

3.3.5 過去地震の類別化と長期評価の高度化に関する調査研究

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

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、やや深発地震についてクーロン応力変化(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する。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る。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する。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、地震調査委員会が「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する。

(b) 平成21年度業務目的

M7級地震の資料について収集を行う。首都直下で発生したM7級の地震の類型化には、プレート境界と震源の深さの位置関係が重要な判断材料となるため、新たな速度構造モデルを用いて最近の地震の震源再決定を行い、これらに基づき1921年茨城県南部の地震(M7.0)、1895年茨城県南部の地震(M7.2)などの震源の深さを推定する。

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学地震研究所	教授	佐竹健治	
東京大学地震研究所	特任研究員	石辺岳男	

(2) 平成21年度の成果

(a) 業務の要約

- 1885年以降に南関東で発生したM7級地震について、既往研究とデータの整理を実施した。
- 新たな速度構造モデルを用いて最近の地震の震源再決定を行った。
- 1895年茨城県南部の地震(M7.2)、1921年茨城県南部の地震の震源深さを推定した。

(b) 業務の成果

- 1885年以降に南関東で発生したM7級地震に対する既往研究とデータの整理
首都機能が集中する南関東は、太平洋プレート(以下、PACと略記)およびフィリピン海プレート(以下、PHSと略記)が陸のプレートの下に沈みこむ複雑なテクトニクス下にあり、明治期以降にも、1894年明治東京地震や1923年大正関東地震(Matsu'ura et al., 1980¹⁾など、1931年西埼玉地震(Abe, 1974²⁾など)などの多くの被害地震を経験してきた。首都圏直下で発生する地震は、(1)地表近くの活断層で発生する地震(1931年西埼

玉地震など)、(2) PHS 上面に沿うプレート境界型地震(1923 年大正関東地震など)、(3) PHS 内部で発生する地震(1987 年千葉県東方沖地震〔Okada and Kasahara、1990³⁾〕など)、(4) PAC 上面に沿うプレート境界型地震(2005 年千葉県北西部の地震など)、(5) PAC 内部で発生する地震(1992 年浦賀水道付近の地震〔防災科学技術研究所、1992⁴⁾〕など)に分類され(岡田、1992⁵⁾)多岐に及ぶ。

地震調査研究推進本部の長期評価において、南関東を中心とした 30km 以深で発生するマグニチュード(以下 M と略記)7 級地震の発生確率は、今後 30 年間で 70% 程度と推定されており、切迫性が高い(地震調査委員会、2004⁶⁾)。上記の長期評価は、図 1 に示すように 1885 年以降に発生した 5 地震、即ち、1894 年明治東京地震、1895 年および 1921 年の茨城県南部の地震、1922 年浦賀水道付近の地震と 1987 年千葉県東方沖地震に基づいたものである。しかしながら、これらの地震は震源や発生機構が不明であったり、上記(1)~(5)のいずれの地震であるかについて統一の見解が得られていなかったりする。このような背景から、上記の分類において、現在のところ、「関東地震」を除く(2)および(3)~(5)を一括して「その他の南関東で発生する M7 級地震」と称し、確率を算出している。瀬野(2007)⁷⁾は、関東地震に関連した長期的な地震活動の変化を考慮すれば、過大評価であるとした。

今後、長期確率評価の高度化のためには、上記の 5 地震を上記(1)~(5)に類型化してその素性を明らかにし、繰り返しの有無等を議論する必要がある。そこで、その手始めとしてこれら 5 地震を対象とした既往研究の整理とデータの収集を行った。以降に、発生順に述べる。

