけて、イギリス運輸省は交通インフラの計画における楽観主義バイアスとその対策についての調査を実施し、その成果は Flyvbjerg et al. (2004) にガイドラインとしてまとめられた。さらに UK Department for Transport (2021)

では、2004 年のデータや手法を 2020 年の値にアップデートしている。

そこで次節では、現行の The Green Book (UK HM Treasury, 2022) におけるバイアスの記載を概観しよう。

4.5.2 バイアスに関する言及

はじめに、The Green Book の「第 2 章 事前評価と事後評価に関するイントロダクション」において「楽観主義バイアス、リスク、感度分析」の節が設けられている。楽観主義バイアスとリスクの説明の一部について、以下に抄訳を示す。

最初に数値を特定する際には、具体的な楽観的バイアス調整を適用しなければならない。プロポーザル特有のリスクが特定された場合、それらは第 5 章で説明するリスク登録簿に記入されなければならない。リスクを回避、共有、軽減する方法が特定され、プロポーザルに含まれるようになると、それに比例して楽観主義バイアス調整値を減らすことができる。

The Green Book が推奨する楽観主義バイアス調整の初期値は、当該組織が類似プロジェクトから得た十分な信頼できるデータに基づく独自の強固な代替的な見積もりを持たない限り、採用しなければならない。リスクを管理し、回避し、共有し、軽減することが、適切に設計されたプロポーザルを成功させる鍵である：

リスクとは、提案に特に関連するもので、提案の設計、作成／構築、実施、運用において発生する可能性がある。リスク・コストとは、リスクを回避、分担、またはその他の方法で軽減するためのコスト、またはリスクが顕在化した場合のコストのことである。(略)その目的は、社会的に費用対効果の高い方法でリスクを管理することであり、単にスプレッドシートに数値を書き込むことではない。リスクは十分に理解されるべきであり、その管理のための提案に現実的な対策を組み込むべきである。

以上の記載から、楽観的バイアスは常にリスクとともに存在するものとみなされていることがわかる。さらに、リスクは社会的に費用対効果の高い方法で管理されるべきであること、またその目的のためにはリスク登録簿によるリスクの可視化が必要であり、そこには楽観バイアス調整と呼ばれる金額も含まれることが示されている。

それでは、そのリスクのリストアップと楽観主義バイアス調整の計上は、プロジェクト評価のどの段階で行われるのであろうか。図 4.7 プロジェクトの事前評価の全体像を示したものである。このうち、具体的なリスクとバイアスへの対応は、いわゆる CBA の実施である shortlist appraisal の中で行われている。図 4.8 にその抄訳を示した。

楽観主義バイアスとリスクは、プロジェクトの費用と便益の項目を金銭換算し〈②〉、物価調整済みの実質価格に調整し〈④〉、金銭換算できない項目を定性的に評価したあと〈⑤〉、楽観主義バイアスの調整額を見積もり〈⑦〉、リスクと便益の登録簿を作成したのち、リスク・コストと楽観主義バイアスの差し引き〈⑧〉行うこととなっている。その後、プロジェクト期間の費用と便益を足し合わせ、割引現在価値を計算することになる。

以上より、楽観主義バイアスとリスクは、費用と便益の計算の最後に感度分析で対応されるのではなく、費用と便益の項目ごとに検討され、リスク・コストや楽観主義バイアス調整額として B/C の計算に組み込まれている。また、楽観主義バイアス調整額はリスクの低減とともに減じるべきものと想定されており、そのために費用と便益の項目に関するリスクのリストを登録簿として作成・管理すべきとされていることがわかる。

Box 11. Navigating the Appraisal Framework and the Shortlist

Rationale for intervention

- ☐ conduct the strategic assessment, research and understand the current position – Business As Usual
- ☐ establish rationale for intervention including the Evidence based Logical Change Process
- ☐ determine whether Place Based, Equalities, and/or Distributional Appraisal is required
- ☐ ensure Strategic Fit and identify SMART objectives (outcomes and outputs) for intervention

