

地球規模課題対応国際科学技術協力

(防災分野「開発途上国のニーズを踏まえた防災に関する研究」領域)

マルマラ海域の地震・津波災害軽減とトルコの防災教育

(トルコ)

平成 25 年度実施報告書

代表者: 金田 義行

独立行政法人海洋研究開発機構

地震津波・防災研究プロジェクト

プロジェクトリーダー

技術研究統括

<平成 24 年度採択>

1. プロジェクト全体の実施の概要

本研究では、近い将来発生する可能性の高い巨大マルマラ地震に関して、日本・トルコ両国の研究者連携のもと総合調査を行い、地震・津波災害の軽減とトルコでの防災教育の充実を図ることを目的とする。具体的には、マルマラ海域での観測とそれに基づく震源モデル構築(G1)、シミュレーションによるマルマラ地震・津波シナリオ評価と即時解析システムの改良(G2)、都市部での地震特性評価とそれらを踏まえたハザードマップの作成(G3)、研究成果に基づく防災教育コンテンツの作成及び情報伝達手法の検討(G4)を行う。

2012年6月から2013年3月までは、暫定契約のもとプロジェクト立ち上げのための準備・調整を行い、2013年4月から本格的に研究活動がスタートした。2013年5月にトルコにてキックオフワークショップを開催し、両国の研究者が集って具体的な研究活動計画を議論・策定した。2013年12月には第1回JCCを開催し、進捗状況を踏まえた今後の活動計画や、人員配置・予算等の共同研究を支える体制強化について協議し、方針を合意した。

G1では、海底地震計(OBS)7台、海底間音響測距装置1台を調達してトルコに輸送し、これらを用いた技術移転トレーニングと、マルマラ海での2日間の海域試験を実施した。また、トルコ側と協議し、OBSデータの解析方針を決定した。2014年度にはマルマラ海域にて本格的な海底観測を開始する予定である。

G2では、トルコ現地で津波遡上計算を行う予定の現場視察を行った。また、2013年12月から3か月間の招聘研究員の受入れを実施し、3次元津波計算プログラム使用技術の移転、データ整備等を進めた。地震後の即時解析については、プログラムの改良を日本において進めており、2014年度上半旬にボアジチ大学 カンデリ地震観測研究所(KOERI)へ導入予定である。

G3では、イスタンブール近郊にて常時地震動観測を実施し、解析結果を用いた地盤構造のモデリングに着手した。構造物耐震性評価については、実大三次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス)の視察や評価対象構造物の選定を行い、解析モデルの構築に着手した。ハザードマップ作成については、トルコ側が入手した詳細地理データを用いた都市モデルの作成に着手した。次年度も引き続きこれらの活動を行うほか、招聘研究員を受け入れ、ハザードマップ作成方法の習得を行う予定である。なお、2013年10月にトルコからの国費留学生(地球規模枠)が東京工業大学博士課程に入学し、本グループの研究活動に参加している。

G4では、両国の既存の防災教育コンテンツの洗い出しを行った。また、日本の震災被災地の現地調査や写真撮影、マルマラ海域における観測の映像取材など、コンテンツ作成のための素材収集を開始した。2014年度はトルコの防災報道関係者との共同ワークショップや勉強会などをトルコ国内で実施し、メディアを活用した防災情報伝達についての検討を行う予定である。

2. 研究グループ別の実施内容

グループ1(研究題目1):震源モデル構築

①研究のねらい

マルマラ海周辺において海底地震の長期観測、海底下の電磁気観測、海底間音響測距観測を含めた測地観測及びトレンチ調査を実施し、マルマラ海を横断する活断層の地震像を明らかにし、震源モデルを構築する。

②研究実施方法

トルコ研究者および関連機関と協議し、プレート境界でもあるマルマラ海を横断する活断層による地震像

を明らかにする。断層分布や震源分布、断層沿いの流体分布や地殻変動、地震履歴などを把握する。これまでの研究で明らかになったこと、今後明らかにすべきこと、日本・トルコの研究者で実施可能な研究などについて整理し、体制・解析手法などを具体化させる。それらを踏まえ、マルマラ海域及びその周辺陸域において海底地震計(OBS)を用いた自然地震観測、海底電磁電位差計を用いた電磁気観測、海底間音響測距装置及び陸上 GPS を用いた地殻変動観測などを実施する。それらの観測から得られたデータの解析に基づき、マルマラ地震震源域の地下構造を推定し、震源モデルを構築する。併せて、海底地形などの観測データについても情報収集を行う。これらにより、他グループの研究者が地震破壊・津波発生の過程を予測する数値シミュレーションに必要な要素を整える。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

