

安政江戸地震の被害記述に基づく谷根千界限での地震観測

石瀬素子^{*†}・酒井慎一^{**}

Seismic Observations around the Yanesen Area Based on Historical Descriptions of Damage from the Ansei-Edo Earthquake

Motoko ISHISE^{*†}, and Shin'ichi SAKAI^{**}

はじめに

広域の震度分布に見られる震度値の地域性は、震源特性・伝播経路特性・サイト増幅特性による影響の組み合わせの結果と考えられる。したがって、震源特性と伝播経路特性による影響に違いが生じないような狭い領域に限ってみると、地点間の震度の違いは、サイト増幅特性、すなわち表層地盤の違いを反映していると考えられる。このことは、歴史時代に発生した地震についてもあてはまるであろう。

対象とする地点のサイト増幅特性を表すひとつの情報が、表層地盤増幅率である。例えば、防災科学技術研究所の J-SHIS 地震ハザードステーションから公開されている表層地盤増幅率（防災科学技術研究所ウェブサイト、<https://www.j-shis.bosai.go.jp/map>）がその代表として挙げられ、将来発生する地震の備えを考える際の有用な情報と考えられている。ただし、その値は全国を均等に分割した 250 m メッシュ区画で与えられた微地形区分と関係しているため（藤原ほか, 2009）、一つのメッシュ区画内に複数の地形・地盤が含まれている場合もあり、地点によっては与えられた地形・地盤が実際とは異なっていることがある。したがって、J-SHIS の表層地盤増幅率は、必ずしもその地点の揺れやすさそのものを表わしている訳ではない。まさにその例であると考えられるのが、安政江戸地震の被害分布から推定された震度分布（宇佐美, 1995）に見られる「上野公園～谷中霊園」における推定震度の地域性である。

「上野公園～谷中霊園」は約 500 m 四方の領域であり、この領域を含む一帯は 250 m メッシュの微地形区分の「火

山灰台地」に分類されている（若松・松岡, 2020）。そのため、一帯の地盤増幅率（ $V_s=400$ m/s から地表までの増幅率）は同じ値（1.2～1.4）で与えられている。したがって、上野公園～谷中霊園の一帯においては、同一の地震に対する震度の明らかな違いは生じないと予測される。しかし、史料に基づく安政江戸地震の推定震度（宇佐美, 1995）は、上野公園周辺では震度 4 から 5 であるのに対し、天王寺のある谷中霊園周辺ではこれよりも 1～2 段階大きい震度 5 から 6 と推定されている（図 1）。なお、これと同様の震度の地域性は、宇佐美（1995）を見直した中村・松浦（2011）でも示されている。つまり、史料に基づく推定震度が正しいとすると、安政江戸地震の推定震度の地域性は、250 m メッシュの区分では捉えきれない規模の微地形属性の違いを反映していると考えられる。

一方で、歴史地震の震度は歴史資料に残された地震被害の記述を解釈することで得られるため、①史料の読み手（解釈）、②史料の書き手（注目点とその捉え方・書き記した目的）、③被害を受けた建造物（種類や地震前のその状態）などの影響により、推定震度の誤差は大きいと考えられる。したがって、J-SHIS で与えられているように上野公園周辺と谷中霊園周辺の地盤増幅率が同じであれば、安政江戸地震の際の両地点の推定震度の違いは上記の種々の不確定要素に起因した震度の推定誤差で説明できるのかもしれない。そうであるなら、現代の地震観測においては、両地点の震度の大きさの相対的關係は地震によらず同じになることが期待される。

このような背景の下、我々は安政江戸地震の震度分布に見られる上野公園周辺と谷中霊園周辺での震度の地域性が地下構造にあるのか、推定震度の誤差にあるのかの検討に着手した。本稿では、このうち、谷根千界限を対象とした史料の被害記述を参考にした臨時地震観測についての概要を報告する。

2022 年 11 月 1 日受付, 2022 年 11 月 16 日受理.

[†] ishise@eri.u-tokyo.ac.jp

^{*} 東京大学地震研究所地震予知研究センター

^{**} 東京大学大学院情報学環・学際情報学府

^{*} Earthquake Prediction Research Center, Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

^{**} Interfaculty Initiative in Information Studies, the University of Tokyo

臨時観測の概要

本臨時地震観測では、「地震計」・「データ収録装置（ロガー）」・「データ収録装置の補助電源」から構成される地震観測パッケージを用いた（地震計：Lennartz electronic 社製 LE-3DliteMkIII, ロガー：白山工業社製 LS-8800, 補助電源：単一乾電池 24 個収納可能な硬質ケース）。これは、一昨年度、本書に報告した石瀬ほか（2020）で実施した臨時地震観測と同じ機器の組み合わせである。地震計（LE-3DliteMkIII）は速度型地震計であり、振幅について 1 Hz よりも高周波側で一定になるような応答特性を持っている。Hi-net の機器特性との比較が石瀬ほか（2020）に示されているので参考にされたい。ロガーの電源は乾電池で賄われる。ロガー内に単一乾電池 8 個を詰めることができるが、これに加えて電池パックを使用することでより長期間継続して観測を実施することができる。本観測では、約 2 か月に一度の電池交換を行いながら観測を継続している。なお、データ収録装置と補助電源は防水硬質ケースに収納されており、屋外の観測にも対応可能となっている。

