

リスク対策の社会資本整備における効率性評価の課題に関する考察

首都大学東京 朝日ちさと*

佛教大学 萩原清子

要旨

社会資本がもたらす主要なストック効果のひとつは安全・安心を確保することにある。災害大国日本においては、気候変動や災害によるリスクを低減させる社会資本の整備および維持・更新の需要は大きい。他方、人口減少と高齢化の急速な進展に伴い、社会保障費および政府債務負担の構造的な増大による財政逼迫は国・地方ともに深刻であり、社会資本に対する投資余力は低下している。今後のリスク対策の社会資本投資において、効率性の評価の重要性は増している。

リスク対策の社会資本の効率性を評価する費用便益分析においては、①リスクの便益評価および②便益の範囲に関する課題がある。前者について、現状ではリスクを確率と損失（被害額）で定義し、回避される期待被害額を便益とするアプローチが一般的である。一方、気候変動や災害対策の分野においては、リスクを「ハザード・暴露・脆弱性」の構成要素でとらえ、リスク対策の政策をそれらの要素への寄与を以て評価する知見が蓄積されつつある。また、後者の便益の範囲については、環境や交通の分野において、インフラ投資の直接便益のほか、間接便益やコベネフィット（共通便益）の把握が試みられており、投資制約を背景に政策の効率性をより精緻にとらえるための範囲設定が必要とされている。

以上の課題のうち、本研究では①の課題に注目し、本研究は社会資本が対策するリスクを「ハザード・暴露・脆弱性」の枠組みで整理するとともに、社会資本が脆弱性を改善する効果の便益評価モデルを検討する。さらに、事例により評価可能性を検討する。

Issues on Economic Evaluation of Infrastructure against Risk

ASAHI Chisato Tokyo Metropolitan University

HAGIHARA Kiyoko Bukkyo University

One of major stock effects of social overhead capital (SOC) is securing safety of life and civil-minimized quality of life. As Japan has experienced a number of large-scale disasters and ongoing global climate change, social demand for the provision, replace, and maintenance of infrastructures against risk should be increasing. However, it is difficult for both national and regional governments to finance their needs due to the rapid aging and decreasing of population, accompanying substantial financial burdens in public sector.

We focus on two issues on the efficiency evaluation tool of public project, Cost-Benefit Analysis: 1) Valuation of risk and 2) Scope of Benefits. As for the former, while counter-risk benefits in practice are basically quantified in terms of expected value approach, an alternative approach which defines risk as “Hazard, Exposure, and Vulnerability (HEV)” has been applied in the works of climate change or disaster management. The latter issue is concerning inclusion of indirect or secondary benefit and co-benefit in valuation of projects. This paper examines the issue 1), the risk which targeted by SOC project in the HEV approach and applies it in the valuation model of vulnerability improvement.

Keywords: risk, hazard, exposure, vulnerability, public goods, cost-benefit analysis, indirect benefit, co-benefit

JEL classifications:D8, H4, H84, Q51,

リスク対策の社会資本整備における効率性評価の課題に関する考察

首都大学東京 朝日ちさと*

佛教大学 萩原清子

1. はじめに

社会資本がもたらす主要なストック効果のひとつは安全を確保することにある。災害大国日本においては、気候変動や災害によるリスクを低減させる社会資本の整備および維持・更新の需要は大きい。他方、人口減少と高齢化の急速な進展に伴い、社会保障費および政府債務負担の構造的な増大による財政逼迫は国・地方ともに深刻であり、社会資本に対する投資余力は低下している。今後のリスク対策の社会資本投資において、効率性の評価の重要性は増している。

リスク対策の社会資本の効率性を評価する費用便益分析においては、①リスクの便益評価および②便益の範囲に関する課題がある。前者について、現状ではリスクを確率と損失（被害額）で定義し、回避される期待被害額を便益とするアプローチが一般的である。一方、気候変動や災害対策の分野においては、リスクを「ハザード・暴露・脆弱性」の構成要素でとらえ、リスク対策の政策をそれらの要素への寄与を以て評価する知見が蓄積されつつある。また、後者の便益の範囲については、環境や交通の分野において、インフラ投資の直接便益のほか、間接便益やコベネフィット（共通便益）の把握が試みられており、投資制約を背景に政策の効率性をより精緻にとらえるための範囲設定が必要とされている。

