

## 11 - 2 東アナトリア断層系・2023 年カフラマンマラシュ地震の長期予測の検証 Verification study on long-term forecast of the 2023 Kahramanmaraş earthquake along the East Anatolian fault system

国立研究開発法人産業技術総合研究所  
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Mw7.8 の大地震を生じた東アナトリア断層系（以下、EAFS）では、地震前にいわゆる大地震の空白域である可能性が指摘されていた（例えば、Duman and Emre, 2013；第 1 図）。その主な根拠は、EAFS がトランスフォーム型プレート境界断層で数百年以下の短い再来間隔と推測されるにも関わらず、同断層系の南西区間では 17 世紀以降に歴史地震が生じていなかった点にある。ここでは、南西区間と呼ぶ範囲を 2020 年地震の震源域以南で、アンタクヤに至る区間とする。

南西区間周辺の歴史地震については、Ambraseys (1989) が歴史地震のカタログを作成し、震源断層との関係を論じている。2023 年地震の南端付近に位置するアンタクヤでは、西暦 1872 年に大地震を生じ、その被害・震度分布と EAFS との位置関係はよく一致している。この地震を除き、南西区間では西暦 1872 年と 1893 年にも大地震が生じたことは知られるものの、被害・震度分布と EAFS との関係は明確ではない。また、西暦 1795 年地震で南西区間の一部が活動したとの指摘もあったが (Güvercin et al., 2022)、西暦年等の誤記と思われる、その歴史地震そのものが周辺では存在しない。さらに遡っては、西暦 1513 年の大地震が知られていた。

西暦 1513 年地震は、マラトヤからアダナにかけて約 300km の広範囲で家屋が全壊したとの記録が指摘されている (Ambrasey, 1989；第 1 図)。周辺でもっとも長大な活断層である EAFS が震源であった可能性が示唆されるものの、EAFS の活動と西暦 1513 年地震とを対応づける根拠は明示されていなかった。さらに、先行する歴史地震として、西暦 1114 年が知られているが、この地震については被害範囲も対応する断層も不明であった。

Duman and Emre (2013) は、EAFS の詳細な分布を再検討し、いくつかの活動区間を設定した。その中で、南西区間の一部区間が西暦 1513 年の震源断層であった可能性を指摘した。さらに、西暦 1114 年が先行する活動であったと仮定した場合、地震発生間隔は 400 年、最新からの経過時間は 500 年と推測した。仮にこれが正しければ、南西区間の地震発生確率が高い可能性があった。

このように、2023 年カフラマンマラシュ地震の発生前に、EAFS で生じた歴史地震との対応関係に基づき、近い将来の地震発生可能性を指摘する文献もあった。しかし、EAFS と歴史地震との対応関係を示す直接的な根拠は存在せず、あくまで仮定に基づく作業仮説に留まっていた。仮に、日本の地震調査研究推進本部が実施する長期評価と同様な水準で評価したとしても、最新活動が西暦 1513 年地震、先行する活動が西暦 1114 年に対応するか、地震発生間隔が 400 年と算出できるかは疑問の余地があったと考えられる。

2014 年カルタル地点は、当時の長期予測の背景や課題を踏まえて、GSJ-MTA 国際共同研究で最初のトレンチ調査を実施した地点である (第 1 図、第 2 図)。当時は、調査地に分布する地層の層相や年代を把握するための予察的なトレンチとして、T1 トレンチ、T2 トレンチの 2 孔を掘削した (第 3 図)。その結果、シャッターリッジを構成する蛇紋岩と断層凹地側を埋積する堆積層を明瞭に切断する断層を確認した。さらに、断層と地層の切断や被覆関係を基に、5～6 回の古地震イベントを識別した。しかし、放射性炭素同位体年代測定試料が 6 個しか採取できず、歴史地震との対比

や正確な活動間隔の推定には至っていなかった。

2023 年地震に伴い、2014 年に埋め戻した T1 トレンチと T2 トレンチが横ずれ変位を生じたため、本事業では再掘削して同じ壁面を露出させ、地震前後の断層と地層を正確に比較検討した(第 3 図)。運よく 2014 年当時にグリッドを作成するための釘や糸がそのまま埋め戻されていたため、2014 年当時の壁面を正確に再露出させることに成功した。また、隆起側のグリッドの座標を基準に今回のグリッドを設定したため、地震前後の壁面の位置が数 cm 程度の誤差で比較可能であった。さらに、今回は断層に斜行して流下する埋没チャンネル堆積物横ずれ量を計測するため、断層に平行する P1 トレンチ、埋没チャンネル堆積物の流向に直交する P2 トレンチの 2 つを新たに掘削した。