Longlist appraisal

- ☐ identify Constraints and Dependencies
- ☐ identify Critical Success Factors (CSFs)
- ☐ consider unquantifiable and unmonetisable factors
- ☐ consider a longlist of option choices with the Options Framework-Filter
- ☐ consider Place Based, Equalities, and Distributional effects
- ☐ using the Options Framework-Filter create a viable shortlist and preferred way forward

Shortlist appraisal

- ☐ select Social Cost Benefit Analysis or Social Cost Effectiveness Analysis
- ☐ identify and value costs and benefits of all shortlisted options
- ☐ estimate the financial cost to the public sector
- ☐ ensure all values in the economic dimension are in real base year prices with inflation removed
- ☐ qualitatively assess non-monetisable costs and benefits
- ☐ apply appropriate Optimism Bias
- ☐ maintain Risk and Benefits Registers
- ☐ assess Avoidable, Transferable and Retained Risk, build in additional Risk Costs and reduce Optimism Bias accordingly
- ☐ sum the values of costs and benefits in each year
- ☐ discount the yearly sums of costs and benefits in each year to produce Net Present Social Values (NPSVs)
- ☐ add the NPSVs over time to produce The Net Present Social Value (NPSV) of each option
- ☐ calculate BCRs if using CBA or Social Unit Costs if using CEA as appropriate

Identification of the preferred option

- ☐ identify preferred option considering NPSV, BCR, unmonetisable features risks and uncertainties
- ☐ conduct sensitivity analysis and calculate switching values, for each option

Monitoring and evaluation

- ☐ during implementation – inform implementation and operational management
- ☐ in the operational phase – inform both operational management and evaluate the outcome and lessons learned to improve future decisions.

出典：UK HM Treasury (2022)

図 4.7 事前評価の枠組みの全体像

- ① 社会的 CBA または社会的費用効果分析のいずれかを選択する。
- ② 候補となったすべての選択肢のコストと便益を特定し、評価する。
- ③ 公共部門の財政コストを見積もる。
- ④ 経済的側面におけるすべての値が、インフレの影響を除いた基準年の実質価格であることを確認する。
- ⑤ 測定不可能なコストと便益を定性的に評価する。
- ⑥ 適切な楽観主義バイアスを適用する
- ⑦ リスクと便益の登録簿を作成する
- ⑧ 回避可能なリスク、移転可能なリスク、保持されるリスクを評価し、追加的なリスク・コストを組み入れ、それに応じて楽観主義バイアスを軽減する。
- ⑨ 各年のコストと便益の値を合計する。
- ⑩ 各年のコストと便益の合計を割り引いて、純現在社会価値（NPSV）を算出する。
- ⑪ 各オプションの純現在社会価値(NPSV)を算出するために、NPSV を時系列で加算する。
- ⑫ CBA を使用する場合は B/CR を、CEA を使用する場合は社会的ユニット・コストを算出する。

出典：UK HM Treasury（2022）

図 4.8 ショートリスト（CBA）の手順

4.5.3 リスクと楽観主義バイアスの関係

このように、CBA の過程や金銭換算において、楽観主義バイアスとリスクは密接に関連するものとして扱われているが、その概念は異なるものである。4.4 でみたように、計画アノマリーは予測が確率変数であるからこそ、予断や戦略が入り込む余地があるということであった。したがって、楽観主義バイアスに対策するためには、プロジェクトのリスクがどのようなものであるかを把握しなければならない。両者の関係について、The Green Book におけるリスクと楽観主義バイアスの関係を、図 4.9 と図 4.10 の抄訳で示しながら検討する。

（1）リスク項目の特徴

リスク項目の特徴は次の 4 点である。はじめに、公共部門のリスク・エクスポージャーの特徴である。公的なプロジェクトのリスクは、公共財の非排除性の性質や規模の大きさのために、プロジェクトをリスクに強い主体のみで進めることや、他のプロジェクトとリスクをプールしてリスク分散をはかることが難しい。そのため、図中 5.48 のように、リスクを洗い出し、その影響とプロジェクトの進捗や環境変化による増減をモニタリングして対応してい

