

## I-3 歴史地震等の記録の収集、整理及び再評価

佐竹健治(東京大学地震研究所)

### 1. 研究の目的

過去の地震及び近代観測がなされて以降の地震について記録を収集、整理するとともに、I-1(地震計を用いた自然地震観測によるプレート構造調査)、I-2(制御震源を用いた地殻構造探査)の成果等を踏まえた解析を行うことにより、これらの地震について再評価し、文部科学省地震調査推進本部<sup>1)</sup>が2004年に「その他の南関東の地震」としてまとめて評価を行ったマグニチュード(M)7程度の地震の震源域の位置(プレート境界地震、スラブ内地震)、繰り返しの有無等を推定するのが目的です。

### 2. 研究成果の概要

#### 2.1 地震記象の収集と解析による過去地震の調査研究

##### 2.1.1 調査の目的

首都圏で発生した歴史地震等の再評価を行うためには、それらの地震の発生メカニズム等を明らかにする必要があります。このため、地震記録の収集・整理・再評価を行い、首都圏で発生する大地震の発生メカニズム、余震活動を明らかにします。首都直下地震の震源断層モデルを高度化し、首都直下地震の長期予測の精度向上や、高精度な強震動予測につなげます。

##### 2.1.2 成果の概要

1900年代以降に首都圏で発生した地震の観測記録を調査、収集しました。また、収集した過去の地震のアナログ記録をスキャンしてデジタル画像化を行い、強震計記録をデータベース化し、ホームページ(<http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/sanchu/Shuto/index.html>)で公開しました(図1)。

また、1931年西埼玉地震、1935年静岡地震(図2)、ならびに1949年今市地震前後の水準測量データの整理や、震源過程の解析等を行いました。さらに、1982年と2008年に発生した地震の震源過程解析から、茨城県沖の地震はほぼ同じ場所で発生したほぼ同規模の地震にも関わらず、全く様相を異にすることが明らかになりました。このことはプレート間地震の発生予測研究に大きな影響を与える可能性があります。

#### 2.2 東北地方の地震記象を用いた首都圏の過去地震の調査研究

##### 2.2.1 調査の目的

首都圏で発生した過去の地震等の再評価を行うには、それらの地震の発生メカニズム等を明らかに

する必要があります。このため、東北地方で得られた首都圏で発生した過去の地震記録の収集・整理を行い、首都圏で発生する大地震の発生メカニズム、余震活動の特徴を明らかにします。首都直下の地震テクトニクスを高度化し、首都直下地震の長期予測の精度向上や、高精度な強震動予測につなげることを目的とします。

##### 2.2.2 成果の概要

相模トラフ沿いの地震活動の長期評価(地震調査研究推進本部)に掲げられた5つの首都直下地震のうち、1921年茨城県南部の地震と1922年浦賀水道付近の地震について、東北大学向山観象所や国立天文台水沢センターで記録されている過去の地震記録を収集、整理しました(図3)。1921年茨城県南部の地震について、スキャンされた画像から読み取ったS-P時間やP波初動を既存の資料と併合処理し、震源とメカニズム解を推定しました。その結果、この地震がフィリピン海スラブ内の蛇紋岩化域の西縁で発生していた可能性が高いことが明らかになりました(図4)<sup>2)</sup>。1922年浦賀水道付近の地震は、1923年関東地震のアスペリティによる固着の影響を強く受けて発生した、フィリピン海プレート内部の地震であったことが明らかになりました。

また、2つの茨城県南西部の地震(1922年5月9日M6.1と1923年1月14日M6.1)について、すす書き記録紙をスキャンした画像ファイルから、国立天文台水沢センターと東北大学向山観象所におけるS-P時間を読み取り、震源位置の検討を行いました。その結果、1922年の地震の位置は宇津(1999)<sup>3)</sup>で報告されている震央から大きく移動することはないことが明らかになりました。1923年の地震の震源は、茨城県南西部のフィリピン海プレート上面で発生する地震の巣に位置することから、フィリピン海プレートと陸側プレートのプレート境界地震である可能性が高いことを示しました。

さらに、1924年1月15日の丹沢地震(M7.3)と1931年9月21日の西埼玉地震(M6.9)について、東北地方で記録されている過去の地震記録を収集・整理し、本震および余震の震源分布やメカニズム解を明らかにしました。

#### 2.3 被害記録による首都圏の歴史地震の調査研究

##### 2.3.1 調査の目的

過去約400年間に首都圏で発生した被害地震に

ついで、歴史資料の発掘・データベース化ならびに被害発生地点の現代地図上への照合作業から詳細震度分布図を作成します。また、歴史資料が描き出す地震像から、震源位置や発生メカニズムを推定することを目的とします。

### 2.3.2 成果の概要

既刊行の歴史地震史料集として東京大学地震研究所発行の「新収日本地震史料」<sup>4)</sup>がありますが、これは1990年頃までに発行された市町村史などに基いて発行されたものです。そこで、関東7都県の図書館において1990年以降に発行された市町村史で紹介された地震に関する記録を収集しました。

関東地方に被害を及ぼした、1791年(寛政二年)埼玉県地震、1812年(文化九年)神奈川地震<sup>5)</sup>、1843年(天保十四年)神奈川県西部地震について被害記録の収集を行い、データベースを作成しました。また、得られたデータベースに基づいて広域・詳細震度分布を作成しました。さらに、江戸を中心とした関東地方に甚大な被害を及ぼした、1855年(安政二年)江戸地震による江戸市中の町人地における死者の詳細な分布図を作成しました(図5)。さらに、寺院や大名屋敷の被害分布(図6)、液状化発生地点の分布を示しました。

## 2.4 液状化痕等による首都圏の古地震の調査研究

### 2.4.1 調査の目的

首都圏における古地震について調査研究を行い、地層記録として保存された液状化痕等の発生履歴を解明します。液状化痕等と対応する可能性がある地震の被害との比較から、その地震の特定を試みるとともに考古遺跡の液状化痕データなどとあわせて、首都圏で発生した古地震年表を作成します。

### 2.4.2 成果の概要

東京都江戸川区江戸川においてロングジオスライサー掘削、音波探査ならびに電気探査から、液状化痕などの調査を行い、古地震履歴の推定を行いました<sup>6)</sup>。また東京都葛飾区水元公園小合溜において液状化痕の地震痕跡の有無を音波探査により調査しました<sup>7)</sup>。

神奈川県三浦半島に位置する小網代湾奥の入り江干潟において3m長のハンディージオスライサーを用いた津波堆積物調査を実施しました。その結果、3枚の津波堆積物が認定され、上位と中間の津波堆積物はそれぞれ1923年大正関東地震、1703年元禄関東地震に対応することが明らかになりました。元禄関東地震の一つ前の関東地震によるものと考えられる、最下位の津波堆積物の放射性炭素による堆積年代と歴史資料との対比から、1293年(永仁元年または正応六年)の鎌倉大地震が一つ前の関東地震であった可能性を示唆しました(図7、図8)<sup>8)</sup>。

また、同湾内においてロングジオスライサーを用いた掘削調査を行い、過去2000年間の地層から5枚の粗粒堆積物を認定しました。また、同じく三浦半島に位置する江奈湾において、ハンディージオスライサーを用いた掘削調査から、過去4000年間の堆積物を採取しました。その結果、過去の関東地震によると考えられる津波堆積物を複数枚、認定しました。