地震後に生じた断層は、2014 年当時に観察、記録していた断層のうち、基盤岩の蛇紋岩と凹地の堆積層を限る主断層のみが活動し、蛇紋岩の破碎帯内部の断層は活動しなかった。2014 年 T1 トレンチの西側壁面では、主断層から 3 条の断層が上方へ分岐し、断層上端は地表直下の地層に覆われていた。今回の地震では、それらの 3 条の断層がいずれも上方へ進展して地表に到達し、地表地震断層を形成したことが明確になった。南側の 2 条の断層は、それぞれ地表付近で開口亀裂を形成し、地表の雁行亀裂に対応している。また最も北側の 1 条の断層は圧縮成分を伴っており、地表でみられるモルトトラックの北縁をなすことが明らかとなった。これらの結果では、今回の地震で進展した断層は、2014 年時点の断層上端から地表までわずかに数十 cm 程度である。その他、今回の地震で新たに出現した顕著な断層はみられなかった。

トレンチ全体の 3D モデルを iPad の LiDAR で作成し、トレンチ壁面の左横ずれ量を計測した(第 4 図)。T1 トレンチでは 0.9m、T2 トレンチでは 1.7m である。上下変位はトレンチ壁面の地震前後のグリッドから計測でき、T1 トレンチで北側低下 0.5m、T2 トレンチで北側低下 0.3m である。地表地震断層全体からみると、カルタル周辺の地震時変位量は 3m 前後の変位量であるが、それに比較してやや小さい変位量になっている。調査地点では局所的な左ステップによる引張場になっており、断層沿いの横ずれ量がやや減少する場所にあたっている可能性が高い。

これらの 2023 年地震後の成果と既往の調査研究結果を整理し、EAFS の長期予測と予測手法の検証を実施した。EAFS では、2023 年地震発生前に実施されていた長期予測として、南西区間の地震空白域において、西暦 1513 年と西暦 1114 年の歴史地震が EAFS の同一区間から生じたと仮定したものがあつた(例えば、Duman and Emre, 2013)。この場合、約 400 年の再来間隔と最新からの経過時間約 500 年を根拠として、近い将来の地震発生を予測していたことになる。ただし、どの活動区間がどの程度の地震規模を生じるかについては、明確に指摘されたものではなく、いずれの歴史地震ともに、EAFS が震源断層であつた直接的な証拠はなかつた。

一方、北東区間では、西暦 1866 年から西暦 2020 年までの間に Ms6.7～7.2 の 6 個の地震が生じた。これらの中規模～大規模地震は、数 m の変位を伴う明瞭な地表地震断層が生じたものではなかつた。そのような明瞭な地表地震断層を伴わない地震が、南西区間の地震空白域においても複数生じる可能性を指摘した文献もあつた(Gallovič et al., 2020)。しかし、実際の 2023 年地震で明らかになつたように、この経験的な予測はあてはまらず、最大 8m に及ぶ地表変位を伴う大地震が生じた。

2023 年地震の後、カルタル地点では長期予測に必要な古地震学的データが具体的に得られた。それらをもとに、地震前に遡って評価した場合、次のような長期評価が実施可能であつたと考えられる。2023 年地震に先行する活動は、年代推定幅は広いものの 12 世紀以降に生じており、対比可能な歴史地震として西暦 1513 年地震の可能性を指摘できる。また、本調査により、平均再来間隔として 650～690 年が新たに推定された。西暦 1114 年に対応するイベントは明確ではないが、既

