

防災投資による経済発展 効果の評価モデルの構築 と開発途上国への適用

1 はじめに

世界では地球温暖化に伴う気候変動により、巨大な自然災害が頻発している。水害に限って見ても、近年では2010年7月にパキスタンで発生した水害により150万人が被災し、1,100人を越える死者を記録している。パキスタン南部では2011年8月にも洪水が発生し、500万人以上の被災者数を記録している。2011年にはタイで大規模な洪水が発生し、600名を越える死者、また、500万人以上が被災する事態となるなど、大規模な災害が頻発する状況となっている。

国際社会における災害に対する取組は、従来、防災分野への事前投資ではなく、災害発生後の緊急支援や復旧活動に重点が置かれてきた。2000年に設立された「国際防災戦略(ISDR)」が主催する国連防災世界会議では、国際的な防災・減災のための防災戦略の策定が行われている。2015年3月に開催された第3回国連世界防災会議において、兵庫行動枠組の後継となる新しい国際的防災指針である「仙台行動枠組2015-2030」と防災に対する各国のコミットメントを示した「仙台宣言」が採択された。仙台行動枠組では、兵庫行動枠組の課題として、災害リスクの削減のため、「災害への備えの向上と国際協力に支持されるよりよい復興(Build Back Better)が必要。より広範かつ人間中心の予防的アプローチを取らなければならない。」と謳われている¹⁾。つまり、災害が発生した場合には単に災害以前の状態に復旧するのではなく、脆弱性の再現を防ぎ、持続的な開発が可能となるような復興が重要であり、また防災への事前投資を実施することにより将来の災害による被害を軽減していく必要があると認識されている。

2 日本の防災への取組と国際協力

日本の防災への取組は、昭和34年に我が国で甚大な被害をもたらした伊勢湾台風を契機として制定された、災害対策基本法(昭和36年制定)がある。本法律では総合的かつ計画的な



岡部 真人
河川政策グループ
主任研究員



岡安 徹也
河川政策グループ
副総括

防災体制の整備を図ることとされている。またその後、阪神・淡路大震災等大規模災害の教訓を踏まえ、防災体制を充実・強化している²⁾。

また日本は、開発途上地域等の経済及び社会の発展に寄与し国際協力の促進に資することを目的とした国際協力機構(JICA)を通じて、災害経験や教訓により培った防災に関する知識や技術を活用し国際防災協力を実施している。JICAでは、将来の環境変化にも対応し得るような対策を考慮した防災への事前投資“Low Regret Investment”の概念のもと、予防に対する投資を行うことにより、将来の災害による被害を軽減し、応急対応等に必要の費用を小さくしていくことを目指した取組を進めている。

3 防災の事前投資の有効性を示すツール開発

(1) 防災の事前投資効果分析モデルの構築

防災分野への事前投資によって死者数の削減が図られることは、例えばJICAによる事業等で明らかとなっている³⁾。一方で防災対策の有無による、経済発展のプロセスに与える影響といった部分については、定量的な評価がなされてこなかった。その結果、防災対策への事前投資は災害対策全体の約3.6%にとどまっている。そのため、防災の事前投資による経済発展効果を定量的に立証可能なものとする必要がある。また、防災の事前投資による経済発展効果を評価可能なツールの開発により、防災への事前投資を実施するための意思決定を支援することが可能となる。

JICAでは、国際社会、特に開発途上国政府のハイレベルや財務省高官に対して、防災への事前投資の効果と重要性を示すためのツールとして、防災の事前投資による経済発展効果を定量的に評価可能なモデル構築を行うこととなった。このモデルを利用することで開発途上国における防災の事前投資が促進することが期待されている。

防災の事前投資の経済発展効果を示すモデルに既存のものは

ないことから、モデル構築に際しては、①防災対策技術（河川洪水等）の防災に関連する工学的ノウハウ）、②災害予測技術、及び災害による被害額算出技術（自然災害対策の経済調査、費用便益の算出等）等の知見と、モデルを運用する上で必要となる③防災対策に必要な社会資本整備に対する基準・計画作成能力等の知見・経験等を持つ一般財団法人国土技術研究センター（JICE）がモデル開発の主体となり進めることになった。