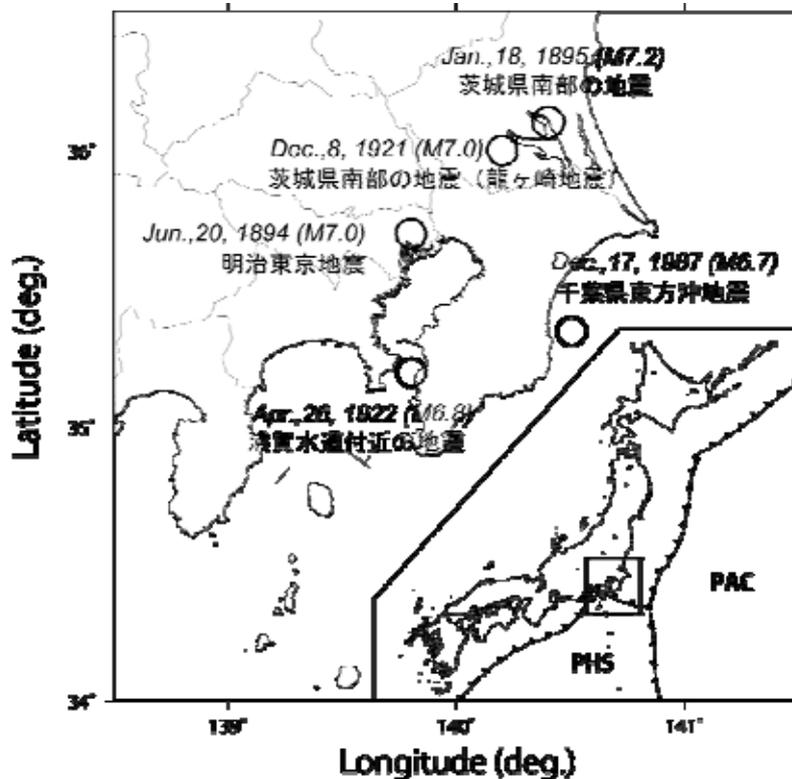


図 1. 「その他の南関東で発生する M7 級地震」の長期確率に用いられた 5 地震〔1894 年明治東京地震・1895 年および 1921 年の茨城県南部の地震・1922 年浦賀水道付近の地震の震央、規模は宇津(1979)⁸⁾による、1987 年千葉県東方沖地震は気象庁震源による〕。

a) 1894 年明治東京地震 (M7.0 ; 宇津 (1979)⁸⁾ による)

明治東京地震は 1894 (明治二十七年) 年 6 月 20 日に発生し、東京で 24 名、神奈川で 7 名の計 31 名の死者を出した。死者の大半は、当時流行となっていた煉瓦造の構造物や煙突などの重量物の損壊・崩壊によるものであった。耐震性が不十分であった煉瓦造の西洋式建築や煙突等に大きな被害を及ぼしたことから、一部で「煙突地震」などと呼ばれた〔茅野、1975a⁹⁾、1989¹⁰⁾ ; 大迫・金子、2004¹¹⁾〕。この地震は、震災予防調査会が発足後、はじめての大地震で東京・横浜を中心に多くの被害が発生したことから、詳細な被害調査が実施された (例えば、震災予防調査会、1895a¹²⁾)。

地学雑誌 (1894)¹³⁾ は、中央气象台、理科大学地震学教室 (本郷、一ツ橋) の検測値を報告し、官報や新聞紙面による東京や横浜などの被害を纏めた。中央气象台における観測記事として、「此地震は最初上下水平爾動一時に起り七秒時を経て俄然前記の最大水平動に達し爾後顕著なりしこと十七秒間にして漸次微弱となり静止せり」と記載がある。その一方で、本郷理科大学構内における検測では「地震は最初微動を以て始め夫より十秒間は微動なりしが急に激烈と為り最大水平動八十「ミリメートル」即ち曲尺二寸六分を呈せり」と記載されている。

大森 (1894a)¹⁴⁾ は、震動ならびに被害の状況について述べ、その特徴を濃尾地震、熊本地震、鹿児島地震などと比較した。震度分布が、震源が深い地震に見られる特徴を示すことから、震源は深く 40 km 程度であろうと推定した。大森 (1894b)¹⁵⁾ は、東京府下の被害 (死傷者・家屋被害・煙突被害・塙・堀・橋梁・崖岸・道路・堤防・水路) を整理した。大森 (1894c)¹⁶⁾ は、理科大学 (現在の東京大学理学部) 地震学教室のユーイング円盤記録式強震計 (1 回転 118 秒) における初動から 25 秒間の波形記録 (上下動成分は 22 秒間) を掲載し、本郷ならびに観音崎灯台に設置した地震計の検測記録 (水平動ならびに上下動の特徴、最大水平動、最大水平動の震動期 (周期)、最大加速度、震動の方向、震動継続時間) を報告した。注として「本図にては初發より第二秒と第三秒との間に於て著き震動を現はせども、強震計の運転を始めたときは地動は頗る大にして、其以前数秒間に於て地は既に微動を呈しつつありしものなることを記憶せざるべからず、通常地震計の記録に由れば微動の時間は十秒程なりし」と、この強震計が運転を始めたときには既に大きな地震動が観測されていたこと、及び普通地震計における初期微動継続時間が 10 秒程度であったことが付記されている。