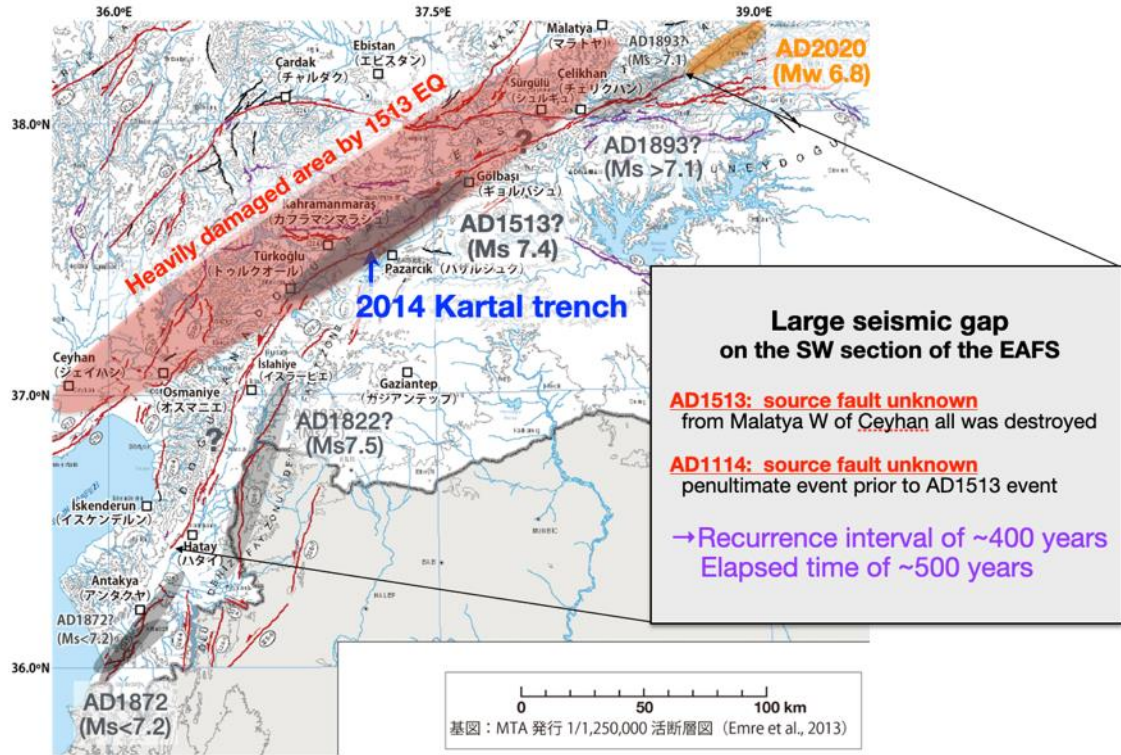
往研究が指摘する仮定に基づけば、歴史地震に基づく再来間隔 400 年の可能性も指摘されたと考えられる。地震調査研究推進本部地震調査委員会（2000）やアメリカの SCEC・UCERF3 による地震発生確率と同様に、これらのパラメーターから BPT モデルに基づく 30 年間の地震発生確率を算出すると、最大 35% と試算される。この発生確率は、トルコのイスタンブール周辺でマルマラ海底下の北アナトリア断層系で算出される 40～60%、日本の糸魚川—静岡構造線断層帯・中北部区間で算出される最大 30% の発生確率と比肩する高い地震発生可能性と評価されていたと考えられる。

（地質調査総合センター活断層・火山研究部門 近藤 久雄）

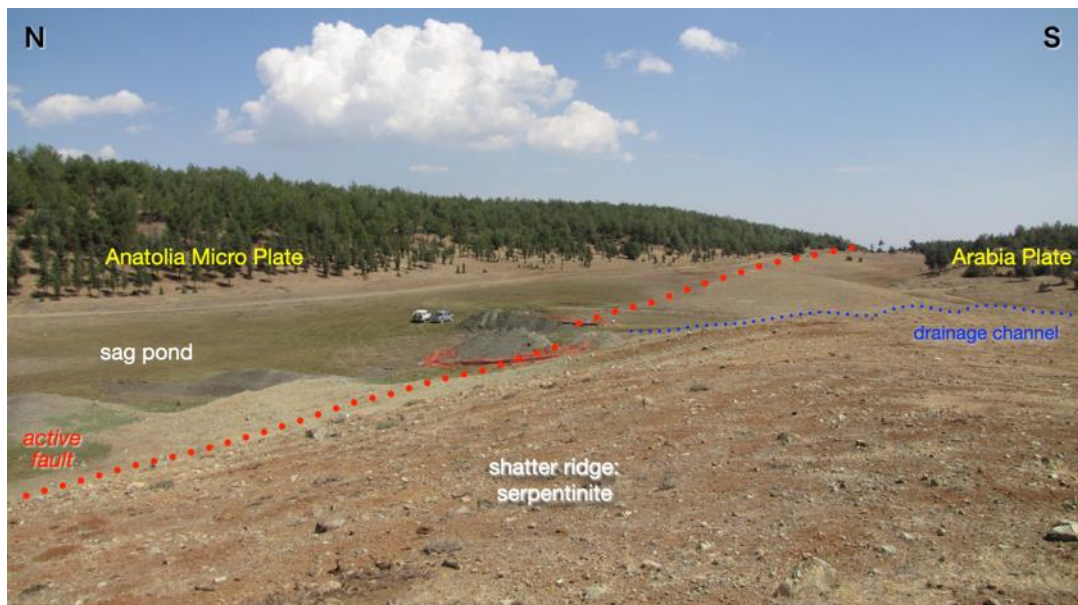
Geological Survey of Japan, Research Institute of Earthquake and Volcano Geology KONDO Hisao

