

概要

# ライフライン

強靱なインフラ構築がもたらす機会 (仮訳)



持続可能なインフラストラクチャーシリーズ

概要

# ライフライン

強靱なインフラ構築がもたらす機会 (仮訳)

## Lifelines

The Resilient Infrastructure Opportunity

ステファン・ハレガッテ

潤・レンチェラー

ジュリー・ローゼンバーグ

*Stéphane Hallegatte*

*Jun Rentschler*

*Julie Rozenberg*



世界銀行グループ

本報告書は「ライフライン：強靱なインフラ構築がもたらす機会（仮訳）（doi: 10.1596/978-1-4648-1430-3）」の概要である。出版後には最終版の PDF が <https://openknowledge.worldbank.org/> および <http://documents.worldbank.org/> から入手可能である。また書籍も [www.amazon.com](http://www.amazon.com) で注文可能である。引用、複製、および改変する場合には本報告書の最終版を使用するようお願いする。

© 2019 International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank  
1818 H Street NW, Washington DC 20433  
Telephone: 202-473-1000; Internet: [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)  
一部不許複製

本報告書は、世界銀行のスタッフと外部の専門家の制作による。本書の中の調査結果、解説、結論は、必ずしも世界銀行、世界銀行理事会あるいは彼らが代表する国の見解を反映するものではない。また、世界銀行は、本書中にあるデータの正確性を保証しない。地図にある境界線、色、名称、その他の情報は、いかなる領土の法的立場、あるいはそのような境界線の容認に関する世界銀行の判断を意味するものではない。本報告書には、世界銀行に付与された特権や免除を限定または放棄するとみなされる内容は一切含まれていないものとする。

#### 権利と許可



本報告書は、クリエイティブ・コモンズ表示 3.0 政府間組織向けライセンス (CC BY-NC-ND3.0 IGO) の下で利用可能である (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo>)。このライセンスの下において、以下の条件で、商業的目的を含む、本報告書の複写、頒布、転送、および改変が許可されている。

**表示**—本書を参照する際は以下のように表示するようお願いする。 Hallegatte, Stéphane, Jun Rentschler, and Julie Rozenberg. 2019. “Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity.” Overview booklet. World Bank, Washington, DC. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO

**翻訳**—本書を翻訳する場合は、上記の表示とともに、次の免責項目を掲載するようお願いする。  
「本翻訳は世界銀行によって作成されたものではなく、世界銀行の正式な翻訳とみなすべきではない。翻訳の内容、または翻訳上の誤りについては、世界銀行は一切責任を負わないものとする」

**改変**—本書を変形や改変する場合は、次の表示をお願いする。  
「これは世界銀行のオリジナル報告書の翻案である。表明されている意見や見解の責任は作成者に属し、世界銀行に認められたものではない」

**第三者のコンテンツ**—世界銀行は、必ずしも本報告書に含まれるコンテンツの各要素をすべて所有していないため世界銀行は、本書の内容が使用された場合、第三者の著作権が侵害されていないという保証は一切行わないものとする。かかる侵害に対して申立てが起きた場合、使用者のみに帰属するものとする。本報告書の一部の使用を希望する場合、再利用の許可が必要になるかの判断と、著作権者からの許可の取得は利用者の責任となる。要素の例としては図表や画像が挙げられるが、これに限定されるものではない。

権利およびライセンスに関する問い合わせ先： World Bank Publications, The World Bank Group, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, USA; Eメール [pubrights@worldbank.org](mailto:pubrights@worldbank.org)

表紙デザインおよび図表： Brad Amburn, Brad Amburn Creative, LLC

# 目次

序文.....	vii
謝辞.....	ix
<b>インフラの途絶は人々と経済に悪影響を及ぼす .....</b>	<b>3</b>
インフラの途絶により、企業には年間 3,000 億ドル以上の費用が発生 .....	3
インフラの途絶による人々への直接的な影響は、少なくとも年間 900 億ドルに相当.....	4
自然災害ショックはインフラ途絶の主な原因のひとつ .....	7
<b>より強靱なインフラ設備は採算が取れる.....</b>	<b>10</b>
リスクの高い地域により強靱なインフラ設備を構築することは費用対効果が高い.....	11
強靱なインフラ設備から強靱なインフラサービスへ.....	12
強靱なインフラサービスから強靱な利用者および経済へ.....	14
<b>インフラの強靱性向上には一貫性のある戦略が必要である.....</b>	<b>15</b>
提言 1：基本的事項を正しく実施する.....	15
提言 2：強靱性のための制度を構築する.....	17
提言 3：規制やインセンティブに強靱性を組み入れる.....	17
提言 4：よりよい意思決定を行う.....	18
提言 5：資金を供給する .....	19
<b>注記 .....</b>	<b>21</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>21</b>



## 序文

強靱なインフラは人々に関わる課題である。保健医療、教育、生活を向上させる上で、インフラはライフラインの役割を果たしており、家庭およびコミュニティに関わる問題と言えよう。インフラは、人々の厚生、経済的繁栄、および生活の質に影響を及ぼす。

強靱なインフラとは、増大する洪水に対応できる橋、地震に持ちこたえることができる水道管、激化するハリケーンに耐えることができる電柱などが挙げられる。また、災害時でも、人々が通勤できず失業するのを防ぎ、緊急医療サービスの提供を可能とし、子供たちが安全に通学できるよう、対策を講じることでもある。

途上国では、インフラの途絶が日常的な問題となっている。インフラの途絶は、企業活動、雇用創出、および経済成長を阻害する。人口が急増し、気候変動により自然災害が増加および激化する中、インフラの適応と強靱化への投資は喫緊の優先課題である。

インフラ途絶が低・中所得国の家庭および企業に及ぼすコストは年間3,900億ドルを上回り、家庭、企業、およびコミュニティに与える間接的な影響は甚大である。通常、インフラ途絶の原因として、不十分な保守、不適切な管理、および気候変動の影響による自然災害の増加が挙げられる。

しかし、世界中で、インフラの強靱化と経済基盤の強化に貢献する投資事例が増えているのは朗報と言えよう。

本報告書では、初めて低・中所得国におけるインフラ途絶のコスト、およびインフラ強靱化への投資の経済的便益が評価された。本報告書では、電力、上下水道、交通、電気通信の基礎的な4分野のインフラに関して検証を行っている。また、自然災害の発生時、および発生後の利用者のニーズに応え、機能するために必要なインフラシステムを理解するための枠組みが示された。

これらのインフラの強靱化に要する追加費用は投資ニーズ総額の3%にすぎないことが判明した。インフラの途絶が減少し、経済的影響が軽減されることで、途上国におけるインフラの強靱性向上への投資の耐用年数期間で計算した純利益は4兆2,000億ドルとなる。強靱化への1ドルの投資が4ドルの便益を生み出す。

本報告書では、提言が幅広くかつ明確に示されるとともに、この4兆2,000億ドルの機会を創出する方法が提示されている。また、報告書では、単に投資額を増やすというよりも、効率的な投資に重点が置かれている。規制・計画策定に対する投資、プロジェクト設計の初期段階での投資、および保守への投資が重要であることが、インフラ投資家、政府、開発銀行、および民間セクターに向けたメッセージとなっている。これらに対する投資の便益が、災害発生後の修復・復興費用を大きく上回る可能性がある。

時間は一刻も無駄にできない。気候が急速に変動し、多くの国でインフラに対する大型投資が行われている中、向こう10年間にわたり従来通りの投資を続けていけば、追加費用は1兆ドルを超える。しかしながら、今私たちが正しい選択をすることで、持続可能で強靱な経済開発を促進する重要なインフラサービス、すなわちライフラインを提供することも、決して不可能ではないのである。

クリスタリナ・ゲオルギエヴァ

世界銀行最高経営責任者

## 謝辞

本報告書は、Stéphane Hallegatte が率いるチームによって Jun Rentschler および Julie Rozenberg とともに作成された。さまざまなセクター、テーマに関わる複数のチームが本報告書に貢献している。電力セクターの分析を担当したのは Claire Nicolas が率い、Christopher Arderne, Diana Cubas, Mark Deinert, Eriko Ichikawa, Elco Koks, Ji Li, Samuel Oguah, Albertine Potter van Loon, および Amy Schweikert で構成されるチームである。水道セクターの分析を担当したのは Zhimin Mao で、Laura Bonzanigo, Xi Hu, Elco Koks, Weeho Lim, Raghav Pant, Patrick Ray, Clementine Stip, Jacob Tracy, および Conrad Zorn が協力した。交通セクターの分析を担当したのは Julie Rozenberg で、Xavier Espinet Alegre, Charles Fox, Stuart Fraser, Jim Hall, Elco Koks, Mercedeh Tariverdi, Michalis Vousdoukas, および Conrad Zorn が協力した。電気通信セクターの分析を担当したのは Himmat Sandhu および Siddhartha Raja である。企業および家庭の分析を担当したのは Jun Rentschler で、Paolo Avner, Johannes Braese, Alvina Erman, Nick Jones, Martin Kornejew, Sadick Nassoro, Marguerite Obolensky, Samet Sahin, および Eugene Tan が協力した。Shinji Ayuha, Célian Colon, Etienne Raffi Kechichian, Maryia Markhvida, Nah Yoon Shin, Shoko Takemoto, および Brian Walsh は、強靱な産業およびサプライチェーンのセクションを担当した。Sanae Sasamori および Naho Shibuya

は、官民提携のセクションを担当した。Miyamoto International のチームは、強靱化に必要なエンジニアリングのソリューションに重要な洞察を提供した。

世界銀行グループで査読を担当したのは、Greg Browder, Marianne Fay, Vivien Foster, Hideaki Hamada, Helen Martin, Shomik Mehndiratta, Artessa Saldivar-Sali, Alanna Simpson である。

Ildar Stenek は、貴重なコメントおよび提言を提供した。また、外部アドバイザーの Carter Brandon, Jim Hall, Guillaume Prudent-Richard, Adam Rose, および Yasuyuki Todo に謝辞を述べる。

以下の方々から提言およびコメントを頂き、データの提供を受けた：Anjali Acharya, Charles Baubion, Andrii Berdnyk, Moussa Blimpo, Marga Cantada, Debabrata Chattopadhyay, Ashraf Dewan, Mirtha Escobar, Charles Esser, Scott Ferguson, Matias Herrera Dappe, Martin Humphreys, Marie Hyland, Oscar Ishizawa, Asif Islam, Brenden Jongman, Denis Jordy, Balázs Józsa, Shefali Khanna, Brian Kinuthia, Shweta Kulkarni, Mathijs van Ledden, Jia Jun Lee, Richard MacGeorge, Justice Tei Mensah, Jared Mercadante, Brian Min, Alice Mortlock, Sumati Rajput, Steven Rubinyi, Jason Russ, Peter Sanfey, Guillermo Siercke, Ben Stewart, Shen Sun, Janna Tenzing, Joshua Wimpey, Davida Wood, および Fan Zhang.

世界銀行グループ出版局の Susan Graham が制作編集を担当した。編集サービスを担当したのは、Sabra Ledent, Laura Wallace, Nick Paul, Devan Kreisberg, Inge Pakulski, および Elizabeth Forsyth である。Brad Amburn が表紙デザインと図表作成を担当した。また、Aziz Gökdemir および Jewel McFadden の制作報告書作成の貢献に謝辞を述べる。本報告書の広報と発表を担当したのは Ferzina Banaji で、Uwimana Basaninyenzi, Joana Lopes, Camila Perez, Mehreen Arshad Sheikh, および Gerardo Spatuzzi が協力した。

防災グローバル・ファシリティ (GFDRR) の責任者 Julie Dana および Luis Tineo の本プロジェクト進行に対する支援に謝辞を述べる。

日本－世界銀行防災共同プログラム, John Roome と Bernice Van Bronkhorst が率いる世界銀行の気候変動グループ, および Laura Tuck が率いる世界銀行の持続可能な開発プラクティスグループに謝辞を述べる。

なお、本概要の日本語訳に関しては、早稲田大学政治経済学術院の戸堂康之教授に監訳を務めていただいた。心から感謝の意を表する。

## 概要

**イ**ンフラサービスは、最も基本的なニーズを充足することから、貿易や技術に関わる非常に野心的な事業を可能にすることにはたらくまで、私たちの厚生と開発を支えている。信頼性の高い上水、下水、エネルギー、交通および電気通信は、人々の生活の質を向上させるために不可欠であると普遍的に考えられている。基礎的なインフラサービスへのアクセスは、企業ひいては経済全体の生産性の中心的な要素でもあり、経済発展の重要な要因となっている。そして、近年の急速な気候変動と激化する自然災害の中にあつて、インフラシステムは強靱で信頼性の高いサービスを供給しなければならないという圧力にさらされている。

ある推計によると、世界の低・中所得国の政府は、毎年約1兆ドル（国内総生産（GDP）の3.4～5%）をインフラに投資している（Fay et al. 2019）<sup>1</sup>。このような投資にも関わらず、インフラサービスの質と適切性は国によって大きく異なる。特に低・中所得国内の急速に成長している都市では、数百万人が質の低いインフラによる影響を受けており、多くの場合大きな損失を被っている。資金不足や不十分な保守などによって、信頼性の低い電力網、不適切な上下水道、および混雑した交通網となってしまう。