以上の課題を踏まえ、本研究は社会資本が対策するリスクを「ハザード・暴露・脆弱性」の枠組みで整理するとともに、社会資本が脆弱性を改善する効果の便益評価モデルを検討する。そのうえで、公共事業の事前評価における費用便益分析マニュアルにおいて、リスクあるいは安全の効果およびその評価手法がどのように設定されているかについて整理し、脆弱性の観点による便益の厚生測度および評価手法の適用可能性について検討する。次節では、リスクと脆弱性の概念および社会資本との関係について整理する。第3節では、リスクを脆弱性としてみなした場合のリスク対策事業の厚生評価モデルを提示する。第4節では、社会資本整備の事前評価における安全の評価の現状を整理するとともに、評価マニュアルの事例により、安全の効果およびその評価手法について脆弱性の概念を用いて検討する。

2. リスク・脆弱性と社会資本

2.1. リスクの3要素と社会資本

社会資本がもたらすストック効果には生産力効果と厚生効果がある。前者は企業の生産能力の増大を通じて経済成長をもたらす効果であるのに対し、後者は家計の安全や利便性をシビル・ミニマムなどの基準が確保される効果である。厚生効果をもたらす社会資本には、治山・治水、津波・地震などに対策する防災インフラ、衛生を確保する上下水道など多岐にわたるインフラが含まれ、家計が直面するさまざまなリスクの低減が厚生効果であることが多い。そこで、家計の安全の確保を目的とするインフラの効果に焦点をあてる。

インフラに関するリスクの定義は、主に災害マネジメントおよび気候変動の分野で論じられてきており、近年、これらの分野ではリスクの定義が統合されつつある。Lavell et al. (2012) は、リスクマネジメントにおける災害リスクの重要概念を気候変動の緩和策の場合に適用している。災害リスクは、「ハザード（危険をもたらす物理的事象）」、「暴露」、「脆弱性」の3つの要素で構成される（図1参照）。Lavell et al. (2012) によれば、ハザードは自然、社会と自然との関係、あるいは純粋に人間由来の社会的な原因により生じる。その物理的な原因が危険事象となるか否かは暴露と脆弱性の如何による。ハザードの具体例は、地震、火山、津波、洪水、渇水、また

気候変動によって引き起こされる事象などである。第二の要素である暴露とは、ハザードとなる物理的な事象によって負の影響を受ける人々、家畜、環境、資源、インフラ、また経済的、社会的、文化的な資産が存在することを表す。すなわち、潜在的に危険に曝されており、損失を被る可能性を持っている種々の存在が、暴露の概念で表される。第三の要素である脆弱性は、ここでは負の影響を受ける傾向あるいは条件と定義される。ある暴露の条件のもとで、その構成要素が受ける被害がどの程度となるかは、負の影響を受けやすい傾向や条件次第である。そして、それらの傾向や条件は歴史、自然、社会、経済、環境の帰結であることから、脆弱性は社会的に構築される条件であるとみなされる。

リスクの大きさは、図1に示されるように、ハザード、暴露、脆弱性の3要素の相互作用によって決まるが、インフラの安全に関する厚生効果を把握する意図からは、3要素のうち、家計への脅威を低減するためには、インフラが主にどの要素に効果的に影響を与え得るかを検討することが有用であろう。ハザードの多くは自然由来の事象であり、少なくとも短期的には人間のコントロール下にはないと考えられる。たとえば、地震の生起を予測することはある程度可能であるが、地震の規模や頻度を直接的にコントロールすることは不可能である。暴露は、損失を被る可能性をもつ存在・配置であり、リスクの大きさを同定するにあたっての記述的かつ集合的概念である。脆弱性については、社会的に構築される条件との定義から、社会を構成する家計、コミュニティ、政府の選択によって家計への脅威を低減できる余地が大きい要素である。したがって本稿では、インフラの安全に関する厚生効果は、リスクの3要素のうち、主に脆弱性に働きかけることによって発揮されると位置づけることとする。