中央气象台 (1894¹⁷⁾、1895a¹⁸⁾、1897¹⁹⁾) は、東京府下における被害状況を表にまとめ、周辺の神奈川、埼玉県などの被害状況や各測候所の報告を整理した。東京府のうち深川区 (現在の江東区の一部) で最も被害が多く、死者 8 名、重傷者 10 名、軽傷者 29 名である。また、石造、煉瓦造、土蔵造、木造に分類した際の破損割合がそれぞれ 3.47、10.21、8.50、0.48 % と、煉瓦造の構造物が多大な被害を受けたのに対し、木造構築物の被害が軽微であったことを報告した。

関谷・大森 (1899)²⁰⁾ は理科大学地震学教室に設置されたユーイング円盤記録式強震計 3 成分の波形記録の特徴について議論した。また、一ツ橋に設置された地震計は本郷のような良好な波形記録が得られなかったが、軟弱地盤であるために最大水平動が 130 mm、最大加速度がおよそ 1000 mm/sec² に及んだことを報告した。

大森 (1899a)²¹⁾、Omori (1900)²²⁾ は、大森 (1894a¹⁴⁾、1894b¹⁵⁾、1894c¹⁶⁾) の被害調査、

理科大学地震学教室のコーピング円盤記録式強震計に記録された地震波形から読み取られた検測値を整理した。また、東京における 250 基あまりの石灯笼、11 本の煙突の落下または転倒方向が、東京帝国大学に設置された強震計に記録された最大水平動方向と一致することを明らかにした。さらに、東京において被害を受けた数個の煉瓦造家屋および煙突について、煉瓦の接合面での伸張抵抗力を評価した。

大森 (1899b)²³⁾は、地震記録図から東京 (但し、中央气象台、理科大学地震学教室のいずれかは明記されていない) における初期微動継続時間を 6.8 秒と読み取り、その震央位置を「東京附近ニアリ、東北東二当ル」とした。

中央气象台 (1950)²⁴⁾、気象庁観測部地震課 (1971)²⁵⁾による震央は、139.9° E、35.7° N の東京湾北部で、M は 7.5 とされている。国土地理院 (1972)²⁶⁾は、明治東京地震前後において行われた水準測量の結果を報告した。東京都荒川区南千住町を不動点とした場合、地震前後の上下変動 (1894 年 4 月 ~ 1896 年 3 月) は松戸から市川市を通り日本橋まで、全体として約 4 cm 沈下し、震央に近い小松川が約 2 cm 隆起した。

萩原 (1972a²⁷⁾、1972b²⁸⁾) は、震災予防調査会 (1895a)¹²⁾による東京市および各県の警察署の被害報告から震度分布を推定した。震度 4 は、本所・深川両区だけで、軟弱地盤による影響を受けているとした。震度 4 の区域は北の方に伸び、その中心は現在の東京都新宿区あたりになる。震度 4 以上の地域の面積から、勝又・徳永 (1971)²⁹⁾の式

$$\log S_4 = 0.82M - 1.0 \quad (\text{単位は km}^2)$$

を用いて M6.4 と、震度 4 以上の地域の面積から村松 (1969)³⁰⁾の式

$$\log S_5 = M + 6.8 \quad (\text{単位は cm}^2)$$

を用いて M6.7 とそれぞれ推定した。ここで、 S_4 、 S_5 はそれぞれ、震度 4、震度 4 以上の地域の面積である。1952 (昭和 27) 年 7 月 18 日吉野地震 (M7.0、深さ 70 km) の震度分布と様式を全く異にすることから、震源は深くても 30 km 程度であろうとした。萩原 (1972b)²⁸⁾は、震度 4 域の中心から東京都新宿区あたりが震央であろうと推定した。

