

2023 年 2 月 6 日トルコ・シリア地震の特徴について

令和 5 年 11 月 30 日
地震・津波研究部門

1. 経緯

2023 年 2 月 6 日 10 時 17 分（日本時間¹⁾、トルコ南部のシリア国境付近においてモーメントマグニチュード Mw7.8（深さ 10km）の地震が発生した（図 1）^[1]。その 9 時間後には、震央から北方に約 100km 離れた場所において Mw7.6（深さ 10km）²⁾の地震が発生した^[1]。これらの地震（以下「トルコ・シリア地震」³⁾という。）はトルコとシリアを中心に甚大な被害を及ぼし、両国を合わせて犠牲者数が 56,000 人を超えた^[2]。

原子炉安全専門審査会・核燃料安全専門審査会第 3 回地震・津波部会（2023 年 6 月 19 日）において山岡部会長よりトルコ・シリア地震に関して国内外の論文を注視し報告するよう要望があったこと及び第 30 回原子力規制委員会（2023 年 9 月 6 日）において石渡委員より当該検討結果を公開の場で示すよう指示があったことから、トルコ・シリア地震の情報を収集し、主として震源破壊特性及び地震動特性の観点で今回の地震の特徴について調査し報告を行うものである。なお、トルコ・シリア地震に関する個別の論文において、今後、最新知見等が得られた際には、技術基盤グループ最新知見等の反映プログラムに沿って情報共有を図ることとする。

2. 報告内容

2. 1 地震発生域周辺のテクトニクスについて

トルコ周辺では、北のユーラシアプレート、東のアラビアプレート、南のアフリカプレートの 3 つの大きなプレート運動の影響により、アナトリア半島を載せる比較的小さなアナトリアプレート（アナトリアブロックとも呼ばれている）が西へ移動していることが特徴的である（図 1）^{[3],[4]}。アナトリアプレートは、北側では右横ずれ断層である北アナトリア断層帯を挟んでユーラシアプレートと、東側では左横ずれ断層である東アナトリア断層帯を挟んでアラビアプレ-

¹⁾ 現地時間 2023 年 2 月 6 日 4 時 17 分

²⁾ 気象庁の CMT (Centroid Moment Tensor) 解であり本文においては Mw7.6 で統一する。なお、USGS (U. S. Geological Survey) の CMT 解では Mw7.5、震源過程逆解析の研究では Mw7.7 とする例もある。

³⁾ トルコ災害緊急事態対策庁は「カフラマンマラシュ (Kahramanmaraş) で発生した地震」と表現している。本報告は、分かりやすさの観点から、国連の記載を踏襲した。
(<https://www.un.org/en/turkiye-syria-earthquake-response>)

トとそれぞれ接している。アナトリアプレートとアフリカプレートとの境界では沈み込み帯であるキプロス弧、アフリカプレートとアラビアプレートとの間には拡大境界として死海リフト、紅海リフト等が形成されている。北アナトリア断層帯は約 1,000km にわたってトルコ北部を東西に貫き、過去に数多くの大地震の発生記録が残っている。北アナトリア断層帯の大地震⁴は、一気に断層全体を破壊するのではなく、特に 1939 年以降では、Mw7 程度以上の複数の大地震がドミノ倒しのように東から西へ順番に発生していることが知られている^{[5], [6]}。これら一連の大地震のうち、例えば、1999 年 8 月 17 日にトルコの北西部で起きた Mw7.6 のイズミット地震では、死者 17,118 人、負傷者約 50,000 人などの被害が生じた^[7]。

トルコ・シリア地震のうち Mw7.8 の地震は、アナトリアプレート、アラビアプレート及びアフリカプレートが交わるハタイ三重会合点に位置するプレート境界断層で発生した(図 2)^[3]。この三重会合点は、約 1,500~2,000 万年前に形成されて以降、アナトリアプレートの東縁である東アナトリア断層に沿って、約 10mm/yr (アラビアプレート及びアナトリアプレート間のプレート運動速度)で移動してきた。その結果、Mw7.8 の地震発生域周辺におけるプレート境界の形状は複雑になっている。

2. 2 震源破壊特性

2. 2. 1 Mw7.8 の地震について

トルコ東部を約 500km にわたって北東-南西方向に貫く東アナトリア断層帯は、Mw7.8 の地震の起震断層である。Mw7.8 の地震は、主要の断層から離れた北北東-南南西方向の分岐断層において破壊を開始し、その後、主要の断層に破壊が乗り移り、震源破壊過程が複雑であることが測地衛星データ及び地震動解析から明らかになった(図 3)^{[3], [8]-[12]}。具体的には、破壊開始の約 10 秒後、北側に位置するセグメント(断層の区分)に破壊が乗り移り、比較的速い速度(上部地殻のせん断波速度の 9 割程度)で破壊が伝播した。また、南のセグメントへの破壊の乗り移りは北側に比べて若干遅れており、破壊伝播速度も北側より遅く、すべり量も全体として比較的小さいとされている(図 4)^[8]。このように、断層破壊が複数のセグメントに乗り移った(連動した)結果、断層全体の大半が破壊され、地表に最大 7.3m の断層変位が観測された^[13]。