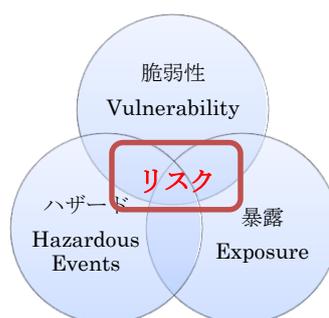


図1 リスクの3要素

2.2. 脆弱性の要素とプロセス

脆弱性は負の影響を受けやすい条件と定義されるが、その要素は家計自身の経済的・社会的状況、家計が所属するコミュニティ、家計の居住する地域の自然や環境によって多様である。インフラが脆弱性の改善に寄与する効果をとらえるためには、それらの要素が何であるか、また、それらの要素が家計の条件を形成するプロセスを明らかにする必要がある。

Shreve and Kelman (2014) は、災害リスク低減事業 (disaster risk reduction : DRR)の費用便益分析の28の事例をレビューし、さまざまなハザード、災害リスク低減の事業内容、評価対象とされる効果、評価の頑健性等について結果と手法に関するメタ分析を行っている。脆弱性は評価対象の効果のひとつであるが、それらの事例では4つのカテゴリーに一般化されていることが報告されており、それらは、経済 (economic)、環境 (environmental)、物理的 (physical)、社会的 (social) となっている。これらのカテゴリーのうち、経済と物理的な次元は費用便益分析において評価されているが、環境と社会的な次元については評価が留保されていることが多いと報告されている。環境と社会のカテゴリーについては質的な変数が必要とされ、それゆえ費用便益分析ではなく、より質的な基準を扱うことが可能な多基準分析のような評価法が適していることが示唆されている。

次に、脆弱性のプロセスの観点として、Blaikie et al. (1994)は脆弱性を家計の状態の推移としてとらえる見方を提示している。彼らは、家計の脆弱性は「根源的な要因 (root causes)」、「動学的なプレッシャー (dynamic pressures)」、「安全ではない状態 (unsafe conditions)」というプロセスで進むと分析している (図2参照)。このように脆弱性を3つの段階に分類することで、政策で働きかけるべき段階や効果が生じる段階を把握することができる。はじめの2つの段階の結果として生じる「安全ではない状態」は、さらに「物理的環境」、「地域経済」、「社会的関係」、「公的な活動・制度」に分類される。すなわち、家計が直面する「安全ではない状態」はこれらの要素で記述することができ、インフラは主に「物理的環境」要素に働きかけることによって「安全ではない状態」を改善することになる。

表1は、費用便益分析の評価対象にみる脆弱性のカテゴリーと、脆弱性のプロセスの最終段階である「安全ではない状態」への対策カテゴリーとの関係を示したものである。本稿はインフラによる脆弱性の改善の経済的評価に焦点を絞っているため、インフラの整備や改善が脆弱性の要素とプロセスのどの部分を改善し得るかを、表1のクロスチェック表で表した。災害リスク低減事業における評価対象としての脆弱性の分類のうち、「物理的」カテゴリーはインフラ整備が直接的に影響を与え得る。脆弱性のプロセスのうち、最終的な「安全ではない状態」への対策のカテゴリーでは、インフラ整備は「物理的環境」の改善である。つまり、インフラへの公的投資は、物理的環境の「安全ではない状態」を改善することで、脆弱性の「物理的」要素を改善し、場合によっては「経済」「社会」等の要素カテゴリーにも影響を与える。また、改善された「物理的」要素は、「地域経済」や「社会的関係」にも影響を与える可能性があることを示している。