宇佐美 (1973)³¹⁾は、被害から震央を 35.7° N、139.8° E と推定し、その推定誤差を緯度・経度方向共に ±10 km 程度と見積もった。茅野 (1975a⁹⁾、1989¹⁰⁾) は、震災予防調査会 (1895a)¹²⁾、中央气象台 (1897)¹⁹⁾と東京大学理学部地球物理学教室に保存されている新聞の切り抜き帳を併せ読み、被害の特徴を論じた。東京近郊における 12 階級方式の震度分布図を作成し、震災予防調査会 (1895a)¹²⁾の被害統計を整理した被害表を作成した。中央气象台 (1894)¹⁷⁾の報告による最大振幅から M6 3/4 であるとした。また、新聞記事や、气象台年報・理科大学地震学教室における観測記録から地震動の始めから急に大きくなるまでを S-P 時間と考えると、7 秒あるいは 14 秒と 10 秒になるとし、震央を東京直下に仮定するとその震源深さは 50 km 以上 70 km 程度であると推定した。茅野 (1989)¹⁰⁾は、煉瓦接合にまだセメントが広く用いられておらず、一般に石灰と砂の混合物が用いられていた背景が、特に煉瓦造の建物・煙突・塀などの被害を多くした要因であるとした。また、茅野 (1975a)⁹⁾が整理した被害について、若干の修正を行った。

茅野 (1975b)³²⁾は、震災予防調査会報告・中央气象台年報および新聞記事などの資料を整理し、付属資料として掲載した。神林・勝又 (1975)³³⁾は、地震報告および中央气象台年報地震の部などを資料として、震度分布を掲載している。勝又によって再調査された震源位置は「千葉県中西部?」、M は「7±」とされている。

須藤 (1976)³⁴⁾は、東京大学地震研究所に保存されているグレー・ミルン円盤記録式地震計に残された波形記録を用いて、この地震計がP波初動と同時に起動したと仮定すると、震央は東京から50 km程度離れた場所であるとした。また、円盤上に記録された波形記録を直交座標に変換し、S波の後続相について議論した。須藤 (1977)³⁵⁾は、初期微動継続時間(6.6 - 7.0秒)とS波振動方向の解析から推定した震央(中川の下流むしろ河口付近)の推定結果の妥当性を国土地理院(1972)²⁶⁾の水準測量結果ならびに萩原(1972a)²⁷⁾の震度分布と比較することで検討した。国土地理院(1972)²⁶⁾の報告した水準測量に基づく変位が1894年明治東京地震によるものであると仮定すると、正断層型の断層モデルが地震前後の水準測量データをよく説明できるとした。また、この断層モデルがプレートテクトニクスの立場から解釈し難いとして、逆断層を仮定した場合には、断層面を岩槻の下方に仮定すると地殻変動を説明することができるとした。

宇津(1979)⁸⁾は、被害分布からその震央を139.8°E、35.7°Nとし、長野(M7.2)・名古屋(M6.8)および境(現在の境港)(M7.1)の3地点の最大振幅から推定されたMの平均値からM7.0とした。震度以上の地域の面積から勝又・徳永(1971)²⁹⁾の式を用いてM7.1と推定した。地震規模に比べて被害が軽微であったことから、やや深い地震に分類した。また、この地震の2年前から東京あるいは東京湾の直下あたりでM5前後の地震が増えていたことを報告し、当日5時16分の地震(東京の震度)が前震であった可能性を指摘した。

橋田・他(1993)³⁶⁾は、震度分布から震央は宇津(1979)⁸⁾のように東京都東部、千葉県との県境あるいは東京湾北部であるとした。また、東京におけるユーイング円盤記録式地震計、グレー・ミルン・ユーイング(以下、GMEと略記)普通地震計からS-P時間を7~8秒と読み取り、震源の深さはせいぜい50~60 kmであると推定した。地震原簿に記録された最大振幅からM6.7と推定し、深さからPHS内部で発生した地震で1987年千葉県東方沖地震と、大きさとタイプ(PHSスラブ内破壊)が同じであるとした。

地震調査委員会(1997³⁷⁾、1999³⁸⁾)は、沈み込んだPAC内部の地震であるとした。中央気象台(1897)¹⁹⁾、萩原(1972a²⁷⁾、1972b²⁸⁾)による震度分布図ならびに中央気象台(1895a)¹⁸⁾に基づいた東京における被害状況図を掲載した。