さらに、三浦半島南部において航空レーザー測量や古い地形図の比較から過去の関東地震によって離水した海岸段丘面の調査を行いました。その結果、大正関東地震による隆起の詳細や、それ以前の地震による海岸隆起に関するデータが得られました。

## 2.5 過去地震の類型化と長期評価の高度化に関する調査研究

### 2.5.1 調査の目的

1943年鳥取地震などの活断層で発生した地震、1993年釧路沖地震などの深発地震・やや深発地震についてクーロン応力変化( $\Delta CFF$ )と現在の地震活動とを対比することで、現在の微小地震活動から首都直下の過去の地震について情報が得られる可能性を明らかにします。首都圏M7級地震をプレート境界地震とスラブ内地震に類型化し、それぞれの平均再来間隔の推定や規模予測を行うとともに、最新活動時期から確率予測を試みます。首都圏の古地震年表、歴史地震年表により、震源間の相互作用の有無を検討します。また、プレート構造調査、地殻構造調査の成果等を踏まえた解析を行うことにより、首都直下の地震について再評価し、地震調査研究推進本部が「その他の南関東の地震」としてまとめて評価を行ったM7程度の地震の震源域の位置(プレート境界地震、スラブ内地震)、繰り返しの有無等を推定します。

### 2.5.2 成果の概要

1943年鳥取地震など1900年以降に活断層で発生した大地震、1993年釧路沖地震などのやや深発地震を対象として $\Delta CFF$ と現在の地震活動分布との相関性を調査しました。その結果、大地震による $\Delta CFF$ が、長期間にわたって周辺の地震活動に影響を及ぼす可能性を明らかにしました(図9)<sup>9)</sup>。これは、現在の地震活動から過去の大地震に関する情報が得られる可能性を示唆しています。

また、地震調査研究推進本部による「その他の南関東の地震」における長期評価の対象となった5つの地震(1894年明治東京地震、1895年および1921年茨城県南部の地震、1922年浦賀水道付近の地震、1987年千葉県東方沖の地震)について、既往研究ならびにデータの収集を行いました<sup>10) 11)</sup>。その結果、これまで解析に用いられてこなかった波形記録

や検測値が発見されました（図 10）。

これらの収集された記録や本プロジェクトで明らかとなった新たな地震波速度構造を、既に沈み込むフィリピン海プレート内部で発生したことが明らかにされている 1987 年千葉県東方沖の地震を除く 4 地震について、その震源域の位置と発震機構を推定しました。

その結果、1894 年明治東京地震は、フィリピン海プレート内部または、太平洋プレート上面で発生した地震であった可能性が示唆されました。1895 年茨城県南部地震は、読み取られた S-P 時間や震度分布から、太平洋プレート内部で発生した地震であった可能性が示唆されました。1921 年茨城県南部の地震、1922 年浦賀水道付近の地震（図 11）は震源の深さが 50 km 程度で、その発震機構が横ずれ型であることが明らかとなり、沈み込むフィリピン海プレート内部で発生した地震であったことが明らかになりました。

類型化による新たな評価としては、1894 年明治東京地震がフィリピン海プレート内部で発生した地震であった場合、フィリピン海プレート内部の地震（M6.7～7 程度）が 1885 年以降 2011 年までに 4 回発生していることから、頻度は 31.5 年に 1 回となり、今後 30 年間の発生確率は 60%程度と見積もられます。また、太平洋プレート内部の地震（M7.2 程度）は 126 年以上に 1 回の頻度から、今後 30 年間の発生確率は 20%程度以下と見積もられます。

一方、1894 年明治東京地震が太平洋プレート上面で発生した地震であった場合、フィリピン海プレート内部の地震（M6.7～7 程度）は 3 回発生していることから、頻度は 42 年に 1 回となり、今後 30 年間の発生確率は 50%程度と見積もられます。太平洋プレート内部の地震（M7.2 程度）、太平洋プレート上面の地震（M7 程度）はそれぞれ 126 年以上に 1 回の頻度から、今後 30 年間の発生確率は 20%程度以下であると見積もられます。

## 2.6 考古遺跡における液状化痕データの収集並びにデータベース化

### 2.6.1 調査の目的

過去に発生した地震は液状化の痕跡として保存されます。過去の液状化痕は考古遺跡における発掘調査の際に記録されています。記載された液状化痕についての記録を収集・整理し、データベースを作成することにより、首都圏において発生した地震の履歴を把握します。

### 2.6.2 成果の概要

考古遺跡における液状化痕等の古地震に関する情報は、埋文関係救援連絡会議・埋蔵文化財研究会（1996）「発掘された地震痕跡」<sup>12)</sup>に日本全国の資

料が取りまとめられています。本研究では、主にこれ以降の発掘調査報告書を確認しました。

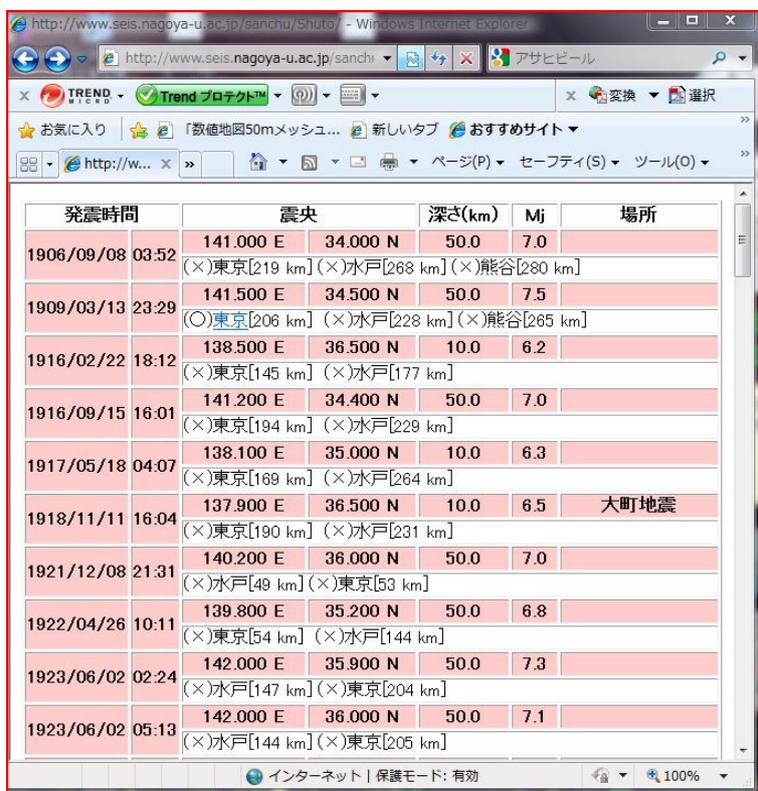
平成 21 年度には、埼玉県（563 編）、群馬県（561 編）、栃木県（206 編）の発掘調査報告書を収集し、それぞれ 62 編、32 編、2 編から液状化痕等の地震痕跡が確認されました。平成 22 年度には、東京都（700 編）、神奈川県（305 編）、千葉県（508 編）の発掘調査報告書を収集し、それぞれ 4 編、13 編、4 編から地震痕跡が確認されました。平成 23 年度には茨城県で 266 編、山梨県で 195 編の考古遺跡の発掘調査報告書を調査し、山梨県の 6 カ所の遺跡から地震痕跡についての記述を確認しました。さらに平成 21 年度および 22 年度に収集した、埼玉県、群馬県、栃木県、東京都、神奈川県および千葉県についての情報を追加収集しました。その結果、確認した報告書類の数量は、3 年間で計 3,572 編に及びました。その中で液状化等の地震痕跡の記述がみられた遺跡の数は、埼玉県が 59 カ所、群馬県が 55 カ所、栃木県が 2 カ所、東京都が 6 カ所、神奈川県が 34 カ所、千葉県が 5 カ所、茨城県が 0 カ所そして山梨県が 6 カ所でした。