地震計の設置場所については、全て屋外である。設置方法は、数点を除き、地表に石板を敷いてその上に地震計を置き、石膏で固定した（図 2）。石膏を用いた設置は、固定力が強いにもかかわらず観測点撤収の際に現状復旧が容易であるため非常に便利である。ただし、長期間の観測で

は雨水や風化により固定が弱まってしまうため、石膏の打ち直しが必要となる。本観測においても、複数の地点において石膏の打ち直しの必要が生じた。

観測点の選択

本観測の目的は、史料の被害記述から推定された谷根千界限における安政江戸地震の震度（宇佐美, 1995; 中村・松浦, 2011）の地域性（図 1）の検証である。したがって、観測場所はこれらの研究で報告されている被害地点のうち、位置が特定できた被害地点から選定した。ただし、著者らによる史料の検証と分析の結果、前述の先行研究で報告されている被害地点には位置の修正が必要な地点が複数含まれていることが判明したため、図 1 のプロット場所には宇佐美（1995）の震度分布図と異なる地点が含まれている。加えて、揺れの地域性を把握するために、被害地点から選定された観測点の間を埋めるように観測点を増設することにした。

また、観測を実施していく中で、E.KEJ2 のシグナルが周辺にある観測点の記録と比べて常に小さいことが判明した。そこで、E.KEJ2 から 3m ほど離れたところに別の観測点（E.KEJ12）を設け、並行観測を行うこととした。加えて、石瀬ほか（2020）で課題としていた異なる設置方法による観測記録の違いを検証するために、地震研究所建物脇において石板を用いた地表設置の E.YYI1 と埋設設置の E.YYI2 を設けた。E.YYI1 と E.YYI2 の距離は 50 cm ほどである。なお、E.YYI1 と E.YYI2 は MeSO-net の弥生観測点（E.YYIM）の傍らに位置しており、本臨時観測の観測値と MeSO-net 記録された値との比較に活用することも考えている。

このようにして選定した本臨時地震観測の観測点分布を図 3 に示す。表 1 は観測点の詳細である。観測開始時期は観測点ごとに異なっているが、計 21 地点に地震計を設置した。このうち 11 地点では、2022 年 10 月現在も観測を

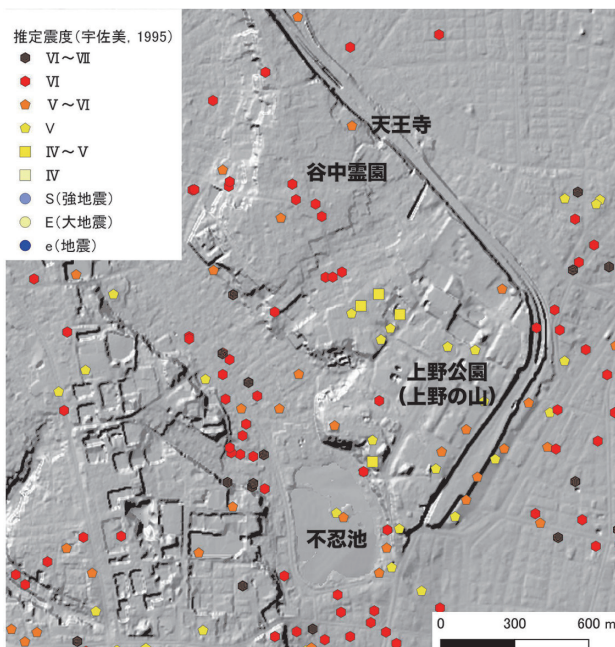


図 1. 宇佐美(1995)による 1855 年安政江戸地震の震度分布図。なお、当該データを整理する中で、位置に修正が必要な地点が複数含まれていることが分かった。これは、戦後の区画整理によって移転した寺院が多くあるが、その移転先の位置が用いられていたことが原因である。本図では、江戸時代の寺院の位置に修正したデータを使用している。



図 2. 石膏を用いた地震計の固定の様子を示す写真。観測点は E.KEJ4（清水観音堂）。

継続中である。これらの観測点は、2023年3月に撤収予定である。

観測記録と計測震度相当値の地域性

本臨時地震観測を開始した2020年9月4日から2021年

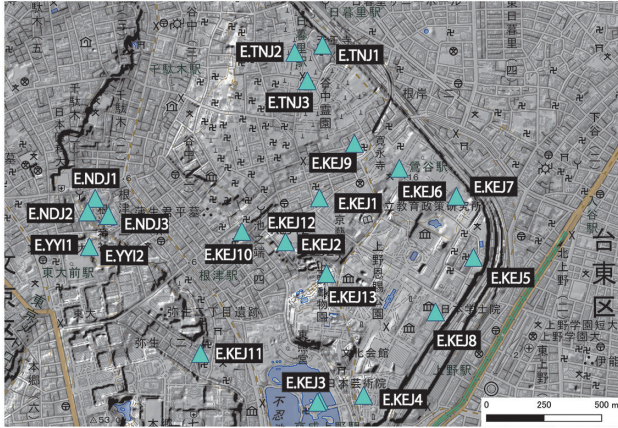


図 3. 本臨時観測で設置した観測点分布。背景は、陰影起伏図。E.EKEJ3 にシンボルが二つあるが、これは観測途中で設置場所を変えたため。E.EKEJ2 と E.EKEJ12 については、両地点が非常に近接しているためシンボルが重なっている。

