

国名 トルコ共和国	マルマラ地域における地震・津波防災および防災教育プロジェクト
--------------	--------------------------------

I 案件概要

事業の背景	トルコの北アナトリア断層（NAF）は、1999年のイズミット・ゴルチューク地震を含め、1939年以来、マグニチュード7を超える壊滅的な地震を経験してきた。NAFで最も研究が遅れていたのは、東側のマルマラ海の下に広がる海底断層であった。トルコの人口の33%、産業の60%を占める高度に工業化され発展したマルマラ地域は、地震リスクが高かった（数値は事前評価時）。		
事業の目的 ²	<p>本事業は、マルマラ地域において、(i)震源モデルの構築、(ii)地震サイクルのシミュレーションに基づく津波予測の確立、(iii)地震特性の把握と被害予測、及び(iv)研究成果に基づく防災教育教材の開発・利用、といった学際的研究により、被害地震の想定シナリオの設定を図り、もって災害への備えの促進に寄与することをめざす。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 上位目標：学際的な研究を基に災害への備えを促進する。 2. プロジェクト目標：学際的な研究を基に被害地震の想定シナリオを設定する。 		
実施内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 事業サイト：マルマラ地域。 2. 主な活動：(i)マルマラ海の地殻内の地震活動と流体分布の理解を深めるための観測の実施と地震活動マップの作成、(ii)地震サイクル・津波発生のシミュレーションの実施と津波シナリオデータベースの構築、(iii)速度構造のモデル化と強震動推定のための分析、高度な数値解析と大規模実験による耐震評価の実施、イスタンブールのハザードマップの高度化、(iv)防災教育プログラムの内容の補足・開発、メディアと学会の有効な協力、地域コミュニティへの本事業の成果の紹介。 3. 投入実績 <p>日本側</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 専門家派遣 27人 2) 研修員受入 12人 3) 機材供与 海底地震計、ワークステーション、高性能計算機、地震計、GPS レシーバー等 4) ローカルコスト 		
事業期間	(事前評価時)2013年3月～2018年2月（60ヶ月） (実績)2013年5月～2018年4月（60ヶ月）	事業金額（日本側のみ）	(事前評価時) 457百万円、(実績) 370百万円
相手国実施機関	ボジヂ大学カンデリ地震観測研究所（KOERI）、中東工科大学（METU）、イスタンブール大学（IU）、首相府防災危機管理庁（AFAD）、AFAD 災害研修センター（AFADEM）、イスタンブール大都市圏市役所等		
日本側協力機関	海洋研究開発機構（JAMSTEC）、東京大学、江戸川大学、名古屋大学、東京工業大学、京都大学、中央大学、東北大学、港湾空港技術研究所、消防庁消防大学校消防研究センター等		

II 評価結果

【評価の制約】

・情報は主に主要研究機関（KOERI、METU、IU）から収集した。AFADからの情報収集が困難であったため、政府機関による研究成果の利用については十分な情報が得られなかった。

【留意点】

・上位目標達成の目標年は、事業完了から5年後の2023年に設定したが、その理由は、(i)終了時評価報告書において、上位目標は、通常、事業完了から3～5年で達成されると認識していること、及び(ii)上位目標の指標（「さらなる災害の備えのための学際的な研究」）が、研究成果の社会における活用度（通常時間がかかる）を測るものではないこと、である。

1 妥当性/整合性

＜妥当性＞

【事前評価時のトルコ政府の開発政策との整合性】

本事業は、事前評価時点におけるトルコの開発政策と、整合性が高い。AFADの「国家地震戦略及び行動計画 2012年～2023年」は、地震に関する知識の向上、地震リスクの軽減、及び災害に備えた社会の実現を掲げていた。

【事前評価時のトルコにおける開発ニーズとの整合性】

上掲の「事業の背景」で示したように、本事業は、事前評価時点において、マルマラ地域の被害地震の想定シナリオ設定に係るトルコの開発ニーズと、整合性が高い。

【事業計画/アプローチの適切性】

¹ SATREPSとは、「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム」（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development）を指す。