図2 脆弱性のプロセス：Bevc (2013)より作成

表1 脆弱性の要素カテゴリーと「安全ではない状態」への対策カテゴリーとの関係

「安全ではない状態」への対策 要素カテゴリー	物理的環境	地域経済	社会的関係	公的な活動制度
1. 経済的	✓			
2. 社会的	✓			
3. 物理的	✓	✓	✓	✓
4. 環境	✓			

3. 脆弱性低減の厚生評価モデル

脆弱性の要素を踏まえ、インフラによる「基本的サービスの供給」による脆弱性低減の厚生効果を評価するためのモデルを提示する。モデルは、朝日・萩原 (2012) の脆弱性評価モデルにおける公的投資を、前節で分類した「安全ではない状態」への対策カテゴリーに拡張したものである。

3.1. 基本的サービスの消費に関する家計の意思決定

y を家計の基本的サービスの消費水準とし、家計が生存や最低限の生活に必要なとするサービス水準（シビル・ミニマムなど）を z と表す。災害や施設の老朽化による事故等により基本的サービスの供給が停止したり減少したりすることにより、 y が z を下回る可能性があるとする。すなわち、その状態が「安全ではない状態」である。このような安全ではない状態に陥る確率を π^a とする。 π^a は、前節の脆弱性対策カテゴリーのいずれかにより低減することができるし、その対策を S_i および R で表す。 S_1 は物理的環境を改善するインフラ、 S_2 は社会的関係（ソーシャル・キャピタルあるいはコミュニティ）を、 S_3 は環境の質を、そして R は自己の経済的な対策の水準を表す。ここで、厚生評価のために、家計自身の選択である経済的対策 R と、家計の選択対象ではないが、公的投資や政策の変数であるその他の対策カテゴリー S_i とは代替関係にあると仮定する。したがって、脆弱性を表す「安全ではない状態に陥る確率」 π^a は、家計の対策 R と、当該家計が享受し得る公的あるいは社会・環境による対策の水準 S_i によって決まる（式(1)）。

$$\pi^a = \text{Prob}(y(S_i, R) < z) \quad (1)$$

家計の選好は、所得 M 、基本的サービスの消費水準 y 、安全ではない状態に陥る確率 π^a の関数で表される。ここで、 y は脆弱性対策の水準 S_i および家計の私的投資 R によって決まる。家計の消費に関する意思決定問題は、所与の S_i および M のもとで、選好関数 I を最大にするように私的投資の水準 R を決めることとなる（式(2)）。私的投資に関する1階の条件より、最適な選択 R^* が決まる（式(3)）。

$$\text{Max } I = f(M, y(S_i, R), \pi^a) \quad (2)$$

$$\frac{\partial I}{\partial R} = \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial R} + \frac{\partial f}{\partial \pi^a} \frac{\partial \pi^a}{\partial R} - \frac{\partial f}{\partial M} = 0 \quad (3)$$

3.2. 基本的サービスの消費における脆弱性

脆弱性対策の水準 S_i を所与とした家計の私的投資 R^* によって決まる基本的サービスの消費水準 y^* は、必ずしも安全な水準になるとは限らない。安全な水準であるか否かは、生存の条件や安全基準によって外生的に決められるためである。もし家計が最適な意思決定をしているにもかかわらず安全ではない消費水準になるとすれば、その意思決定の条件を持つ家計は脆弱であることになる。式(4)は、最適な最適選択をしてもなお、安全ではない消費水準に陥る確率 π^p を表している。すなわち脆弱性は、(2)式の所得 M 、脆弱性対策の水準 S_i 、 S_i と R との代替関係、安全ではない状態に陥る確率 π^p の見込み、そして外生的に決定された基本的サービスの安全な最低消費水準 z で定義される。脆弱性を含むが意思決定では最適となる消費水準は式(5)で表される。

$$\pi^p = \text{Prob}(y(S_i, R^*) < z) \quad (4)$$

$$y^* = y(M, y(S_i, R^*), \pi^p(S_i, R^*, z)) \quad (5)$$

最適な消費水準 y^* が最低水準 z に不足する程度を v とすると、 v は最低水準と最適選択による消費水準のより小さい方が、最低水準のどの程度にあたるかという指標で表現される（(6)式参照）。最低水準 z が最低安全水準であるとすれば、 v が小さいほど安全ではないことを示し、脆弱性の「安全ではない状態」の指標となる。最適選択 y^* を決定する変数で表現すると、(7)式のようになる。