自然災害は、既に過密で脆弱なシステムが直面している問題をさらに拡大する。例えば都市部における洪水は、アンマン、プエノスアイレス、ダルエスサラーム、ジャカルタ、ムンバイなど、世界各地の都市で現実的な問題となっている。都市部の洪水は貧弱な排水システムによってさらに悪化することが多く、交通網や電力網の途絶を頻繁に引き起こし、ひいては通信およびその他の基礎的なサービスにも影響を及ぼす。さらに、災害に強い下水道がないために、洪水が水媒介性の感染症の拡大をもたらししている。

より甚大な自然災害によるショックを考慮すると、インフラサービスの供給途絶は特に深刻な問題である。例えば1995年の阪神・淡路大震災で起きたように、地震によって港湾インフラは途絶し、地域経済は鈍化する。2017年にプエルトリコで起きたように、ハリケーンによって送配電システムが全滅し、数カ月間にわたり住民が電気を使えなくなることがある。これらの例では、災害による直接的な被害を受けていない多くの人々が、インフラの途絶により影響を受けている。

本報告書「ライフライン：強靱なインフラ構築がもたらす機会（仮訳）」では、電力、上下水道、交通、電気通信の4つの必要不可欠なインフラシステムの強靱性について考察している。こうしたシステムはすべて、家庭の厚生と企業の実業性に不可欠なサービスを提供しているが、ある地域への小さなショックであってもその影響が素早く伝播する複雑なネットワークの中で構築されているため、自然災害に対して特に脆弱である。これらのシステムの強靱性を高める、すなわち、自然災害の発生時と発生後における人々や企業へのサービス提供能力を高めることは、復旧に費用のかかる大きな損害を回避するだけ

でなく、人々の生計および厚生に対する自然災害の様々な影響を最小限に抑えるために不可欠である。

本報告書では、広範な事例研究、世界規模の実証分析、およびモデルによる試算に基づいて、3つの主要なメッセージを導き出している。

- 強靱なインフラの欠如は、人々と企業に損失を与える。自然災害は発電および交通インフラに直接的な被害をもたらす。低・中所得国ではその被害額は年間約180億ドルに上る。こうした被害は公共予算を圧迫し、民間投資を呼び込むためのこれらセクターの魅力を増減させている。また、自然災害はインフラ設備そのものに損害を与えるだけでなく、インフラサービスを中断させ、企業や人々に非常に大きな影響を及ぼす。インフラの途絶は全体として、低・中所得国の家庭と企業に、年間3,910億～6,470億ドルの費用負担を強いている。インフラ途絶の原因は、不十分な保守、不適切な管理、資金の不足など多岐にわたる。しかし事例研究によると、セクターや地域により異なるものの、途絶の10～70%が自然災害を原因とするものであると考えられる。
- インフラの強靱性向上に対する投資は健全で収益性が高く、緊急を要する。低・中所得国では、電力、上下水道、交通、電気通信セクターにおけるより強靱な設備設計のために、2030年までに年間110億～650億ドルが必要となる。これは投資ニーズ全体から見ると約3%の費用増に相当する。この費用を削減することは、設備だけでなくサービスも考慮に入れるとともに、利用者（家庭やサプライチェーン）によるインフラサービスの供給途絶に対する対処能力を改善することによって可能である。本報告は、インフラの強靱性向上に対する1ドルの投資が、将来的に可能性のある社会経済および気候を想定した数千のシナリオのうち、96%のケースにおいて利益をもたらすことを見出している。平均的なシナリオでは、1ドルの投資が4ドルの利益を生み出し、低・中所得国におけるインフラの強靱性向上への投資の純利益は4兆2,000億ドルに上る。気候変動は強靱性に対する行動の必要性和誘引性をさらに高め、強靱性向上による純利益を平均で倍増させる。また現在、低・中所得国においてインフラへの大型投資が行われているため、もし10年間強靱性向上のための投資をしな

かった場合には、その損失は中央値で1兆ドルとなる。

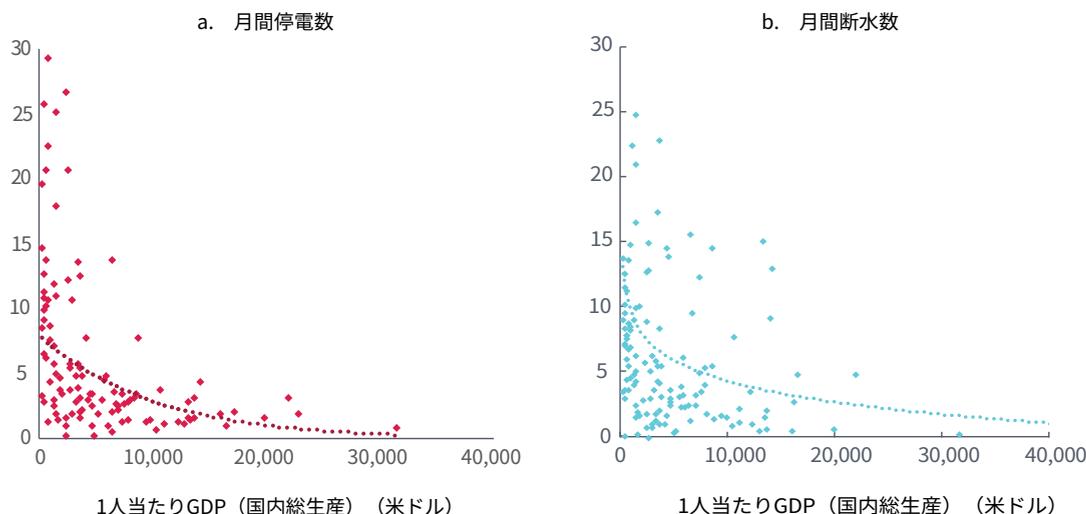
- 優れたインフラ管理は強靱なインフラに必要な基盤であるが、さらに的を絞った行動も必要である。残念ながら、インフラシステムの強靱性を確保するための単一かつ万能な施策は存在せず、一連の連携した施策が必要となる。まず、各国が各自の設備に対する適切な計画、運用および保守という基本を正しく実行することを提言する。これにより強靱性を高め、費用を削減できる。ただし、インフラの強靱性を確保するためには優れた設計と管理だけでは十分ではなく、特にまれに発生する甚大な災害や気候変動など長期的な傾向に対しては不十分である。本報告書ではこうした問題に対処するために、さらに4つの提言を行っている。提言の内容は、インフラの強靱性に対する組織的な権限および戦略を定義する、インフラセクターや利用者およびサプライチェーンに対する規制やインセンティブ制度に強靱性を取り入れる、データやツールおよびスキルを利用することでよりよい意思決定を行う、特にリスクを考慮したマスタープランやインフラ設備設計および準備のために適切な資金を提供する、の4つである。こうした問題に対する行動は非常に費用対効果が高く、変革をもたらす可能性があるにもかかわらず、多くの貧困国では資金調達が困難であるため、国際社会が優先して支援することになる。

## インフラの途絶は人々と経済に悪影響を及ぼす

本報告書の作成にあたってはまず、インフラの途絶が人や企業に与える影響について、発生原因に関係なく詳細な調査を実施した。インフラの途絶の頻度は一般に経済発展のレベルと密接に関係している。図 0.1 に、経済発展のレベルの代替変数として 1 人当たり GDP と、

世界銀行の企業調査から得られた電気と水の供給停止期間の関係を示した。供給途絶は、企業の生産性への影響を通じて間接的に、また家庭の消費と厚生への影響を通じて直接的に人々の負担となる。

図 0.1 貧困国において不適切なインフラによる被害が最も深刻



出所：Rentschler, Kornejew, et al. 2019. 世界銀行グループの「Enterprise Surveys」に基づく。

注：図 a および b は 137 カ国の入手可能な最新の調査データで、すべてが 2009 年以降のものである。図 a は、月間停電数が 30 件以下の国のみを示している。8 カ国（これら 8 カ国の 1 人当たりの GDP は 9,000 ドル未満）の月間停電数は 30 ～ 95 件であった。

## インフラの途絶により、企業には年間3,000億ドル以上の費用が発生

信頼性の低いインフラシステムは、さまざまなインパクトにより企業に影響を及ぼす（表 0.1）。最も分かりやすいのは直接的なインパクトである。機械の冷却を水に頼っている企業は、断水期間中には生産も停止せざるを得ない。電気コンロを使用しているレストランは電気がなければ調理することができない。供給途絶により、生産能力が活用できず、企業の売上が減少し、商品の供給と流通が遅延する。また企業にとって、バックアップ用の発電設備や貯水設備を整えるなど、信頼性の低いインフラに対処するための費用も発生する。他方、イン

フラ途絶による間接的な影響はそれほどすぐには現れない。間接的な影響には、企業の長期的な投資と戦略的意思決定、および産業の構造、競争環境、イノベーションに対する影響が含まれるためである。これらの直接的な影響と間接的な影響が、経済の富を生み出す能力とその国際的な競争力に影響する（詳細については、Braese, Rentschler, and Hallegatte 2019 を参照）。

約 14 万 3,000 社の企業のマイクロデータを使用することにより、世界の人口の 78% を占める 137 カ国の低・中所得国におけるインフラ断絶による企業の金銭的費用を推計することが可能である（地図 0.1）<sup>2</sup>。これらのデータを利用することで、企業の実際の生産量と利用可能な

表 0.1 インフラサービスの供給途絶が企業に及ぼす多様な影響

セクター	直接的な影響	対応に必要な費用	間接的な影響
電力	<ul style="list-style-type: none"> <li>稼働率の低下 (年間380億ドル)</li> <li>売上減少 (年間820億ドル)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電機への投資 (年間60億ドル)</li> <li>発電機稼働コスト (年間590億ドル)</li> </ul>	
水	<ul style="list-style-type: none"> <li>稼働率の低下 (年間60億ドル)</li> <li>売上減少</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>代替水源への投資 (貯水池, 井戸)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>市場参入に対する高い障壁および投資の減少</li> <li>小規模な新規企業の不在による競争およびイノベーションの低下</li> </ul>
交通	<ul style="list-style-type: none"> <li>稼働率の低下 (年間1,070億ドル)</li> <li>売上減少</li> <li>供給および配送の遅れ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>在庫の増加</li> <li>高コストな立地の選択 (顧客, 港湾に近接など)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>労働集約型生産への偏向</li> <li>サービス・商品をオンデマンドで提供できない</li> <li>国際的な市場での競争力不足</li> </ul>
電気通信	<ul style="list-style-type: none"> <li>稼働率の低下</li> <li>売上減少</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高速インターネットに近い高コストな立地の選択</li> </ul>	

出所: Rentschler, Kornejew, et al. 2019.

注: 太字は本章で示された独自の推計に基づいた影響を表す。低・中所得国が対象。

すべての資源を使用して達成可能な最大生産量とを比較することで、インフラ途絶が企業の稼働率に及ぼす影響を評価することができる。稼働率は企業業績を表す一つの指標である。

このデータによると、電気、水、交通の供給途絶による損失は年間 1,515 億ドルに上る (残念ながら、データが不足しているため電気通信の影響の推計はできなかった)。さらに、停電による売上損失は年間 820 億ドル、自家発電による追加費用は年間 650 億ドルであった。これらの数値は信頼性の低いインフラの重要な問題を明らかにしているが、この分析ではすべての国やすべてのタイプの影響を対象としていないため、インフラ途絶に伴う世界規模の費用の下限を示しているに過ぎない。

### インフラの途絶による人々への直接的な影響は、少なくとも年間900億ドルに相当

信頼性の低いインフラサービスは家庭の厚生に悪影響を及ぼす。頻繁な停電によって、家庭が生産活動、学習、レクリエーションを行うことが制限される (Lenz et

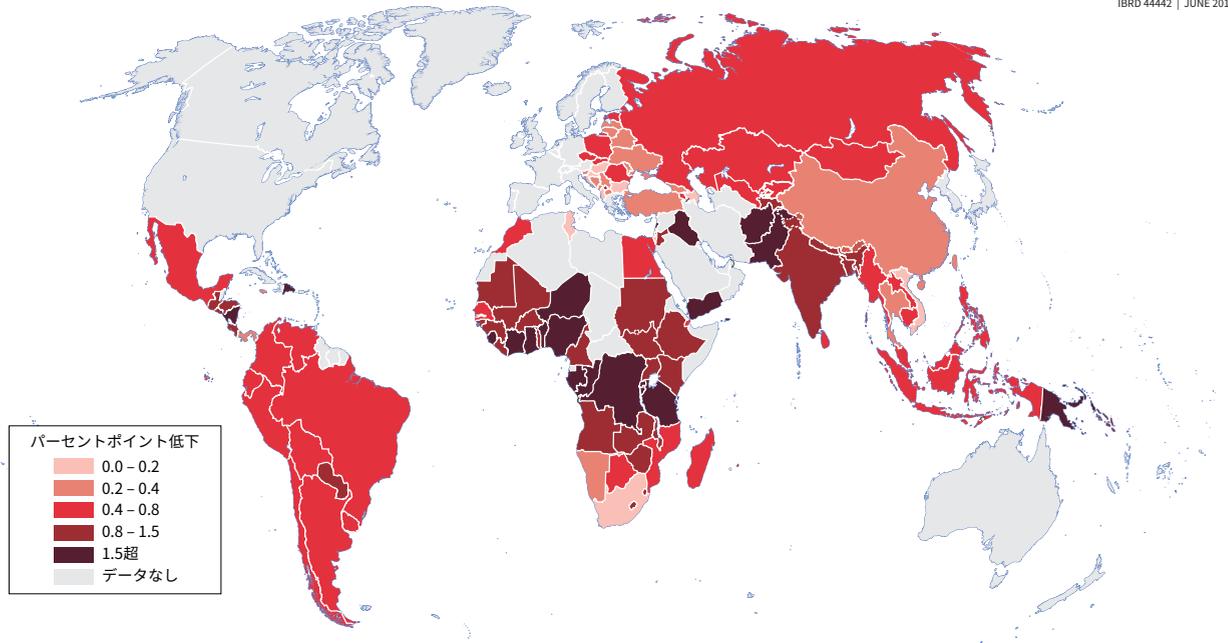
al. 2017)。南アジアでは Zhang (2019) が、長期間の停電は 1 人当たりの所得および女性の労働参加の両方の減少に関連があることを見出した。その理由はおそらく、電気を使えないことにより家事にかかる時間が増えるためだと思われる (図 0.2)。また複数の研究により、断水と健康の間に一貫して強い関連があることが分かっている。コンゴ民主共和国では、1 日の断水後のコレラ発生可能性は、適切な水供給後と比較して 155% 増加していた (Jeandron et al. 2015)。