（2）構築モデルの基本的な考え方と枠組み

防災投資効果分析モデル（Ver.1.0）では以下の3点の課題に対応したモデルを構築した。

①経済発展に関する寄与並びに経済発展の阻害を評価

災害による影響を、「家計」と「企業」の主体の行動を取り込んだ経済モデル（Ramsey型経済成長モデル）により表現することで、防災投資に有無による災害時の影響の違いを再現する。

②開発途上国における開発目標に対する貢献度を評価

家計の行動モデルにおいて、人的資本を想定し、人的資本投資により労働生産性が向上する関係を表現する。これによって教育水準の向上による生産性向上効果を考慮した。また、各所得階層毎の行動モデルを構築し、各所得階層が資本を形成・蓄積し経済成長することを表現する。

③経済面だけでなく多様な効果を評価

経済評価はGDP等を用い、人的な効果には、社会における所得分配の不平等さを測る指標であるジニ係数等を用いた複数の指標により経済効果の計測や、貧困の解消といったマルチ指標での評価を可能とした。

以上の考え方を満足するモデルとして、災害リスク下における経済成長過程を評価し、災害対策の有無による経済成長の差異を経済評価する「確率的動学的マクロ経済モデル」を構築した。経済成長モデルは、所得階層別にStone-Geary型効用関数を考慮したRamsey型経済成長モデルを想定している。

構築したモデル（Ver.1.0）の構成概要図を図3-1に、またパキスタンにおけるシミュレーション結果を図3-2に示す。また、本モデル（Ver.1.0）で使用する基本式等、モデル構成の詳細については文献⁴⁾、⁵⁾を参照されたい。

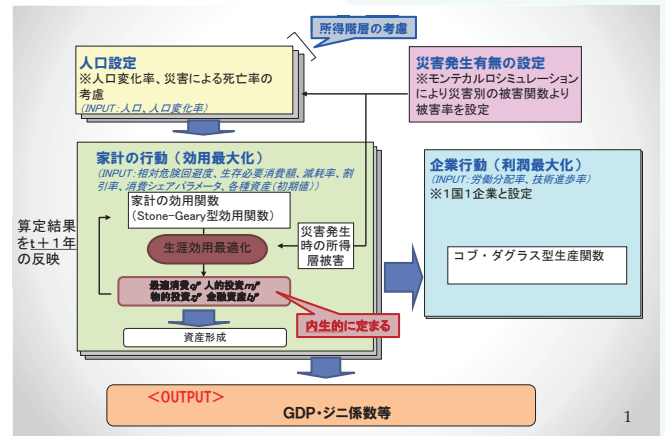


図3-1 防災投資効果分析モデルの構成概要図

（3）構築モデル（Ver.1.0）の成果と課題

1）構築モデル（Ver.1.0）の成果

本モデル（Ver.1.0）では、パキスタンを対象に適用した結果、モデルの妥当性が概ね確認できた。また、将来災害に見舞われた場合においても、事前の防災投資を行うことで、継続的な経済成長が見込めることや、貧困の解消に貢献することを捉えることができた。一方で以下に示す課題も明らかとなった。

2）GDPの将来予測における課題

本モデル（Ver.1.0）で検討を行ったパキスタンでは、防災投資がその国の経済成長に有効であることは示されているものの、防災投資のあり、なしに関わらずGDPが指数関数的な増加を示す結果となっている（図3-2）。これは、企業の行動モデルであるCobb-Douglas型の生産関数で用いた外生的技術進歩係数による増加によることや、人的資本の伸びによってもたらされていることがわかっている。その国のGDPが指数関数的に増加することは実状に合った結果とはいえない。適切な経済成長を表現するには、技術進歩係数の設定方法の検討や、教育資本に時間制約を設定する等、より実現に近い値を設定する必要がある。

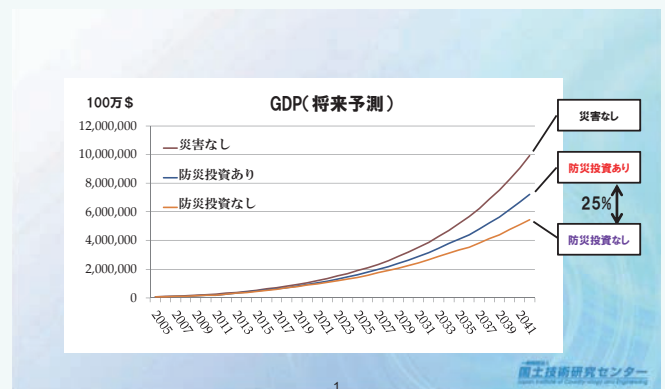


図3-2 防災投資の有無によるGDPの違い

2) 災害率の設定における課題

本モデル（Ver.1.0）では、過去の災害で一番被害の大きかった災害の被害率を事前の防災投資によって半減できると仮定して防災投資効果を予測した。被害率の設定には、各国の被害データが必要であり、導入する防災対策による効果の差異を明らかにするには、災害の特性や導入する防災対策に応じた被害率設定が求められる。つまり、モデルの改良と合わせて災害統計の整備が必要である。