2013年5月のキックオフワークショップにおいて、グループ1の調査・観測内容、スケジュールを議論した。地震観測は2013年度から2014年度にかけて海底地震計を準備、トルコ側へ計10台を移譲、2014年度から本格的に観測を開始する。観測予定海域はマルマラ海中央部から西部の海域で、活断層を囲むように設置する予定である。電磁気探査は日本から機材を持ち込み、また1~2台程度の陸上観測システムを2014年度に準備し、2014年度と2015年度に調査観測を実施する。これまでマルマラ海東側では調査が行われているため、地震観測同様、中央部から西部で調査する。海底測距は2013年度と2014年度で船上装置1セットと海底機器5台を準備、2014年度からトルコ側に移譲して観測を開始する。GPS観測はすでにトルコ側で観測を始めているが2014年度に2点ほど陸上機材をトルコへ移譲し、海底測距観測を合わせてマルマラ海のトランセクト観測を実施する。トレンチ調査はトルコ側で実施、日本側はデータ処理・解析で協力することが決まった。

この方針に基づき、日本側は海底地震計7台を準備し、トルコ側に発送した。日本側が用意した海底地震計は約1年間にわたる長期観測を可能とするものである。トルコは海底地震計を運用した実績がないため、バッテリー充電やデータ取り出し、パラメータ設定等、運用面で負担が少ないシステムとした。また海底測距装置を陸上部と海底部の1セットを用意、トルコ側に発送した。2014年3月には日本からトルコ側に譲渡する観測機材の日本側によるトレーニングを実施し、トルコ側との協力のもと、マルマラ海で海底地震計及び海底測距装置の海域試験を実施する見込みである。海底測距観測のためには海中部の構造を知る必要があるが、海域試験時に海中構造を調査し、海底測距装置のチューニングのための基礎資料とする予定である。また、海底地震計データを用いた解析方針に関して、2014年2月上旬に日本側の地震学研究者4名をトルコに派遣、KOERIにおいてトルコ側メンバー約20名と共に、互いの解析内容と協力方針、データの相互交換について打ち合わせた。海底地震計によるデータが今後蓄積される前に、トルコ側の陸上観測点及び海底ケーブル地震計のデータを共有し、予備解析をすることで同意した。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

今年度は、海底地震観測のために必要な海底地震計7台を準備、トルコ側に移譲する。3月中旬にトルコ側の研究者・技術者向けに海底地震計の運用トレーニングを実施する。また、海底地震計で用いるアンカーはトルコ国内で製造できるか、トルコ側と議論を開始している。地殻変動観測に必要な海底測距装置を準備した。今年度は船上装置1セットと海底局1点分であるが、マルマラ海の海域試験を通じて装置のチューニングを行い、海底局を計5台に増やしたうえで、来年度移譲予定である。また、海底地震計のデータ解析の技術移転も含め、共同で解析する検討も進めている。その結果、トルコ側の解析技術はそれほど低くないため、大まかな役割分担を決めて、今後共同で解析を進め、必要に応じて解析技術を移譲する予

定。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

トルコ側がフランスやドイツとマルマラ海東部において地震に関する共同研究(MarSITE)を進めていた。今回の日本-トルコの共同研究を通じて、MarSITE へのトルコ側の貢献増にもつながると思われる。

グループ 2(研究題目 2):地震発生サイクルシミュレーションに基づく津波予測

①研究のねらい

北アナトリア断層系に沿って発生する巨大地震の長期サイクルについて、シミュレーションを行って想定マルマラ地震発生シナリオを複数想定し、それらに対する津波シミュレーション計算を行って津波シナリオデータベースを構築する。また、トルコにおける地震後即時解析システムの改善に貢献する。

②研究実施方法

日本側とトルコ側がそれぞれ有する地震発生サイクル・破壊伝播・津波伝播・津波遡上のシミュレーションコードを用い、京コンピュータや地球シミュレータなどのスーパーコンピュータを活用して、地震発生過程とそれによる津波の伝播過程並びに遡上過程の数値シミュレーションを行う。地震シナリオの計算結果はグループ3に提供する。断層モデルは、まずは従来のもので構築し、グループ1等の成果を受けて改良する。また、海洋研究開発機構が有する即時解析プログラムをマルマラ海に適用できるように改良してトルコ側に導入する。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

地震発生サイクル・破壊伝播計算はコードの整備・移植・チューニングを進め、地球シミュレータや京コンピュータで動作できるようにした。また、地震発生サイクル計算を担当する大学院生の日本への受け入れ準備を進めた。また、断層モデルのデジタルデータをコンパイルする担当の地質系の研究者がトルコ側に加わった。