東アナトリア断層帯における歴史地震⁵の数は北アナトリア断層帯より少なく、

⁴ 北アナトリア断層帯で過去に起きた主な地震^{[5], [6], [33]} : 1939 年 Mw7.9、1942 年 Mw6.9、1943 年 Mw7.7、1944 年 Mw7.5、1949 年 Mw7.1、1951 年 Mw6.8、1957 年 Mw6.8、1967 年 Mw7.0、1971 年 Mw6.8、1999 年 Mw7.6、1999 年 Mw7.1 地震

⁵ 東アナトリア断層帯で過去に起きた主な地震^[14] : 南から北に向かって今回の Mw7.8 の地震周辺域では 1872 年 M7.2、1795 年 M7.0、1893 年 M7.1、2020 年 Mw6.8 が並び、その北方では 1875 年 M6.7、1874 年 M7.1、2020 年 Mw6.1、1971 年 Mw6.7、1866 年 Mw7.2 が並ぶ。

最近の地震活動は比較的静穏であった。特に Mw7.8 の地震発生前の約 100 年間では、Mw7 以上の大地震は発生していなかった^[14]。測地衛星データを用いた解析結果では、前述の 4 つのプレートの運動によって東アナトリア断層に比べて北アナトリア断層周辺に歪みがより集中していることが示唆された^[15]。また、確率論的地震ハザード評価を扱った既往研究⁶においても、今回のような複数のセグメントが連動して破壊する地震のシナリオは想定されていなかった^[16]。Mw7.8 の地震発生前、北アナトリア断層による地震の活動性が注目されていた一方で、東アナトリア断層の平均変位速度が 10mm/yr に達していたことも報告されていた^{[16]-[18]}。

なお、日本国内では、平均変位速度の最大値として糸魚川-静岡構造線断層帯（明科-諏訪湖南方区間）の 9mm/yr の例もあるものの^[19]、主な活断層の平均変位速度は東アナトリア断層に比較して一桁小さいものとなっている^[19]。

2. 2. 2 Mw7.6 の地震について

Mw7.6 の地震は、前述の Mw7.8 の地震の 9 時間後、東アナトリア断層帯から西に枝分かれするシュルギュ・チャルダク断層帯で発生した。同断層は 150km 以上の長さがあり、大局的に東西走向を示しながらも、セグメントによって断層が屈曲、分岐するなど、断層形状が複雑であることが報告されている^[20]。Mw7.6 の地震の破壊は、当該断層の中央付近で開始し、東西両方向へ伝播していたことが地震動解析結果から示唆された。特に、破壊伝播速度について、東側の断層では上部地殻のせん断波速度の 7 割程度に留まる一方で、西側の断層では上部地殻のせん断波速度を超えた、いわゆる超せん断破壊（supershear rupture）⁷が生じたこと（図 5）が複数の研究グループの解析結果から明らかになった^{[8]-[10], [12], [21]}。さらに、動学的破壊シミュレーションでは、断層の複雑な幾何形状や不均質な初期応力の分布等を適切に設定することより、このような非対称な破壊伝播パターンを再現できるとされている^[8]。また、Mw7.6 の地震の震源域は、Mw7.8 の地震の歪み解放によって地震が発生しやすい（せん断応力が増加する）領域であることも報告されている^{[8], [9], [11]}。なお、Mw7.6 の地震では、地表に最大 9m 程度の断層変位の計測値が報告され（図 6）^[22]、横ずれ断層タイプの地震の

⁶ Gülerce et al. (2017)^[16]では、18 個のセグメント（固有規模 Mw6.6~Mw7.6）に対して、隣接する連動可能なセグメントを再編することにより、場所によって部分的な連動シナリオが考慮されている。ただし、Mw7.8 の地震で破壊した複数セグメントの連動シナリオは考慮されていない。

⁷ 断層破壊伝播に伴う破壊先端では、一定のエネルギー（破壊エネルギー）が消費されている。そのため、破壊伝播速度が終端速度（横ずれ断層の場合、縦波（P 波）の速度）に近づくことは理論的に可能であるが、一定の破壊エネルギーを破壊伝播の過程において継続的に消費するので、多くの地震では、せん断波より遅い速度で破壊が伝播すると考えられている。なお、超せん断破壊については、過去の地震、特に長大な断層破壊の場合、例えば、1999 年イズミット地震でも報告されている^[9]。

中では世界最大級の水平変位量⁸となった(図 7)。

2. 3 地震動特性

今回のトルコ・シリア地震では、断層近傍を含む多くの地点で強震記録が得られていることから、観測記録に基づいた地震動特性について調査した。トルコ災害緊急事態対策庁 (AFAD⁹) が公表した Mw7.8 の地震の強震動記録のうち、震源近傍の観測点では、3,280 ガル (3 成分合成) の大加速度が観測された (図 8)。特に、地震動の上下動成分において下向きに比べ上向きに大きく揺れる非対称性が確認された。なお、このような現象は、2008 年岩手・宮城内陸地震の一関西観測点でも見られた^[38]。

また、地震動の距離減衰特性を調べた結果、特に 10km 以遠の地点における最大加速度値は、全体的に日本の地震動データに基づいた距離減衰式^[39]の予測値を下回る傾向が認められた。最大速度値は距離によらず同距離減衰式の予測値と良く一致すること、加えて同程度の規模の内陸地震の地震動レベルを確認する観点から、Mw7.8 の地震と 2008 年四川地震等を比べたところ、ほぼ同様であることが確認された (AGU2023 に発表予定^[40])。