これらの地震痕跡について調査表（図 12）を作成し、遺跡番号、遺跡名、所在地（緯度・経度：世界測地系）、地震痕跡の有無、地震痕跡の種類、噴砂の規模、被覆層および被貫入層の名称および時代とのその根拠、噴砂の主方向、幅及び粒径、時代分類などを整理した Microsoft Excel 形式の一覧表を作成しました。また、この一覧表に基づいて、地震発生年代や揺れの大きさに関連した情報を抽出し、地理情報システムを用いたデータベースを作成しました（図 13）。

## 参考文献

- 1) 文部科学省地震調査研究推進本部：相模トラフ沿いの地震活動の長期評価、31pp、2004
- 2) Nakajima, J., A. Hasegawa, Cause of M7 earthquakes beneath the Tokyo metropolitan area, Japan: Possible evidence for a vertical tear at the easternmost portion of the Philippine Sea slab, *J. Geophys. Res.*, **115**, B04301, doi:10.1029/2009JB006863, 2010
- 3) 宇津徳治、地震活動総説、p876、東京大学出版会、1999
- 4) 東京大学地震研究所編、「新収日本地震史料」、日本電気協会、全 21 巻、1981-1994
- 5) 都司嘉宣、文化九年十一月四日（1812 年 12 月 7 日）神奈川地震の震度分布、地震研究所彙報、84、pp.291-298、2009

- 6) 島崎邦彦、原口強、石辺岳男、中田高、旧江戸川で見いだされた地震痕跡の再調査、地震研究所彙報、No.84、pp.229-240、2009
- 7) 島崎邦彦、岡村眞、松岡裕美、石辺岳男、小合溜における音波探査、地震研究所彙報、No.84、pp.267-270、2009
- 8) Shimazaki, K., H. Y. Kim, T. Chiba, K. Satake, Geological evidence of recurrence great Kanto earthquakes at the Miura Peninsula, J. Geophys. Res., 116, doi:10.1029/2011JB008639, 2011
- 9) Ishibe, T., K. Shimazaki, H. Tsuruoka, Y. Yamanaka, K. Satake, Correlation between the Coulomb Stress Changes Associated with Large Historical Earthquakes and Recent Seismic Activities: Effects of Large Historical Earthquakes on Background Seismicity Rate, Earth, Planets, Space, No.63, pp.301-314, 2011
- 10) 石辺岳男、西山昭仁、佐竹健治、島崎邦彦、南関東で発生した M7 級地震の既往研究とデータの整理－1894 年明治東京地震と 1895 年茨城県南部の地震、地震研究所彙報、No.84、149-182、2009
- 11) 石辺岳男、西山昭仁、佐竹健治、島崎邦彦、南関東で発生した M7 級地震の既往研究とデータの整理－1921 年茨城県南部の地震、1922 年浦賀水道付近の地震ならびに 1987 年千葉県東方沖地震、地震研究所彙報、No.84、pp.183-212、2009
- 12) 埋文関係救援連絡会議・埋蔵文化財研究会、発掘された地震痕跡、埋文関係救援連絡会議・埋蔵文化財研究会、大阪、p825、1996
- 13) 中田高、隈元崇、熊原康博、山中佳子、「形態単位モデル」による一括活動型活断層の設定と起震断層の再検討、活断層研究、No.24、pp.39-48、2004
- 14) 菊地正幸、EIC 地震学ノート (No93s) 2000 年 10 月 6 日鳥取県西部地震 (M7.3)、[http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo\\_Note/EIC\\_News/001006.html](http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/EIC_News/001006.html)、2000
- 15) Waldhauser, F. and W. L. Ellsworth, A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault, Bull. Seism. Soc. Am., No.90, pp.1353-1368, 2000
- 16) 活断層研究会編、新編日本の活断層、東京大学出版会、東京、p440、1991



発震時間	震央	深さ(km)	Mj	場所
1906/09/08 03:52	141.000 E 34.000 N	50.0	7.0	
	(×)東京[219 km] (×)水戸[288 km] (×)熊谷[280 km]			
1909/03/13 23:29	141.500 E 34.500 N	50.0	7.5	
	(○)東京[206 km] (×)水戸[228 km] (×)熊谷[265 km]			
1916/02/22 18:12	138.500 E 36.500 N	10.0	6.2	
	(×)東京[145 km] (×)水戸[177 km]			
1916/09/15 16:01	141.200 E 34.400 N	50.0	7.0	
	(×)東京[194 km] (×)水戸[229 km]			
1917/05/18 04:07	138.100 E 35.000 N	10.0	6.3	
	(×)東京[169 km] (×)水戸[264 km]			
1918/11/11 16:04	137.900 E 36.500 N	10.0	6.5	大町地震
	(×)東京[190 km] (×)水戸[231 km]			
1921/12/08 21:31	140.200 E 36.000 N	50.0	7.0	
	(×)水戸[49 km] (×)東京[53 km]			
1922/04/26 10:11	139.800 E 35.200 N	50.0	6.8	
	(×)東京[54 km] (×)水戸[144 km]			
1923/06/02 02:24	142.000 E 35.900 N	50.0	7.3	
	(×)水戸[147 km] (×)東京[204 km]			
1923/06/02 05:13	142.000 E 36.000 N	50.0	7.1	
	(×)水戸[144 km] (×)東京[205 km]			