くしかない。

第二に重要な点は、楽観主義バイアス調整額が、リスク・コストの特定によって減額される点である。楽観主義バイアスの調整額とは、参照クラス予測によって当該プロジェクトの予測が類似プロジェクトの実績からどの程度変動しうるかを算出し、その変動分をいわばバッファとして費用や便益に加えておくものである。一方、リスク・コストとは不確かな費用の期待値であるから、リスク・コストを算定によって項目ごとのリスクの確率や大きさが設定されることになる。よって、プロジェクト全体の変動可能性（楽観主義バイアス調整額）から、たとえば設計段階、施工段階などで個々に計算されるリスク・コストが費用項目に加えられれば、その分の変動可能性は特定されたことになり、楽観主義バイアス調整額はその分減らしてよいことになる。この仕組みは、全体の評価値には不確実性があるというメッセージとともに、その原因や構成は何かということを伝える仕組みであり、プロジェクトの効率性と説明責任に寄与する。

第三に注目すべき点は、図 4.9 中の 5.51 と 5.52 に示されるように、リスク登録簿（図 4.10 参照）を活用しながら、低確率高インパクト事象への対応の必要性を重視している点である。低確率で高インパクトな事象は、低確率とはいえいったん生起してしまえば社会的影響が大きい。さらに、行動科学の知見によれば、低確率はインパクトの質によって「無視する」か「過剰反応する」とされ、バイアスが大きい。さらに、4.4 でみた戦略的誤報の最適シグナルモデルの帰結によれば、情報提供者は、意思決定者による B/C が低いという事前予想が低確率であるときに、B/C が低くても高いと誤報するインセンティブが生じる。以上により、低確率で高インパクトなリスクに着目する有効性は高いといえる。

第四に、リスクとバイアスの順応的管理である。前述したように、5.51（及び図 4.11 の 5.54）の楽観主義バイアス調整額をリスク・コストの特定で減額していく仕組みは、プロジェクトの進捗にともなって明確になってくる設計や施工のリスク内容を柔軟かつ順応的に採り入れていく仕組みである。さらに、5.52 ではリアル・オプション分析に言及しており、気候変動や技術革新など不確実性が大きい場合に、情報の追加や学習による追加的便益や費用削減の影響を事前に考慮できる枠組みを推奨している。これらの順応的な事前評価の対応は、不確実性の可視化にとどまらず、投資の効率性を高める意思決定に資するであろう。

- 5.47 リスク・マネジメントとは、プロジェクトの設計時に特定・評価されるリスク、あるいはプロジェクト・ライフサイクルの後半に顕在化するリスクを管理するための構造的アプローチと定義される。
- 5.48 公共部門のリスク・エクスポージャーは、公共政策の決定の結果として生じる。介入プロジェクトを担当する公共部門は、(保険会社が補償を支払いたくないがために対応するリスクを選択するような)「チェリーピッキング」によって、特定のリスクを除外してリスク削減を達成することはできない。また、(投資ファンドが行うような)バランスの取れたリスク・ポートフォリオを管理するという選択肢も、通常は利用できない。
- 5.49 社会的価値を最適化するためには、リスクは意識的かつ適切に管理されなければならない。評価、モニタリング、評価における優れたリスク管理の実践には以下が含まれる：略
- 5.50 ショートリスト評価を策定する際に、リスクとリスク・コストを特定し、評価の当初に含まれていた楽観主義バイアス許容値を減じるべきである。The Green Book ガイダンス（附属書 5 参照）に従って、評価の初期に含まれる楽観論バイアス調整値を減らすべきである。ボックス 16 に楽観主義バイアスの適用例を示す。
- 5.51 リスク・コストとは、リスクが顕在化した場合に発生するコストであり、期待値ベースで計算される。期待値は、リスクが顕在化した場合に予想されるコストに、リスクが顕在化した場合に予想される可能性を掛け合わせたものである。このため、リスクが発生する可能性のパーセンテージを客観的な根拠に基づいて見積もる必要がある。低確率で高インパクトのリスクは、意思決定者に認識させるために、リスク登録簿に記載すべきである。効果的なリスク・コストの計算には、効果的な日常的データ記録をとまなう、よく設計されたリスクアセスメントプロセスを導入することが有効である。
- 5.52 確率は低いがインパクトが大きいリスクは、政策決定者が真剣に検討する必要がある。これらのリスクをリスク登録簿の一部とすることに加え、上級責任者(SROs)は、現実的かつ効率的にリスクを管理し、実施前および実施中の両方において、効果的に管理できるプロセスにリスクを配置することを確実にしなければならない。リアル・オプション分析（事例は附属書 5 を参照）は、プロジェクト設計段階にさらなる柔軟性を追加し、事後にさらに情報が入手可能になったときに活用できる手法を提供する。これは、不確実性が大きいプロジェクトや、初期投資後の軌道修正が困難なプロジェクト（将来の気候変動の影響が不確実な場合など）に特に有効である。