3. まとめ

今回のトルコ・シリア地震のうち、Mw7.8 の地震は、複数のセグメントが連動することにより、東アナトリア断層帯の大半を破壊したとされている。また、こうした長大な断層の破壊に加えて、不均質なすべり分布及び不均質な破壊伝播速度を有していることが特徴的である。さらに、地震動特性として最大加速度の観測値は既往の距離減衰式の予測値を下回るものの、最大速度の観測値は距離減衰式の予測値と良く一致することが確認された。一方、Mw7.6 の地震は、断層面上の破壊伝播速度が不均質であり、特に西側の断層では超せん断破壊が報告されている。

本調査では、既往の地震観測でも見られた複数のセグメントの連動及び不均質な断層破壊の現象が震源破壊特性及び地震動特性として再確認された。ただし、破壊伝播速度の不均質性の取り扱い方法については、周期特性を考慮した更なる分析が必要である。そのため、引き続き関連情報を収集するとともに、断層近傍で得られた強震記録を精査した上で、原子力施設の耐震設計にとって重要な短周期地震動に着目して再現解析等を実施し、震源極近傍における地震動評価手法の精度向上を図る。

⁸ この値は国内観測史上最大の内陸地震である濃尾地震 (M8.0) の約 8m^[23]を超えた。なお、1905 年モンゴル Bulnay 地震 (Mw8.3) では、最大約 11m の変位量が観測された^[24]。

⁹ Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

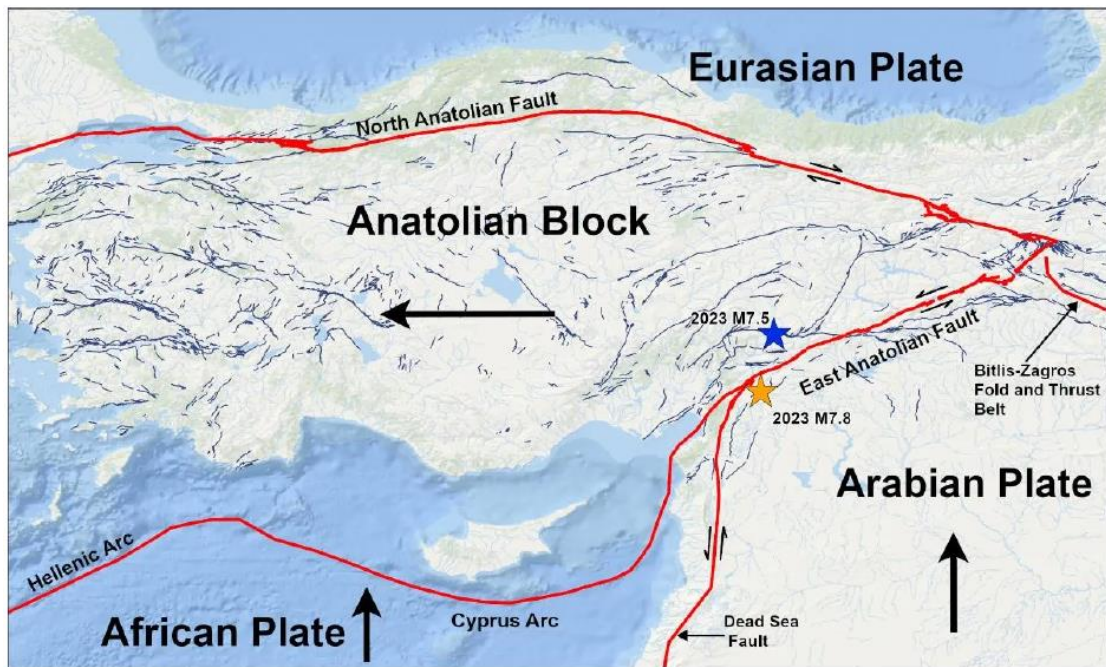


図1 2023年2月6日トルコ・シリア地震の震央位置及び
テクトニックセッティング
(USGS, 2023^[3])

橙色星は Mw7.8 の地震、青色星は Mw7.6 (図中では Mw7.5) の地震、赤線は北ア
ナトリア断層・東アナトリア断層等を示す。

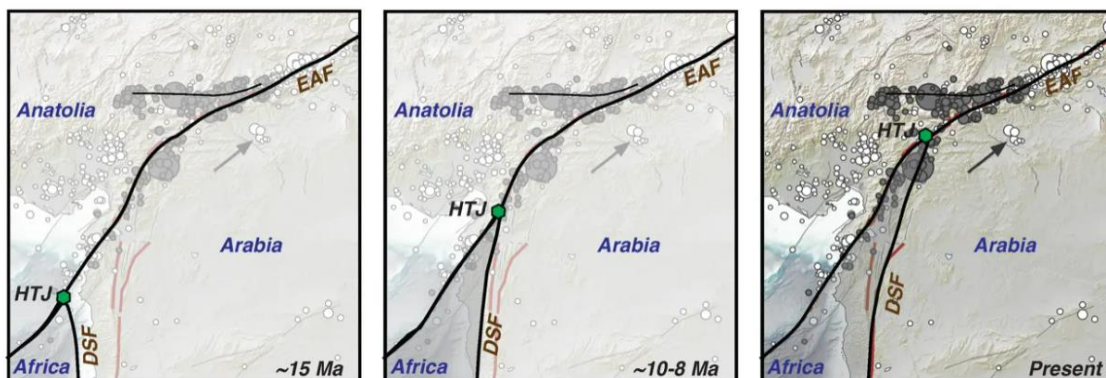


図2 2023年2月6日トルコ・シリア地震の周辺地域における
約1,500万年前以降のプレート境界の変化
(USGS, 2023^[3])