10月31日までの約1年の間に、東京都大手町で震度1以上を観測した地震が64個発生した。そこで、これらの波形とスペクトルを確認するとともに、計測震度相当値を算出し、現代の地震による谷根千界隈の震度の地域性について検討した。なお、速度型地震計の記録を用いた計測震度相当値の算出は、石瀬ほか（2020）に記した要領で実施した。

観測されたデータの例として、2021年2月6日14時10分ごろに発生した千葉県北西部の地震（深さ70km, M_{JMA} 4.3, 最大震度2, 大手町での震度2）の地震の波形記録を示す（図4a）。この地震では、本臨時観測網の19点でその波形が取得された。併せて、波形記録から算出された計測震度相当値を用いた震度分布を図4bに示す。千葉県北西部は安政江戸地震の震源地の一つの候補とされているが（例えば、佐藤, 2016）、この地震においては、臨時観測点内における明らかな揺れの地域性はみられない。図5aは、気象庁による震源が図4に示した地震とほぼ同じ位置で、2020年10月28日15時58分ごろに発生した千葉県北西部の地震（深さ69km, M_{JMA} 4.4, 最大震度3, 大手町での震度2）の計測震度相当値の分布である。この地震については、谷中霊園周辺の計測震度相当値は上野公園周辺での値に比べて大きくなっている。図5bに示した計測震度

表 1. 本研究で設置した臨時地震観測点のリスト。E.EKEJ3 は途中で設置場所を移動させたため、移動前の位置をカッコ付で記載している。

エリア	観測点名	観測点コード	チャンネルID	設置日	撤収日	設置方式※	北緯 (°)	東経 (°)	標高 (m)
根津神社	本社裏	E.ENDJ1	F001, F002, F003	2020/9/1	2021/3/23	B	35.72042	139.76067	8.2
	つつじ丘	E.ENDJ2	F004, F005, F006			B	35.71989	139.76030	14.8
	池北側	E.ENDJ3	F007, F008, F009			A	35.71975	139.76130	7.4
天王寺	蔵脇	E.TNJ1	F00A, F00B, F00C	2020/9/4	2021/3/29	B	35.72639	139.77158	16.8
	代々墓	E.TNJ2	F00D, F00E, F00F			A	35.72610	139.77024	18.8
	矢部家墓	E.TNJ3	F010, F011, F012		2021/3/29	A	35.72500	139.77085	18.5
寛永寺	圓珠院	E.EKEJ1	F013, F014, F015	2020/9/12		A	35.72044	139.77143	16.3
	上野高校	E.EKEJ2	F016, F017, F018	2020/9/23	2022/2/28	B	35.71873	139.76980	16.7
	辨天堂	E.EKEJ3	F019, F01A, F01B	2020/9/24	2022/2/25	B	35.71254 (35.71248)	139.77143 (139.77132)	5.3
	清水観音堂	E.EKEJ4	F01C, F01D, F01E			B	35.71275	139.77355	19.4
	元光院	E.EKEJ5	F01F, F020, F021			A	35.71812	139.77882	19.8
	光明閣	E.EKEJ6	F022, F023, F024	2020/9/25		B	35.72159	139.77526	16.9
	徳川家ご霊廟前	E.EKEJ7	F025, F026, F027			A	35.72050	139.77800	16.1
	国立科学博物館	E.EKEJ8	F028, F029, F02A	2020/10/26		A	35.71600	139.77700	17.5
	浄名院	E.EKEJ9	F02B, F02C, F02D	2020/12/8		B	35.72256	139.77311	14.9
	天眼寺	E.EKEJ10	F02E, F02F, F030			A	35.71913	139.76771	7.3
	正慶寺	E.EKEJ11	F031, F032, F033			A	35.71438	139.76572	7.2
	上野高校地表	E.EKEJ12	F03A, F03B, F03C	2021/3/24	2022/2/28	A	35.71873	139.76980	16.7
	藤堂家墓所	E.EKEJ13	F03D, F03E, F03F	2021/6/18		B	35.71749	139.77177	13.0
弥生	地震研 (石板使用)	E.YYI1	F034, F035, F036	2020/12/4		A	35.71854	139.76039	21.4
	地震研 (埋設)	E.YYI2	F037, F038, F039		2021/5/19	C	35.71854	139.76039	21.4

※A：石板に接着。B：既存のコンクリート上に接着。C：埋設。

(a)