出典：UK HM Treasury（2022）

図 4.9 リスク項目

Box 35. Risk Register

Risk number (unique within register)	
Risk type	
Author (who raised it)	
Date identified	
Date last updated	
Description	
Likelihood	
Interdependencies with other sources of risk	
Expected impact	
Bearer of risk	
Countermeasures	
Risk status and risk action status	

Box 36. Example of Risk Allocation Table

Risk	Scale	Bearer		Key Issues
		Purchaser	Provider	
Obsolescence	Low		✓	Assets require low levels of technology
Demand Risk	Med	✓		...
Design Risk	High		✓	...
Residual Value	Low	✓		...
3 rd Party Revenues	Low		✓	...
Regulatory Change	High	✓		...
Etc.	...			...

出典：UK HM Treasury（2022）

図 4.10 リスク登録簿

（2）楽観主義バイアス項目の特徴

図 4.11 の 4 項目が楽観主義バイアスの記載である。5.54 ではリスク項目の 5.51 と同様に、全体の費用便益の評価値の一定割合を楽観主義バイアス調整額として加減し、その後はリスク・コストの特定によってそれを減額していく仕組みが説明されている。また、調整額をどの程度するかについては、組織やプロジェクトの実績に基づくべきであるとし、参照クラス予測の活用を指示している。事例として、The Green Book の Box16 では、ある土木プロジェクトの資本コストの現在価値 5,000 万ポンドに対して、類似プロジェクトの実績から 66%の楽観主義バイアス調整額を適用し、総費用の予測を 8,300 万ポンドに増加させた例が挙げら

れている。

一方、具体的な楽観主義バイアス調整額（パーセンテージ）は The Green Book ではガイドされておらず、プロジェクトの所管組織が示している。交通インフラの分野では、イギリス運輸省による UK Department for Transport（2021）が、UK Department for Transport（2004）のガイド Procedures for Dealing with Optimism Bias in Transport Planning を更新して提示している。図 4.12 にプロジェクトの分野別参照クラス予測（Reference Class Forecast：以下 RCF）の結果を示した。たとえば、鉄道プロジェクトの費用超過は、イギリス以外の他国のプロジェクトも含む参照クラス 355 件のうち、80%が 60%以下のコスト超過（RCF80）、50%が 19%のコスト超過（RCF50）であった。これをもとに、RCF80 を楽観主義バイアス調整として採用すれば、年度や現在価値の費用を 60%上乗せすることになる。RCF の値は分野によって異なる。たとえば鉄道と道路の RCF80 を比較すると、費用超過と便益不足では鉄道のほうが予測がはずれるケースが多いが、工期については同程度であることがわかる。

参照クラス予測は、経済変数である物価の不確実性についても適用例が示されている。図 4.13 は評価対象プロジェクトがかかわる 1992-2018 の期間について、GDP デフレーター以上の追加インフレを予測したい場合のリファレンス・クラス曲線が示されている。最も可能性の高いシナリオ P50（予測不能なインフレが発生する可能性が 50%）は、GDP デフレーターに 2.3%、P80（同 80%）を採用すれば約 4%上乗せすることとなる。