青文字はプレートの名称、EAF は東アナトリア断層、DSF は死海断層、HTJ はハ
タイ三重会合点を示す。(Ma : 約100万年前)

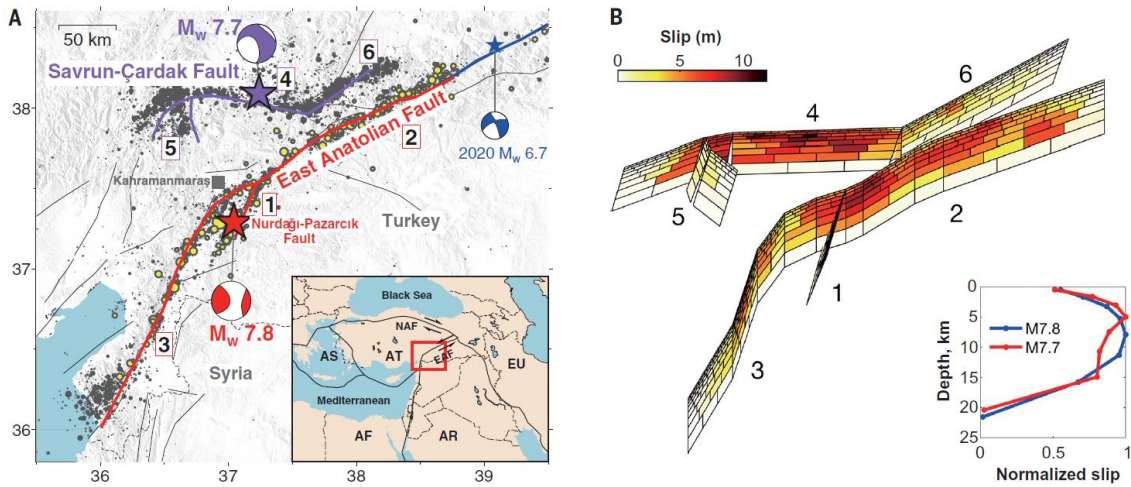


図3 2023年2月6日トルコ・シリア地震の余震分布 (A) 及び測地衛星データから推定されたすべり分布図 (B) (Jia et al., 2023^[8]) (AAAS の許諾を得て転載)

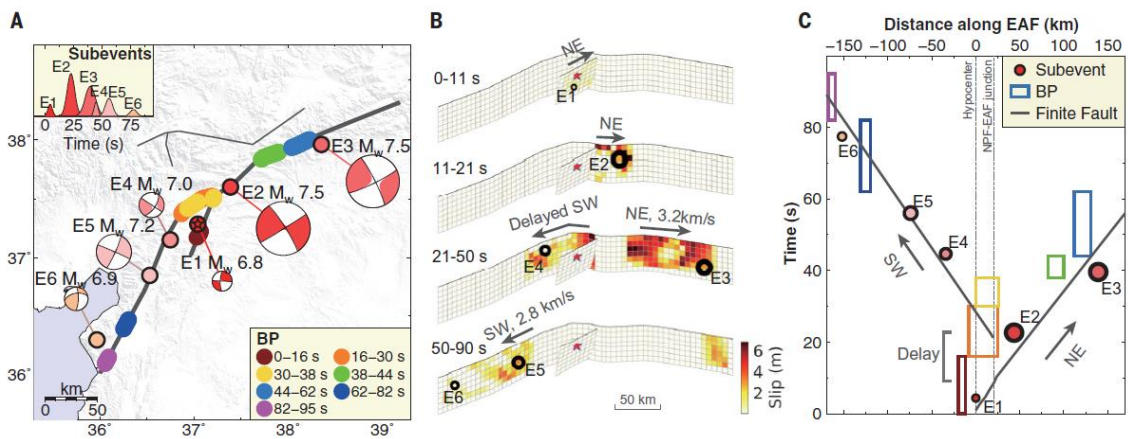


図4 地震動逆解析から得られた Mw7.8 地震の震源破壊過程 (Jia et al., 2023^[8]) (AAAS の許諾を得て転載)