インフラの途絶は家庭に多くの影響を及ぼすため、世界規模の費用の推計は困難である (表 0.2)。しかし、この分析では、停電と断水を防ぐために家庭がいくら支払ってもいいと考えているかに関する調査に基づいて、停電と断水の影響の下限と上限を推計した (詳細は Obolensky et al. 2019 を参照)。低・中所得国における停電の影響の推計値は 1 年当たり GDP の 0.002 ~ 0.15% で、これは 23 億 ~ 1,900 億ドルに相当する<sup>3</sup>。断水の影響の推計値は 1 年当たり GDP の 0.11 ~ 0.19% で、これは 880 億 ~ 1,530 億ドルに相当する。不安定な上

**地図0.1 信頼性の低いインフラによる損失が最も大きい地域はアフリカと南アジア**

a. 電気、水および交通のインフラ途絶による各国の稼働率低下の平均値

IBRD 44442 | JUNE 2019



b. 企業がバックアップ用発電設備に費やす追加コストの対 GDP 比 (初期投資および追加稼働コストを含む)

IBRD 44444 | JUNE 2019

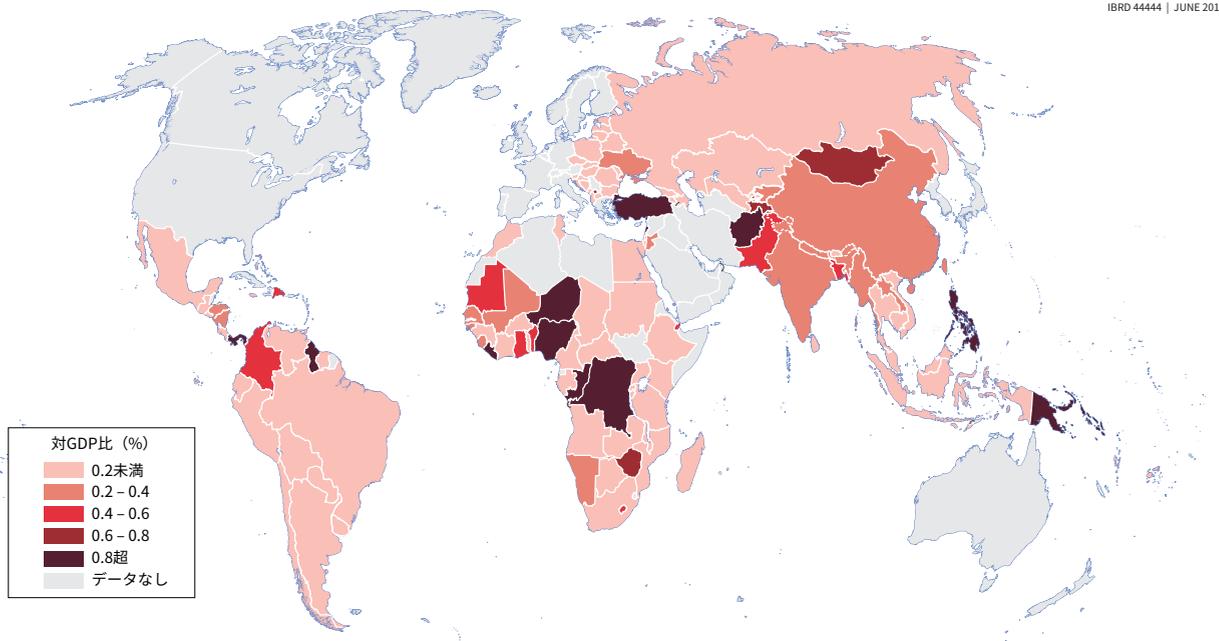
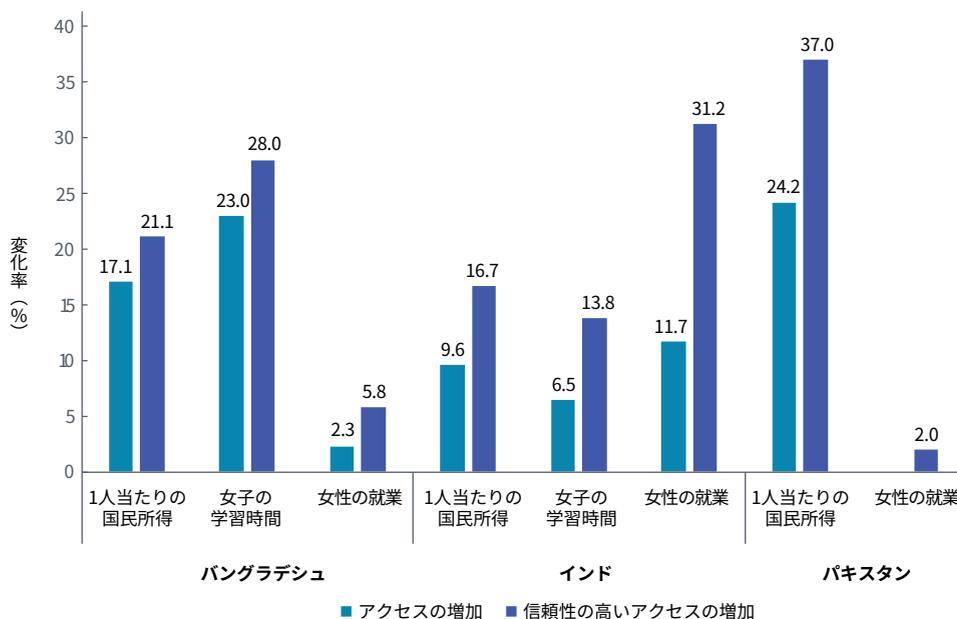


図0.2 バングラデシュ、インドおよびパキスタンでは、電力へのアクセスのみよりも信頼性の高い電力へのアクセスが、所得および社会的成果に好影響



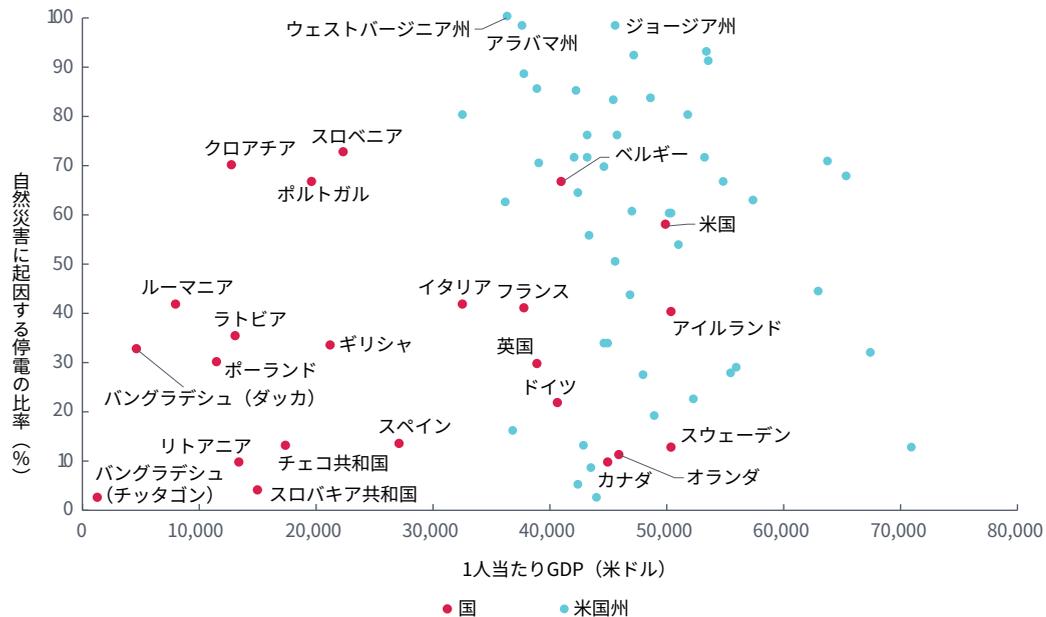
出所：Zhang 2019.  
注：推計値は、バングラデシュ、インドおよびパキスタンの家計調査に基づく。

表 0.2 インフラサービスの供給途絶が家庭に及ぼす多様な影響

セクター	直接的な影響	対応に必要な費用	間接的および健康への影響
電力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・厚生の低下</li> <li>・家内企業の生産性低下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電機への投資</li> <li>・発電機の稼働コスト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・死亡率および疾病率の上昇（健康管理、および熱波・寒波の際のエアコンへのアクセス不足）</li> </ul>
<b>停電防止に対して支払ってもよい金額：年間23億～1,900億ドル</b>			
水	<ul style="list-style-type: none"> <li>・厚生 of 低下および時間損失</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・代替水源への投資（貯水池、井戸、水筒）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・下痢、コレラなどの疾病の発症率上昇</li> </ul>
<b>断水防止に対して支払ってもよい金額：年間880億～1,530億ドル</b>		<b>医療費および逸失所得：年間30億～60億ドル</b>	
交通	<ul style="list-style-type: none"> <li>・渋滞の悪化および時間損失</li> <li>・燃料費の増加</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・代替輸送手段の高コスト化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大気汚染および健康への影響</li> <li>・職場、市場、サービスへのアクセスの制限</li> <li>・職場近くに居住を強いらられる（劣悪な環境の土地の可能性が高い）</li> </ul>
電気通信	<ul style="list-style-type: none"> <li>・厚生 of 低下</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・緊急サービスを利用不可</li> </ul>

注：太字は本章で示された独自の推計に基づいた影響を表す。低・中所得国が対象。

図0.3 自然災害が停電の主な要因



出所：Rentschler, Obolensky, and Kornejew 2019.

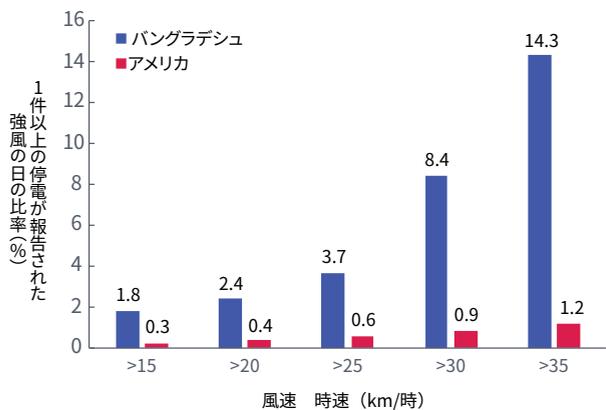
水の供給により発生する水媒介性の感染症は、1年当たり30億～60億ドルの医療費の増大と、所得の損失をもたらすと推計される。ただし、手法や背景が異なるため、これらの推計値は非常に大きな幅をもっている。なお、交通および電気通信における同様の評価は、データが限られているためにできなかった。

### 自然災害ショックはインフラ途絶の主な原因のひとつ

総計すると、データが入手可能な低・中所得国において定量化が可能なタイプのインフラの途絶の費用は3,910億～6,470億ドルである。これらの推計は完全ではないが、低・中所得国において信頼性の低いインフラが人々に相当な費用負担を課していることが認められる。だが、こうしたインフラ途絶において自然災害はどのような原因となっているのだろうか？この質問に全世界の全セクターを網羅する形で回答することは不可能だが、多くの事例研究において自然災害がインフラの途絶の原因となっていることが示されている。

電力セクターにおいては、図0.3に示すとおり、自然災害、特に暴風雨が停電の主な原因である。ベルギー、クロアチア、ポルトガル、スロベニア、アメリカでは、全停電の50%以上の原因となっている。対照的に、バングラデシュでは自然災害による停電の割合が他より少ない。これは電力システムの強靭性が高いからではなく、システム障害や自然以外の要因が頻繁に発生し、利用者は日常的に停電の被害にあっているからである。ただし、自然災害を原因とする停電は他の停電と比べて期間が長く、対象地域も広い傾向にあるため、この図では原因としての自然災害が過小評価されている。ヨーロッパでは2010～2017年、自然災害を起因とする停電は平均409分間に及び、自然災害以外による停電のほぼ4倍となっている。またバングラデシュでは2007年、サイクロン「シドル」が国内史上最大の停電を引き起こした。26カ所の発電所すべてが故障して、停止し、最長で1週間電気を供給できず、17億ドルの被害と損失が発生した（Rentschler, Obolensky, and Kornejew 2019）。