2013年11月下旬から12月上旬にかけて津波計算を担当する日本側研究者1名がトルコを訪問し、津波遡上計算を行う予定の現場視察、KOERI や中東工科大学におけるトルコ側研究者との研究打合せ、招へい研究員の日本への受入れに係る準備等を行った。

2013年12月10日～2014年3月9日の3か月間、トルコ側研究者1名を招へいし、受入機関の港湾空港技術研究所において、3次元津波計算プログラム使用技術の習得、イスタンブールへの遡上計算のためのデータ取得や整備を進めた。具体的には、マルマラ海における地震断層パラメータを5つテストし、それぞれの津波伝播、遡上計算を行い、2次元の遡上計算プログラムとの比較を行った。その結果、港湾内の津波の高さなどが整合する値であることが確認された。また、港湾にある傾斜堤形式の防波堤の津波越流に対する計算を行い、傾斜堤形式の防波堤の安定性について検討した。それにより天端のコンクリートブロックと同程度の高さの津波が来襲することで、そのブロックの安定性がわるくなることがわかり、粘り強い構造とするため、背後の被覆ブロックの幅や重量の検討を今後行う必要があることを確認した。

地震後の即時解析については、プログラムの改良を日本において進めた。まず断層パラメータの分解能の向上を行った。既存のバージョンでは各パラメータについて15度刻みであったものを、1度刻みにし、高分解能化を行った。分解能の向上により計算量が増大するが、最適パラメータ探索アルゴリズムの改良に

より、計算時間は以前よりも短縮され、より短時間で断層パラメータの推定が可能となった。また、既存のバージョンはグリーン関数ライブラリが数百 GB と大容量であったが、アルゴリズムの改良により、数 GB 程度まで小容量化が可能となり、ポータビリティが向上した。また、小容量化の実現により、震源の深さ方向の解像度の向上も実施した。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

トルコ側ではまだ普及していない3次元津波遡上計算のプログラムの使用技術取得のための研修を、トルコ側研究者を1名招へいして行った。これにより、従来2次元でしか行えなかった遡上計算を3次元で行えるようになるとともに、両者を比較することにより高速に計算が可能な2次元計算の精度評価がトルコ側で可能となる。

特に今年度は、入力データの作成手法に関する検討を行い、日本の地形を使って東日本大震災の計算を行い、その妥当性を検証することを第一ステップとした。次に、マルマラ海における Haydarpaşa 港を具体的な例として、防波堤の高さの設定や地形パラメータの設定などを行い、計算結果を2次元の計算と比較検討し、最大値が合致することを確認した。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

上記の技術研修に先立ち、イスタンブール市の詳細な建物・地形情報が予定よりも大幅に早く入手できたため、トルコ側グループ2代表で津波研究者であるヤルチネル教授が急遽来日し、研修者とともに、建物・地形データを津波計算に取り入れるための作業などを行うことができた。

また、Haydarpaşa 港などで採用されている防波堤の形状は傾斜堤であり、それは日本の防波堤の構造と異なるため、それが津波に対して安定かどうかの議論を行い、粘り強い構造にするために、どうすべきか、さらにその効果を反映させた数値計算をどうするかなどの意見交換を行い、次年度は、それを反映した手法の構築を行うことで合意した。

グループ3(研究題目3):地震特性評価及び被害予測

① 研究のねらい

イスタンブールなどトルコ国内の大都市を対象として、地盤構造のモデリングと解析を行い、強震動推定を行う。大規模実験及び先端数値解析を使ったトルコ建築物の耐震性評価を実施する。それらを踏まえ、地震動と地震応答の大規模計算により、地震災害と被害に対して都市を丸ごと計算する統合地震シミュレーションを行い、その結果を基にハザードマップを作成する。

②研究実施方法

本グループは3つのサブグループから構成される。各サブグループの研究実施項目は下記のように整理される。

サブグループ 3-1「地盤構造のモデリングと解析、及び強震動推定」では、常時微動観測、強震観測を行って浅部及び深部地盤構造の3次元速度構造を推定する。イスタンブール市主要部について現存する地盤速度構造のモデルを改良し防災対策の対象領域を拡張させる。

サブグループ 3-2「大規模実験及び先端数値解析を使った構造物耐震性評価」では、重要度等を考慮して最適な建造物を選定し、その解析モデルを構築するとともに、日本の大規模実験施設を利用した高度