(4) 構築モデルの改良 (Ver.1.4)

上述の課題に対して、本モデル（Ver.1.0）について以下の改良を実施した。

1) 教育投資による人的資本形成効果の最適化

改良モデル（Ver.1.4）では、教育水準別の人的投資費用関数を設定することで、人的資本の成長が改善し、その結果GDPの成長が改善した。

具体的には、代表的個人の平均就学年数に応じた人的費用関数を考慮するために、小学校、中学校、高校、大学等の教育水準別に人的投資費用関数を設定した。ここでは、人的投資費用関数の関数形を二次関数とすることでモデルの安定性や扱いやすさを向上させることに成功している。図3-3で設定した人的投資費用関数を示す。

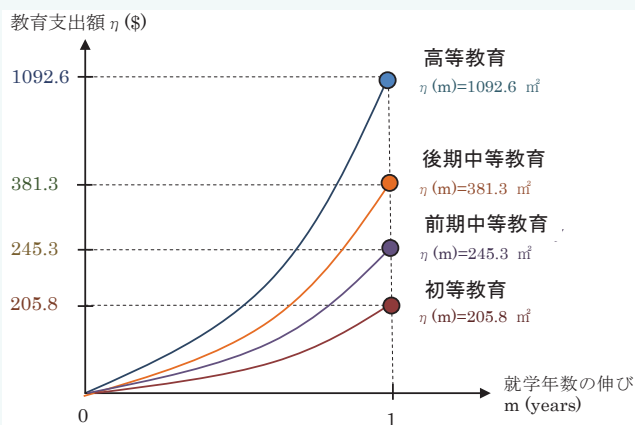


図3-3 ホンジュラスにおける人的投資費用関数の設定例
(1年間を通じて教育を受けた場合は1、全く教育を受けなかった場合は0と定義し、教育を受けた時間に応じて教育支出額を算出可能な人的投資費用関数を設定)

また、人的費用関数を教育水準別に設定後、国別の標準在籍期間を参考に教育水準別の人的投資費用関数適用範囲を定めることとした。表3-1にその設定例を示す。

表3-1 人的費用投資関数設定例（ホンジュラスの場合）

教育レベル	対象国					教育期間
	ホンジュラス	バキスタン	ガテマラ	ペルー	コスタリカ	
初等教育	$y=205.8m^2$	$y=100.9m^2$	$y=310.0m^2$	$y=555.4m^2$	$y=880.3m^2$	$0 \leq h \leq 6$
前期中等教育	$y=245.3m^2$	$y=120.3m^2$	$y=369.8m^2$	$y=632.0m^2$	$y=1001.9m^2$	$6 < h \leq 9$
後期中等教育	$y=381.3m^2$	$y=187.3m^2$	$y=575.6m^2$	$y=665.4m^2$	$y=1056.8m^2$	$9 < h \leq 11$
高等教育(学士)	$y=1092.6m^2$	$y=536.4m^2$	$y=1653.3m^2$	$y=1164.8m^2$	$y=1858.0m^2$	$11 < h \leq 15$
高等教育(修士)	$y=1504.3m^2$	$y=651.4m^2$	$y=2275.5m^2$	$y=1412.9m^2$	$y=2256.9m^2$	$15 < h \leq 17$
高等教育(博士)	$y=1918.7m^2$	$y=820.0m^2$	$y=2904.4m^2$	$y=1679.8m^2$	$y=2685.6m^2$	$17 < h \leq 20$
社会人教育	$y=5347.2m^2$	$y=2064.6m^2$	$y=8097.9m^2$	$y=3860.1m^2$	$y=6188.3m^2$	$20 < h \leq 60$