- 5.43 楽観主義バイアス（Optimism bias）とは、資本コスト、運転コスト、プロジェクト期間、便益など、主要なプロジェクト・パラメーターについて、評価者が過度に楽観的に見積もる体系的な傾向のことである。

5.44 この傾向を減らすために、評価では楽観主義バイアスを明確に調整する必要がある。The Green Book では、評価の最初に全体的なパーセンテージ調整を行うことを推奨している。最初の楽観主義バイアスの見積もりは「固定」されるべきではなく、評価が進展し、特定のリスクのコストが特定されるにつれて、減額することができる。

5.45 理想的な調整は、楽観主義バイアスの過去の水準に関する組織独自のエビデンスに基づくべきである。組織固有の信頼できる推定値がない場合は、Annex5 に示す一般的な値を用いる。現在のところ、補助事業に適用できる一般的な調整額というものはないが、組織独自のエビデンスに基づく調整が適用されるべきである。

5.46 楽観主義バイアスは、類似のグループの結果を基に将来の結果を予測する参照クラス予測の一種である。

出典：UK HM Treasury（2022）

図 4.11 楽観主義バイアス項目

	<i>Sample size</i>	<i>Mean deviation</i>	<i>Frequency</i>	<i>Median (RCF 50)</i>	<i>RCF 80</i>	<i>Historical range</i>
<i>Rail</i>						
Cost overrun	355	30%	7 out of 10	19%	60%	1964-2011
Schedule overrun	133	28%	6 out of 10	20%	61%	1964-2011
Benefit shortfall	132	-25%	7 out of 10	-30%	-64%	1970-2011
<i>Roads</i>						

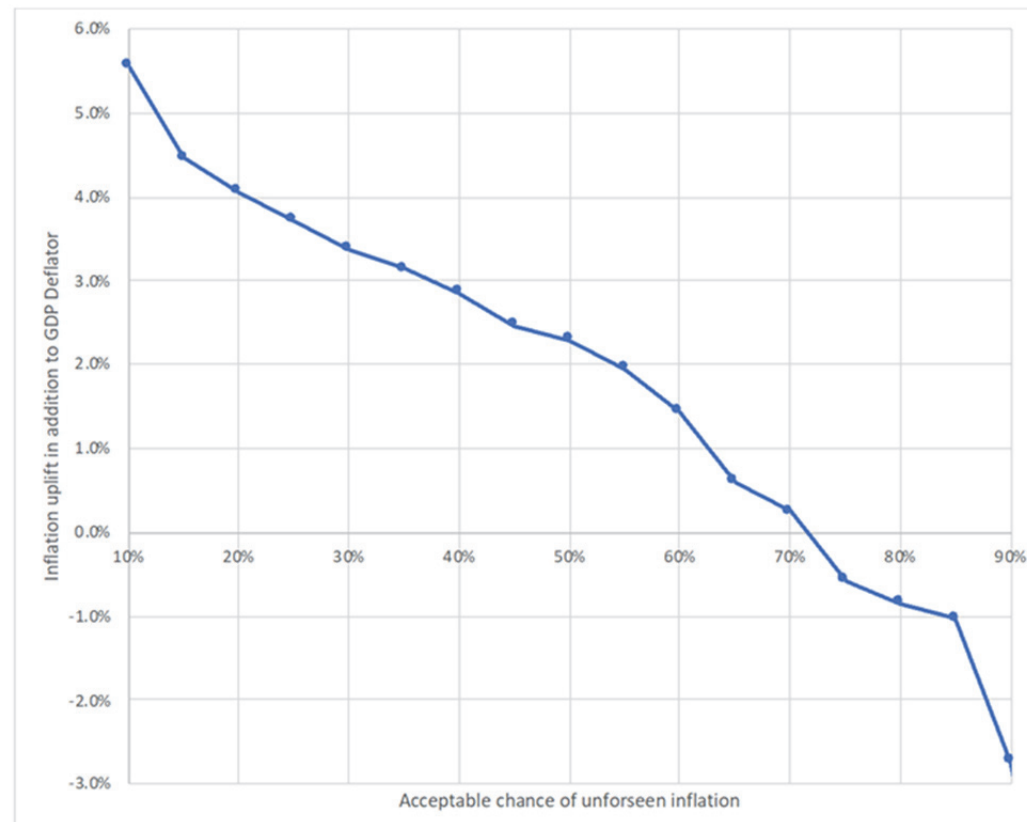
Cost overrun	977	22%	8 out of 10	16%	47%	1954-2019
Schedule overrun	340	20%	7 out of 10	11%	57%	1965-2019
Benefit shortfall	973	-5%	6 out of 10	-7%	-35%	1954-2017
<i>Fixed Links</i>						
Cost overrun	117	28%	7 out of 10	20%	62%	1927-2016
Schedule overrun	54	17%	6 out of 10	4%	40%	1931-2016
Benefit shortfall	53	-13%	4 out of 10	-14%	-47%	1970-2010
<i>Buildings</i>						
Cost overrun	149	44%	7 out of 10	13%	84%	1851-2017
Schedule overrun	112	32%	6 out of 10	5%	68%	1851-2018
Benefit shortfall	21	-4%	6 out of 10	-4%	-48%	1993-2005
<i>IT</i>						
Cost overrun	5303	42%	4 out of 10	0%	50%	2002-2017
Schedule overrun	1318	28%	5 out of 10	0%	58%	2001-2017
Benefit shortfall	211	21%	5 out of 10	0%	-85%	2006-2017
<i>Land and property</i>						
Cost overrun	48	-4%	4 out of 10	-4%	11%	1994-2019
<i>Rolling Stock</i>						
Cost overrun	20	35%	9 out of 10	30%	64%	NA
Schedule overrun	20	4%	2 out of 10	0%	0%	NA
<i>OPEX</i>						
Roads	23	70%	7 out of 10	21%	185%	1998-2007
Rail	49	1%	4 out of 10	-10%	40%	1985-2007
Pooled*	74	23%	5 out of 10	-2%	77%	1981-2007