勝間田・他(1999)³⁹⁾、気象研究所地震火山研究部(2000)⁴⁰⁾、勝間田(2001)⁴¹⁾は、中央気象台のGME普通地震計、理科大学地震学教室のユーイング円盤記録式強震計、工科大学のグレー・ミルン円盤記録式地震計の波形記録から震源や発震機構を推定した。関谷・大森(1899)²⁰⁾、工科大学「速度器」、東京気象台のGME普通地震計からS-P時間は約10秒、工科大学「地上」「2カイ」からは約7秒とそれぞれ読み取れ、S-P時間は約7秒あるいは約10秒であるとした。現在、地震活動が活発な東京湾北部の地震クラスターを震央と仮定した場合、深さ50 km(S-P時間7秒)、または80 km(S-P時間10秒)程度でPHS内部、あるいはPAC内部で発生した地震であるとした。発震機構や地震モーメントは、震源位置や地震計倍率によって変化するが、震源を140.05°E、35.60°N、深さ82 km、地震計倍率を10倍と仮定した場合、南北走向のほぼ垂直な正断層(走向173°、傾斜角86°、すべり角-76°)と推定した(図2)。深さ80 kmに活発な地震活動がみられ、最大振幅から推定したMとモーメントマグニチュードの差が小さくなることから、深さ80 kmのPAC内部で発生した地震である可能性がやや高いとした。発震機構は東京湾北部から千葉県中

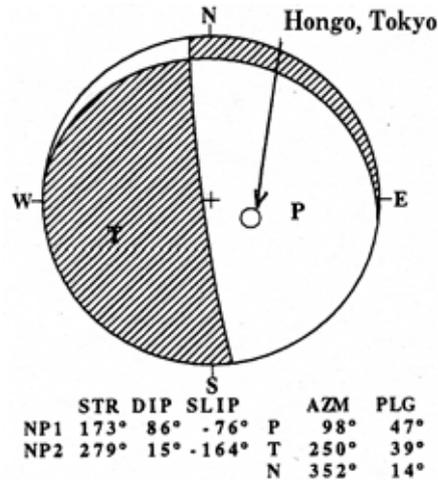


図 2 . 1894 年明治東京地震の発震機構〔勝間田・他 (1999)³⁹⁾による〕。

部の深さ 80 km 付近に発生する地震としては典型的なものであり、PHS と PAC の衝突による圧力による地震であったと解釈した (勝間田、2001)⁴¹⁾。また、大森 (1899a)²¹⁾、中央气象台 (1894)¹⁷⁾、及び气象台の地震原簿に記載された最大振幅を用いて、Katsumata (1999)⁴²⁾の手法から M6.6 (勝間田・他、1999)³⁹⁾または M6.7 (気象研究所地震火山研究部、2000)⁴⁰⁾、勝又 (1964)⁴³⁾の手法から M6.6 とそれぞれ見積もった。

宇佐美 (2003)⁴⁴⁾は震央を、139.8° E、35.7° N、M を 7.0 と推定し、東京府、神奈川県 of 被害表ならびに中央气象台 (1897)¹⁹⁾、萩原 (1972a²⁷⁾、1972b²⁸⁾) の震度分布を掲載し、被害の概要を述べている。

古村・他 (2005⁴⁵⁾、2006⁴⁶⁾、古村・竹内 (2007)⁴⁷⁾は、本郷・一ツ橋・観音崎などで観測されたユースリング円盤記録式地震計を山田 (2004)⁴⁸⁾の手順に従って直交座標系に変換した。読み取った S-P 時間 (5.6~7.0 秒) から震央を東京湾北部と仮定すると、震源距離は少なくとも 40~52 km 以上で、PHS 内部または PHS と PAC が接する場所に相当するとした。また、観測された広域震度分布に PHS 内部の地震の特徴が見られることを指摘し、地震波動伝播の FDM シミュレーションから PHS 内部あるいは PHS と PAC との境界で発生した地震とした場合に、計算震度分布が日本列島全域の広域震度分布をよく説明できることを示した。

これらの既往研究を整理すると、震央については再検討の必要性を指摘した研究があるものの、東京湾北部一帯に推定されており大きな相違は見られない。その一方で、震源の深さについては、沈み込む PHS 内部、PHS と PAC との境界、あるいは PAC 内部のいずれであるかについて見解が大きく異なり、一部地殻内地震である可能性を示唆した研究もある。震源の深さの相違は、現存する少数の地震波形記録から読み取られた S-P 時間の相違によるところが大きい。