2) 災害の規模、種類、対策毎の被害率設定

改良モデル（Ver.1.4）では、災害種、災害規模、災害発生確率と、防災投資による被害軽減率についてそれぞれ設定を行った。図3-4に被害率の設定フローを示す。

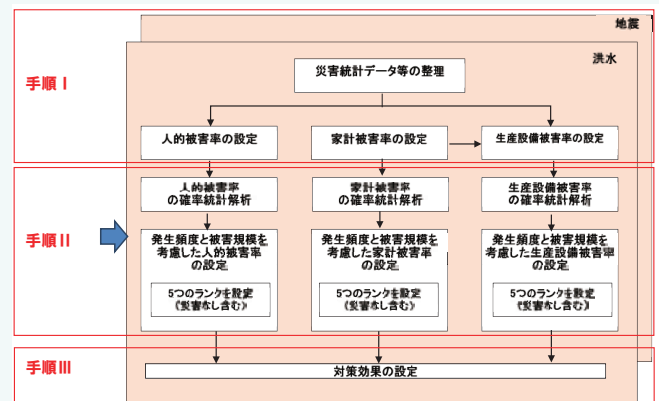


図3-4 災害率の設定フロー

(i) 改良モデル（Ver.1.4）で設定した災害は、洪水、地震及びその2種類の災害がどちらも起こりうる場合の3パターンである。また、災害種別に、人的被害率、家計被害率、生産設備被害率を設定した。

(ii) 災害規模については、1/200の確率規模までの期待被害率が等しくなる様に4つのランクに分割し、それに災害による被害が発生しなかった場合のランク0を合わせた5つのランクを設定した。

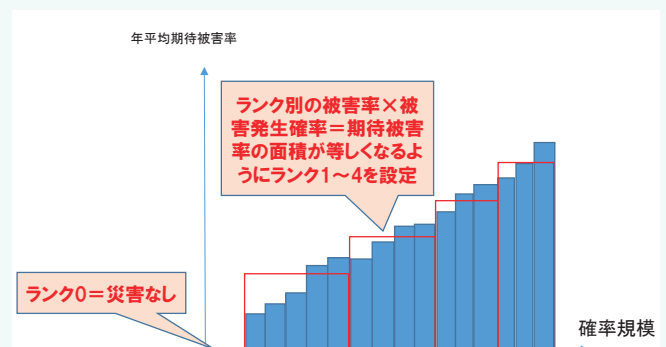


図3-5 災害のランク分け概念図

(iii) 災害種別、確率規模別の被害率に対応した防災対策効果による被害率の設定を行った。ここでは、二種類のハード対策と一種類のソフト対策による被害率を設定した。

まず、ソフト対策による効果として、事前に避難が可能な水害に対しては効果を発揮する一方で、事前に避難の難しい地震には効果がないものとして人的被害率を設定した。また、ソフト対策では、施設被害には効果がないものと設定した。

ハード対策の効果については、対策の内容に応じて施設被害を一律に軽減できると設定した。図3-6でハード対策実施時における対策効果の考え方の概念を示し、表3-2で防災対策実施時の被害軽減の考え方を示す。

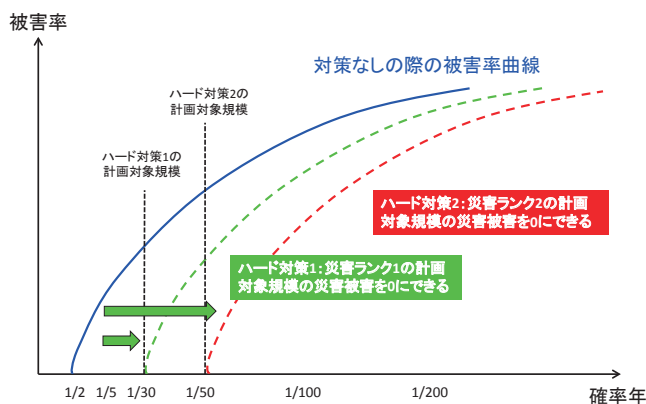


図3-6 ハード対策実施時における対策効果の考え方（概念図）

表3-2 防災対策実施時の被害軽減の考え方

	地震		洪水	
	ソフト対策	ハード対策	ソフト対策	ハード対策
人的被害率	効果なし	対策なし時の被害関数をスライドさせ、ランク1の災害による被害を0にできる効果（ハード対策2の場合はランク2まで被害0）	100%減	対策なし時の被害関数をスライドさせ、ランク1の災害による被害を0にできる効果（ハード対策2の場合はランク2まで被害0）
家屋被害率	効果なし		効果なし	
生産設備被害率	効果なし		効果なし	