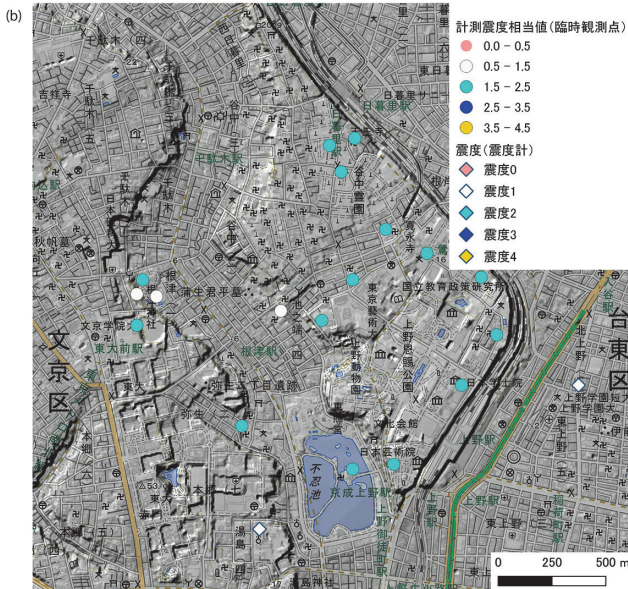
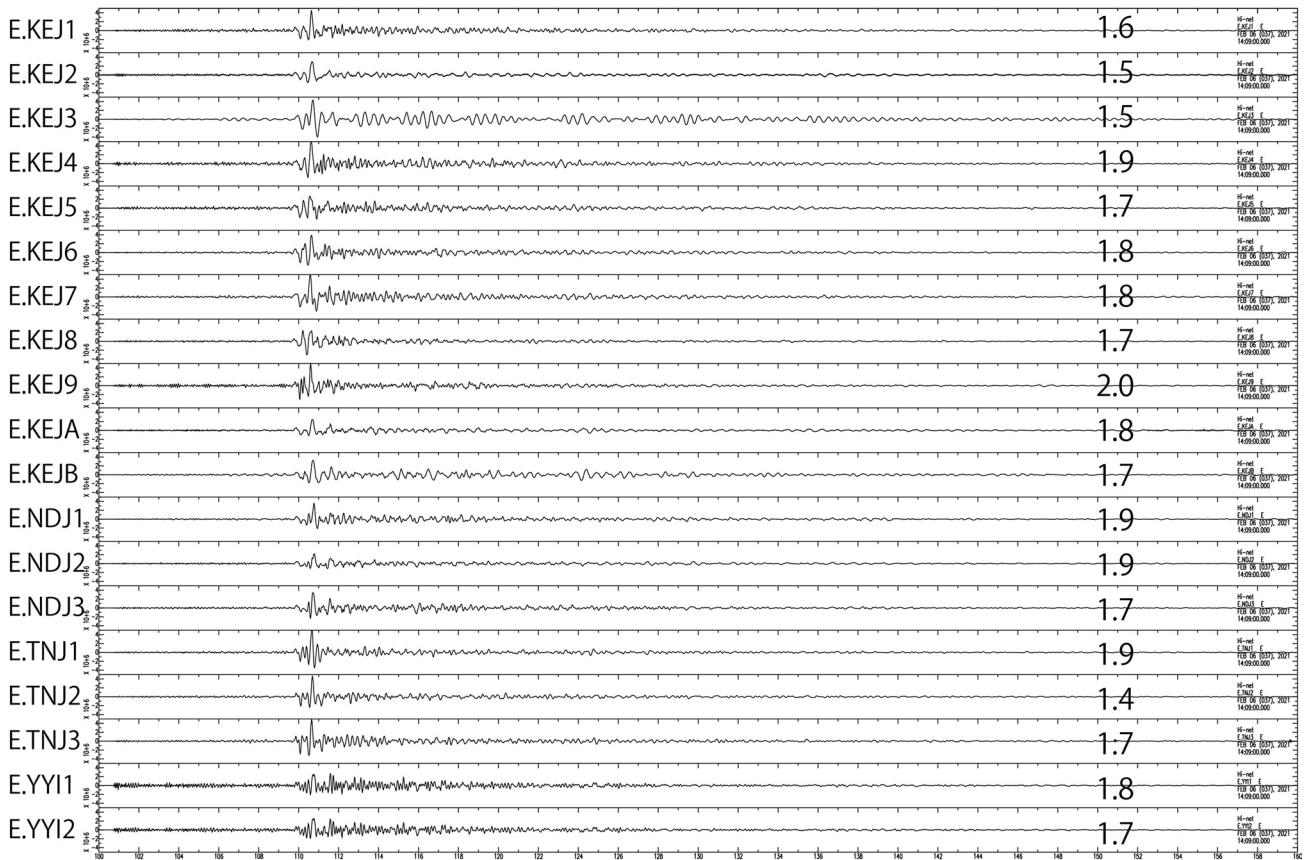


図 4. 2021 年 2 月 6 日 14 時 10 分ごろに発生した千葉県北西部 (深さ 70 km, M_{JMA} 4.3) の地震の地震波形の東西成分 (a) と計測震度相当値および気象庁震度の分布図 (b). (a) に記された数値は、本臨時観測で得られた波形データを用いて算出された計測震度相当値. (b) 丸型のシンボルは本臨時観測で得られた計測震度相当値, ダイア型のシンボルは気象庁震度計による震度値を示す. プロットの無い箇所は欠測等により計測震度相当値が求まっていない.