図0.4 バングラデシュの電力網はアメリカよりも強風に対して格段に脆弱

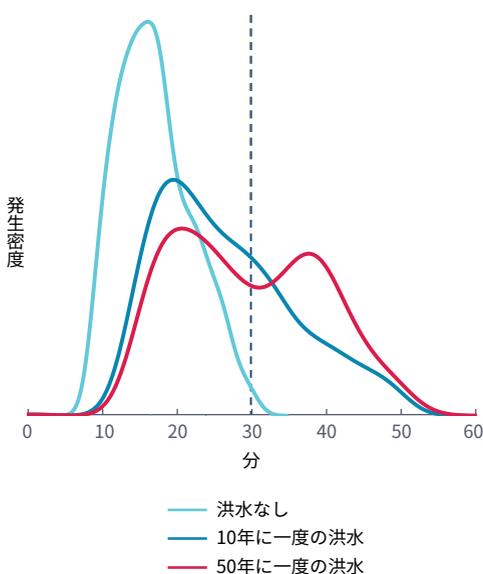


出所：Rentschler, Obolensky, and Kornejew 2019.  
 注：記録された日時の風速に対して異なる閾値を使用して、強風の日を定義。風速にはグローバルERA5気候再解析モデルのデータを使用。現地の最大風速を低く見積もられる傾向あり。

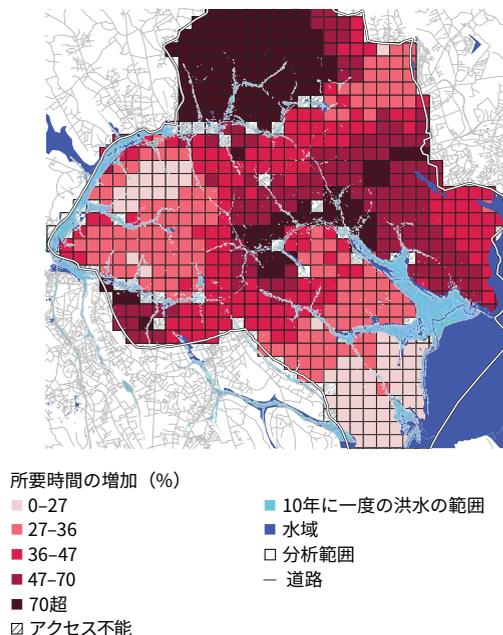
低・中所得国の多くでは自然災害は停電の原因のほんの一部だが、だからといって強靭性が問題となっていないわけではない。実際、豊かな国々よりも貧しい国々の方が電力システムは自然災害に対して脆弱であり、自然災害が多くの停電の原因となり得る。電力セクターでは、設備の老朽化、保守の不足、電力網の急速な拡大、発電容量の不足が、全般的なサービスの信頼性を低下させている原因であるが、これらは同時に自然ショックに対する脆弱性を増大させてもいる。例を挙げると、同じ強度の暴風雨でも、バングラデシュではアメリカよりも停電が発生する可能性が高くなっている(図0.4)。平均風速が時速 35 km を超える日には、バングラデシュの電気利用者はアメリカの利用者に比べて停電を被る可能性が 11 倍も高い。この脆弱性の結果、2013 年にバングラデシュのチッタゴンの電力利用者は暴雨風のみを原因

図0.5 カンパラにおける洪水により医療施設へのアクセスが大幅に制限

a. カンパラ市内から医療施設への所要時間



b. 10年に一度の洪水時に、カンパラ市内から医療施設への所要時間が増加



出所：Rentschler, Braese, et al. 2019.  
 注：図 a において、縦線は「ゴールデンアワー（深刻な病気・ケガが起きたときに、生存の可能性が高い初期治療までの時間）」を表し、救急車による現地と病院との往復を想定。曲線は全区域からの所要時間の分布の発生密度を表す。図 b において、「10年に一度の洪水」は平均 10 年ごとに発生する大洪水を指す。

とした停電を約 16 回経験した。この回数は発生した停電全体のわずか 4% に過ぎないが、それでもニューヨークの利用者が経験する平均停電回数の 15 倍以上となっている。

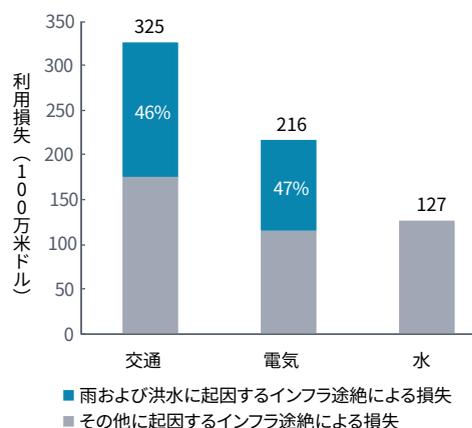
交通セクターでは、先進国も途上国も同様に、洪水やその他の災害が交通を混乱させ、渋滞を引き起こし、人々や企業が被害を受けている。本報告書のために実施された分析によると、ウガンダのカンパラでは洪水が都市交通に影響を及ぼし、その結果医療施設へのアクセスが減少している (Rentschler, Braese, et al. 2019) (図 0.5)。道路網の分析では、カンパラ内のほぼすべての場所から病院までの車による平均移動時間は 30 分以内と推計されている。しかし、10 年に一度の大洪水が起きると、道路網の寸断により移動時間が大幅に増加して、カンパラの住民の約 3 分の 1 は「ゴールデンアワー」(深刻な病気・ケガが起きたときに生存の可能性が高い初期治療までの時間の目安) 内に医療施設に到着することができない可能性がある。

こうした洪水に関連する交通の混乱により、企業には費用負担が生じる。同様の道路網分析によって、企業間の接続性および地域のサプライチェーンに対する洪水の影響を示すため、約 400 社の企業間の移動時間を推計した。カンパラでは、10 年に一度の大洪水によって、企業間の平均移動時間は 54% も増加する。4 分の 1 を超える企業は平均移動時間が 100 ~ 350% 増加し、相当数の企業がより深刻な影響を受けている。道路が洪水に見舞われると、人々は職場にたどり着くことができず、企業は部材の供給を受けられず、配送もできず、売上を失う。

水道セクターでは、設備に対する物理的な損害がない場合でも、設備とサービスは自然災害の影響を受ける。ペルーのリマでは 2017 年 3 月、深刻な地滑りが発生し、市内の川が泥で埋まり、4 日間にわたり断水が発生した。主要な水処理施設は洪水による濁りを処理できず、運転を停止せざるを得なかったからだ (Stip et al. 2019)。

電気通信セクターでは、2006 年 12 月に台湾、中国とルソン海峡で発生した恒春地震が、国際通信網が依存する海底ケーブルシステムを途絶させた非常に深刻な事例の 1 つである。海底での地滑りによって、7 つのケーブルシステムの 19 カ所が損傷し、修復に 49 日間を要した。その間、被害を免れたインフラを使用して通信を迅速に迂回させたが、その回線に負荷がかかったこと

図0.6 タンザニアの企業はインフラ供給途絶により多大な損失を被る



出所: Rentschler, Braese, et al. 2019.

で、サービス品質の低下と遅延が生じた。そのため、この地域のインターネット接続は深刻な影響を受け、金融サービス、航空および海運産業は甚大な被害を受けた (Sandhu and Raja 2019)。

自然災害によるインフラ途絶が企業や家庭に多大な負担をかけることは間違いないが、詳細な評価を提供するためには地域ごとの分析が必要である。こうした評価に助力するために、ある調査手法が開発され、タンザニアにおける国内の企業 800 社を対象として試験的に実施された。この調査によると、タンザニアの企業は停電、断水および交通の途絶により、年間 6 億 6,800 万ドルの機会損失を被っており、これは国内 GDP の 1.8% に相当する (図 0.6)。電気だけで年間 2 億 1,600 万ドルの損失が発生しており、そのうち 47% は雨や洪水に起因する停電によるものである (1 億 100 万ドル、GDP の 0.3% に相当)。交通の途絶については、機会損失の約 46% が雨や洪水に起因する途絶によるものである (1 億 5,000 万ドル、GDP の 0.4% に相当)。ただしこの調査では、断水の発生に雨や洪水が大きな影響を与えているかどうかは分かっていない。

上述の供給途絶に加えて、自然災害はインフラ設備に直接的な被害をもたらしている。こうした被害が公共インフラ予算に負担をかけ、民間投資家に対するインフラセクターの魅力を損なうことを踏まえると、被害は甚

大である。本報告書のために実施した世界規模のリスク評価によると、発電所および交通インフラは自然災害により年間平均 300 億ドル（それぞれ約 150 億ドル）の損失を被っており、このうち約 180 億ドルは低・中所得国における損失である（Koks et al. 2019; Nicolas et al. 2019）。

これらの数値は、平均的にはもしくは世界規模では概ね対応可能なものだが、甚大な災害が発生した場合にはより大きな数字となる可能性がある。しかも、脆弱国の一部ではその損失額が大きすぎて、インフラサービスを全国民に提供することができない。

自然災害の深刻度は通常、災害が引き起こす資産の損失によって測定される（ミュンヘン再保険 2019; スイス再保険 2019）。しかし、特にインフラシステムが影響を受けた場合には、直接的な資産の損失が経済活動や生産量に与える二次的な影響が、災害の影響全体のほとんどを占めることが多い（Hallegatte, 2013; Hallegatte

and Vogt-Schilb 2016）。例を挙げると、Rose, Oladosu, and Liao（2007）は、ロサンゼルスにおける 2 週間の停電の総費用を 28 億ドル、すなわち 2 週間の経済活動全体の 13% と推計している。Colon, Hallegatte, and Rozenberg（2019）はタンザニアにおいて、洪水による交通の途絶のマクロ経済的影響は、途絶期間に対して非線形的に増加することを発見した。4 週間の交通途絶は、2 週間の途絶と比較して平均で 23 倍の費用を家庭に強いる。災害リスクに対する投資および政策に適切な情報を提供し、インフラの設計および運用に関する意思決定に指針を提供するために、包括的なリスク評価においては設備の損害だけでなく、こうした二次的影響を考慮する必要がある。

### より強靱なインフラ設備は採算が取れる

インフラの強靱性には 3 つのレベルがある（図 0.7）。

- **インフラ設備の強靱性。** 最も狭義には、強靱なインフラは外部からのショック、特に自然災害に耐えられる道路、橋、移動通信用鉄塔、送電線などの設備を指す。このレベルにおける強靱性の高いインフラの便益は、設備のライフサイクル費用を抑えられることである。
- **インフラサービスの強靱性。** インフラシステムは相互に接続されたネットワークであり、個々の設備の強靱性は、必ずしもネットワークレベルで提供されるサービスの強靱性にはつながらない。インフラには、強靱性に対する体系的なアプローチが望ましい。このレベルにおける強靱性の高いインフラの便益は、より信頼性の高いサービスを提供できることである。
- **インフラ利用者の強靱性。** 最終的に重要なのは利用者の強靱性である。インフラの供給途絶は、人々やサプライチェーンを含む利用者がそれに対処できるかどうかによって、壊滅的にも無害にもなりうる。このレベルにおける強靱性の高いインフラの便益は、自然災害が人や経済に与える影響全体を抑えられることである。

インフラの強靱性は、質の高いインフラを決定づける多くの要因の 1 つである。ただし、インフラ投資の設計と実施に強靱性を取り入れることは、自然災害のショックの対処に役立つだけでなく、より一般的にインフラサービスの費用対効果および質を向上させる。

図0.7 インフラの強靱性は様々なレベルで、重複しつつ、補完的に検討されるべき



## リスクの高い地域により強靱なインフラ設備を構築することは費用対効果が高い

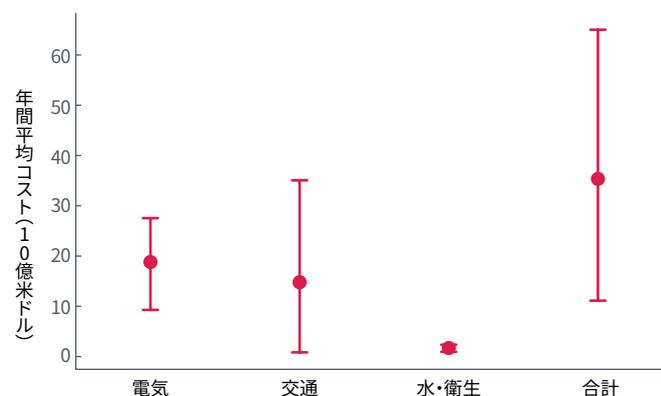
インフラ設備の強靱性向上のための追加的な初期費用は、その設備と災害のレベルに応じて、その建設費用よりも低い場合から2倍に増える場合までさまざまである。設備の強靱性を向上させるための方策には、代替素材を使用する、より深く基盤を掘削する、設備をより高い位置に設置する、設備周囲に洪水防止策を講じる、バックアップ機能を追加するなどが含まれる。

これら技術的な方策の実施にかかる費用はどのくらいになるだろうか？本報告書ではこの疑問に答えるために分析を行った。まず Rozenberg and Fay (2019) が、低・中所得国が開発目標を達成するためにインフラに費やすべき費用を推計した。次に、より強靱性を高めた形でインフラシステムを設計・構築した場合（Miyamoto International 2019 で考察された技術オプションの1つを想定）、この推計値がどのように変化するかを分析した。ただし、ここで対象とした方策は、自然災害によって設備が損傷を受けないことを保証するものではなく、またリスクを削減するために可能な限りのあらゆる選択肢が含まれているわけではないことに留意されたい。日本をはじめとする多くの先進国は、この分析で検討された方策を超えた、より費用のかかる技術的な方策を実施している。

適切なデータ、リスクモデルおよび意思決定手法が利用可能であれば、低・中所得国におけるインフラ設備の強靱性構築に伴う費用増加分は概ねわずかである。災害のリスクの高い設備の強靱性を向上させるだけなら、電気、上下水道および交通に対する投資ニーズは年間110億～650億ドル増加するのみである（図0.8）。決して少額ではないが、この増加額はインフラ投資ニーズ総額の3%に過ぎず、低・中所得国のGDPの0.1%未満である。このため、現在各国が直面している資金面の対応能力の問題に影響を及ぼすことはないだろう。

ただし、設備を強化してインフラの強靱性を向上させることは、自然災害の空間分布に関する適切なデータが利用できる場合に限って可能である。災害のリスクの高い地域についての情報がない場合、システム全体を強化するために1,200億～6,700億ドルと10倍の費用がかかることになる。つまり、災害データの価値はその情報を収集する費用に比べて桁違いに高いことを示している。

図0.8 インフラの強靱性のための将来の投資の費用増加額は、支出計画に左右されるものの、すべてのケースで限定的



出所：Hallegatte et al. 2019.