な耐震評価を行う。

サブグループ 3-3「ハザードマップ作成」では、イスタンブール近郊の詳細地理情報システムを利用した都市モデル作成を進める。また、招へい外国人研究員(短期研究)を受け入れ、ハザードマップ作成方法の理解と習得を行う。他グループの研究成果も活用して既存のハザードマップを想定マルマラ地震に向けて改良する。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

サブグループ 3-1「地盤構造のモデリングと解析、及び強震動推定」では、2013 年 10 月にイスタンブール近郊において常時地震動観測を実施した。観測地点は、Zeytinburnu と Tekirdag の 2 か所、観測期間は 1 か月であり、トルコ側カウンターパートナーとの共同観測である。観測の詳細は下記の通りである。

1. Zeytinburnu: 5 つのサイトを選定、アレイ観測を実施。
2. Tekirdag: 21 のサイトを選定、アレイ観測を実施。
3. 5 つの建物の微動計測
4. イスタンブール工科大と中東工科大学が独自に Zeytinburnu と Tekirdag でポイント観測

この他、Yesilkoy でも 1 サイトでアレイ観測を行っている。

解析結果を利用して、地盤構造のモデリングに着手した。地質データを考慮し、日本で開発された新しい解析手法を利用し、地盤構造のモデリングを試みている。なお、このサブグループでは、2013 年 10 月、平成 25 年度大学推薦による国費外国人留学生(地球規模枠)が東京工業大学博士課程に入学し、本グループの研究活動に参加しており、前述の常時地震動観測にも参加した。

サブグループ 3-2「大規模実験及び先端数値解析を使った構造物耐震性評価」では、トルコ側カウンターパートナーとの協議により、耐震性評価を行う具体的な構造物として、10 層鉄筋コンクリート造建築物を選定した。この建築物は実大三次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス)実験で使われる予定であり、先端数値解析を行う対象としても適している。

2013 年 9 月には、トルコ側研究者が E-ディフェンスを視察し、日本側研究者と共に今後の計画を検討した。トルコの耐震設計を考慮し、剛性・強度等を詳細に決定した 10 層鉄筋コンクリート造建築物を設計し、その設計を基に、先端数値解析用の解析モデルの構築に着手した。

サブグループ 3-3「ハザードマップ作成」では、トルコ側カウンターパートナーの努力でイスタンブール近郊の詳細な地理情報システムを入手した。この地理情報システムには、建物一棟一棟の詳細な形状データが含まれている。また地盤のデータも含まれている。

入手した地理情報システムを分析し、システムから必要なデータを抽出し、そのデータを使った都市モデルの作成に着手した。地震動と地震応答の大規模計算の結果を使ったハザードマップ作成のために、この都市モデルの作成が第一歩となる。なお、このサブグループでは、2013 年 9 月からトルコ側カウンターパートナーが 1 年の予定で東京大学地震研究所に客員准教授として来日している。イスタンブールの地理情報システムの分析とデータの抽出の手法開発を共同で実施している。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

地盤構造のモデリングと解析には、高度な観測技術と解析技術が必要とされる。サブグループ 3-1「地盤構造のモデリングと解析、及び強震動推定」では、東京工業大学博士課程に入学した国費外国人留学生(地球規模枠)がこの二つの技術を習得中である。なお、観測技術と解析技術は、強震動推定に資するた

めのものであり、次年度以降、強震動推定に関する技術・知識の移転を行う予定である。

地震動と地震応答の大規模計算には、計算技術もさることながら、都市モデルの作成技術も必要とされる。来日中の客員准教授は、トルコの地理情報システムを使う都市モデルの作成を通じて、この技術を習得している。なお、地理情報システムは世界共通の部分と各国に特化した部分がある。トルコの地理情報システムを利用できることは、日本側にとっても有意義である。これは、多様な地理情報システムを扱うことは、より汎用的かつ堅牢な分析手法の開発につながるからである。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

東京大学地震研究所に滞在中の客員准教授は、もともとトルコ側のメンバーではなかった研究者である。巨大地震が切迫しているイスタンブールにおいて、統合地震シミュレーションを使った高度なハザードマップの作成の重要性を認識し、日本に留学するという形で来日している。この研究者の存在がトルコ側カウンターパートナーの知るところとなり、彼の意欲が評価され、正式にトルコ側のメンバーとして追加された。実際、現地のカウンターパートナーでも入手が難しいトルコの地理情報システムが入手できたのも、この研究者の努力の賜物である。今後、ハザードマップ作成に向けても主体的な貢献が見込まれている。