設置方法による観測記録の違い

本臨時観測と同じ機器を用いた石瀬ほか (2020) の臨時地震観測では計 27 地点での観測を行なったが、地震計を埋設置した地点と地表設置した地点とが入り混じっており、設置方法が記録に与える影響の有無については未解決であった。

ここでは、設置方法の異なる E.YYI1 (地表で石板上に固定) と E.YYI2 (埋設) の記録を用いて、埋設した地震計と地表に設置した地震計での記録の違いを検討した。使用したのは 25 地震である (表 2)。観測波形記録を用いて計測震度相当値を算出し、両地点の震度の違い、両地点の震度差とマグニチュード、および震央距離との関係について調べた (図 6)。基本的には、地表設置の計測震度相当値の方が埋設した地震計記録を用いた場合よりも値が大きくなる。しかし、その差は最大で 0.1 に満たない。図 7 は、

相当値の分布も、千葉県北西部の地震 (発震時: 2021 年 1 月 22 日 7 時 4 分ごろ、深さ 69 km, M_{JMA} 4.1, 最大震度 1, 大手町での震度 1) から得られたものである。この地震によって生じた当該地域の揺れは小さいが、上野公園の中央部の揺れが周囲よりも大きいという計測震度相当値の地域性が見られる。

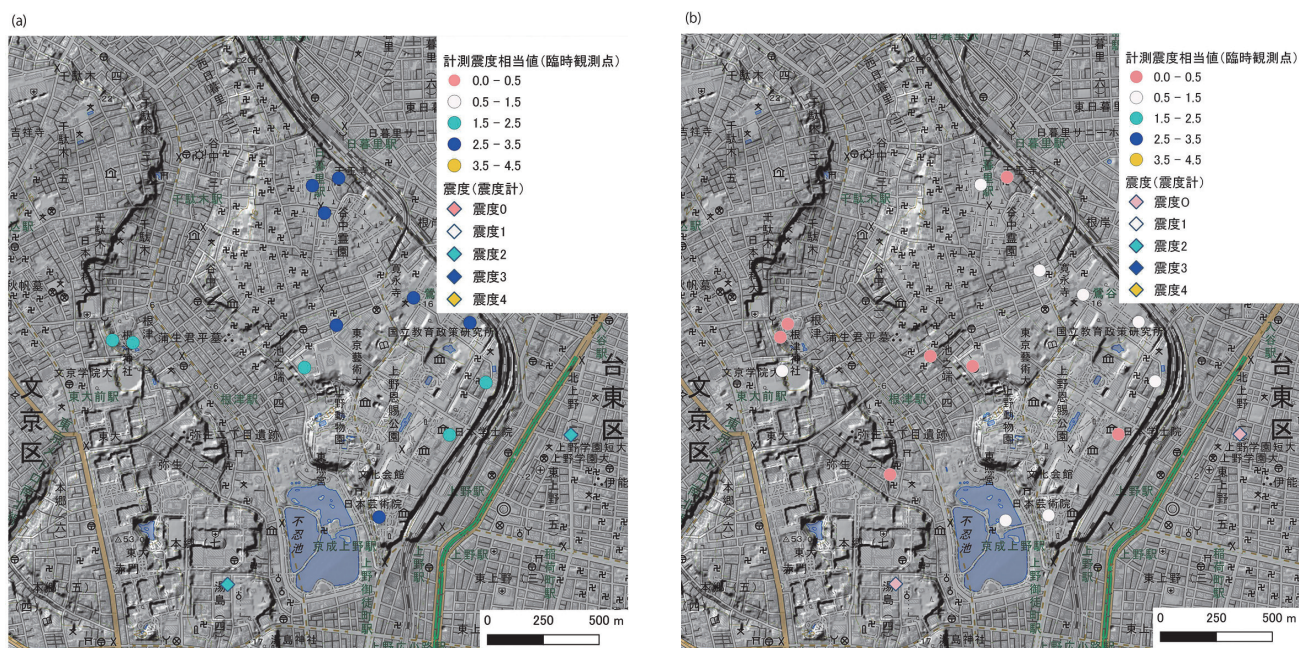


図 5. (a) 2020 年 10 月 28 日 15 時 58 分ごろに発生した千葉県北西部（深さ 70 km, M_{JMA} 4.4）の地震の計測震度相当値の分布図。シンボルの説明は図 4b と同じである。(b) 2020 年 1 月 22 日 7 時 4 分ごろに発生した千葉県北西部の地震（深さ 69 km, M_{JMA} 4.1）の計測震度相当値の分布。シンボルの説明は図 4b と同じ。