3) モデル実行に必要な入力値の整理

改良モデル（Ver.1.4）では、モデルの実行に必要な初期値を社会経済パラメータと、災害データのパラメータの2種類に整理し、それぞれを1つの入力ファイルとして整理した。

主なパラメータとして必要なデータ例を以下に示す。

表3-3 入力に必要なデータ種別

データ種別	データ例
社会経済パラメータ	社会経済データ 総人口、GDPなど
	家計データ 消費、貯蓄、人的投資、物的投資など
災害データパラメータ	災害データ 人的被害率、物的被害率など

これら必要となるパラメータは基本的に公表されている資料を使用することで設定可能である。（例えば、世界銀行で公表している The World Development Indicator、UNDPが公表している Household Surveyや、UNESCOが公表している Institute for Statistic等）

なお、各国の技術進歩率については推計が必要であり、既存論文にて複数推計方法が示されているが、社会統計データ整備の不足している開発途上国においての適用は困難である。そこで、技術進歩率の伸び率をGDPの伸び率と同率に設定をしている。

また、改良モデル（Ver.1.4）では、パキスタン、ホンジュラス、ペルー、ガテマラ、コスタリカの5ヶ国で計算の実行が確認できている5種類のデータセットを作成しており、自国のデータが不足している場合には初期値として上記5ヶ国のデータで代用が可能であり、近似的な試算が可能である。

4 モデルの実行と出力用途

3.で述べたモデルの改良により、アプリケーションとして実行可能な改良モデル（Ver.1.4）を構築した。

なお、改良モデル（Ver.1.4）による出力結果は以下に示す2種類に分けられる。

政策説明・政策決定者判断用は、マクロ経済指標等による大局的なディシジョンメイキングのための活用が可能である。一方で、分析用・実務担当者判断用では、階層間の家計指標を用いて、社会的格差等の社会問題の分析のための活用も可能となっている。

表4-1 モデルの出力分類概要

使用用途	経済指標
政策説明 ・政策決定者判断	マクロ経済指標による大局的な政策判断に利用 GDP、災害規模、災害頻度、災害被害率など
分析用 ・実務担当者判断	家計指標や所得階層別データによる家計の生活水準を詳細に分析 一人当たりGDP（個人所得）、消費、物的投資、金融資産、人的資本、教育時間、人的投資など

5 開発途上国でのモデル適用と考察

改良モデル（Ver.1.4）から以下のことが示された。

（1）算出されるGDPの精度向上

改良モデル（Ver.1.4）では、教育投資による人的資本形成効果の最適化を実施し、また技術進歩率の伸び率と分析対象5ヶ国の約50年間におけるGDPの平均伸び率と同率とに設定する改良の結果、算出されるGDPが実状に近い状態になったと考えられる。

（2）防災投資実施時期の違いによる経済発展効果の違いの表現

本モデルでは、防災投資の実施時期の違いによるGDPへの影響を算定することが可能である。以下にパキスタンにおける計算結果を示す。シナリオにより比較する対策は以下の5通り。

表5-1 比較検討する防災投資シナリオ

防災対策名	内容
ソフト対策実施	1年目より、人的被害を軽減する対策の実施
ハード対策実施1	1年目より、人的、物的被害を軽減できる対策の実施（その1）
ハード対策実施2	1年目より、人的、物的被害を軽減できる対策の実施（その2）
シナリオA	5年目までは対策なし、5年目以降はハード対策1を実施
シナリオB	5年目までは対策なし、5年目以降はハード対策1を実施、10年目以降はハード対策2を実施