² 日本側・トルコ側の共通文書である英語版のロジカルフレームワーク最終版の和訳であり、既存の和文資料と異なる場合がある。

本事業の計画/アプローチは適切である。事業計画/アプローチに起因する課題は確認されなかった。

【評価判断】

以上より、本事業の妥当性は③³と判断される。

<整合性>

【事前評価時における日本の援助方針との整合性】

本事業は、事前評価時の日本の対トルコ援助方針と整合している。「対トルコ共和国国別援助方針」(2012年2月)において、防災・災害対策は重点分野「持続的経済的発展の支援」に含まれている。

【JICA他事業・支援との連携/調整】

事前評価時に計画された本事業とJICAの「リスク評価に基づく効果的な災害リスク管理のための能力開発プロジェクト」(2013年~2017年)との連携/調整は想定どおりに実施され、事後評価時に正の効果が確認された。

【他機関との連携/国際的枠組みとの協調】

事前評価時に計画された本事業と欧州連合(EU)/KOERIの「マルマラ海周辺の地震に関する調査研究プロジェクト」(2012年~2015年)との連携/協調が想定どおりに実施され、事後評価時に正の効果が確認された。

【評価判断】

以上より、本事業の整合性は③と判断される。

【妥当性・整合性の評価判断】

以上、本事業の妥当性及び整合性は③と判断される。

2 有効性・インパクト

【プロジェクト目標の事業完了時における達成状況】

事業完了時までに、プロジェクト目標は、おおむね計画どおりに達成された。本事業は、理学と工学の多くの分野の研究成果を生み、さらにそれらを統合して、震源モデル、津波発生シミュレーション、地震波形のシミュレーション、建物の応答シミュレーション、統合地震シミュレーション等の想定シナリオを設定した。想定シナリオを含む研究成果の一部は、国際会議で公表され、かつ/または国際誌に掲載された(指標1)。また、想定シナリオを含む研究成果に関する情報は、本事業がAFADの地方事務所と協力して行った地域セミナーでも発信され、セミナーに参加した政府職員や研究者等の関係者に認識された(指標2)。

【事業効果の事後評価時における継続状況】

事後評価時点では、本事業の効果は、継続している。本事業の研究成果を用いた学際的研究が継続している。KOERIは震源モデルや海底地震計による観測を用いた研究を継続している。IU及びMETUは、Cerrahpaşa大学と共に、建物の実物大評価を含む地震特性評価と被害予測を用いた研究を継続している。METUはSWIFT(地震早期検知アプリケーション)の活用を含む地震シミュレーションに基づく津波予測を用いた研究を継続しており、さらにChoga大学と共に津波シミュレーションコード(JAGURSソフトウェア)を開発している。KOERI、IU、及びMETUに供与された主要研究機材は継続的に活用されている。例外はKOERIに供与されたコンパスグラスで、故障したものの予算不足で修理/買い替えが行われていない。なお、IUに供与された地震計は今でも活用されているが、財政的制約によってオンラインシステムがオフラインシステムに変更されている。KOERI及びMETUに供与されたワークステーションも活用されているが、陳腐化しつつあり、近々にアップグレード/買い替えを行う必要がある。本事業の主要な研究成果は、政府機関によって活用されている。防災教育資料の一部は、国連教育科学文化機関(UNESCO)がBU、KOERI、METU、AFAD、イスタンブール大都市圏市役所等と共同で実施した「CoastWAVEプロジェクト」(2021年~2024年)の研修やセミナーで配布された。脆弱性分析の手法は、METUが参加したイスタンブール大都市圏市役所の「完全な津波ハザード分析」プロジェクト(2017年~2018年)を通じてイスタンブール大都市圏市役所に採用された。このイスタンブール大都市圏市役所のプロジェクトは、他の都市にとってグッドプラクティス及び具体例となっており、METUは、エーゲ海地域に位置するイズミル大都市圏市役所と協力して、イズミルにおいて同様の津波ハザード、脆弱性、リスク、避難マッピングを行った。KOERIは、イスタンブール大都市圏市役所とともに、(i)地震リスク軽減、及び(ii)想定地震における構造要素・インフラの詳細な被害推定に関する2件のプロジェクトを開始した。さらにマルマラ地域のテキルダ大都市圏市役所及びチャナッカレ市役所と、それぞれ1件のプロジェクトを実施し、今後の早期警報研究のために地域を監視する地震観測網を整備した。これらのプロジェクトでは、想定シナリオ、建物建設のための安全な地盤を確保するための地盤特性、その他の改修に対する石油タンクの地震応答シミュレーション、戦略的に重要な地域を保護するための都市計画のための統合地震シミュレーションなどの研究成果が活用されているが、それは研究成果が自治体の災害への備えに係るニーズや目的に適合しているからである。これらのプロジェクトは、本事業の研究成果に基づく新しい研究プロジェクトでもあるとみなされる。AFAD/AFADEMによる活用に関する情報は確認できなかった(【評価の制約】を参照)。