同年 10 月 7 日の地震 (M6.7; 宇津 (1979)⁸⁾による) について、宇津 (1979)⁸⁾は、明治東京地震とあまり離れていない場所で発生した地震とし、宇佐美 (1973)³¹⁾は明治東京地震の余震あるいは双子地震であるとした。地震調査委員会 (1999)³⁷⁾もこの地震が余震であると解釈した。その一方で、S-P 時間や震度分布からより深い領域で発生した地震であるという報告があり〔橋田・他、1993³⁶⁾; 勝間田、2001⁴¹⁾; 古村・竹内、2007⁴⁷⁾〕、この

地震が余震であったか否かについて解釈が分かれる。大森（1899b）²³⁾による東京におけ

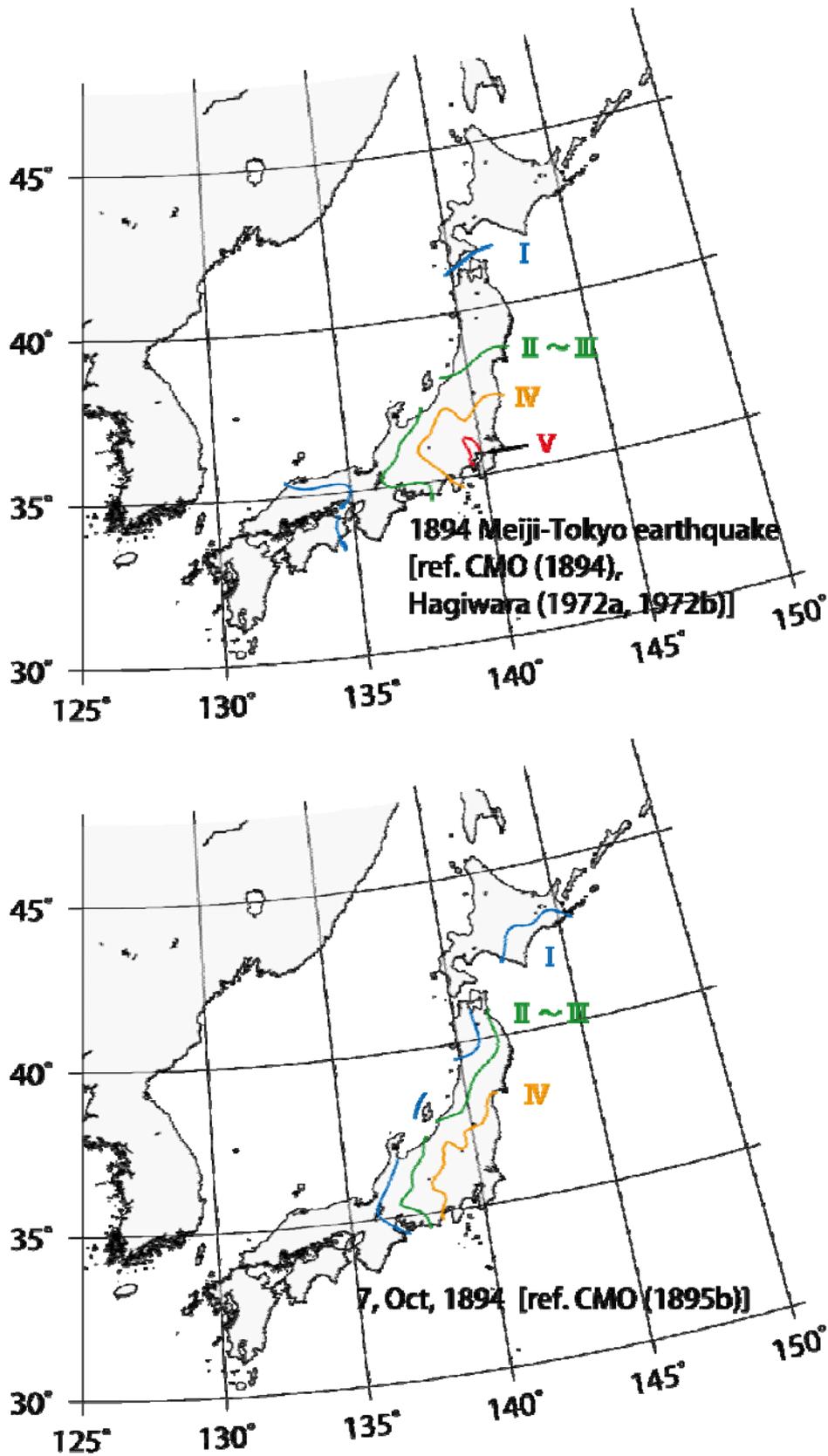


図3 .1894年6月20日明治東京地震ならびに1894年10月7日の地震の震度分布〔中央気象台（1894¹⁷⁾、1895b⁴⁹⁾）、萩原（1972a²⁷⁾、1972b²⁸⁾）による〕。