注：図は、2015～2030年のインフラの強靱性を向上させるための年間費用増加額を示している。同期中にインフラにどの程度投資され、どのような技術が選択されるのかなどによって、コストに幅が生じる。

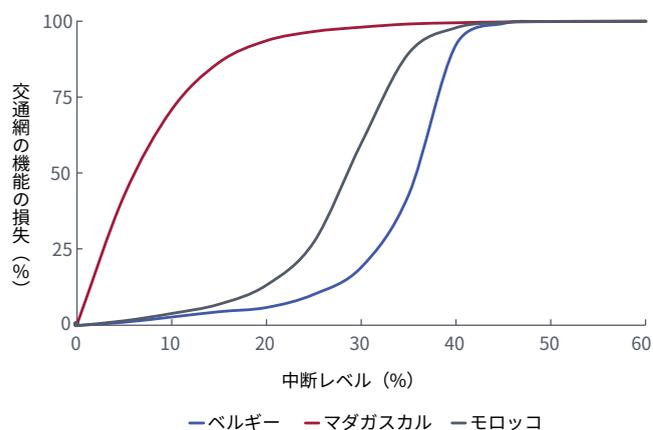
高いリスクにさらされたインフラの自然災害に対する強靱性を向上させるための投資の利益率はどれほどだろうか？インフラの強靱性向上にかかる費用や、家庭や企業が修復とインフラ途絶を回避することによる便益の大きさは場合によって変動するため、高リスクのインフラ設備強化の便益対費用比率について推計を1つだけ示すことは困難である。ただし、(モデルのパラメーターの値を様々に想定した)3,000ケースのシナリオを利用して、インフラの強靱性向上の費用と便益を分析することは可能である。

この分析によると、不確実性があるとはいえ、インフラの強靱性向上への投資は明らかに費用対効果が高く、頑健な選択肢と言える。便益対費用比率は、シナリオの96%のケースで1を超え、77%で2を、25%で6を超えている（Hallegatte et al. 2019）。インフラ設備の耐用年数期間で計算したこれらの投資の純現在価値は、75%のケースで2兆ドルを超え、50%で4.2兆ドルを超えている。さらに気候変動がインフラ設備強化の重要性を高めている。気候変動がなければ、便益対費用比率の中央値は2だが、気候変動を踏まえるとその2倍となる。

質の高いインフラに対する投資の緊急性も明らかとなっている。低・中所得国においてインフラへの大型投

資が行われているため、強靱性の低い設備が急速に増加しており、自然災害および気候変動によって課される将来の費用も増加している。93% のケースで、インフラの強靱性向上を 2020 年から 2030 年へと遅らせることにより費用が増加し、その中央値は 1 兆ドルとなる。

図0.9 ベルギーとモロッコの交通システムは、マダガスカルよりもはるかに深刻な交通の途絶による損失を吸収可能



出所：Rozenberg et al., 2019b.

## 強靱なインフラ設備から強靱なインフラサービスへ

設備の耐久性を高めることが、強靱性を構築する唯一の選択肢ではない。分析をインフラ設備だけでなくインフラサービスまで拡大することでわかったのは、ネットワークおよびシステムのレベルで取り組むこと、つまり重要性、冗長性、多様性、および追加の選択肢として自然を活用した方策を考慮することで、強靱性向上の費用が削減できることである。

インフラシステムの強靱性におけるネットワークの役割を説明するために、本報告書のために実施された調査では、交通網の強靱性を機能の損失額対設備の損失額の比率として定義して定量化した (Rozenberg et al. 2019b)。ベルギーやモロッコのように強靱性の高い道路網は、設備（道路の一部など）の多くを失ってもほとんどの機能を失わずに済むが、マダガスカルの道路網のように冗長性がほとんどない脆弱な道路網は、わずかな損傷でも機能しなくなる (図 0.9)。同様の手法は水道システムの分析にも利用できる。典型的には、ネットワークのすべての要素を地図上に示し、その要素が途絶する条件は何か、その途絶がどのような影響を及ぼすか、およびその途絶がインフラサービスの供給にどのように影響するかを検証する。

ネットワークにおいて非常に重要な設備を強化したり、ネットワーク内のボトルネックとなっている部分においてのみ冗長に設備を構築したりすることで、ネットワーク効果は限られた費用でサービスおよび利用者の強靱性を強化する機会を創出している (Rozenberg et al. 2019a)。例えば、送配電網は設備を冗長に構築することで強靱性を向上できることが多いが、これは必ずしもネットワークの主要な設備を 2 倍とか 3 倍にすることではない。通常、より効果的な方法は、送配電網内のさまざまな接続部分に複数の供給点を備えた、「環状」または網の目状のネットワークを構築することである。

多様化と分散化もサービスの強靱性向上の機会を提供する。まったく異なる脆弱性（例えば、干ばつの影響を受けやすい水力発電と、強風の影響を受けやすい太陽光および風力発電）を組み合わせることで、システムが最低限のサービスレベルを維持できる可能性が高まる。動力を使用しない方法や公共交通機関を基盤とする多様な交通システムは、自家用車

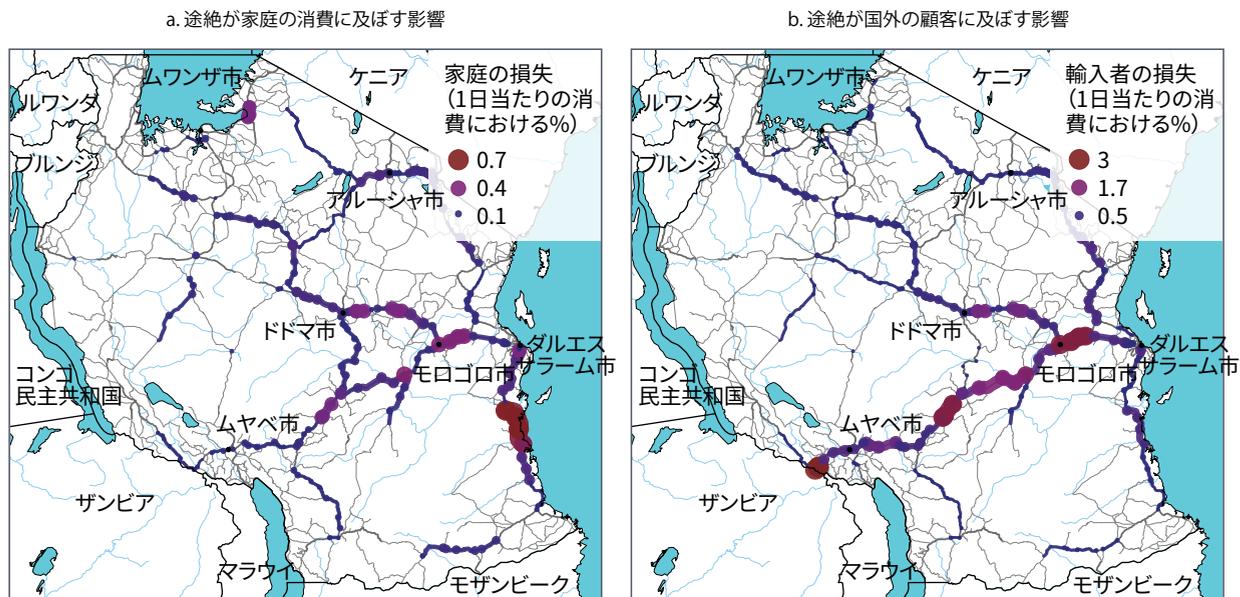
のみに依存するシステムよりも強靱性が高い。太陽光と蓄電池を使用する分散型電力システムは電力網を強化し強靱性を高める。ミニグリッドとマイクログリッドは長距離の送電線に依存しないため、電力網に障害が発生したときに役立つバックアップを提供できる。ハリケーン・サンディが発生した際、ニューヨーク市のコープ・シティ・マイクログリッドは、主要な電力網から切り離され、広範な電力網が停電中も利用者に電力を提供した (Strahl et al. 2016)。

また、グリーンインフラとグレーインフラを組み合わせることにより、より安い費用でより強靱かつより持続可能なインフラソリューションを提供することができる (Browder et al. 2019)。ニューヨーク市では上水の90%を十分に保護された自然保護地域の流域から引いているため、アメリカの他の都市に比べて上水処理工程が簡単である (National Research Council 2000)。Beck et al. (2018) によると、サンゴ礁がなければ、沿岸洪水による世界の年間被害は2倍となる。キューバ、インドネシア、マレーシア、メキシコおよびフィリピンがサンゴ礁から最も恩恵を受けていると推計され、それぞれの国で年間4億ドル以上の節約となっている。コロンボでは、湿地システムを保全することが、土地開発の制約を考慮した上でも、市内の洪水を減らすための費用対効果の高い解決策であることが判明した (Browder et al. 2019)。

ただし、強靱性強化のためにできることには制約があるということも考慮する必要がある。起こり得るすべての災害に対処できるインフラ設備およびシステムを設計することはできない。また、激甚災害の発生確率とその規模は確実に予想できるものではない。よって、インフラシステムは壊滅的な障害のリスクを最小限に抑えるために、さまざまな災害に対するストレステストを行う必要がある (Kalra et al. 2014)。このようなストレステストには次の2つの目的がある。(1) 発生の可能性が非常に低くても激甚な災害に対するインフラシステムの脆弱性を軽減できる低コストの方法を見つける、(2) インフラシステムの管理の観点 (大規模な障害からの復旧方法など) および利用者の支援の観点 (病院への影響を最小限に抑える方法など) からインフラ障害に備える。障害時のシナリオを分析することは、緊急時対応計画を策定する上で最初の最も重要なステップである。

最後に、インフラを構築しないことがインフラの強靱性確保の最善策となる場合もある。Nicholls et al. (2019) は、21世紀には、暴風雨による高潮や海面上昇に対する沿岸防護は、世界の海岸線の約22～32%に対してのみ経済的に意味があるとしている。したがって、一部のコミュニティでは沿岸防護策として、徐々に移転する、または低コストもしくは自然ベースの手法を利用する必要があるかもしれない。これらのコミュニティの多くは、防護のための費用が高すぎて金額的に見合わない人口密度の低い地域に位置している。こうした地域では、強靱性に対する最善の方法は新しいインフラを構築しないことである。ただしこの方法は、生計やコミュニティの結びつきを維持しながら移転を進めていく戦略を統合的に実施することによって補完していく必要がある。

地図0.2 タンザニアの交通網に対する投資の優先順位はサプライチェーンに依存する



出所: Colon, Hallegatte, and Rozenberg 2019.