【想定された上位目標の事後評価時における達成状況】

事後評価時点までに、上位目標は、おおむね計画どおりに達成された。【事業効果の事後評価時における継続状況】で示したように、災害への一層の備えのための学際的な研究が、本事業の研究成果を活用して行われている(指標)。

【事後評価時に確認されたその他のインパクト】

負のインパクトは見受けられなかった。一方で、いくつかの正のインパクトが見受けられた。本事業に関わった研究者の研究能力が向上した。トルコで初めて、長期的な海洋調査を伴う学際的研究が実施され、さらに、その研究の中で、非常に大規模なデータセットの評価が行われた。本事業で設置された海底地震計の貢献により、マルマラ海の固定地震観測点の検出閾値はより高感度になり、詳細な微小地震が記録されるようになった。また、本事業における測定機器の使用・記録・記録の評価・評価に用いる手法とソフトウェア、災害リテラシーの習得に関する情報の共有範囲や経路等についても、研究能力が向上した。本事業の研修やセミナーにより、マルマラ地域及び周辺の自治体の職員やAFAD地方局の職員の科学的リテラシーが向上した。本事業において、トルコで初めて、海深約1,200mにおいて遠隔操作型の無人潜水機(ROV)が使用された。その影響は大きく、KOERIは開発省と高等教育評議会の両方に対して、ROVの操縦者の養成に関する提案を行った。提案の中で、ROVの操縦者の養成は、海洋科学分野におけるトルコの発展に大きく貢献するものとされており、提案は肯定的に評価さ

³ ④:「非常に高い」、③:「高い」、②:「やや低い」、①:「低い」。

れた(提案はまだ承認・実施されていないが、肯定的に評価されたこと自体が正のインパクトだと考えられる)。

【評価判断】

以上より、本事業の有効性・インパクトは③と判断される。

プロジェクト目標及び上位目標の達成度

目標	指標	実績	情報源
プロジェクト目標：学際的な研究を基に被害地震の想定シナリオを設定する。	(指標1) 想定シナリオが公表される。	達成状況（継続状況）：おおむね計画どおり達成（継続） （事業完了時） <ul style="list-style-type: none"> ・学際的な研究を基に想定シナリオが設定された。想定シナリオを含む研究成果の一部は、国際会議で公表され、かつ/また国際誌に掲載された。（事後評価時） ・想定シナリオは、KOERI とマルマラ地域の地方自治体 3 カ所（イスタンブール大都市圏市役所、テキルダーラ大都市圏市役所、チャナッカレ市役所）とのプロジェクトで活用されている。 	終了時評価報告書、最終報告書、及び KOERI。
	(指標2) 想定シナリオが関係者に認識される。	達成状況（継続状況）：おおむね計画どおり達成（継続） （事業完了時） <ul style="list-style-type: none"> ・想定シナリオを含む研究成果は、本事業が実施した地域セミナーを通じて、政府職員や研究者等の関係者に普及され、認識された。（事後評価時） ・プロジェクト目標指標1の実績参照。 	終了時評価報告書及び KOERI。
想定された上位目標：学際的な研究を基に災害への備えを促進する。	(指標) 災害への一層の備えのための学際的な研究。	達成状況：おおむね計画どおり達成 （事後評価時） <ul style="list-style-type: none"> ・災害への一層の備えのための学際的な研究が、本事業の研究成果を活用して行われている。 	KOERI 及び METU。