図 1 本プロジェクトで収集した波形画像の公開 HP 例

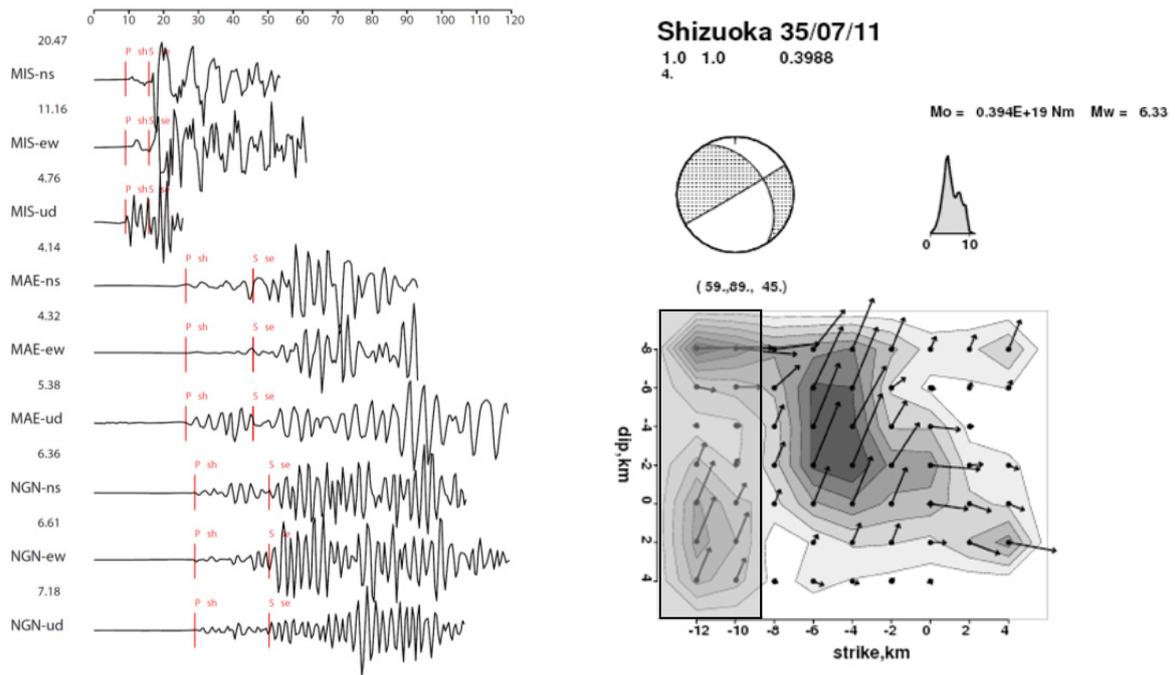


図2 本プロジェクトで収集し読み取った1935年静岡地震の波形記録（左）と強震計解析結果（右）。ハッチをつけた長方形で囲んだ部分は解像度の低い領域。

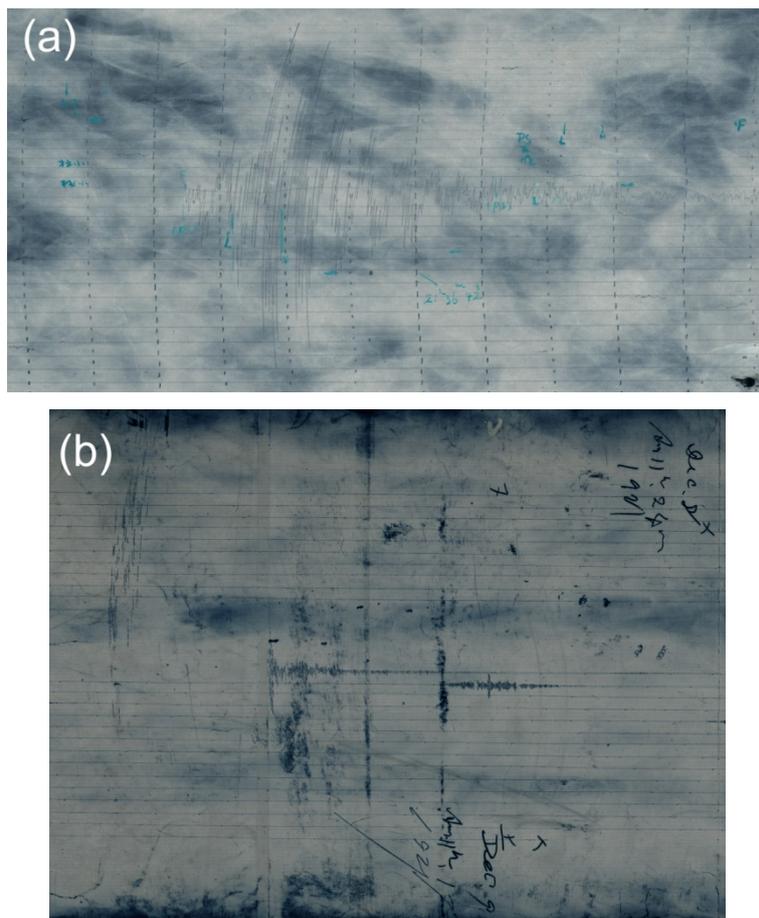


図3 1921年茨城県南部の地震のすず書き記録紙。(a) 水沢センターの大森式地震計南北動成分。(b) 東北大学向山観象所 Wiechert 上下動成分。記録紙全体を大型スキャナーで取り込み、本震部分を拡大して画像処理により白黒反転で表示。

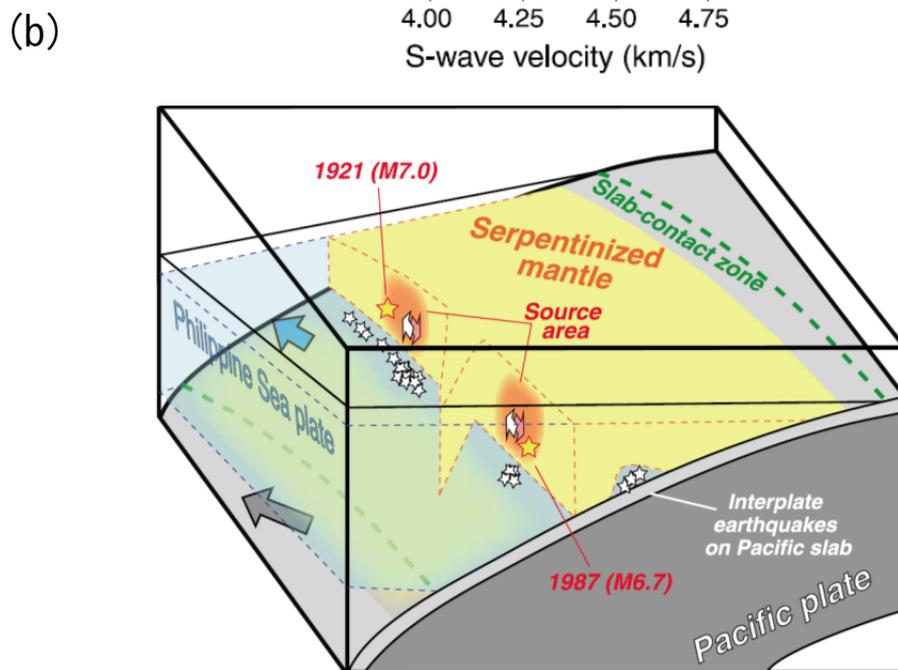
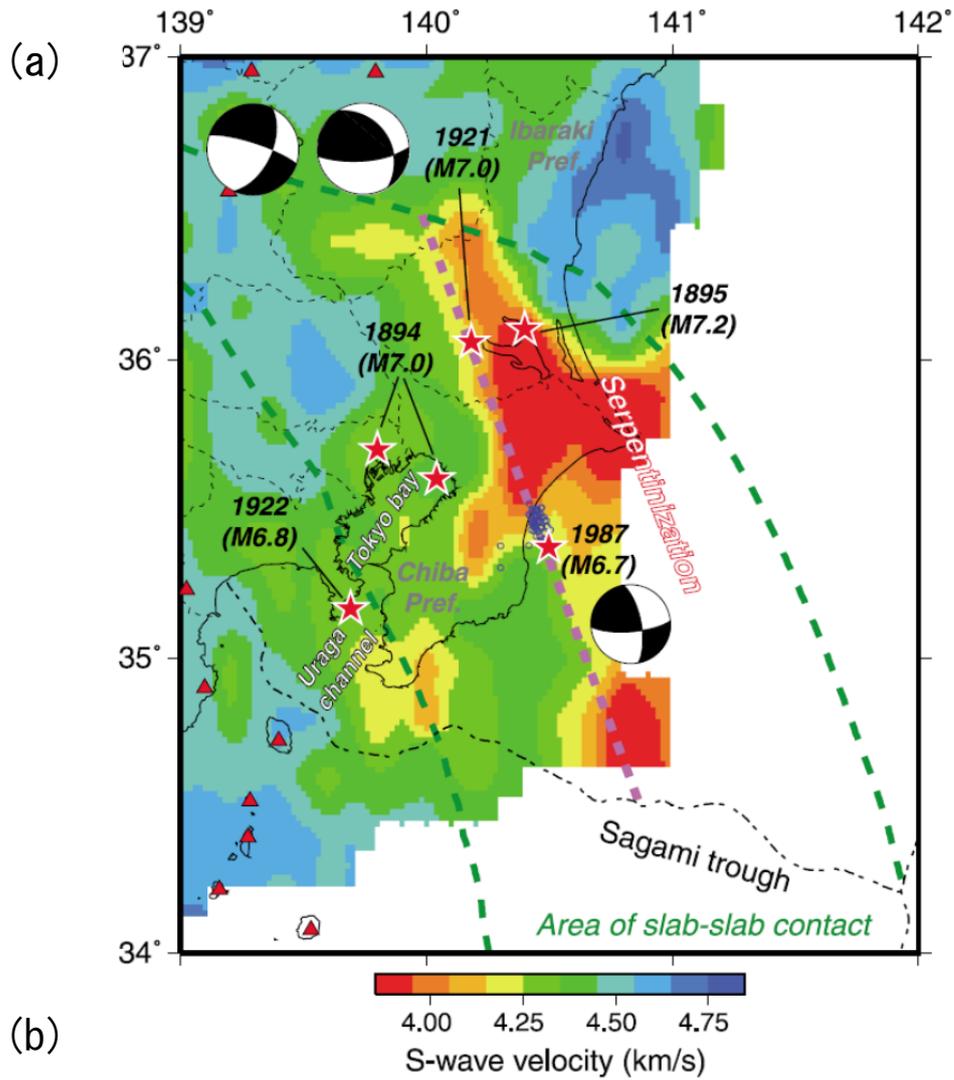