$$v = \frac{y^*}{z} \quad (0 \leq v \leq 1), \quad \tilde{y} = \min(y^*, z) \quad (6)$$

$$v = v(M, y(R^*, S_i), \pi^p(R^*, S_i, z), z) \quad (7)$$

ここで、脆弱性の評価対策が物理的環境を改善するインフラ S_1 であり、その水準を所与とすると、家計の安全でない状態である脆弱性は所得、私的投資とインフラとの代替性、私的投資の意思決定における確率（見込み）といった要因で生じる。たとえば、所得制約によりインフラの効果を補完あるいは代替する私的投資が十分にできない場合、当該インフラと私的財が代替不可能であるために、当該インフラの不足に対して私的投資のみ

では安全な消費水準を確保できない場合、所与のインフラのもとで被害に逢う確率の見込み π^a が慣習、思い込み、不確実性などのために間違っている場合に、最適な選択をしても安全ではない状態にとどまる脆弱な状態にあるといえる。これらのうち、第三の確率の見込みについて、朝日・萩原（2013）および朝日・萩原（2015）は水道インフラを事例として、確率の見込みである事前確率 π^a と事後確率 π^p は一致しないこと、事前確率には参照点効果が働く可能性があることを実証的に確認している。

4. 社会資本整備の経済的評価における安全

脆弱性の概念と脆弱性改善の厚生評価のためのモデルによれば、公的に整備するインフラがどのような「安全ではない状態」を対象としているか、また家計による私的投資との代替性がどの程度あるか、によって家計にとつての脆弱性が規定され、公的投資による脆弱性改善の厚生が測れることになる。そこで、政策的にインフラの種類によって対策すべき安全がどのように設定されており、その評価方法がどのようになっているかについて、脆弱性の観点から整理を試みることにする。本稿では、政策評価制度において事前評価が義務付けられている公共事業を多く所管し、原則として公共事業の事前評価に費用便益分析を実施している国土交通省の費用対効果分析に関するガイドラインを用いて、主な事業の安全に関する効果の評価方法を検討する。

4.1. 公共事業の評価における安全の扱い

国土交通省（2009）は、公共事業の費用便益分析における基本的な考え方と手法を提示している。その中で、安全に関する項目は、各事業の便益計測のための「各種便益原単位の設定の考え方」におけるリスクの扱い、およびリスク低減そのものが効果である「防災事業のリスク評価」である。前者では「人的損失額」の原単位において、統計的生命の価値を CVM（仮想市場法）による支払意思額で求めた既往研究をもとに設定された内閣府（2007）の原単位を適用することが示されている。厚生測度としては、事前のオプション価格にあたり、リスクに対する支払意思額の理論に整合的である。ただし、原単位は道路の交通事故の場合の実証分析のみを基としている。鉄道事故や自宅・自宅外の火災といった死因の相違に対してもほぼ同じ値が得られるとの言及はあるが、脆弱性の概念で考えるならば、家計の選択で避け得るか否かに違いがある場合には支払意思額の相違が大きくなる可能性があると考えられる。

次に、防災事業のリスク評価については、効果項目として「人的損害額」「物的損害額」「被災可能性に対する不安」の3項目が挙げられ、前者2項目を期待被害額でとらえる一方、「被災可能性に対する不安」については CVM あるいは保険市場データで算出することが望ましいが、知見の不足により効果には算入しないこととしている。期待被害額は、厚生測度としては事後の測度を期待値で調整したものであり、事前の家計の支払意思額とは通常かい離する。家計の選択の観点からみると、期待被害額は結果的な被害額と確率の見込みにより計算されるが、それらの見込み違いによる被害の可能性が脆弱性であることから、脆弱性の低減に対する評価とはなっていない。リスクに完全な保険市場が存在する場合には保険料を加味し、保険市場が利用できない場合には事前のオプション価格を採用することが望ましい。その場合、「被災可能性に対する不安」が適切に含まれることになるが、実証的には前述の参照点効果をはじめとする課題があるために、期待被害額で代用されていると考えられる。