表 2. E.YYI1 と E.YYI2 の観測記録の比較に使用した 25 地震の震源情報。

地震の発生日	地震の発生時刻	震央地名	震源位置			M_{JMA}	最大震度	大手町の震度
			緯度(°)	経度(°)	深さ(km)			
2021.05.14	18:37'59.2"	東京都23区	35.6583	139.6417	72	4.1	震度 2	震度 1
2021.05.14	08:58'14.2"	福島県沖	37.6983	141.7617	46	6.3	震度 4	震度 2
2021.05.01	10:27'26.9"	宮城県沖	38.1733	141.7400	51	6.8	震度 5 強	震度 3
2021.04.21	02:39'58.6"	長野県中部	36.3100	138.6117	165	4.6	震度 2	震度 1
2021.04.18	09:29'11.2"	宮城県沖	38.3167	141.8633	48	5.8	震度 4	震度 2
2021.03.28	09:26'55.8"	八丈島東方沖	33.6517	140.4183	55	5.6	震度 3	震度 2
2021.03.22	00:30'51.7"	千葉県北西部	35.6567	140.1033	70	3.7	震度 1	震度 1
2021.03.20	18:09'44.8"	宮城県沖	38.4667	141.6267	59	6.9	震度 5 強	震度 3
2021.03.16	04:56'18.1"	茨城県南部	36.1533	139.8183	54	4.9	震度 4	震度 2
2021.02.27	10:37'19.9"	埼玉県南部	36.0033	139.6333	56	3.5	震度 1	震度 1
2021.02.24	09:54'20.8"	千葉県南部	35.0667	139.9500	66	3.2	震度 1	震度 1
2021.02.14	16:31'50.2"	福島県沖	37.5167	141.4283	50	5.2	震度 4	震度 1
2021.02.13	23:51'42.5"	福島県沖	37.6550	141.6400	56	5.2	震度 3	震度 1
2021.02.13	23:07'50.5"	福島県沖	37.7283	141.6983	55	7.3	震度 6 強	震度 4
2021.02.06	14:10'28.4"	千葉県北西部	35.8017	140.0867	70	4.3	震度 2	震度 2
2021.02.06	12:50'47.5"	東京湾	35.4650	139.9333	111	3.6	震度 1	震度 1
2021.02.02	03:01'56.3"	栃木県北部	36.6450	139.4183	7	4.0	震度 4	震度 1
2021.01.22	07:04'24.0"	千葉県北西部	35.6750	140.1533	69	4.1	震度 1	震度 1
2021.01.15	22:38'17.8"	三重県南東沖	33.8900	137.2850	364	5.3	震度 2	震度 2
2020.12.30	09:35'28.3"	茨城県沖	36.4500	140.6167	56	5.2	震度 4	震度 3
2020.12.21	02:23'21.5"	青森県東方沖	40.6150	142.6917	43	6.5	震度 5 弱	震度 1
2020.12.18	18:09'56.6"	新島・神津島近海	34.4867	139.3033	11	5.0	震度 5 弱	震度 1
2020.12.17	16:42'44.2"	茨城県南部	36.0567	139.9367	45	4.6	震度 4	震度 2
2020.12.07	01:06'48.5"	茨城県南部	35.9400	140.1150	63	3.5	震度 1	震度 1
2020.12.06	13:06'50.8"	八丈島東方沖	33.5883	141.1533	63	5.0	震度 1	震度 1