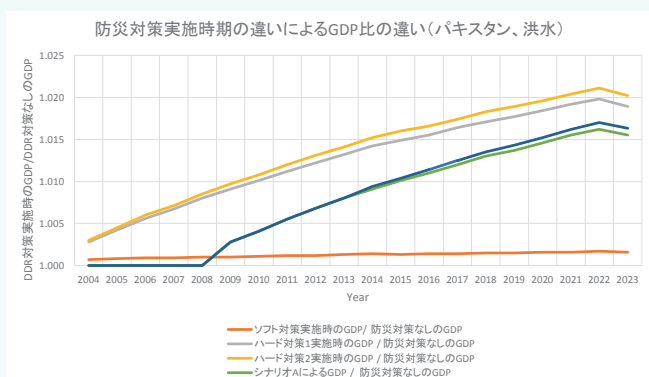


図5-1 パキスタンにおける防災投資シナリオの違いによるGDP比（洪水災害の場合）

この計算結果からは、できるだけ早く防災対策の投資を実行することで、経済成長がより早く進む事が示されている。

（3）異なる災害が発生した場合の防災投資による経済発展効果の評価

本モデルでは、2種類の災害がそれぞれ単独で発生する場合とその2種類の災害が組み合わさって発生する複合災害の発生

する場合の3つの場合を想定して計算が可能である。

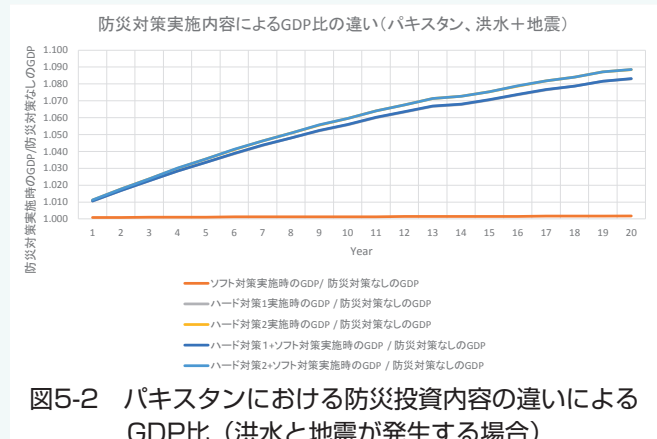


図5-2 パキスタンにおける防災投資内容の違いによるGDP比（洪水と地震が発生する場合）

災害発生は、それぞれの災害種が独立で発生する事から、単独の災害が発生する場合と比較して対策を施していない場合、その国が受けるダメージは大きくなる。その結果、パキスタンにおける防災投資内容の違いによる対策あり・なしのGDP比の違いは、単独の災害を対象とした時と比較して大きくなっている。この計算では、防災対策は洪水、地震の両方に効果のある対策を実施している場合を仮定しており、複数の災害に曝される可能性のある地域においては、それらの災害に効果のある対策を進めることでより大きな防災対策効果が期待できることを示している。

6 結論

本研究での評価可能な防災対策内容と、今後のモデルの展開で判断可能と想定される内容について以下に示す。

（1）アプリケーション化した構築モデルの成果

本モデルは、表6-1で示したように①防災投資の有無別、②防災投資の種類別、③防災投資の組合せ別、④防災投資の実施時期別、⑤防災投資の規模別による経済成長分析が実施可能であることが示された。

（2）モデルの今後の展開

1）データ収集による今後の展開

本モデルの課題として、災害のスケールが国のスケールと比較して小さい場合（例えば島嶼国で火山噴火があり、1つの島が被災した場合等）等、災害が発生してもその影響を国全体で評価することになり被害が一見すると小さく出ているようにみえる。このような場合には、地域レベルで経済成長を分析可能となるGRP等の地域データを収集することで地域単位の防災投資

による被害軽減効果が把握可能となる。

2) データ設定方法の工夫による展開

本モデルでは被害率を所得階層ごとに個別に設定することを想定してモデルを構築している。しかし、既存の災害データの制約より、全所得階層で一様の被害率を適用している。今後、各国で収集される災害データの充実によって例えば低所得者層への防災投資による効果の把握など、更なるモデルの活用が期待される。

また、前述の地域レベルの社会経済データ整備と所得階層ごとの被害率を組み合わせることで、例えば土砂災害や火山噴火等の局所的な災害に対する防災投資の効果や、複合災害に対する最貧層への防災対策の効果把握可能となる。

3) モデルのカスタマイズによる展開

本モデルは、多くの開発途上国で実行可能となるようなパッケージとして開発しており、今後より多くの国で適応されることが期待されている。

また、本モデルを適用する国毎にカスタマイズすることでシナリオ型分析に基づく、具体的な防災対策による防災投資効果の把握することも可能となる。更には非常に大きな災害による被害や、防災対策の効果を分析することにより、壊滅的な災害が発生した場合に国家が再起不能とならないために必要となる最低限の防災投資水準の把握等が可能となる。

上述の地域レベルの社会経済データや災害被害データの整備と組み合わせることで、地域別の防災投資による地域経済への効果が把握可能となり、国内で実施すべき防災投資の優先順位を決定する際の支援ツールとしての活用も考えられる。