3 効率性

事業費及び事業期間は計画内に収まった/計画どおりであった（計画比：それぞれ 81%、100%）。事業費の削減理由は入手できなかった。

	事業金額（日本側の支出のみ、円）	事業期間（月）
計画（事前評価時）	457 百万	60
実績	370 百万	60
割合 (%)	81	100

アウトプットは計画どおり産出された。以上より、効率性は④と判断される。

4 持続性

【政策面】

AFADの「トルコ災害リスク削減計画（TARAP）」（2022年～2030年）は、災害リスクを事前に最小化することを目的としており、関係機関・部署の任務と責任を定義している。TARAPは、最大限のリスク軽減のために資源を効果的かつ生産的に活用することをめざしており、その活動の一つに、地震研究室に関して大学を支援することが含まれている。

【制度・体制面】

KOERI、METU、及びIUにおいては、「有効性・インパクト」で示したように、本事業の研究成果を基にした/活用した研究活動のための組織体制が確立している。また、関連研究活動で得られた生データは、トルコ海軍水路海洋学局（SHOD）と共有されている。SHODはトルコ周辺の海洋データを収集し、関連する海洋研究を行っている大学や機関と共有することを公式に任務とする機関であり、海洋データのアーカイブ配信も行っている。トルコでは、政府機関と大学の間の組織的連携は特に強固ではなく、政府機関による本事業の研究成果の活用のための公式な連携メカニズムは存在しない。しかしながら、本事業で構築されたイスタンブール大都市圏市役所との協力関係は継続しており、さらに本事業の研究成果を基にした/活用した共同プロジェクトの実施を通じて、テキルダーラ大都市圏市役所、チャナッカレ市役所、イズミル大都市圏市役所等の他の自治体との関係が構築されている。ただし、AFAD/AFADEMと研究機関との継続的な協力は確認できなかった。本事業の研究成果を活用するためのAFAD/AFADEM内の組織的取り決めについても十分に確認できなかった（【評価の制約】を参照）。KOERI、METU、及びIUは、供与機材の運用・維持管理（O&M）を継続的に担当している。KOERIには維持管理を担当する研究室が新たに設置されている。機材の活用状況を考慮すると、各機関には必要な人数の職員は配置されていると考えられる。なお、KOERIは海底地震計のO&M能力の向上の必要性を感じており、海底地震計に係る研修が実現すれば（下記【技術面】を参照）、新たに数名の職員を雇用する予定である。

【技術面】

KOERI、METU、及びIUにおいて、本事業の研究成果に基づく/研究成果活用した関連研究の継続や新たな研究の開始を行う研究能力は、「有効性・インパクト」で示した関連・新規研究プロジェクトの実施を通じて、維持・向上している。トルコの財政危機による予算制約のため、今後の研究能力の維持が課題であるが⁴、マルマラ地域における研究活動に対する政府支援の強化が見込まれることから、改善の見込みがある（詳細は後述の【財務面】を参照）。AFADの科学リテラシーはまだ向上していないが、その主な理由は、2020 年から 2022 年にかけての新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の大流行、2022 年の AFAD 運営体制の変更、及び 2023 年のカフラマンマラシュ地震の影響で、研究成果を説明する機会が不足したことである。

⁴ KOERI 及び METU によると、研究者の能力の十分な向上には、学習教材、大規模・小規模の会議、ワークショップ等の情報源にアクセスする必要があり、それには財政支援が必要である。機材やソフトウェアの運用費用や職員の人事費にも財政支援が必要になる可能性がある。従って、政府と大学の両方から財政支援を受けることが重要であるとのことであった。

る。本事業で培われたイスタンブール大都市圏市役所の科学リテラシーは、本事業の研究成果に基づく/研究成果を活用した共同プロジェクトの実施や、その結果を災害への備えの促進に応用することで維持・向上している。同様に、テキルダ大都市圏市役所、チャナッカレ市役所及びイズミル大都市圏市役所の科学リテラシーも向上したと考えられる。本事業で科学リテラシーが向上したマルマラ地域の他の自治体や AFAD の地方局に関する情報は得られなかった。供与機材の活用状況を考慮すると、IU 及び METU は供与機材の O&M に必要な能力を備えている。KOERI は、海底地震計以外の供与機材の O&M に必要な能力を備えている。KOERI によると、海底地震計の操作に関する本事業の研修が比較的短期間であったため、研修を受けた職員が、海底地震計の操作方法を十分に理解することが困難であった。KOERI によると、本事業では海底地震計の保守管理に係る技術移転は行われておらず、海底地震計の維持管理は外注で行われることが想定されていた⁵。しかしながら、海底地震計の維持管理は現地の人材と知識では不可能であるため、必須の維持管理業務を日本のメーカーに外注している。KOERI は、維持管理は現地の人材で行うべきだと考えている。以上から、KOERI は、JAMSTEC による海底地震計の O&M 研修の必要性を強調している。