注: 道路を覆う線の幅は、該当する道路の1週間の交通網途絶により引き起こされる影響の大きさに比例している。影響の大きさは1日当たりの消費に対する比率で測定され、高コストの輸送および商品不足による消費の損失を要因とする日常的ではない特別な支出を表す。図aは家庭が消費する商品に対する交通網途絶の影響を表す。図bは国外の顧客に対する影響を表す。

### 強靭なインフラサービスから強靭な利用者および経済へ

場合によっては、サービスの供給途絶を防ぐよりも、サービスの供給途絶に対処する方が簡単で安価なこともある。本報告書では、インフラサービスの利用者の役割と、利用者の行動がインフラシステムの強靭性向上にどのように貢献できるかを考察している。

多くの場合、強靭性構築のための最初のオプションは、効率性の改善によりインフラ需要を減らすことである。人口の増加と水資源の不足拡大に直面した場合、水道事業者は市内の水供給に対する圧力を軽減するために需要管理を利用することができる。最近の事例として、ケープタウンでは市内に水が供給できなくなる「ゼロ・デイ」を迎えることを避けるために、思い切った対策を講じる必要があった。市によって実施された需要管理対策は大きな成功を収め、2015年から2018年の間

に使用量は40%減少し、重大な社会経済危機の可能性を防いだ。

利用者のニーズと使用量を理解することは、公益事業者がどこに投資し、ネットワークのどの部分を強化するかをよりの確に絞る上で役立つ。緊急事態の発生時および発生後には、病院や洪水からの避難所につながる配電線は、国内の平均的な配電線よりも重要であろう。このような重要度が利用者およびサプライチェーンによってどのように変化するかを分析するために、本報告書のために実施された調査では、交通モデルとサプライチェーンモデルを組み合わせてタンザニアの交通網における重要度を検証した (Colon, Hallegatte, and Rozenberg 2019)。地図0.2は、2種類のサプライチェーンについて、交通セクターにおける最も重要なインフラ設備を示しているが、どちらのサプライチェーンを最も脆弱または最も重要と見なすかによって、強靭性強化のための投資の優先順位が変わることを示している。例え

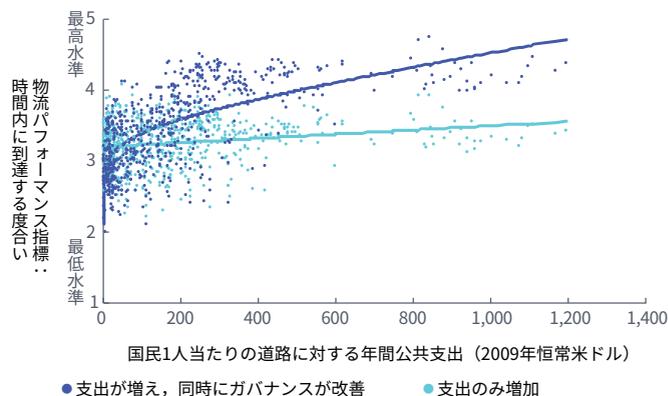
ば、ダルエスサラームの南約 200 km に位置する T7 沿岸幹線道路のセグメントは国内の消費活動にとって重要だが、国際貿易にとっては重要ではない。貿易にとっては、モロゴロ州東部の T3 道路の方が優先度が高い。この道路セグメントはダルエスサラームの港とコンゴ民主共和国やザンビアなど内陸の国々との間の大量の貨物の流れを可能にしているからだ。

インフラ途絶を防ぐことが不可能または金銭的に無理な場合、企業にはインフラ途絶に対する自身の強靱性を独自に向上させる様々なオプションがある。例えば、在庫が多ければ、交通網途絶の問題を防ぐことができる。発電機やバッテリーを備えることで、短時間の停電には備えることができる。地元と遠方の両方に多様なサプライヤーを確保することは、特に長期にわたる途絶に対して強力なセーフガードとなる。ただし、大量の在庫を保有し複数のサプライヤーを管理することの取引費用は非常に高く、企業にとって財政的な負担となるため、これらは大企業に最も適した対策である。また、弾力的でないサプライチェーンにおいては大規模な災害やこれに伴う供給途絶に対処することが不可能なため、適応性が非常に重要であり、これを事業継続計画に組み込むべきである (Christopher and Peck 2004; Sheffi 2005)。

### インフラの強靱性向上には一貫性のある戦略が必要である

多くの国において、インフラの途絶は慢性的な問題の現れである。停電が毎日発生し、水の供給は信頼性に欠け、安全ではなく、渋滞は移動時間を増やし、しかも予測不可能なものにしている。多くの場合、これらの供給途絶が起きる原因は、単にインフラシステムが増え続ける需要に対応し続けられるよう設計されていない、または不十分な設備管理もしくは保守の結果としてシステム障害が発生するためである。自然災害がこれらの問題を悪化させているかもしれないが、これら供給途絶の大部分はインフラの設計および管理に関連するより根本的な問題を反映している。つまり、インフラシステムを強靱にする最初のステップは、適切なインフラの設計、運用、保守および資金調達を通じて、通常の状態ですシステムを信頼できるものにするることである。

図0.10 ガバナンスが改善される場合のみ、支出の増加とともに交通システムの信頼性が向上



出所: Kornejew, Rentschler, and Hallegatte 2019

### 提言1: 基本的事項を正しく実施する

最近の世界各国の分析によると、インフラシステムが十分に機能を果たさない原因の多くは、管理およびガバナンスの不足である (Kornejew, Rentschler, and Hallegatte 2019)。世界銀行の物流パフォーマンス指標を利用して、交通システムのパフォーマンスが道路に対する公共支出にどのように関係しているかを図 0.10 に示した。それによると、ガバナンスの質が同時に向上する場合のみ、交通システムのパフォーマンスは 1 人当たりの支出の増加に伴い急速に向上する (紺色の線)。ガバナンスの質に変化がない場合 (水色の線)、支出の増加に伴う交通システムのパフォーマンスの向上はわずかであり、費用対効果は低い。電力システムと水道システムについても、同様の分析により同様の結果が得られた。

したがって、インフラシステムのガバナンスが不十分な場合、これが取り組むべき最初の障壁となる。インフラを自然災害に対して強靱にしたいのであれば、各国はまず、以下の 3 つの優先行動により、インフラ管理の基本を正しく実行する必要がある。

**行動1.1:規制, 建築条例, 調達ルールを導入, 執行する**

適切に設計された規制, 条例および調達ルールは, 信頼性と強靭性を含めたインフラサービスの質を向上させる最も簡単な方法である。これをインフラセクターにおいて効果的に執行するためには, 頑健な法的枠組みだけでなく, インフラの設置, サービスの質, 成果を監視して, サービス提供者にその成果に対して報酬や罰則を与えるための強力な規制機関が必要である。現在, 規制機関の多くが既存の建築法規を執行するリソースと能力を欠いている。

**行動1.2:インフラの適切な運用, 保守, 災害後対応のためのシステムを構築する**

保守および運用の改善は, 全体的な費用を削減しながらインフラ設備の強靭性を高めるための, 絶対に後悔しない(将来何が起ころうとも便益を生み出す)方法である。本報告書のために実施された経済協力開発機構(OECD)加盟国に対する分析によると, 道路保守に1ドルを追加することに, 1.5ドルの新規投資が節約できるため, 保守は非常に費用対効果の高い選択肢である(Kornejew, Rentschler, and Hallegatte 2019)。この目的のための重要なツールは, すべてのインフラ設備とその現状をリスト化した上で, それら設備のライフサイクル全体にわたる管理の戦略的, 財務的および技術的問題点のすべてを網羅したインフラ設備管理システムである。こうしたツールは, エビデンスに基づいて予防的

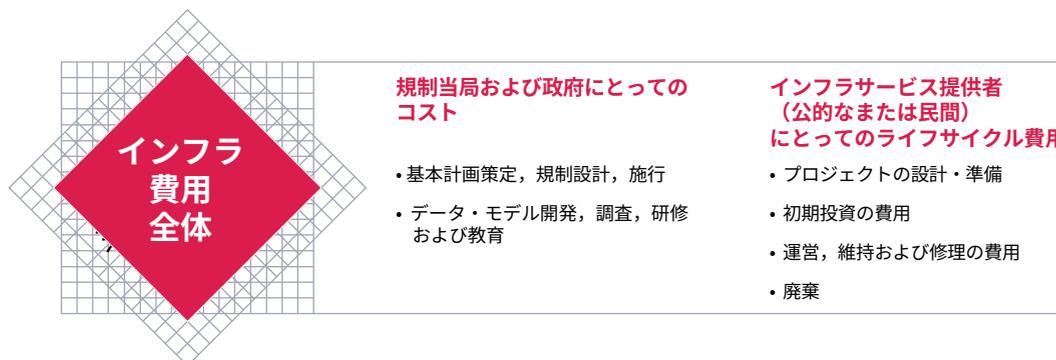
に保守管理を行うための工程を確立し, 問題が起こるたびにその場しのぎで対処する手法から脱却する上で役立つ。

**行動1.3:インフラの計画, 建設, 保守に適切な資金と融資を提供する**

インフラサービスの質は, 良好な計画から良好な保守に至るまで多くの要因に左右されるが, それぞれに費用がかかる(図0.11)。これらの要因のいずれかで, ニーズを満たすためのリソースが十分でない場合, インフラサービスの質が損なわれる可能性がある。インフラ建設のための投資支出が十分であっても, インフラ設備の計画, 設計または保守のためのリソースが十分でない場合には, その質と信頼性の低下を招く。したがって, さまざまに異なったニーズを満たすために十分なリソースを利用できるように, それぞれのニーズ, 特に保守に対して専用の資金と予算を割り当てることもありうる。

これら3つの基本的な対策を実施することにより, インフラシステムの信頼性を高め, 自然災害や気候変動に対処するための基本的な能力を確立することができる。ただし, それだけでは強靭性に関するより高い目的を達成するためには十分ではない。強靭性強化に向けた的を絞った行動なしには, インフラ設備はハリケーン, 河川洪水, 地震などの比較的発生頻度の低い災害に耐えることができない。また, 気候変動に対する特別な行動がなければ, これらの設備は誤った気候や環境条件に合わせて設計されるリスクを抱えてしまうことになる。したがって, 増大する自然災害のリスクに対して強靭性を構築するためには, 強靭性の課題特有のさらなる4つの障壁に取り組む必要がある。

**図0.11 質の高いインフラには多様な資金ニーズへの備えが不可欠**



## 提言2: 強靱性のための制度を構築する

政治経済の課題と調整の失敗は、強靱なインフラエコシステムの構築を妨げる。このため政府は、特に以下の3つの優先行動によって、調整の役割を果たす必要がある (OECD 2019)。

### 行動2.1: 既存の規制制度を基盤としながら、政府が一体となってインフラの強靱性に対する取り組みを実施する

アナリストらは、必要不可欠なインフラの強靱性を確保するために政府が重要な役割を果たし、政府全体による取り組みを実施すべきであるとしている (Renn 2008; Wiener and Rogers 2002; 世界銀行 2013)。リスク全体およびシステム全体のリスク管理の調整を向上させるための普遍的な解決策は、情報交換、調整、および場合によってはインフラのリスク管理対策の実施を担当する省庁横断的な既存の (または新規の) 機関を置くことである。

### 行動2.2: 重要なインフラを特定し、許容できるリスクレベルと許容できないリスクレベルを定義する

最も重要なインフラ設備とその脆弱性を特定する上で、重要度の分析は有効な方法である。政府は重要なインフラ設備およびシステムを特定した後、許容できるリスクレベルと許容できないリスクレベルを決める必要がある。各インフラセクターがこのリスクレベルを利用して独自の規制と対策を設計すれば、システム間の整合性を確保することができる。なお、これらのリスクレベルを決めるためには、現地の状況、特に利用可能なリソースを考慮する必要がある。またリスク管理が開発の障壁とならないようにするため、オープンな参加型のアプローチが求められる。

### 行動2.3: 強靱なインフラへの公平なアクセスを確保する

強靱性に関する決定は、経済面を考慮するだけでは進められない。インフラの強靱性向上は、インフラ途絶の潜在的なリスクと影響に関するより詳細な評価、特に脆弱で社会的に弱い立場にあるグループに対する評価に基づくべきである。新しく開発された手法により、空間的な優先順位に対するより包括的な評価が可能である。例えば、厚生の損失または社会経済的強靱性を推計

することで、自然災害の貧困世帯および富裕世帯への影響について、バランスの取れた評価を提供することができる (Hallegatte et al. 2016; Walsh and Hallegatte 2019)。

## 提言3: 規制やインセンティブに強靱性を組み入れる

より強靱なインフラに対する3つ目の障壁は、公的および民間の意思決定者がインフラ途絶を避けるためのインセンティブをほとんど持たない傾向にあることである。多くの場合、強靱性への投資を決定する際には、修理費用の低減のみが考慮され、インフラの途絶による社会的コスト全体が考慮されることはめったにない。このため政府は、インフラサービス提供者の利益と公共の利益とを一致させるために、以下の3つの優先行動により、整合性のとれた一連の規制と金銭的インセンティブに強靱性を組み入れる必要がある (図 0.12)。