図4 (a) 太平洋プレート上部境界より 10 km 浅部の面に沿う S 波速度構造。茨城県南部から千葉県北東部にかけて分布する低速度域はフィリピン海プレート内部の蛇紋岩化領域。(b) フィリピン海プレート内部の蛇紋岩化領域と 1921 年茨城県南部の地震、1987 年千葉県東方沖の地震の関係の模式図。

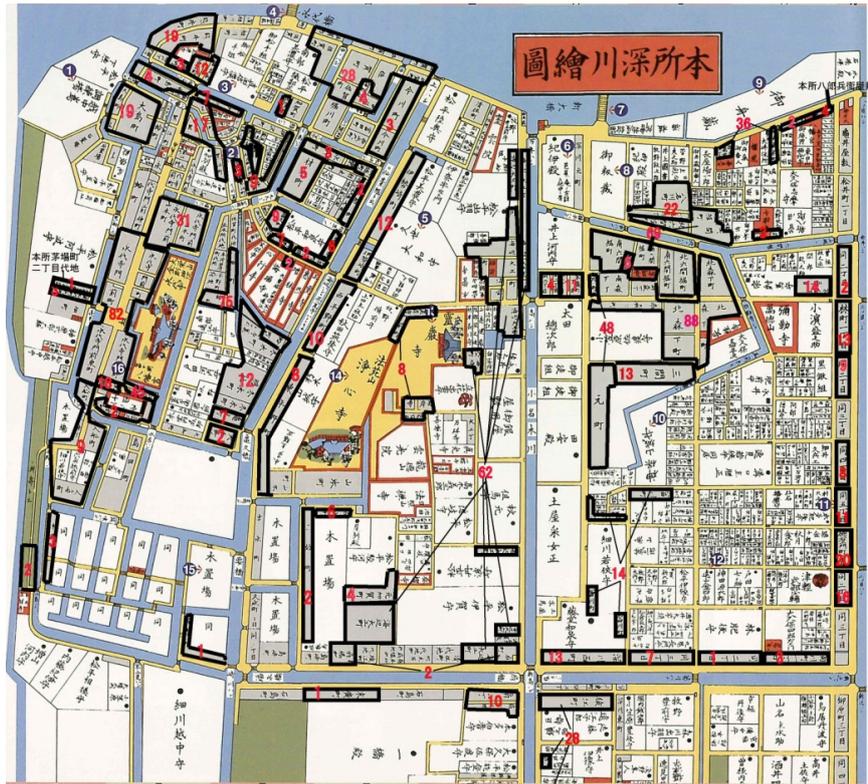


図5 1855年安政江戸地震による江戸町人地の死者数分布。『江戸切絵図』(原図番号19-1、本所深川繪図1)に対応(人文社刊『江戸東京散歩・切絵図現代図で歩く』)に加筆。