*Pooled OPEX includes two bridge projects.

出典：UK Department for Transport（2021）

図 4.12 交通プロジェクトの参照クラス予測

FIGURE 4 REFERENCE CLASS FORECAST FOR INFLATION UPLIFT NEEDED FOR THE GDP DEFLATOR FOR A GIVEN ACCEPTABLE CHANCE OF UNFORSEEN INFLATION



出典：UK Department for Transport（2021）

図 4.13 物価（GDP デフレーター）の参照クラス予測

（3）戦略誤報バイアスの扱いについて

4.4.1 では、計画アノマリーのうち、楽観主義バイアスと戦略的誤報バイアスでは、バイアスが発生するメカニズムが異なることを示した。イギリスの *The Green Book* では、戦略的誤報バイアスはどのように扱われているのであろうか。

The Green Book では、楽観主義バイアスはリスクとともに明示的に扱われているが、戦略的誤報に関する記載はない。一方、UK Department for Transport（2021）では、交通プロジェクトの費用と工期の過少見積もりの原因として、楽観主義バイアス、プロジェクトを進捗させる経済的インセンティブとともに、戦略的誤報への言及がある。そのうえで、楽観主義バイアスに関する参照クラス予測がガイドされていることから、対策としては戦略的誤報を別扱いにすることなく、楽観主義バイアスに含まれるものとして扱っているとみられる。

4.4 の最適シグナル問題の示唆によれば、意思決定者が B/C が高いと事前に予想するプロジェクトで誤報が生じやすい。したがって、戦略的誤報への対策は、そのようなときに報告された B/C の確からしさが確認できるような制度設計になっていればよい。そのためには、