埋設設置と地表設置の観測点で得られた波形とスペクトルの比較の例を示しているが、両者に顕著な違いは見られない。以上より、波形、スペクトル、計測震度相当値のい

れにおいても、地震計の設置方法の違いによる観測記録の違いは大きくはないことが確かめられた。

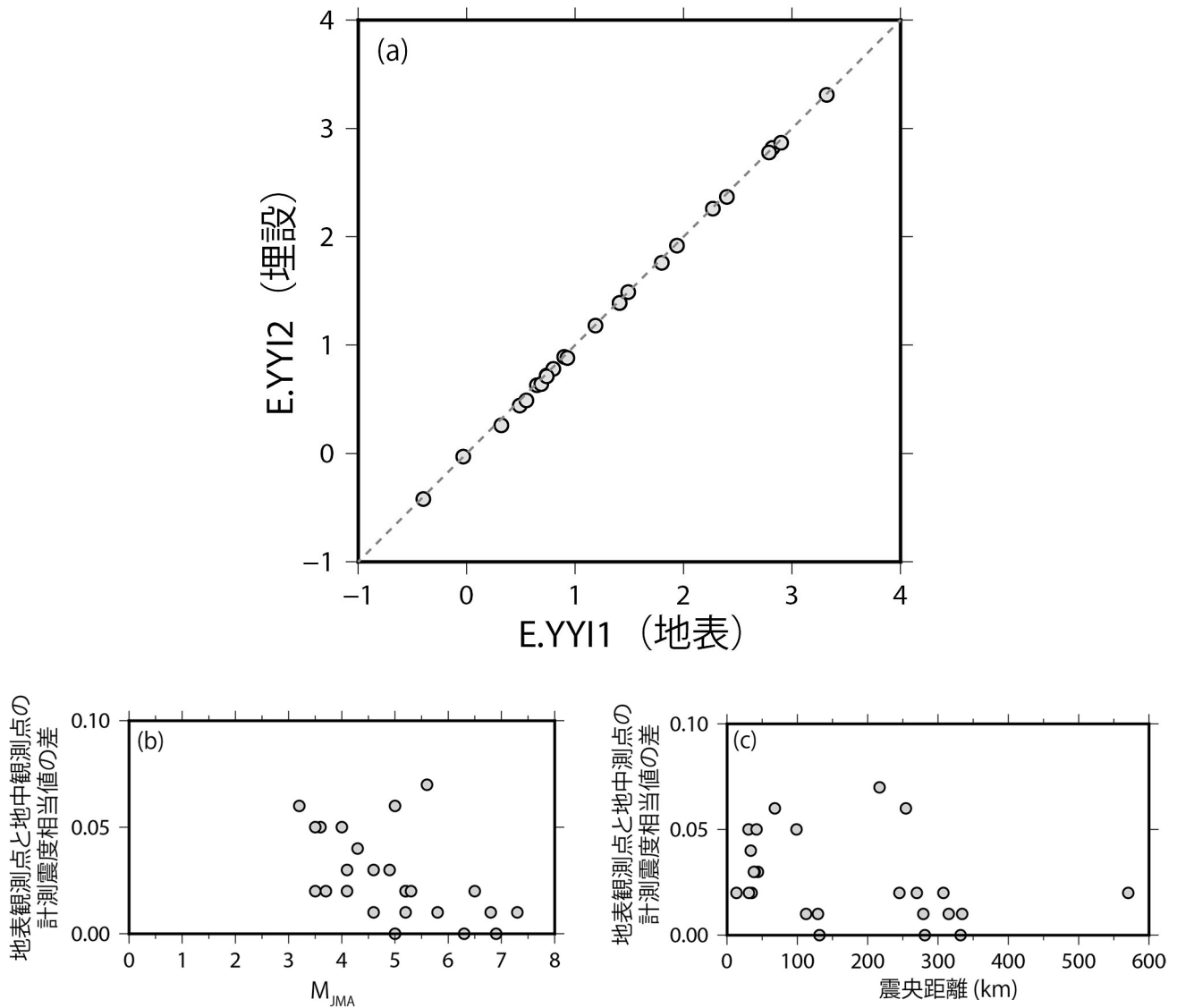


図 6. (a) 25 地震についての E.YYI1 (地表設置) と E.YYI2 (埋設置) の計測震度相当値の比較. 灰色の波線は, E.YYI1 の震度と E.YYI2 の震度が 1 : 1 の関係を示す. (b) 解析した地震のマグニチュードに対する E.YYI1 と E.YYI2 の計測震度相当値の差. (c) 解析した地震イベントの震央距離に対する E.YYI1 と E.YYI2 の計測震度相当値の差.

ま と め

1855 年安政江戸地震の推定震度分布 (宇佐美, 1995) に見られる地域性を検証する目的で, 谷根千地域において臨時地震観測を実施した. また, 本臨時観測において, 地震計の設置方法の違い (石板を用いた地表設置と埋設置) による観測記録の違いについても検討を行った. 地震計の設置方法による記録の違いについては, 石板を用いて地表に設置した場合も埋設置した場合もほぼ同じ記録が得られていることを確認できた. 計測震度相当値で比較すると, 地表設置の方が大きい, その差は 0.1 にも満たない. 震度分布の地域性については, 大手町の気象庁観測点で震度 1 以上を観測した 64 地震について, 本臨時観測で取得した地震波形データを用いて計測震度相当値を計算した. この

うち, 千葉県北西部の深さ 70 km 付近を震源とする 3 地震に特に注目して安政江戸地震の推定震度分布に見られた天王寺周辺と上野公園周辺における震度の地域性について検討を行った. その結果, 安政江戸地震の推定震度に見られる天王寺と上野公園周辺での震度の地域性は, 常には観測されないことが, 本地震観測によって示された. このことは, 震源位置や発震機構のわずかな違いが震度分布に反映されるということを示している. 現代の地震観測による震度分布のパターンを分類し, かつ歴史地震の推定震度に含まれている種々の不確実要素 (書き手の主観・読み手の主観・被害を受けた建造物の元々の状態) の影響を何らかの方法で取り除くことができれば, 震源の違いによる震度分布のパターンの違いを利用して歴史地震の震源像の解明に繋がると期待される.