【財務面】

KOERI、METU、及び IU は研究及び機材・施設の維持管理を支援するための独自の予算を有している。予算は固定されておらず、トルコの高インフレのため最小限に抑えられている。ただし、想定された上位目標の指標の達成状況を考慮すると、本事業の研究成果に基づく/研究成果を活用した研究の継続及び開始に必要な予算は確保されている。また、供与機材の O&M については、大学からの予算に加えて、KOERI は大統領府戦略予算局からの海洋・津波研究の予算、METU はトルコ科学技術研究評議会(TUBITAK)からの予算を活用している。KOERI、METU、及び IU は大部分の供与機材の O&M に必要な予算を確保しているが、財政的制約のため、KOERI に供与されたコンパスグラスは故障したが修理/交換されておらず、IU に供与された地震計はオンラインシステムからオフラインシステムに変更されている。「有効性・インパクト」で示したように、イスタンブール大都市圏市役所、テキルダ大都市圏市役所、チャナッカレ市役所、イズミル大都市圏市役所等の地方自治体は、KOERI や METU との共同プロジェクトを通じて、本事業の成果活用に必要な予算を確保している。AFAD/AFADEM については、本事業の研究成果を政策/プログラムに活用するための予算に関する情報は入手できなかった（【評価の制約】を参照）。今後、本事業の研究成果に基づく/研究成果を活用した研究活動や供与機材の O&M、本事業の研究成果の政府機関による活用に必要な予算が確保されることが見込まれる。トルコ政府は、カフランマラシュ地震以降、予想されるマルマラ地震への注力を強めている。例えば、AFAD 及び環境都市化気候変動省にはマルマラ地域を専門に担当する部署が設置されており、マルマラ地域における関連研究活動（研究機材の維持管理を含む）及び研究成果の活用に対する政府支援が拡大する可能性が高い。

【環境・社会面】

環境・社会面の問題は確認されず、対応策を講じる必要はなかった。

【評価判断】

以上より、制度・体制面/技術面/財務面に軽微な問題があるが、本事業によって発現した効果の持続性は③と判断される。

5 総合評価

本事業は、プロジェクト目標（学際的な研究を基に被害地震の想定シナリオを設定する）をおおむね計画どおりに達成し、上位目標（学際的な研究を基に災害への備えを促進する）をおおむね計画どおりに達成した。以上より、総合的に判断すると、本事業の評価は非常に高いといえる。

III 提言・教訓

実施機関への提言：

- ・2025 年に、KOERI は、海底地震計の利用と維持管理に係る研修の内容について、JAMSTEC と合意・明確化することが推奨される。
- ・2025 年に、KOERI 及び METU は、供与されたワークステーションのアップグレード/交換に必要な予算を確保することが推奨される。さらに、KOERI は、供与されたコンパスグラスの修理/交換に必要な予算、IU は供与された地震計のオンラインシステムでの利用に必要な予算を確保することが推奨される。
- ・2025 年に、KOERI、METU、及び IU は、AFAD の科学リテラシーを向上させるために、成果及び研究結果の進捗を継続・強化・共有することが推奨される。

JICA への教訓：

- ・本件 SATREPS 事業では、対象地域の自治体のニーズに沿った研究成果を計画・産出したことが、事業完了後の自治体による研究成果の活用を促進している。

⁵ 終了時評価報告書には「機材の使用と維持管理に関する技術移転が進んだ…海底地震計の維持管理を容易にするために、JAMSTEC は外殻を開けずに充電できる海底地震計を開発した」と記されてれている。KOERI における供与機材の責任者だった教授が他界したため、認識の相違についてさらに確認することは困難であった。



マルマラ海に海底地震計を設置する KOERI (2023 年 9 月)



KOERI に供与された海底地震計は良好な状態が維持されている