評価に関連する情報の非対称性を最小化することと、情報の非対称性を生み出す不確実性やリスク事象をどのように評価に反映させているかを透明化すること、さらに、それらにインセンティブをもたせるようなルール設定が必要である。The Green Book と、UK Department for Transport（2021）の参照クラス予測のガイドラインは、不確実性・リスク・楽観主義バイアスをリスク登録簿、リスク・コスト、楽観主義バイアス調整額で透明化することを求めている、戦略的誤報に対しても一定の有効性をもつ制度設計になっていると考えられる。

4.6 おわりに

本章では、事業評価における費用便益分析（CBA）におけるリスク・不確実性の扱いについて、近年の理論および実証研究の知見を整理するとともに、イギリス財務省および運輸省のガイドラインにおける考え方および適用を調査し、日本の事業評価における CBA の運用における示唆を考察した。

CBA をめぐる不確実性の要因について検討し、従来の予測技術的要因に加え、選好アノマリーや計画アノマリーといった新たな要因が重要性を増していることを整理した。特に、CBA の信頼性に関わるこれらのアノマリーは、分析におけるインサイド・ビューから生じること。計画アノマリーの発生メカニズムとその誘因はシグナリング理論により説明可能であることを示した。また、日本の公共事業における CBA の運用にも構造的な計画アノマリーが存在する可能性が実務の実施要領から示唆された。さらに、イギリスの事業評価のガイドラインである The Green Book におけるリスク・不確実性・楽観主義バイアスへの対応を概観し、アウトサイド・ビューを用いた不確実性やリスクの定量化、可視化、共有の仕組みを整理した。リスクの順応的管理と評価、コスト等の楽観主義バイアス調整額をアップリフトとして計上し、事業進捗時に更新する仕組みや、その際の参照クラス予測の活用、リスク情報の共有、リスク登録リストおよびリスク配分表の整備の必要性等が示された。

今後の課題として、アウトサイド・ビューの導入とはエビデンスに基づく政策立案（EBPM）の一環でもあることから、ランダム化比較試験（RCT）や参照クラス予測に基づく CBA の事後分析の可能性を追求することが挙げられる。城所（2020）らが指摘する RCT の次善の運用、エビデンスを Data Clearing House としてデータ共有すること、CBA の活用にあたっての EBPM 遂行体制等のあり方についても検討が必要である。具体的には事業のリスクや不確実性の共有の目的と課題の整理として、国土交通省の「公共事業評価カルテ」等のデータ活用可能性、リスク・コスト等のアップリフト計上の制度化などが挙げられる。また、CBA の運用では、支出負担行為としての予算目的のほか、事業のアカウンタビリティ評価と事業を改

善するフォーマティブ評価としての意義を、政策評価制度や公共事業の一連の計画、予算における制度上の位置づけ等の観点から再整理する必要性も挙げられるかもしれない。視点は多岐にわたるが、これらの課題に取り組むことで、CBA の信頼性と有効性の向上によって、より効率的に社会的価値を実現することが期待される。