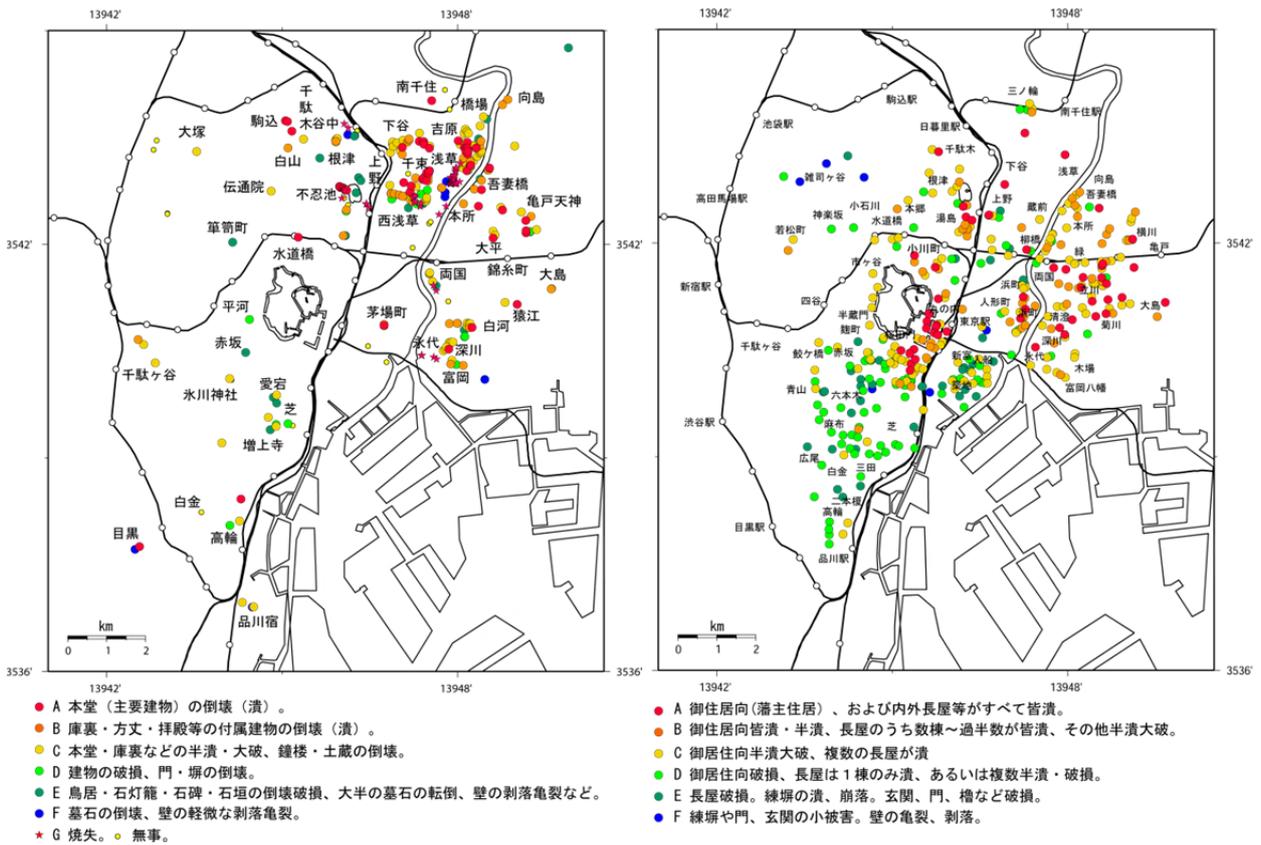


図6 (左) 1855年安政江戸地震による寺院の被害分布。(右) 1855年安政江戸地震による大名屋敷の被害分布。

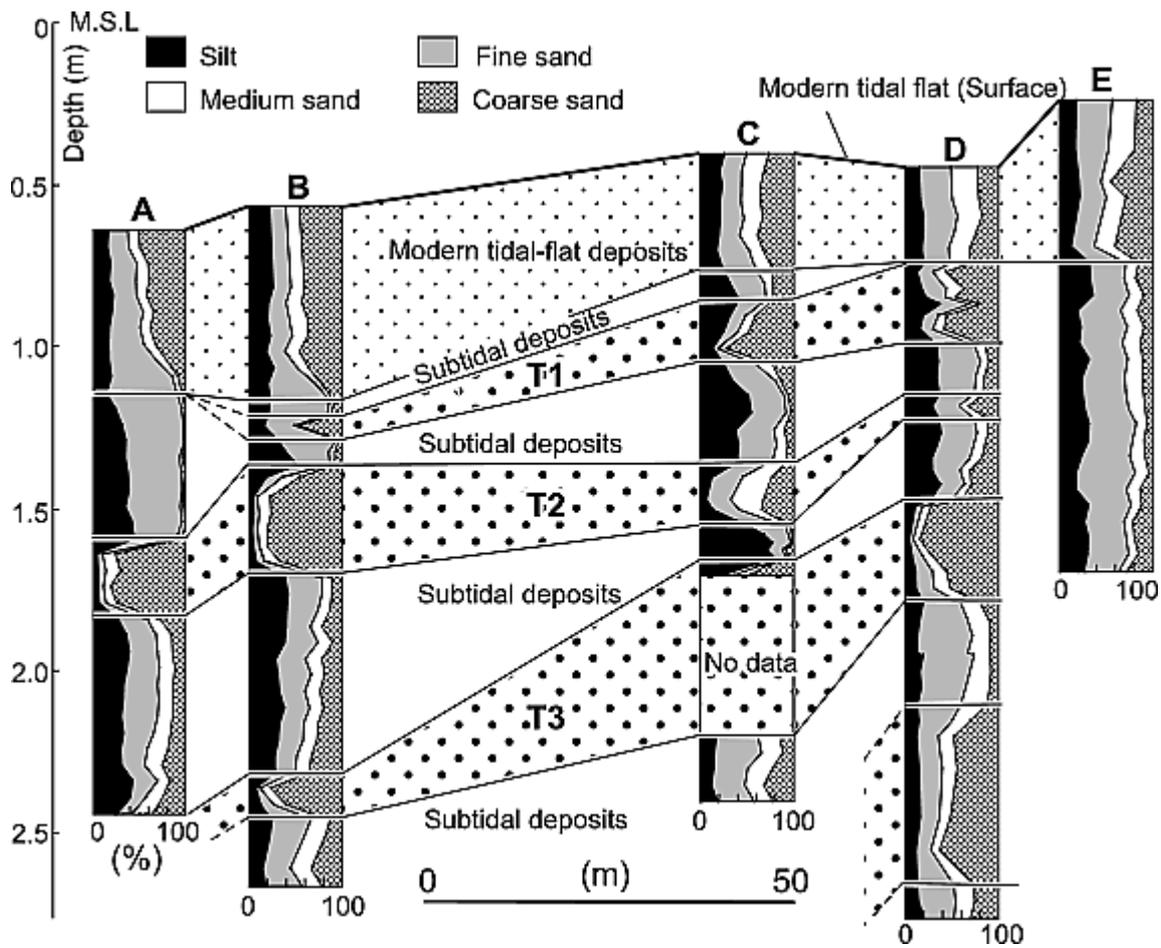


図7 三浦半島小網代湾で掘削したコアの地層。T1は大正関東地震、T2は元禄関東地震、T3はその前の関東地震による津波堆積物。

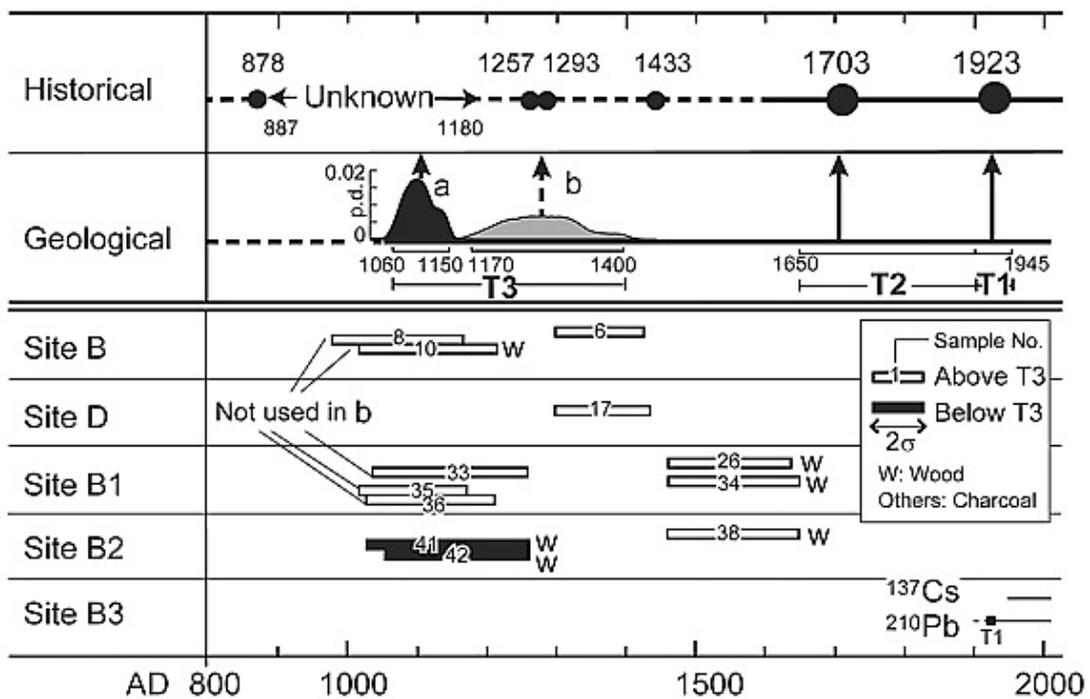


図8 小網代湾の津波堆積物及び歴史資料から推定される関東地震の履歴。