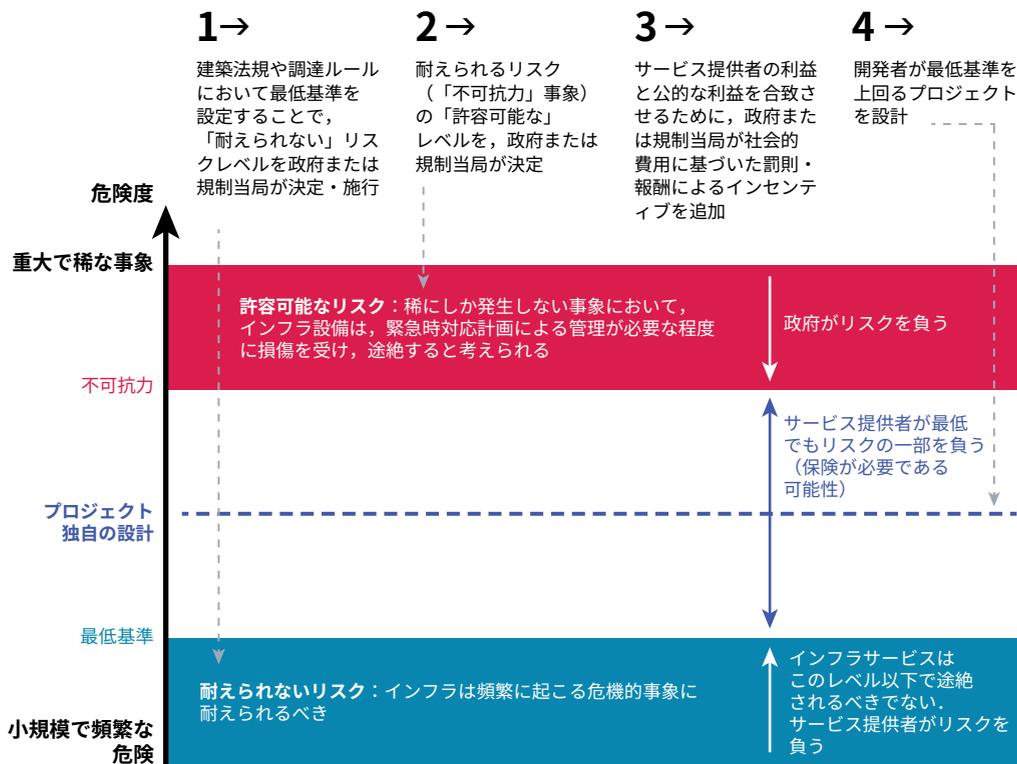
### 行動3.1: マスタープラン、規格、規制において強靱性に関する目標を設定し、気候変動を考慮して定期的に調整する

規格および規制は、気候条件、地球物理学的災害、環境および社会経済の動向、地域の建築事業の手法、政策の優先順位など、さまざまな問題を考慮する必要がある。また、気候変動やその他の長期的な傾向を考慮するために、現在よりも定期的に見直しを行う必要がある (Vallejo and Mullan 2017)。さらに、政府は規制を利用して、インフラサービスの提供者だけでなく、特定の利用者の強靱性を強化することもできる。例えば、病院に対し予備の発電機と貯水タンクの設置を求めることが可能である。企業に対しては、災害およびインフラの途絶に伴う経済コストを最小限に抑えるために、事業継続計画の作成を要求することができる。

### 行動3.2: 強靱なインフラサービスを促進するために、サービス提供者向けの金銭的インセンティブを創出する

サービス提供者が強靱性を向上するため、義務づけられた最低基準を超えて費用対効果の高い解決策を実施するためのインセンティブとして、報酬や罰則を利用することができる (Pardina and Schiro 2018)。例えば、オーストラリア・エネルギー規制局はサービス目標達成

**図0.12** インフラサービス提供者に適切なインセンティブを提供するためには、整合性のとれた規制と金銭的インセンティブが必要



インセンティブ制度を設立した。これには、消費者のサービス改善に対する支払い意思に応じた罰則および報酬が含まれている。もう1つの事例は生態系サービスへの支払い制度で、これは強靱性向上に向けて自然環境を活用した解決策を促進するものである。例えばブラジルでは、水の利用者が地域の水道会社に手数料を支払い、それを地域の流域委員会が流域の保守と森林再生に使用している (Browder et al. 2019)。

**行動3.3:** インフラ規制と様々なリスクに配慮した土地利用計画との整合性を確保し、開発地域を安全な地域に誘導する

インフラ投資は地域開発のパターンに影響を及ぼすため、人々がそのように自然災害の危険にさらされるかに影響する。新規インフラが利用者の強靱性向上に役

立つよう、様々なリスクに配慮した土地利用計画および都市化計画とインフラ規制を整合的なものにすべきである。また、インフラの設置地域を選定する場合には、新規インフラ設備が引き付ける潜在的な投資や強靱性への影響を考慮する必要がある。さらに、インフラの設置地域の選択を、土地利用計画の実施を支援し、リスクの低い地域開発を促進するために利用することも可能である。

**提言4: よりよい意思決定を行う**

インフラサービスの規制当局と提供者は、より強靱なインフラシステム構築に向けた適切なインセンティブを有している場合でも、データやツールへのアクセス、および正しい決断を下すために必要なスキルや能力が不足していることが多い。このため政府は、次の3つの

優先行動により、すべての関係者がよりよい意思決定を行えるよう支援する必要がある。

#### 行動4.1:自由にアクセスできる自然災害および気候変動データに投資する

リスクのデータおよびモデル（水文モデル、洪水災害予測地図、数値標高モデル、インフラ設備のリストなど）への投資はインフラ設備の設計と保守を改善するため、非常に高い利益を生む。低・中所得国のすべての都市部の数値標高モデルを作成した場合には合計で5,000万～4億ドルの費用がかかるが、それによってすべての新規インフラ設備に対する詳細なリスク評価が可能となり、年間数千億件の投資案件に情報を提供できる。ただし、こうしたデータには公共財としての特性があるために民間事業者による投資は活発ではなく、公的支援が必要である。また、こういったリスクおよびインフラのデータを有効に活用するためには、インフラサービスの提供者と利用者が（手頃な料金で）アクセスできるようにする必要がある。プライバシーとセキュリティの問題からアクセスを制限する必要があるかもしれないが、まずは災害およびインフラに関するデータに自由にアクセスできるようにし、機密性が高いことが立証されたデータに対してはアクセスを制限するといったプロセスをとることが望ましい。

#### 行動4.2:頑健な決断を下し、失敗や壊滅的な障害の可能性を最小限に抑える

不確実性が大きいと、「最適な」システムまたは設備を設計することが不可能となることが多い。代替案は、たとえある特定のケースでは最適でない可能性があるとしても、幅広い将来シナリオや優先基準、世界観の下でも良好な結果をもたらす頑健な設計を目指すことである。意思決定者は、（非常に可能性が低いものも含めて）さまざまな危険や脅威に対して考えうる選択肢を系統だったストレステストにかけることで、頑健な戦略を特定し、残存する脆弱性は受け入れて対処することができる。これらのストレステストは、発生確率が低い甚大な災害に対する強靭性を構築して壊滅的な障害を防ぐための低コストの方法を把握する上で役立つ。また、サービス提供者の緊急時対応計画および利用者の事業継続計画の策定にも役立つ。

#### 行動4.3:データとモデルを利用するために必要なスキルを構築し、民間セクターのノウハウを活用する

インフラの強靭性向上を目指すすべての人々がインフラのリスクに関するデータとモデルを利用可能な場合でも、これらを適切に利用するためには特別なスキルが必要であり、こうしたスキルを常に利用できるわけではない。大学や研究センターが研修を行い、新たな手法を開発し（または既存の手法を各地域の状況に適応させ）、政策立案者や意思決定者に助言できるよう支援する必要がある。公共セクターにおける専門知識が不十分な場合には、直接雇用または官民パートナーシップを通じて民間セクターを取り込むことが解決策となりうる。

#### 提言5:資金を供給する

5番目の障壁は、費用負担能力と資金調達上の制約に関連している。強靭性を高めると、政府や規制当局が負担する費用またはインフラ提供者が負担する費用など、インフラのライフサイクルを通じてさまざまな費用が増加しうる（図0.11）。

場合によっては、強靭性の向上によって設備またはシステムのライフサイクルを通じた費用総額が増加し、費用負担が可能かどうかという問題につながる可能性がある。解決策としては、財源の増加（増税、利用者からの手数料徴収、または資金移転による資金調達）、またはインフラサービスの強靭性と量のトレードオフ（例えば、道路の量を減らして安全性を高める）などが挙げられる。ただし多くの場合、インフラの強靭性を向上させることで、設計、建設または保守の費用に限っては増加するが、修理などの他の費用は減少するため、ライフサイクルを通じた費用総額はむしろ減少する。その場合の課題は資金をどのように調達するかであり、すなわちどのように年間歳入または予算をインフラプロジェクトのライフサイクルの各段階で必要なリソースに配分するかである。これらの課題に対しては、次の3つの優先行動を提言する。

#### 行動5.1:マスタープランおよび初期のプロジェクト設計にリスク評価を含めるために十分な資金を提供する

毎年インフラに数千億ドルが投資されているにもかかわらず、インフラセクターの規制、様々なリスクを考慮したマスタープラン、インフラのリスク評価またはプ

プロジェクト設計の初期段階にリソースを動員することは依然として困難なままである。インフラプロジェクトが成熟するとより多くのリソースが利用可能となる傾向があるが、この段階では既にほとんどの戦略的決定が下されており、強靭性を高めるための最も費用がかからない方法はもはや採用できない（設備の位置やプロジェクトの特性そのものの変更など）。しかし、こうした活動に対する支援および資金提供は非常に費用対効果が高く、特に貧困国においては変革をもたらす可能性があるために、国際支援および国際協力の優先事項にもなっている（世界銀行 2018）。例えば防災グローバル・ファシリティ（GFDRR）、グローバル・インフラストラクチャー・ファシリティ（GIF）といった専門組織やプロジェクトの準備を行う機関が既にこれらの分野において積極的に活動しているが、ニーズの大きさに比べるとまだ小規模である。

#### 行動5.2: 政府が一体となって財政保全戦略と緊急時対応計画を策定する

通常、政府は災害直後の時期に災害対応および復旧対策のために多額の資金を調達することが求められる。資金調達的手段としては、積立金、予算の再配分、条件付き信用供与、または保険やリスク移転などが挙げられる。どのような調達手段を選択するかは、カバーされるリスクの範囲、費用、支払い速度、およびその手段の透明性や予測可能性によって決まる（Clarke and Dercon 2016; 世界銀行 2017）。しかし、災害発生後は金融リソースが利用できるだけでは不十分である。災害の直接的な影響を受けていない場合を含めて、インフラ途絶の影響を受けた企業や世帯などに対して、必要に応じてリソースを効果的かつ迅速に配分する能力も同様に重要である。したがって、資金調達手段を緊急時対応計画や柔軟な配分メカニズムと組み合わせる必要がある。もし可能であれば、社会保障制度などの既存の手段を基盤とすべきである。

#### 行動5.3: 投資家および意思決定者に情報を提供するために透明性を高める

強靭なインフラ構築プロジェクトが十分な資金を確保する方法の1つは、プロジェクトに関連するリスクについて投資家や意思決定者に情報を提供することである。複数の国際的、地域的および国内のイニシアチブが、イ

ンフラ投資および設備に関連する物理的なリスクの透明性を高めようと努めている。例えば、気候関連財務情報開示タスクフォースの取り組みでは、企業および投資家に物理的リスクとその管理方法について報告するよう提言している。世界銀行グループはこの流れを後押しするために、投資家に各自のインフラ投資の強靭性に関する情報を提供し、最も強靭性の高いプロジェクトを選択できるようにする強靭性評価システムの開発に取り組んでいる。

要約すると、上述の5つの提言および15の行動（表0.3）が示すとおり、インフラシステムの強靭性を確保するための単一かつ万能な対策はない。代わりに、政府はインフラシステムの強靭性向上に対する数多くの障壁に取り組むために、公益事業者、投資家、企業団体、市民団体などあらゆる関係者と協力し、整合性のとれた戦略を策定、実施する必要がある。なお、上述した提言に共通する1つの特徴は、インフラシステム開発の初期段階、つまり規制の設計、災害データおよびマスタープランの作成、または新規インフラ設備設計の初期段階に重点を置いていることである。こうした初期段階では、小規模な投資によってインフラシステム全体の強靭性を大幅に向上させ、非常に大きな便益を生み出せる可能性がある。ただし貧困国では、これらの行動に投資するための資金の動員が難しい場合があるため、国際社会からターゲットを絞った支援を行い、変革をもたらし、高い費用対効果を達成する必要がある。

なお、これらの提言はインフラの強靭性向上を目的としているが、その大部分は、インフラの強靭性を低下させるだけでなく、効率性および包摂性をも低下させ、費用を増大させる市場および政府の失敗を防ごうとするものである。したがって、結果としてこれらの行動の実施は、インフラの強靭性向上に資するのみならず、より生産的で住みやすい包摂的な社会の創出にも役立つ。

表 0.3 強靱なインフラの 5 つの障壁に対する 5 つの提言

提言	行動
1: 基本的事項を正しく実施	1.1: 規制, 建築規定および調達ルールを導入・執行 1.2: 適切なインフラの運営・保守・災害後対応のためのシステムを構築 1.3: インフラの計画・建設・保守に対して適切に財政支援と資金提供を行う
2: 強靱性のための制度を構築	2.1: 既存の規制制度を活用して, 強靱なインフラに対して政府一体となった手法を導入 2.2: 重要なインフラを特定し, 許容可能なおよび許容不可能なリスクレベルを定義 2.3: 強靱なインフラに対する公平なアクセスを確保
3: 強靱なインフラに対して規制およびインセンティブを設定	3.1: 基本計画, 規格および規制において強靱化の目標を検討し, 気候変動に対応するために定期的に調整 3.2: サービス提供者が強靱なインフラ設備・サービスを提供するように, 経済的なインセンティブを設定 3.3: インフラに対する規制とリスクを考慮した土地利用計画との整合的を確保し, 開発地域をより安全な地域に誘導
4: 意思決定の改善	4.1: 自由にアクセスできる自然災害および気候変動のデータ構築に投資 4.2: 頑健な決定を行い, 後悔および破滅的な失敗の可能性を極力減らす 4.3: データ・モデルの利用に必要なスキルを構築し, 民間セクターのノウハウを活用
5: 資金調達	5.1: 適切に資金提供し, 基本計画および初期段階のプロジェクト設計においてリスク評価を実施 5.2: 政府が一体となって財政保全戦略および緊急時対応計画を策定 5.3: 投資家および意思決定者に対して情報を提供するため, 透明性を高める

## 注記

1. 本報告書においては特に指示のない限り, ドルを単位とする金額はすべて米ドルである。
2. 本データセットは, 低・中所得国の GDP の 80% または世界の GDP の 32% を占める 137 カ国を対象としている。データの制約により, 対象とする国の範囲は分析によって異なる。詳細については第 2 章および Rentschler, Kornejew, et al. (2019) を参照。
3. 本段落にまとめられている推定値は低・中所得国 137 カ国を対象としているが, データの制約により対象とする国の範囲はインフラセクターによって異なる。詳細については第 3 章および Obolensky et al. (2019) を参照。

## 参考文献

- Beck, M. W., I. J. Losada, P. Menéndez, B. G. Reguero, P. Díaz-Simal, and F. Fernández. 2018. "The Global Flood Protection Savings Provided by Coral Reefs." *Nature Communications* 9 (1): 2186. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04568-z>.
- Braese, J., J. Rentschler, and S. Hallegatte. 019. "Resilient Infrastructure for Thriving Firms: A Review of the Evidence." 本報告書の背景報告書, 世界銀行, ワシントン DC.
- Browder, G., S. Ozment, I. Rehberger Bescos, T. Gartner, and L. Glenn-Marie. 2019. *Integrating Green and Gray: Creating the Next Generation Infrastructure*. ワシントン DC: 世界資源研究所.