4.2. 各事業における効果の整理

事前評価において費用便益分析のマニュアルが公表されている事業（国土交通省所管）のうち、安全が関連する主な事業について、マニュアルで把握可能な範囲で効果の設定、厚生測度、および評価手法を整理した。本レジュメでは、分量の制約から、リスク低減が事業の効果そのものである治水事業と、事業の効果のひとつである道路事業のみを挙げ、効果については直接効果のみを対象とする。また、家計のみならず生産部門・公共部門を

対象とした効果も挙げるが、家計との代替・補完関係および見込みでは家計への効果のみを考える。

表 2 に両事業の各項目を整理した。技術指針（国土交通省、2009）にある通り、事業効果がリスク低減である治水事業では、期待被害額という事後の測度が用いられ、リスクプレミアムという名前で事前の測度との差が課題とされている。リスク低減が事業効果の一部である道路事業では、人的損失額の原単位の一部に事前のオプション価格が用いられている。いずれも、想定される被害が家計にとってどの程度代替あるいは補完可能か、という前提は考慮されない設定方法となっている。

表 2 安全の効果の評価手法と脆弱性概念による検討

事業	マニュアル	効果	測度	評価手法	代替・補完	見込み
治水事業	治水経済調査 マニュアル 河川局 (2005)	以下の被害軽減 家屋 家庭用品 事業所償却・在庫資産 農漁家償却・在庫資産 農作物 公共土木施設等被害	期待被害軽減額(事後)	資産評価に水害被害実態調査の実績値に基づく被害率をかける	家屋:浸水対策投資 家庭用品:家屋の浸水対策投資	資産被害・被害率はともに事後の実績に基づくため、通常、家計の事前の認識とは異なる。被害率は期待値であり、リスク回避度が含まれない。
道路事業	費用便益分析 マニュアル 道路局 都市・地域整備局 (2008)	走行時間短縮便益 走行経費減少便益 交通事故減少便益✓	人的損失の原単位 に関してはオプション価格(事前)	人身事故1件当り損失額=人身事故による人的損失額+物損事故の物的損失額+事故渋滞による損失額	事故対策投資	事故発件数とともに事後の実績に基づくため、通常、家計の事前の認識とは異なる。事故の見込みはオプション価格であり、リスク回避度が含まれる。

以上の通り、公共事業の事前評価におけるリスクの厚生測度の運用においては、理論的に適切な事前の厚生測度が用いられているのはごく限られた原単位においてのみであり、家計の私的投資との代替・補完関係を前提とした脆弱性の概念は容れられていない。公共事業において、防災における自助・共助の必要性や、地域や家計の状態に応じた投資配分が求められる現状において、脆弱性の概念に基づく厚生測度と評価手法の検討が課題であることが示唆される。

参考文献

- Lavell, A., Oppenheimer, M., Diop, C., Hess, J., Lempert, R., Li, J., & Myeong, S. (2012). Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*, 25-64.
- Shreve, C. M., & Kelman, I. (2014). Does mitigation save? Reviewing cost-benefit analyses of disaster risk reduction. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 10, 213-235.
- Blaikie, P., Cannon, T. D. I., & Wisner, B. (1994). Disaster Pressure and Release Model. *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters*, 21-45.
- 朝日・萩原 (2012) 「社会資本整備（水道）における脆弱性の厚生評価に関する考察」 *地域学研究*, Vol.42, No.3, pp.563-580.
- 朝日・萩原 (2015) 「リスク下の意思決定特性を考慮した社会資本整備のリスクプレミアムの便益評価に関する考察」 *地域学研究* (掲載決定)
- 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)
- 内閣府政策統括官 (共生社会政策担当) (2007) 交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査研究報告書