グループ 4(研究題目 4):研究結果に基づく防災教育

①研究のねらい

科学者と一般社会の間の双方向コミュニケーションを橋渡しする人材をトルコ国内で育て上げる一方で、本プロジェクトの研究成果をわかり易く可視化した素材をもとに日本-トルコ共同の防災教育プログラムのコンテンツを作成し、活用できるようにする。

②研究実施方法

日本・トルコ両国の既存の防災教育に関するコンテンツの洗い出し、トルコ側研究者による日本の被災地の視察、両国の研究者による互いの国の防災教育現場の視察などを通じ、トルコ国内の防災教育に必要なコンテンツやその効果的な在り方、発信方法について検討する。併せて、本プロジェクトの研究成果をわかり易く可視化した情報(動画、静止画)をもとに映像コンテンツとするための具体的な打ち合わせを行う。このコンテンツは、トルコのマスメディアやウェブを通じて広く発信することを想定したものである。また、行政(国・地方自治体)、ライフライン事業者、研究機関などのトルコの防災関係者や、報道関係者との共同ワークショップや勉強会をトルコで開催する。そこでも防災教育プログラムを活用し関係者の知見を深めると共に、関係者の共同コミュニティを形成することにより、災害対策の提言・実行をトルコ市民の手で行う環境を構築する。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

2013 年度は、すでに日本・トルコ両国が持っている防災教育に関するコンテンツの洗い出しを行い、日本側では気象庁制作の津波避難に関するアニメーション動画や日本の各地で行われている防災教育実践例の収集を行った。また東日本大震災被災地2か所(青森、宮城)、阪神・淡路大震災被災地(神戸)の現地調査、写真撮影等を行った。またトルコ・マルマラ海域における観測の映像取材を行い、防災教育用ビデオクリップの作成を始めた。

また、2013 年 12 月の JCC 後、日本側研究者 2 名がブルサ及びアンカラを訪問し、ブルサの防災館の視

察と、トルコ国民教育省の防災教育関係者および JICA トルコ防災教育プロジェクトの担当者と今後の協力について打合せを行った。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

日本側研究者がブルサの防災館(防災教育館)を訪ね、現状でのトルコの小学生に対する防災教育について情報収集を行った。一方、日本の名古屋で行われている研究者とマスメディア・行政との定期的勉強会と意見交換(NSL)の活動について、トルコ側研究者にその詳細を伝え、同様の勉強会か意見交換会をトルコでも行う方向となった。また日本の気象庁が作成した子供向けビデオ「津波からにげる」の英語字幕版をトルコ側研究者に伝え、同様のアニメ作成の参考としてもらうようにした。

⑤当初計画では想定していなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

トルコ国民教育省では、防災教育に力を入れており、その担当者との打ち合わせと、今後の協力に関する合意ができたことは、当初は想定していなかった成果であり、当初計画であるAFADを通じての国民への周知の他に、国民教育省を含めた複数のルートでトルコ国民への教育啓発が可能になる可能性が出てきた。

3. 成果発表等

(1) 原著論文発表

- ① 本年度発表総数(国内 0 件、国際 0 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0 件、海外 0 件)

(2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳(国内 0 件、海外 0 件、特許出願した発明数 0 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0 件、海外 0 件)

4. プロジェクト実施体制

(1) 「震源モデル構築」グループ

① 研究者グループリーダー名: 金田 義行(海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト・プロジェクトリーダー)

② 研究項目

- 1-1 海底地震の長期観測
- 1-2 海底下の電磁気観測
- 1-3 海底間音響測距観測
- 1-4 トレンチ調査

(2) 「地震発生サイクルシミュレーションに基づく津波予測」グループ

① 研究者グループリーダー名: 堀 高峰(海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト・

サブリーダー)

②研究項目

- 2-1 地震発生サイクルシミュレーション
- 2-2 津波シミュレーション
- 2-3 マルマラ海の津波シナリオデータベース
- 2-4 早期探知能力の改善

(3) 「地震特性評価及び被害予測」グループ

①研究者グループリーダー名:堀 宗朗(東京大学 地震研究所・教授)

②研究項目

- 3-1 地盤構造のモデリングと解析、及び強震動推定
- 3-2 大規模実験及び先端数値解析を使った構造物耐震性評価
- 3-3 ハザードマップ作成

(4) 「研究結果に基づく防災教育」グループ

①研究者グループリーダー名:隈本 邦彦(江戸川大学 メディアコミュニケーション学部・教授)

②研究項目

- 4-1 防災教育プログラム
- 4-2 情報発信におけるメディアの有効利用
- 4-3 地域防災コミュニティを通じた災害対策の共同立案

以上