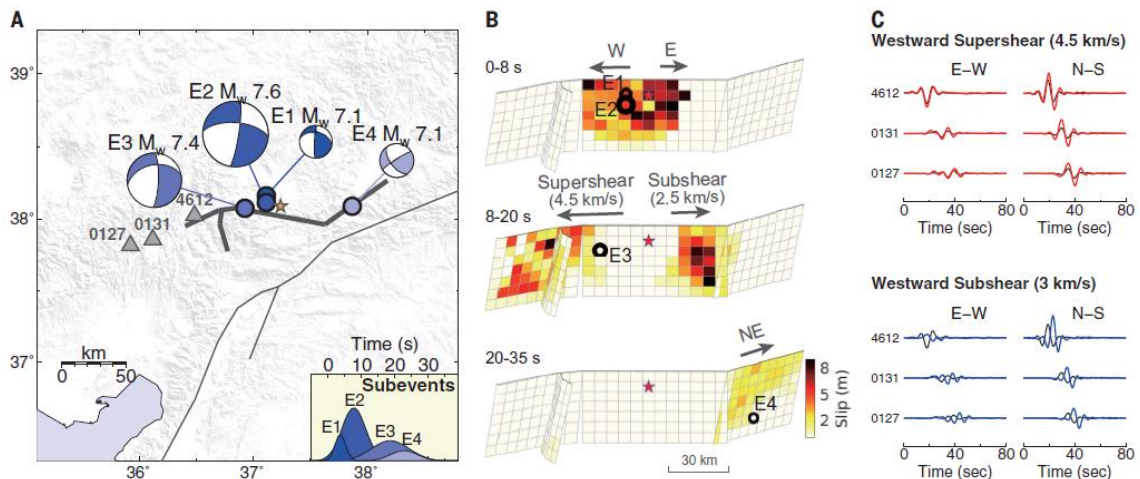


図5 地震動逆解析から得られた Mw7.6 地震の震源破壊過程
(Jia et al., 2023^[8])

(AAAS の許諾を得て転載)

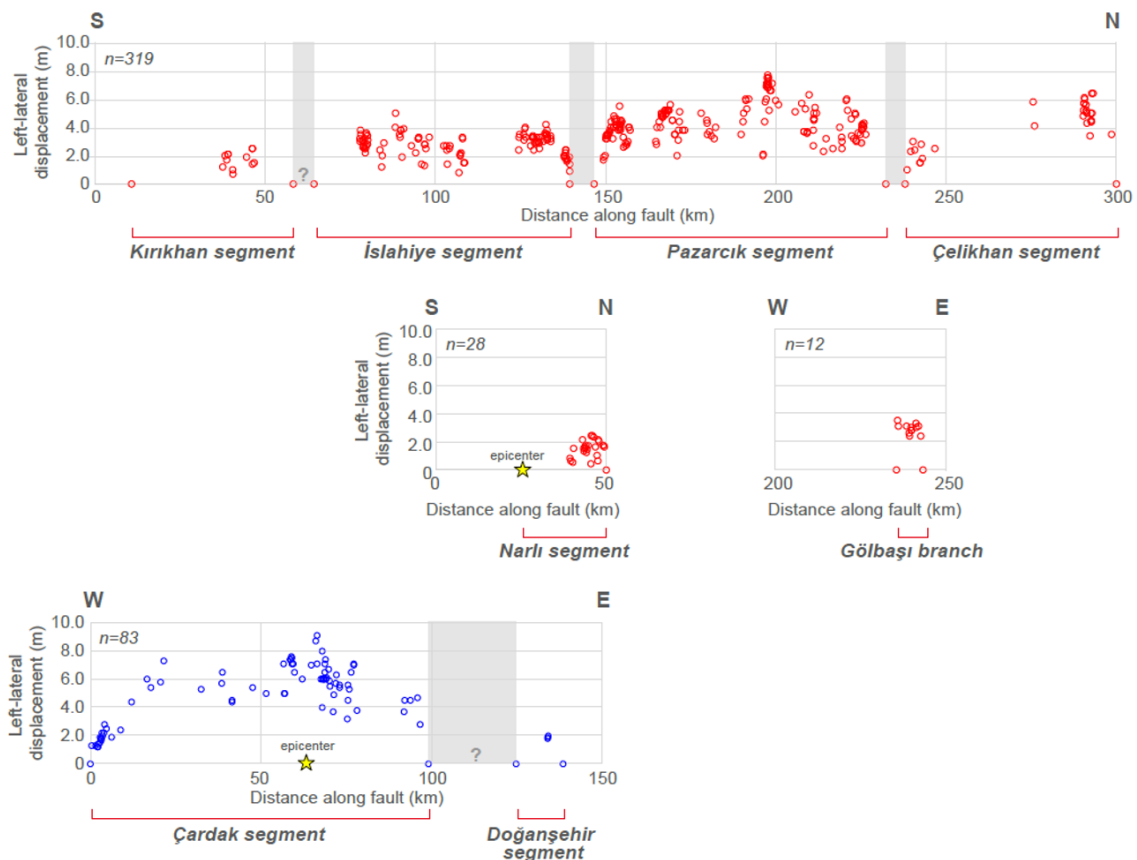


図6 Mw7.8 及び Mw7.6 の地震に伴う地表地震断層の変位量の分布
(産業技術総合研究所地質調査総合センター、2023^[22])

赤丸と青丸がそれぞれ Mw7.8 及び Mw7.6 地震に伴う左横ずれ変位量の計測値

表1 横ずれ断層タイプの内陸地震で観測された最大水平変位一覧
(Mw の昇順に並べた)