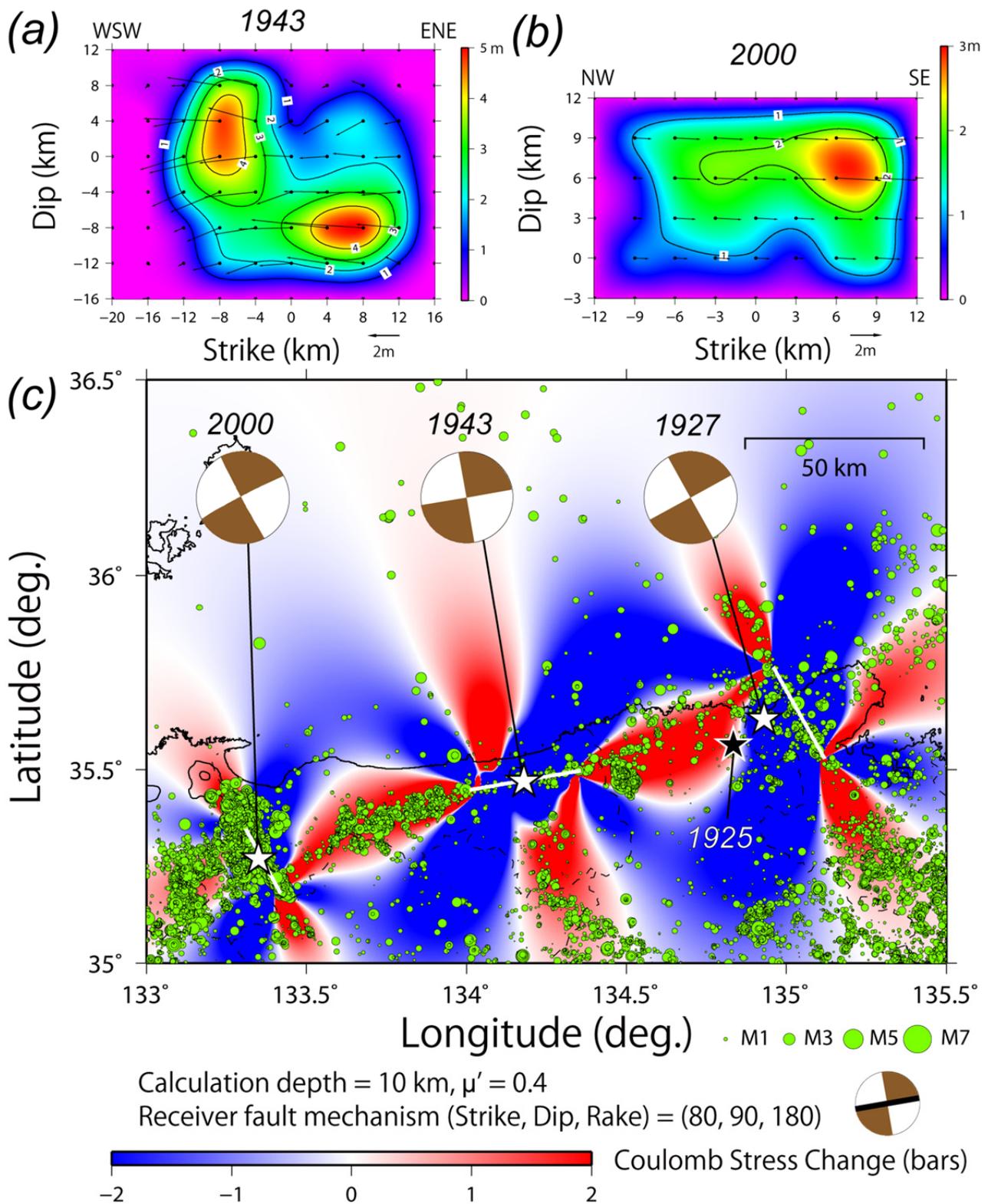


図9 (a) 1943年鳥取地震のすべり分布(中田・他、2004<sup>13)</sup>による)。(b) 2000年鳥取県西部地震のすべり分布(菊地、2000<sup>14)</sup>による)。(c) 1927年北丹後地震、1943年鳥取地震、2000年鳥取県西部地震による静的クーロン応力変化( $\Delta$ 鳥取県)と近年の地震の震央分布(1997年10月~2010年5月、気象庁一元化震源カタログによる)。