4) 国際的な支援実施に向けた分析ツールとしての活用

本モデルを多くの国で実行することで、国家間の防災投資効果の比較が可能となり、防災投資効果の高い国の抽出や、効果の高い対策の抽出ツールとして活用が考えられる。これらの分析結果は世界銀行や、アジア開発銀行等が実施する防災対策の妥当性判断を行うための判断資料としての活用が考えられる。

(3) 本モデルの今後の展開

本モデル (Ver.1.4) は、2015年3月に開催された第3回国連世界防災会議で発表された国連防災白書で紹介されるなど、JICAを通じて国際社会に発信されている⁵⁾。また、アプリケーション化された本モデル (Ver.1.4) はUNISDRが今後実施予定のプロジェクト内のワークショップにおいて利用される予定となっており、今後、より多くの国で本モデルが利用される事が期待されている。

このワークショップを通じて得られる開発途上国の社会統計

データや災害データは、前述の5ヶ国で得られたデータとも異なるレベルの内容であることが想定される。このことから、社会統計データや、災害データが不足している状況下にあっても開発途上国で運用が可能な汎用性と堅牢性を備えたモデルへの改良を進めていくことが重要である。

参考文献

- 1) UNISDR, Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, March, 2015
- 2) 日本の災害対策 内閣府 2011年
- 3) JICAの防災協力 防災の主流化に向けてー 災害に強い社会を作るー 2015年3月
- 4) 岡部真人, 湧川勝己, 防災の主流化へ向けた防災投資効果の評価手法の提案, JICEレポート24号 2013年7月
- 5) Muneta Yokomatsu, Hiroyuki Wada, Hiroaki Ishiwata, Takeshi Kono, and Katsumi Wakigawa 2014 An Economic Growth Model for Disaster Risk Reduction in Developing Countries, IEEE International Conference on Systems
- 5) UNISDR, Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2015, 2015

モデルの展開内容		モデルで判断可能な内容	
		項目	判断可能な内容
アプリケーション化したモデルでの今回の検討		○主とする経済成長分析 ①防災投資の有無別 ②防災投資の種類別(ハード・ソフト) ③防災投資の組合せ別(ハード1+ソフト等) ④防災投資の実施時期別(5年目、10年目に投資等) ⑤防災投資の規模別(ハード1・ハード2)	・モデル解析対象国において防災投資の実施による経済発展効果の確認。(①) ・ハード対策、ソフト対策の実施による被害軽減度合いの比較。(②③⑤) ・防災投資の実施時期の違いによる経済発展効果の差異を表現。(④)
アプリケーション化したモデルでの検討の展開可能性	データの収集による今後の展開	①GRP等の地域データの収集 ⇒地域レベルでの経済成長分析 ②防災投資に対する支払意思額の調査 ⇒費用対効果の分析	・災害のスケールと国のスケールに大きな違いがある場合、その影響エリア内での経済成長度合いを確認。(①) (※地域外への間接的影響の正確な把握には多地域多産業モデルとする必要あり)
	データの設定方法の工夫による展開	①特定階層に対する防災投資(被害率の低減) ②特定災害に対する防災投資(被害率の低減) ③複合災害に効果的な防災投資(被害率の低減) ④気候変動等の影響の考慮(被害率の増加、巨大災害の発生確率の上昇等)	・災害時に援護が必要となる低所得者層の防災投資による効果を把握。(①) ・土砂災害や、火山噴火などの局所的な災害に対して防災対策による効果把握。(②) ・複合災害に効果のある防災対策を実施した際のより正確な防災投資効果の把握。(③)
運用面を重視した改善(カスタマイズしたモデルの運用)		①シナリオ型分析による防災対策の政策分析 ②国家間の防災投資効果の比較による最適投資国家及び最適防災対策の選定 ③防災投資効果と支払意思額を用いた最適な防災対策の選定 ④災害インパクトの分析 (将来予測される巨大災害が発生した場合の防災対策別の経済的影響の感度分析)	・シナリオ型分析によるより具体的な災害対策による防災投資効果の把握(①) ・防災投資効果の高い国及びその防災投資方法の把握。(②) ・壊滅的な災害が発生した後に国家が再起不能となるのを防止する最低限の防災投資水準の把握。(④)

表6-1 防災投資効果評価モデルの今後の展開について