番号	地震	Mw	地震時地表 最大変位量(m)	文献
1	1968 Borrego Mt.	6.5	0.38	Clark (1972) ^[25]
2	1979 Imperial Valley	6.5	0.78	Sharp et al. (1982) ^[26]
3	1987 Superstition Hills	6.5	0.9	Sharp et al. (1989) ^[27]
4	1995年兵庫県南部地震	6.9	2.1	Awata & Mizuno (1998) ^[28]
5	1999 Hector Mine	7.1	5.25	Treiman et al. (2002) ^[29]
6	1999 Duzce	7.1	5	Akyuz et al. (2002) ^[30]
7	2016年熊本地震	7.1	2.2	岩佐ほか(2020) ^[31]
8	1992 Landers	7.3	6.7	Petersen et al. (2011) ^[32]
9	1891年濃尾地震	7.5	8	岡田(1987) ^[23]
10	1999 Izmit	7.6	5.1	Langridge et al. (2002) ^[33]
11	2023 Turkey	7.6	9	GSJ (2023) ^[22]
12	2001 Kokoxili (Kunlun)	7.8	9	Klinger et al. (2005) ^[34]
13	2023 Turkey	7.8	7.3	Karabacak et al. (2023) ^[13]
14	2002 Denali	7.9	8.8	Haeussler et al. (2004) ^[35]
15	1957 Gobi-Altay	8.1	7	Choi et al. (2012) ^[36]
16	1906 San Francisco	8.2	8.6	Thatcher et al. (1997) ^[37]
17	1905 Bulnay (Bolnai)	8.3	10.6	Choi et al. (2017) ^[24]

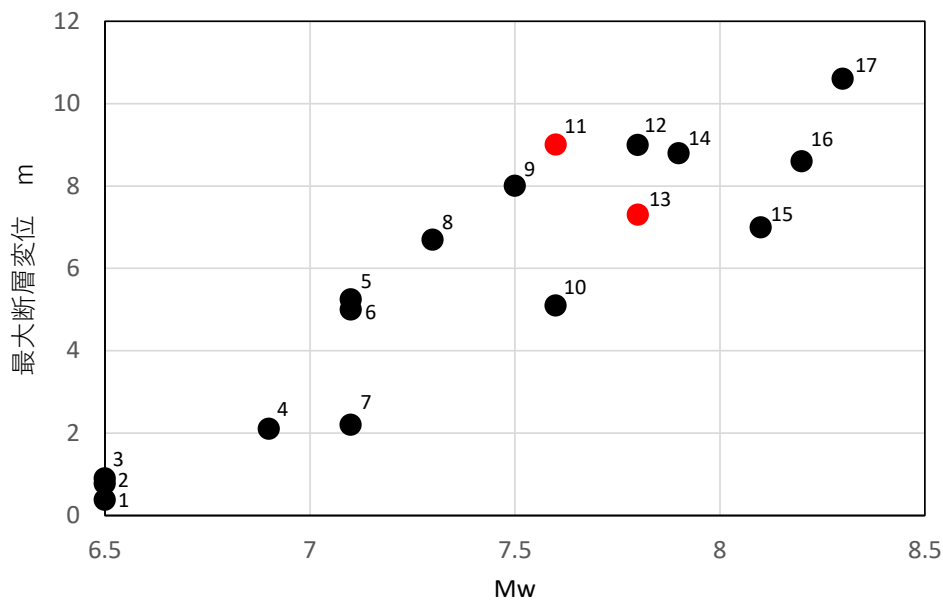


図7 2023年2月6日トルコ・シリア地震（赤丸）と過去の地震（黒丸）で観測された最大水平変位の比較

全ての地震は横ずれ断層タイプであり、図中の番号は表1の番号に対応している。

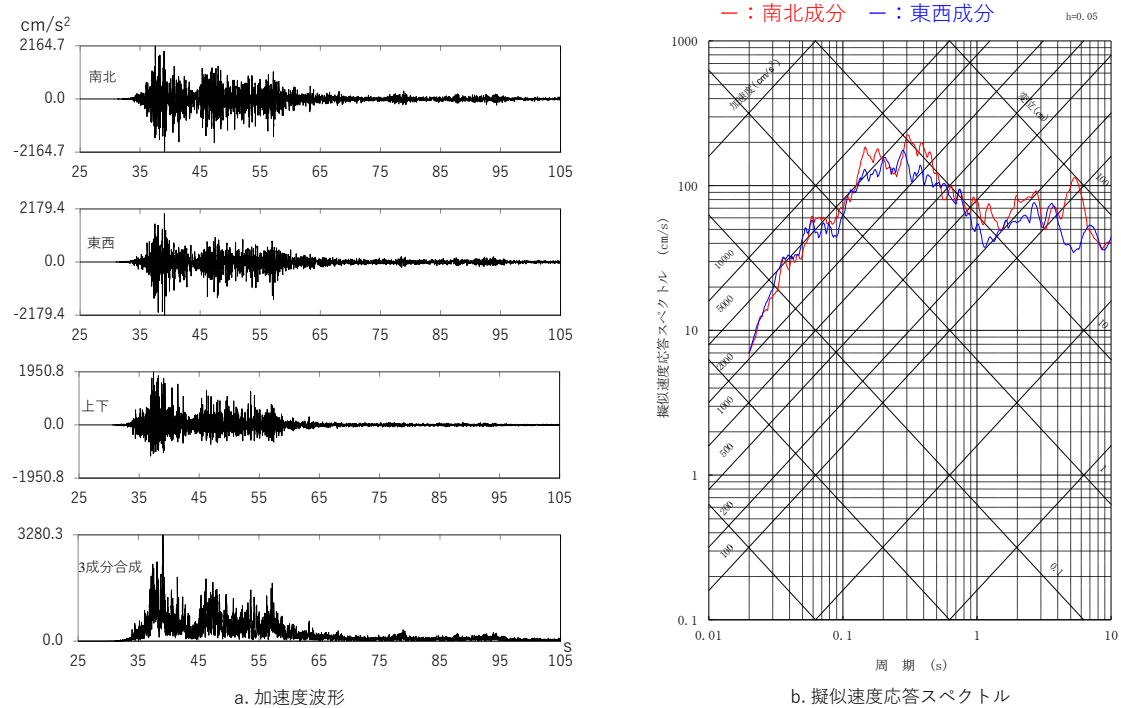


図8 番号4614の地表観測点 ($V_{s30}=671\text{m/s}$ (AFADより)¹⁰)における Mw7.8の地震の加速度波形及び水平成分の速度応答スペクトル (AFADが公表した強震動記録のデータを基に作成)