- Christopher, M., and H. Peck. 2004. "Building the Resilient Supply Chain." *International Journal of Logistics Management* 15 (2):1–14. <https://doi.org/10.1108/09574090410700275>.
- Clarke, D., and S. Dercon. 2016. *Dull Disasters? How Planning Ahead Will Make a Difference*. オックスフォード: オックスフォード大学出版局.
- Colon, C., S. Hallegatte, and J. Rozenberg. 2019. "Transportation and Supply Chain Resilience in the United Republic of Tanzania." 本報告書の背景報告書, 世界銀行, ワシントン DC.
- Fay, M., I. L. Hyoung, H. Sungmin, M. Mastruzzi, and M. Cho. 2019. "Hitting the Trillion Mark: A Look at How Much Countries Are Spending on Infrastructure." 政策研究報告書 8730, 世界銀行, ワシントン DC.
- Hallegatte, S. 2013. "Modeling the Roles of Heterogeneity, Substitution, and Inventories in the Assessment of Natural Disaster Economic Costs." *Risk Analysis* 34 (1): 152–67. <https://doi.org/10.1111/risa.12090>.
- Hallegatte, S., J. Rozenberg, C. Fox, C. Nicolas, and J. Rentschler. 2019. "Strength-ening New Infrastructure Assets—A Cost-Benefit Analysis." 本報告書の背景報告書, 世界銀行, ワシントン DC.
- Hallegatte, S., and A. Vogt-Schilb. 2016. "Are Losses from Natural Disasters More Than Just Asset Losses? The Role of Capital Aggregation, Sector Interactions, and Investment Behaviors." 政策研究報告書 7885, 世界銀行, ワシントン DC.
- Hallegatte, S., A. Vogt-Schilb, M. Bangalore, and J. Rozenberg. 2016. 防災と貧困削減: 自然災害に立ち向かう貧困層のレジリエンス構築. ワシントン DC: 世界銀行. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1003-9>.
- Jeandron, A., J. M. Saidi, A. Kapama, M. Burhole, F. Birembano, T. Vandeveld, A. Gasparrini, B. Armstrong, S. Cairncross, and J. H. J. Ensink. 2015. "Water Supply Interruptions and Suspected Cholera Incidence: A Time-Series Regression in the Democratic Republic of the Congo." *PLoS Medicine* 12 (10): 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001893>.
- Kalra, N. S. Hallegatte, R. Lempert, C. Brown, A. Fozzard, S. Gill, and A. Shah. 2014. "Agreeing on Robust Decisions: New Processes for Decision Making under Deep Uncertainty." 政策研究報告書 6906, 世界銀行, ワシントン DC. <https://doi.org/doi:10.1596/1813-9450-6906>.
- Koks, E., J. Rozenberg, C. Zorn, M. Tariverdi, M. Vousdoukas, S. A. Fraser, J. Hall, and S. Hallegatte. 2019. "A Global Multi-Hazard Risk Analysis of Road and Railway Infrastructure Assets." *Nature Sustainability* 近刊予定.
- Kornejew, M., J. Rentschler, and S. Hallegatte. 2019. "Well Spent: How Governance Determines the Effectiveness of Infrastructure Investments." 本報告書の背景報告書, 世界銀行, ワシントン DC.
- Lenz, L., A. Munyehirwe, J. Peters, and M. Sievert. 2017. "Does Large Scale Infrastructure Investment Alleviate Poverty? Impacts of Rwanda's Electricity Access Roll-Out Program #555." *World Development* 89 (January): 88–110.
- Miyamoto International. 2019. "Overview of Engineering Options for Increasing Infrastructure Resilience." 本報告書の背景報告書, 世界銀行, ワシントン DC.
- ミュンヘン再保険, 2019. "Natural Catastrophe Review 2018." Munich Re, January 8. <https://www.munichre.com/en/media-relations/publications/press-releases/2019/2019-01-08-press-release/index.html>.
- National Research Council. 2000. *Watershed Management for Potable Water Supply: Assessing the New York City Strategy*. ワシントン DC: National Academies Press.
- Nicolas, C., J. Rentschler, A. Potter van Loon, S. Oguah, S. Schweikert, M. Deinert, E. Koks, C. Arderne, D. Cubas, J. Li, and E. Ichikawa. 2019. "Stronger Power: Improving Power Sector Resilience to Natural Disasters." 本報告書の分野別ノート, 世界銀行, ワシントン DC.

- Nicholls, R. J., J. Hinkel, D. Lincke, and T. van der Pol. 2019. "Global Investment Costs for Coastal Defense through the 21st Century." 政策研究報告書 8745, 世界銀行, ワシントン DC.
- Obolensky, M., A. Erman, J. Rozenberg, P. Avner, J. Rentschler, and S. Hallegatte. 2019. "Infrastructure Disruptions: Impacts on Households." 本報告書の背景報告書, 世界銀行, ワシントン DC.
- 経済協力開発機構 (OECD). 2019. Good Governance for Critical Infrastructure Resilience. OECD Review of Risk Management Practices. パリ: OECD.
- Pardina, M. R., and J. Schiro. 2018. "Taking Stock of Economic Regulation of Power Utilities in the Developing World: A Literature Review." 政策研究報告書 8461, 世界銀行, ワシントン DC.
- Renn, O. 2008. "White Paper on Risk Governance: Toward an Integrative Framework." In *Global Risk Governance*, edited by O. Renn and K. D. Walker, 3–73. シュトゥットガルト: シュプリンガー.
- Rentschler, J., J. Braese, N. Jones, and P. Avner. 2019. "Three Feet Under: The Impacts of Flooding on Urban Jobs, Connectivity, and Infrastructure." 本報告書の背景報告書, 世界銀行, ワシントン DC.
- Rentschler, J., M. Kornejew, S. Hallegatte, M. Obolensky, and J. Braese. 2019. "Underutilized Potential: The Business Costs of Unreliable Infrastructure in Developing Countries." 本報告書の背景報告書, 世界銀行, ワシントン DC.
- Rentschler, J., M. Obolensky, and M. Kornejew. 2019. "Candle in the Wind? Energy System Resilience to Natural Shocks." 本報告書の背景報告書, 世界銀行, ワシントン DC.
- Rose, A., G. Oladosu, and S. Y. Liao. 2007. "Business Interruption Impacts of a Terrorist Attack on the Electric Power System of Los Angeles: Customer Resilience to a Total Blackout." *Risk Analysis* 27 (3): 513–31. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2007.00912.x>.
- Rozenberg, J., and M. Fay. 2019. 格差を超えて: 地球を守りながらインフラストラクチャーを構築するには各国政府はどうすればいいか. ワシントン DC: 世界銀行.
- Rozenberg, J., X. Espinet, C. Fox, S. Hallegatte, E. Koks, J. Rentschler, and M. Tariverdi. 2019a. "From a Rocky Road to Smooth Sailing: Building Transport Resilience to Natural Disasters." 本報告書の分野別ノート, 世界銀行, ワシントン DC.
- Rozenberg, J., C. Fox, M. Tariverdi, E. Koks, and S. Hallegatte. 2019b. "Road Show: Comparing Road Network Resilience around the World." 本報告書の背景報告書, 世界銀行, ワシントン DC.
- Sandhu, H. S., and S. Raja. 2019. "No Broken Link: the Vulnerability of Telecommunication Infrastructure to Natural Hazards." 本報告書の分野別ノート, 世界銀行, ワシントン DC.
- Sheffi, Y. 2005. *The Resilient Enterprise: Overcoming Vulnerability for Competitive Advantage*. マサチューセッツ州ケンブリッジ: MIT 出版局.
- Stip, C., Z. Mao, L. Bonzanigo, and G. Browder. 2019. "Water Infrastructure Resilience: Examples of Dams, Wastewater Treatment Plants, and Water Supply and Sanitation Systems." 本報告書の分野別ノート, 世界銀行, ワシントン DC.
- Strahl, J., M. Bebrin, E. Paris, and D. Jones. 2016. "Beyond the Buzzwords: Making the Specific Case for Community Resilience Microgrids." ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, American Council for an Energy-Efficient Economy, ワシントン DC.
- スイス再保険. 2019. "Preliminary Sigma Estimates for 2018: Global Insured Losses of USD 79 Billion Are Fourth Highest on Sigma Records." スイス再保険, 12月18日. [https://www.swissre.com/media/news-releases/nr\\_20181218\\_sigma\\_estimates\\_for\\_2018.html](https://www.swissre.com/media/news-releases/nr_20181218_sigma_estimates_for_2018.html).
- Vallejo, L. and M. Mullan. 2017. Climate-Resilient Infrastructure: Getting the Policies Right." OECD 環境ワーキングペーパー, No. 121, OECD 出版, パリ.

- Walsh, B., and S. Hallegatte. 2019. "Measuring Natural Risks in the Philippines." 政策研究報告書 8723, 世界銀行, ワシントン DC.
- Wiener, J. B., and M. D. Rogers. 2002. "Comparing Precaution in the United States and Europe." *Journal of Risk Research* 5 (4): 317–49.
- 世界銀行, 2013. *世界開発報告 2014: リスクと機会~開発のためのリスク管理*. ワシントン DC: 世界銀行. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-9903-3>.
- .2017.*Sovereign Catastrophe Risk Pools:World Bank Technical Contribution to the G20*. ワシントン DC: 世界銀行. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/28311>.
- .2018.*Strategic Use of Climate Finance to Maximize Climate Action*. ワシントン DC: 世界銀行. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30475>.
- Zhang, F. 2019. 暗闇の中で: 電力セクターの歪みが南アジア地域にもたらすコストはいくらか? *South Asia Development Forum*. ワシントン DC: 世界銀行. <https://doi.org/doi:10.1596/978-1-4648-1154-8>.



## ライフライン

### 強靱なインフラ構築がもたらす機会 (仮訳)

インフラサービスは、最も基本的なニーズを充足することから、貿易や技術に関わる非常に野心的な事業を可能にすることにいたるまで、私たちの厚生と開発を支えている。信頼性の高い上水、下水、エネルギー、交通および電気通信は、人々の生活の質を向上させ、維持するために不可欠であると普遍的に考えられている。

しかし、特に低・中所得国では、数百万人が信頼性の低い電力網、不十分な上下水道、および混雑した交通網による影響を受けている。洪水、嵐から地震、地滑りにいたるまで、自然災害はこうした脆弱なシステムが直面している問題をさらに拡大する。

本報告書「ライフライン:強靱なインフラ構築がもたらす機会 (仮訳)」では、自然災害の間およびその後に機能し、利用者のニーズに応えるために必要とされるインフラの強靱性を理解するための枠組みが示されている。また、インフラの強靱化について経済的な事例が紹介されている。

本報告書では、広範な事例研究、世界規模の実証分析、およびモデルによる試算に基づいて、自然災害がインフラに及ぼす影響が試算されている。修理費用のみならず、家庭からサプライチェーンにいたるまでの利用者への影響も対象となっている。また、インフラの設備、システム、利用者が自然災害に対してより強靱で、より適切に対応できるようにするための利用可能な選択肢を検証している。これらの選択肢の費用と便益を評価することで、特に低・中所得国でのインフラの強靱性向上に対する投資の経済的価値が示されている。

本報告書では、インフラの強靱性向上にとっての5つの障壁を特定し、基礎的なシステムとサービスの質と適切性を改善することで、社会の強靱性が向上し、さらに繁栄させるために、政府、関係者および国際社会が実践可能な具体的な提言と行動が提示されている。