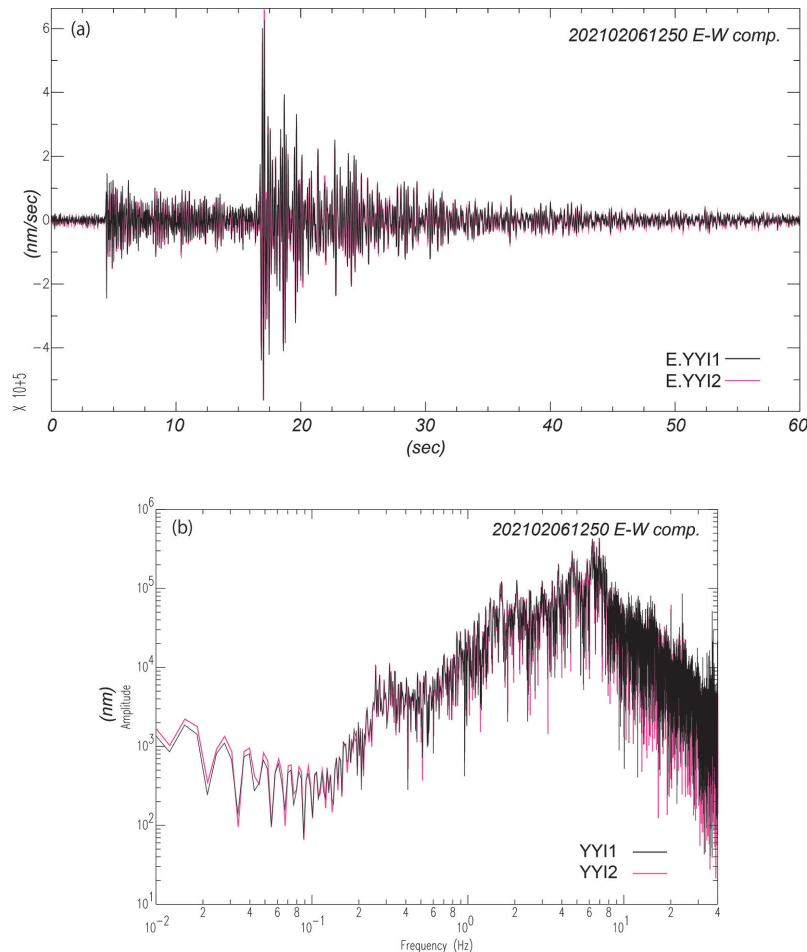


図 7. 2021 年 2 月 6 日 12 時 50 分ごろに東京湾で発生した地震（深さ 111 km, M_{JMA} 3.6）の E.YY11 と E.YY12 で観測された東西成分の (a) 波形の比較と (b) スペクトルの比較. 黒線が E.YY11 の記録, 桜色が E.YY12 での記録を示す.

謝 辞：本報告で使用した震度データは、地震研究所共同利用特定機器を使用して得られました（共同利用コード 2020M07, 2020M08, 2021M07, 2021M08）. 計測震度を算出する際には、工学院大学久田嘉章博士の計測震度計算プログラム shindox.f（久田研究室ウェブサイト, <http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Open/JMA-Intensity/>）を一部改造して使用させていただきました. 本報告の図の一部は、GMT (Wessel *et al.*, 2013) および QGIS (<http://www.qgis.org>) を使用しました. また、国土地理院の陰影起伏図（地理院タイル）のデータ（国土地理院ウェブサイト, <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>）に観測点などを追記して掲載しています.

地震観測では、寛永寺執事であり寒松院の宮部亮侑氏、元光院、光明閣、辯天堂、清水観音堂、圓珠院、天王寺の山口興順氏、根津神社、天眼寺、浄名院、正慶寺、国立科学技術博物館の室谷智子博士、上野高校、上野動物園及びその関係者の皆様には大変お世話になりました. ここに記して感謝申し上げます. また、中村亮一博士には観測点の設置やメンテナンスの多くにご同行いただきました. 加え

て、平田直博士と中川茂樹博士にもメンテナンスにご協力いただきました. 最後に、本報告をまとめるにあたり、技術研究報告編集委員会と塩原肇教授および匿名の査読者から有益なご指摘をいただきました. 関係者の皆様に心より感謝いたします.

文 献

- 防災科学技術研究所ウェブサイト, J-SHIS 地震ハザードステーション, <https://www.j-shis.bosai.go.jp>, (参照 2022-09-16).
 藤原広行・河合伸一・青井 真・森川信之・先名重樹・工藤暢章・大井昌弘・はお憲生・若松加寿江・石川 裕・奥村俊彦・石井透・松島信一・早川 譲・遠山信彦・成田 章, 2009, 全国地震動予測地図作成手法の検討, 防災科学技術研究所研究資料, **336**, 1-415, doi: 10.24732/nied.00001950.
 久田研究室ウェブサイト, 久田研究室による公開プログラム・データリスト, 計測震度計算プログラム, shindox.f, <http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Open/JMA-Intensity/>, (参照 2022-11-19).
 石瀬素子・中村亮一・酒井慎一, 2020, 速度型地震計を用いた計測震度相当値の見積もり: 臨時地震観測データの活用, 震研技報, **26**, 20-30, doi: 10.15083/0002000902.
 気象庁ウェブサイト, 震度データベース検索, <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html>, (参照 2022-12-

- 16).
- 国土地理院ウェブサイト, 地理院タイル一覧, <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>, (参照 2022-11-19).
- 中村 操・松浦律子, 2011, 1855 年安政江戸地震の被害と詳細震度分布, 歴史地震, **26**, 33-64.
- QGIS, <https://www.qgis.org/en/site/>, (参照 2022-11-19).
- 佐藤智美, 2016, 経験的グリーン関数法に基づく 1855 年安政江戸地震の広帯域震源モデルと首都圏及び広域での強震動の推定, 日本建築学会構造系論文集, **81**, 1423-1433, doi : 10.3130/aijs.81.1423.
- 宇佐美龍夫, 1995, 「安政江戸地震の精密震度分布図」, 185 頁.
- 若松加寿江・松岡昌志, 2020, 地盤分類 250 m メッシュマップの更新, 日本地震工学会誌, **40**, 24-27.
- Wessel, P., W.H.F. Smith, R. Scharroo, J. Luis and F. Wobbe, 2013, Generic Mapping Tools: Improved version released, *EOS Trans.*, **94**, 409-410, doi : 10.1002/2013EO450001.