¹⁰ V_{s30} とは表層地盤(地表から約30m程度の深さまで)の平均せん断波速度を指す。なお、番号4614の観測点における V_{s30} は、AFADが公表した波形データのファイル中に671m/sとの記載がある一方、トルコの中東工科大学(Middle East Technical University)では541m/sと推定している^[41]。

参考文献

- [1] 気象庁、2023年2月6日トルコの地震、地震・火山月報（防災編）、令和5年2月
https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/gaikyo/monthly/202302/202302tokushuu_1_1.pdf（令和5年10月26日参照）
- [2] NHK、トルコ・シリア大地震から半年 被災地域ではいまま厳しい生活、2023年8月6日
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20230806/k10014154291000.html>（令和5年10月26日参照）
- [3] U. S. Geological Survey, The 2023 Kahramanmaraş, Turkey, earthquake sequence, 2023.
<https://earthquake.usgs.gov/storymap/index-turkey2023.html>（令和5年10月26日参照）
- [4] Hubert-Ferrari, A. et al., Long-term elasticity in the continental lithosphere: modelling the Aden ridge propagation and the Anatolian extrusion process, *Geophysical Journal International*, 153, pp. 111-132, 2003.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-246X.2003.01872.x>
- [5] Stein, R. S., Barka, A. A., Dieterich, J. H., Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering, *Geophysical Journal International*, 128, pp. 594-604, 1997.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb05321.x>
- [6] Konca, A. O., et al., Rupture process of the 1999 Mw 7.1 Duzce earthquake from joint analysis of SPOT, GPS, InSAR, strong-motion, and teleseismic data: a super shear rupture with variable rupture velocity, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100, pp. 267-288, 2010.
<https://doi.org/10.1785/0120090072>
- [7] 気象庁、令和5年1月の地震活動及び火山活動について 別紙2、令和5年2月8日
<https://www.jma.go.jp/jma/press/2302/08a/2301eq-world.pdf>（令和5年10月26日参照）
- [8] Jia, Z. et al., The complex dynamics of the 2023 Kahramanmaraş, Turkey, Mw 7.8-7.7 earthquake doublet, *Science*, 381, pp. 985-990, 2023.
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.adi0685>
- [9] Liu, C. et al., Complex multi-fault rupture and triggering during the 2023 earthquake doublet in southeastern Türkiye, *Nature Communications*, 14, 5564, 2023.
<https://doi.org/10.1038/s41467-023-41404-5>
- [10] Mai, P. M. et al., The destructive earthquake doublet of 6 February 2023 in

south - central Türkiye and northwestern Syria: initial observations and analyses, *The Seismic Record*, 3, pp. 105-115, 2023.

<https://doi.org/10.1785/0320230007>

- [11] Li, S. et al., Source model of the 2023 Turkey earthquake sequence imaged by Sentinel-1 and GPS measurements: Implications for heterogeneous fault behavior along the East Anatolian Fault Zone, *Remote Sensing*, 15, 2618, 2023.

<https://doi.org/10.3390/rs15102618>

- [12] Okuwaki, R. et al., Multi-scale rupture growth with alternating directions in a complex fault network during the 2023 south-eastern Türkiye and Syria earthquake doublet, *Geophysical Research Letters*, 50, e2023GL103480, 2023.

<https://doi.org/10.1029/2023GL103480>

- [13] Karabacak, V. et al., The 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş, Türkiye) earthquake (Mw 7.7): implications for surface rupture dynamics along the East Anatolian fault zone, *Journal of the Geological Society*, 180, jgs2023-020, 2023.

<https://doi.org/10.1144/jgs2023-020>

- [14] Güvercin, S. E. et al., Semih Ergintav, Active seismotectonics of the East Anatolian fault, *Geophysical Journal International*, 230, pp. 50-69, 2022.

<https://doi.org/10.1093/gji/ggac045>

- [15] Weiss, J. R. et al., High-resolution surface velocities and strain for Anatolia from Sentinel-1 InSAR and GNSS data, *Geophysical Research Letters*, 47, e2020GL087376, 2020.

<https://doi.org/10.1029/2020GL087376>

- [16] Gülerce Z. et al., Probabilistic seismic - hazard assessment for East Anatolian fault zone using planar fault source models, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107, pp. 2353-2366, 2017.

<https://doi.org/10.1785/0120170009>

- [17] McClusky, S. et al., Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophysical Research*, 105, pp. 5685-5719, 2000.

<https://doi.org/10.1029/1999JB900351>

- [18] Reilinger, R. et al., GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *Journal of Geophysical Research*, 111, 2006.

<https://doi.org/10.1029/2005JB004051>

- [19] 松浦一樹・塩崎功・平松晋一、活断層の一般的・平均的なイメージ（一般像・平均像）の把握、応用地質、59、pp. 453-464、2019.