#### 謝辞

本研究は、JST 委託カフラマンマラシュ（トルコ南東部）地震関連国際緊急共同研究・調査支援プログラム (J-RAPID)、及び令和 5 年度 GSJ 戦略的課題の一部として実施した。関係各位に記して御礼申し上げます。



第 1 図 東アナトリア断層系南西区間における歴史地震と 2023 年地震前の地震空白域. 近藤ほか (2003) に加筆.  
 Fig. 1 Historical earthquakes and large seismic gap before the 2023 earthquakes along the south-western section of EAF.

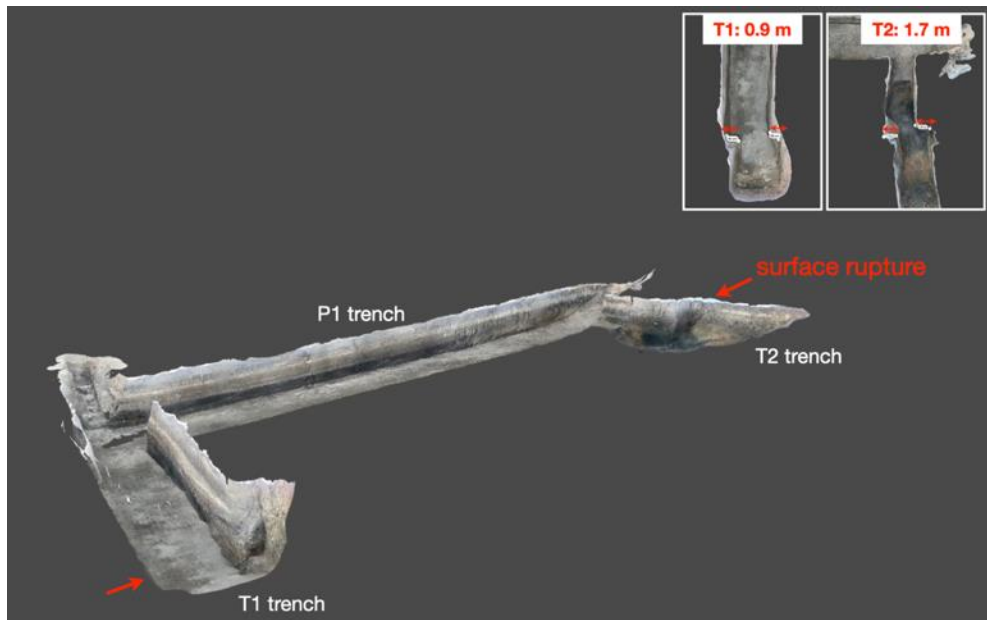


第 2 図 カフラマンマラシュ東方カルタル地点周辺の変位地形とトレンチ調査地.  
 Fig. 2 Tectonic geomorphic features around the Kartal trench site east of Kahramanmaraş.



第 3 図 カルタル地点における 3D トレンチ調査位置と 2023 年地表地震断層. T1 トレンチと T2 トレンチは, 2014 年に掘削したトレンチを再掘削したもの.

Fig. 3 Plan-view map of 3D trench at the Kartal site and surface rupture associated with the 2023 Mw 7.8 earthquake. T1 and T2 trenches are re-excavated and the same trenches during the 2014 survey.



第 4 図 iPad・LiDAR を用いた 3D トレンチのイメージと横ずれ変位計測. 2014 年に掘削していた T1 トレンチと T2 トレンチの壁面がそれぞれ 0.9m, 1.7m の左横ずれ変位を生じた.

Fig. 4 3D image of the 2023 trenches and offset of T1 and T2 trench walls measured by iPad LiDAR. The trench walls of T1 and T2 trenches were left-laterally displaced during the 2023 event. The amount of displacement are 0.9 m of T1 trench and 1.7 m of T2 trench, respectively.