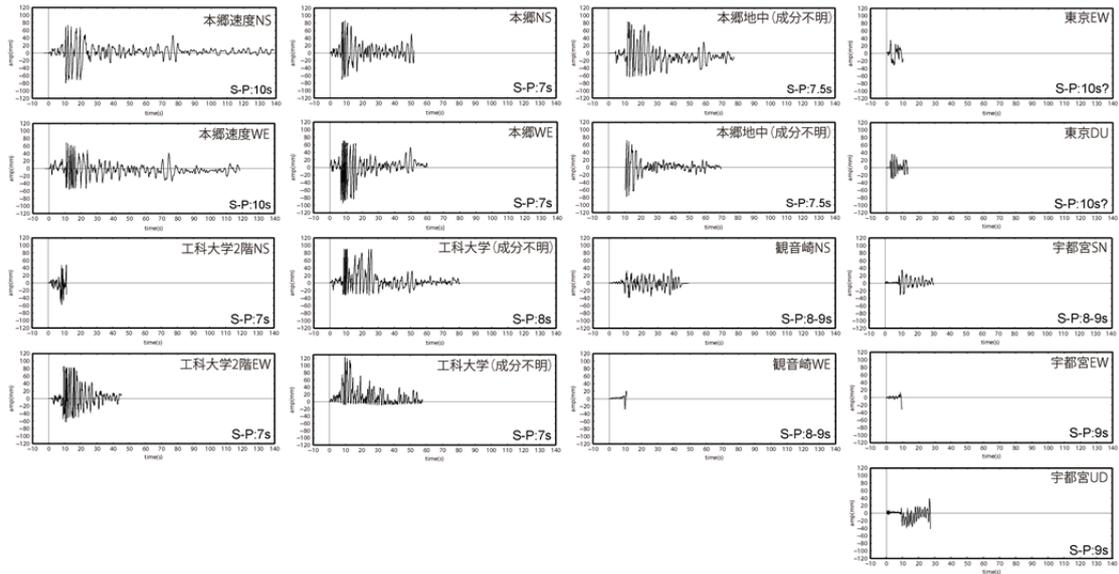


図 10 東京周辺で得られた 1894 年明治東京地震の地震波形記録と読み取った S-P 時間。観音崎、中央気象台の東京、宇都宮以外の観測点は円盤記録を復元。

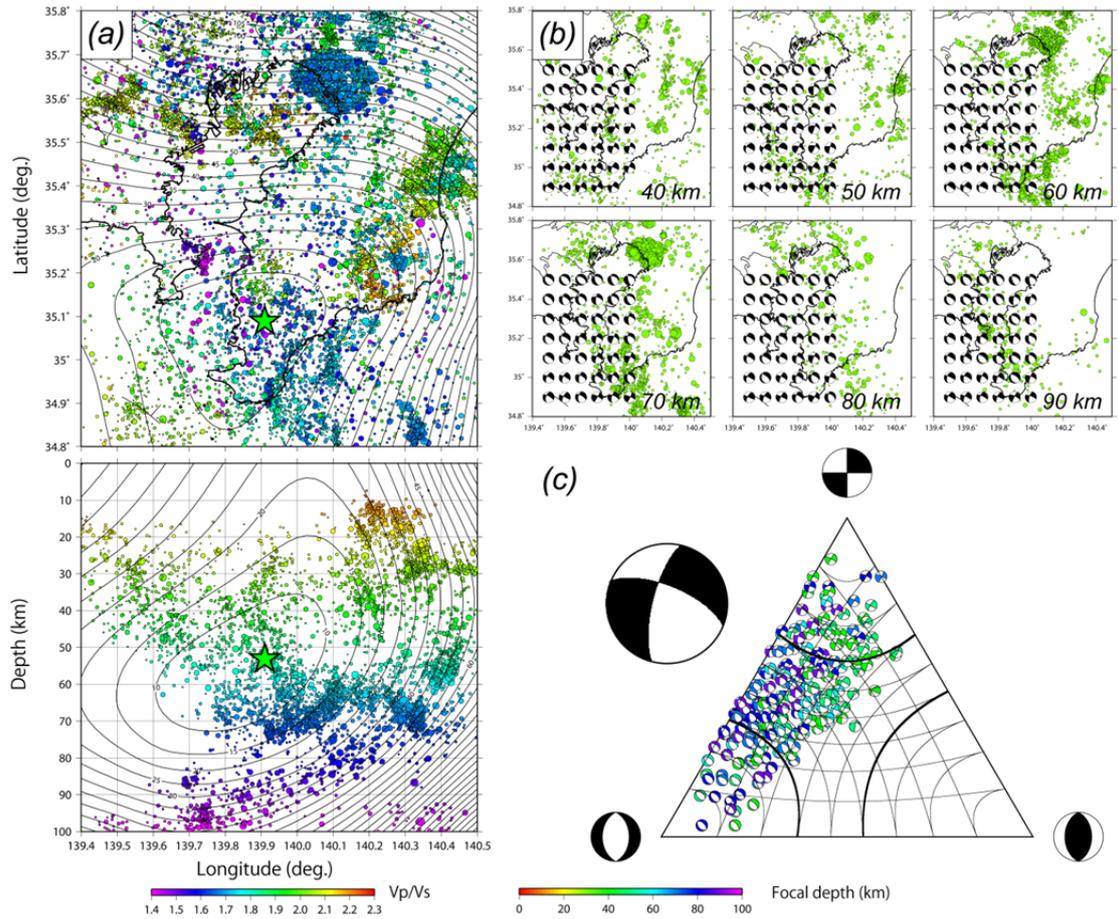


図 11 (a) S-P 時間による 1922 年浦賀水道付近の地震の震源 (緑星)。コンターは残差の二乗和を表す。丸は気象庁一元化震源の Double Difference 法 (Waldhauser and Ellsworth, 2000<sup>15)</sup>) による再決定震源。(b) 1922 年浦賀水道付近の地震の初動メカニズム解の震源位置による変化。(c) 1922 年浦賀水道付近の地震の初動メカニズム解 (左) と震源位置による変化の三角ダイアグラム表示 (右)。

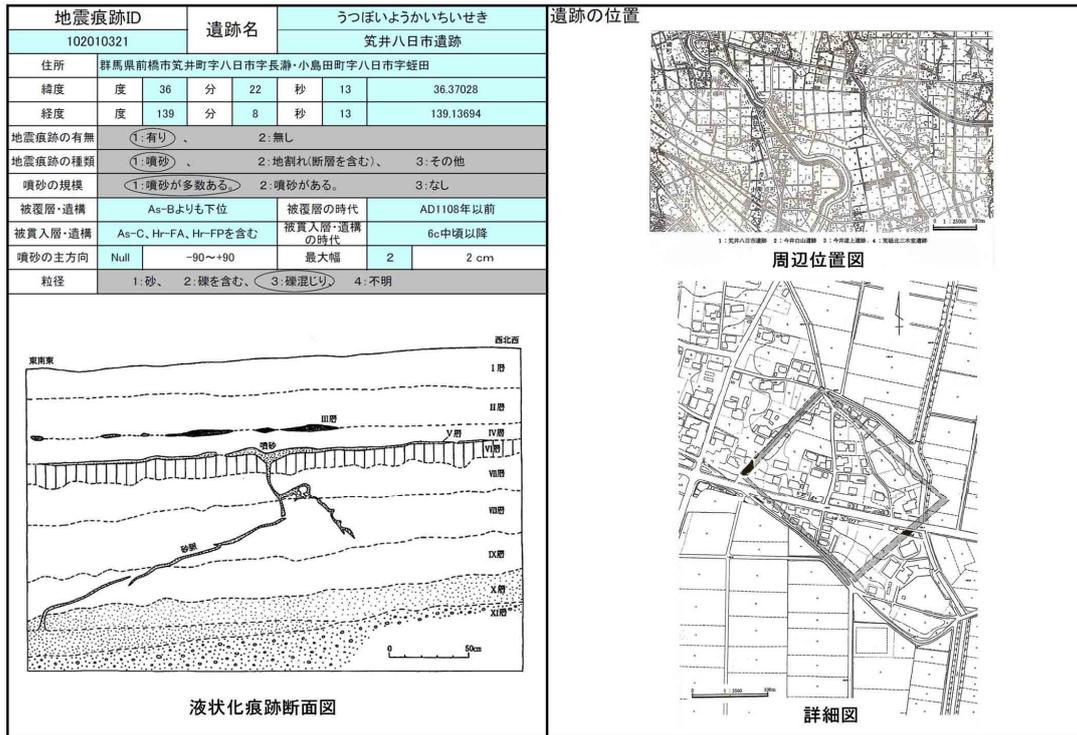


図 12 調査票の例（箕井八日市遺跡：群馬県前橋市）

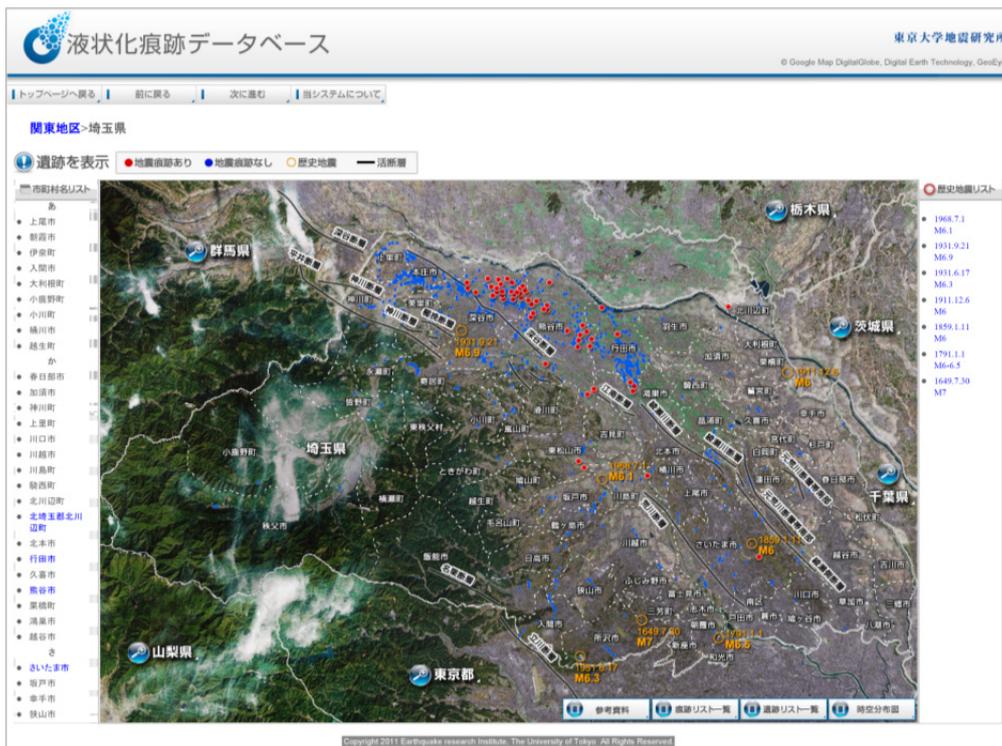


図 13 液状化痕跡データベースの画面（埼玉県）[赤丸：地震痕跡の報告があった遺跡、青丸：報告書を調査した遺跡、黒線：活断層線（地震調査研究推進本部）、黄丸：歴史地震（活断層研究会編、1991<sup>16</sup>）]