- [20] Koç, A. Kaymakçı, N., Kinematics of Sürgü fault zone (Malatya, Turkey): A remote sensing study, *Journal of Geodynamics*, 65, pp. 292-307, 2013.

<https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.08.001>.

- [21] Melgar, D. et al., Sub- and super-shear ruptures during the 2023 Mw 7.8 and Mw 7.6 earthquake doublet in SE Türkiye, *Seismica*, 2, 2023.
<https://doi.org/10.26443/seismica.v2i3.387>
- [22] 産業技術総合研究所地質調査総合センター、2023年2月6日に発生したトルコ南部の地震 (Mw 7.8、Mw 7.5) について：第六報 トルコ南部の地震 (Mw7.8 および Mw7.5) に伴う地表地震断層と変位量分布、令和5年3月20日
<https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/turkey2023/turkey20230317.html> (令和5年10月26日参照)
- [23] 岡田篤正、<<巡検資料>>濃尾地震断層系根尾谷断層、活断層研究、no. 4、pp. 71-90、1987.
- [24] Choi, J. et al., Geologic inheritance and earthquake rupture processes: The 1905 M₈ Tsetserleg-Bulnay strike-slip earthquake sequence, Mongolia, *Journal of Geophysical Research*, 123, pp. 1925-1953, 2018.
<https://doi.org/10.1002/2017JB013962>
- [25] Clark, M., Surface rupture along the Coyote Creek fault, the Borrego Mountain earthquake of April 9, 1968, *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 787, pp. 55-57, 1972.
- [26] Sharp, R. et al., Surface faulting in the Central Imperial Valley in the Imperial Valley, California, earthquake of October 15, 1979, *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 1254, pp. 119-154 and Plate 1, 1982.
- [27] Sharp, R. et al., Surface faulting along the Superstition Hills fault zone and nearby faults associated with the earthquakes of 24 November 1987, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 79, pp. 252-281, 1989.
<https://doi.org/10.1785/BSSA0790020252>
- [28] Awata, Y. and Mizuno, K., Strip map of the surface fault ruptures associated with the 1995 Hyōgo-Ken Nanbu earthquake, Central Japan-The Nojima, Ogura, and Nadagawa earthquake faults, *Geological Survey of Japan Tectonic Map*, Series 12, scale 1:10,000, 1998.
- [29] Treiman, J. et al., Primary surface rupture associated with the Mw 7.1 16 October 1999 Hector Mine earthquake, San Bernardino County, California, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92, pp. 1171-1191, 2002.
<https://doi.org/10.1785/0120000923>
- [30] Akyuz, H. et al., Surface rupture and slip distribution of the 12 November 1999 Duzce earthquake (M 7.1), North Anatolian fault, Bolu, Turkey, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92, pp. 61-66, 2002.
<https://doi.org/10.1785/0120000840>
- [31] 岩佐佳哉ほか、熊本県益城町堂園地区における2016年熊本地震の地表地震断層の詳細

- 細な分布と共役断層の活動履歴、活断層研究、52、pp. 1-8、2020.
- [32] Petersen, M. et al., Fault displacement hazard for strike-slip faults, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 101, pp. 805-825, 2011.
<https://doi.org/10.1785/0120100035>
- [33] Langridge, R. et al., Geometry, slip distribution, and kinematics of surface rupture on the Sakarya segment during the 17 August Izmit, Turkey earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92, pp. 107-125, 2002.
<https://doi.org/10.1785/0120000804>
- [34] Klinger, Y. et al., High-resolution satellite imagery mapping of the surface rupture and slip distribution of the Mw ~7.8, 14 November 2001 Kokoxili earthquake, Kunlun fault, northern Tibet, China, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95, pp. 1970-1987, 2005.
<https://doi.org/10.1785/0120040233>
- [35] Haeussler, P. et al., Surface rupture and slip distribution of the Denali and Totschunda faults in the 3 November 2002 M 7.9 Earthquake, Alaska, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94 (6B), S23-S52, 2004.
<https://doi.org/10.1785/0120040626>
- [36] Choi, J. et al., Rupture propagation inferred from damage patterns, slip distribution, and segmentation of the 1957 Mw8.1 Gobi-Altay earthquake rupture along the Bogd fault, Mongolia, *Journal of Geophysical Research*, 117, B12401, 2012.
<https://doi.org/10.1029/2011JB008676>
- [37] Thatcher, W., Marshall, G. and Lisowski, M., Resolution of fault slip along the 470-km-long rupture of the great 1906 San Francisco earthquake and its implications, *Journal of Geophysical Research*, 102, pp. 5353-5367, 1997.
<https://doi.org/10.1029/96JB03486>
- [38] Aoi, S. et al., Trampoline effect in extreme ground motion, *Science*, 322, pp. 727-730, 2008.
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1163113>
- [39] 司宏俊・翠川三郎、断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式、日本建築学会構造系論文集、523、pp. 63-70、1999.
- [40] Si, H., Furumura, T., Attenuation characteristic of peak ground motions during the 2023 Mw 7.8 Turkey-Syria earthquake and the comparison with the other large crustal earthquakes, submitted to AGU Fall Meeting, 2023.
- [41] Gülerce, Z. et al., Preliminary analysis of strong ground motion characteristics, Middle East Technical University, 2023.
http://eerc.metu.edu.tr/en/system/files/documents/CH4_Strong_Ground_Motion_Report_2023-02-20.pdf