<参考文献>

- 1) 金本良嗣 (2020)「総説：EBPM を政策形成の現場で役立たせるために」 in 大橋弘編著 (2020). EBPM の経済学: エビデンスを重視した政策立案.
- 2) 城所幸弘 (2020)「交通・社会資本政策における EBPM-CBA の一層の活用を」 in 大橋弘編著 (2020). EBPM の経済学: エビデンスを重視した政策立案
- 3) 国土交通省 (2023)「公共事業評価の CBA に関する技術指針 (共通編)」
- 4) 国土交通省「所管公共事業の新規事業採択時評価実施要領」
https://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/180330/youryou/02_shinki_koukyou180330.pdf (2024 年 3 月 20 日閲覧)
- 5) 坂井豊貴 (2014)「グローヴス・メカニズム」 in 坂井豊貴編著 (2014). メカニズムデザインと意思決定のフロンティア
- 6) 田村彌 (2014)「最適シグナル」 in 坂井豊貴編著 (2014). メカニズムデザインと意思決定のフロンティア
- 7) Boardman, A. E. (2018). Cost benefit analysis. Pearson Education India. Fifth edition.
- 8) Carson, R. T., & Groves, T. (2007). Incentive and informational properties of preference questions. *Environmental and resource economics*, 37, 181-210.
- 9) European Commission (2021) *Economic Appraisal Vademecum 2021-2027: General Principles and Sector Applications* (2024 年 3 月 20 日閲覧)
- 10) Flyvbjerg, Bent, Holm, Mette K. Skamris, Buhl, Søren L., 2002. Underestimating costs in public works projects: error or lie? *J. Am. Plan. Assoc.* 68 (3), 279-295.
- 11) Flyvbjerg, Bent, Holm, Mette K. Skamris, Buhl, Søren L., 2004. What causes cost overrun in transport infrastructure projects? *Transp. Rev.* 24 (1), 3-18.
- 12) Flyvbjerg, B., Glenting, C., & Rønne, A. (2004). Procedures for dealing with optimism bias in transport planning. London: The British Department for Transport, Guidance Document.
- 13) Flyvbjerg, Bent, Glenting, Carsten, Rønne, Arne, 2004. Procedures for Dealing with Optimism Bias in Transport Planning: Guidance Document. UK Department for Transport, London.
- 14) Flyvbjerg, B. (2008). Curbing optimism bias and strategic misrepresentation in planning: Reference class forecasting in practice. *European planning studies*, 16(1), 3-21.
- 15) Flyvbjerg, B., Ansar, A., Budzier, A., Buhl, S., Cantarelli, C., Garbuio, M., ... & Van Wee, B. (2018). Five things you should know about cost overrun. *Transportation research part A: policy and practice*, 118, 174-190.
- 16) Groves, T. (1973). Incentives in teams. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 617-631.
- 17) Hanley, N., Barbier, E. B., & Barbier, E. (2009). *Pricing nature: cost-benefit analysis and environmental policy*. Edward Elgar Publishing.
- 18) Kahneman, Daniel, Tversky, Amos, 1979. Intuitive prediction: biases and corrective procedures. In: Makridakis, S., Wheelwright, S.C. (Eds.), *Studies in the Management Sciences: Forecasting*, vol. 12. North Holland, Amsterdam, pp. 313-327.
- 19) Kahneman, D. (1994). 27. New Challenges to the Rationality Assumption.
- 20) Kamenica, E., & Gentzkow, M. (2011). Bayesian persuasion. *American Economic Review*, 101(6), 2590-2615.

- 21) Lovallo, Dan, Kahneman, Daniel, 2003. Delusions of success: how optimism undermines executives' decisions. Harvard Bus. Rev. July Issue, 56-63.
- 22) MacDonald, M. (2002). Review of large public procurement in the UK. HM Treasury, London.
- 23) UK HM Treasury (2003) THE GREEN BOOK: Appraisal and Evaluation in Central Government (2024 年 3 月 20 日閲覧)
- 24) UK HM Treasury (2015) Valuing infrastructure spend: Supplementary guidance to the Green Book (2024 年 3 月 20 日閲覧)
- 25) UK HM Treasury (2022) THE GREEN BOOK:CENTRAL GOVERNMENT GUIDANCE ON APPRAISAL AND EVALUATION (2024 年 3 月 20 日閲覧)
- 26) UK Department for Transport (2021) UPDATING THE EVIDENCE BEHIND THE OPTIMISM BIAS UPLIFTS FOR TRANSPORT APPRAISALS 2020 data update to the 2004 Guidance Document Procedures for Dealing with Optimism Bias in Transport Planning. (2024 年 3 月 20 日閲覧)
- 27) Wachs, Martin, 1989. When planners lie with numbers. J. Am. Plan. Assoc. 55 (4), 476-479.
- 28) Wachs, Martin, 1990. Ethics and advocacy in forecasting for public policy. Bus. Prof. Ethics J. 9 (1 and 2), 141-157.

日交研シリーズ目録は、日交研ホームページ
http://www.nikkoken.or.jp/publication_A.html を参照してください

A-894 「交通・社会資本整備の評価における不確実性の研究」

交通・社会資本整備の評価における不確実性の研究
プロジェクト

2024 年 9 月 発行

公益社団法人日本交通政策研究会