る初期微動継続時間は明治東京地震では 6.8 秒、10 月 7 日の地震では 16 秒と大きく異なる。なお、大森 (1899b)²³⁾による 10 月 7 日の地震の震央は「東京ヨリ東北東ノ方、海中」とされている。また、10 月 7 日の地震の震度分布 (中央气象台、1895b⁴⁹⁾) は、明治東京地震と大きく異なり、PAC 内地震の特徴である、東北～北海道の太平洋側で震度が大きくなる「異常震域」が見られる (図 3)。

b) 1895 年茨城県南部の地震 (M7.2; 宇津 (1979)⁸⁾による)

1895 年 1 月 18 日に茨城県南部で発生した地震は、関東地方の広範囲にわたり強い揺れを発生させ、6 名 (震災予防調査会、1895b⁵⁰⁾; 神林・勝又、1975³³⁾) または 9 名 (宇津、1999⁵¹⁾) の死者を出し、42 戸の家屋が全壊した。茨城県で特に大きな被害が発生したが、東京でも下町を中心に死者 1、負傷者 31、家屋全壊 4、半壊 5、破損 615 などの被害が発生した。利根川下流域の地震と呼ばれた。

震災予防調査会 (1895b)⁵⁰⁾は、この地震による各警察署管轄内の被害状況報告を取りまとめた。中央气象台 (1895c)⁵²⁾は、地震および被害の概要について述べ、茨城県・東京都・埼玉県の被害表を作成した。また、銚子・中央气象台・横浜・観音崎・福島・長野・彦根・名古屋の検測記録が整理されている。大森 (1899b)²³⁾は、地震記録図から東京 (但し、中央气象台、理科大学地震学教室 (本郷、一ツ橋) のいずれかは明記されていない) における初期微動継続時間を 11.3 秒と読み取り、その震央位置を「東京ヨリ東北、海中」とした。

中央气象台 (1950)²⁴⁾、気象庁観測部地震課 (1971)²⁵⁾における震央は、 140.4°E 、 35.9°N の霞ヶ浦南方の利根川下流域、M は 7.3 とされている。宇佐美 (1973)³¹⁾は、震度域の中心から震央を、 140.3°E 、 36.2°N と推定した。また、震央の推定誤差を経度方向に ± 20 km、緯度方向に $-30 \sim +10$ km と見積もった。

石橋 (1975)⁵³⁾は、中央气象台 (1895c)⁵²⁾の報告と新聞記事から震度分布を出し、震源位置を議論した。有感半径が非常に大きく、相当な規模の地震であったにも関わらず、関東地方の震度分布には被害の中心がみられない。また、地盤の悪さに対応して震度域が広く分布するが、震度はないことから、深さ数十 km の上部マントルで発生した地震であるとした。震央は宇佐美 (1973)³¹⁾とほぼ一致する霞ヶ浦北西部付近と推定した。

神林・勝又 (1975)³³⁾に記載された、勝又によって再調査された震央は「鹿島灘」、M は「 $7\frac{1}{4}\pm$ 」となっている。中央气象台 (1895c)⁵²⁾と石橋 (1975)⁵³⁾に基づいた震度分布が掲載されている。

宇津 (1979)⁸⁾は、震央を 140.4°E 、 36.1°N の茨城県南部とし、やや深い地震に分類した。8 箇所における最大振幅の平均から M7.1、震度分布から M7.3 - 7.4 と推定されるため、M7.2 とした。同日 9 時 14 分に M5 1/2 程度の地震が本震からあまり離れていない場所であったこと、及び余震がほとんど無かったことを報告した。

橋田・三上 (1992)⁵⁴⁾は、経験的グリーン関数法により中央气象台の GME 地震計の解析を試みた。経験的グリーン関数として 1989 年 4 月 26 日に深さ 65 km で発生した M5.4 の地震の 87 型電磁式強震波形を用い、M7.2 と推定した。また、低角逆断層型の発震機構を持つ 1989 年の地震波形から 1895 年の地震波形をある程度合成できることから、1895 年茨城県南部の地震が低角逆断層型の発震機構であった可能性を示唆した。

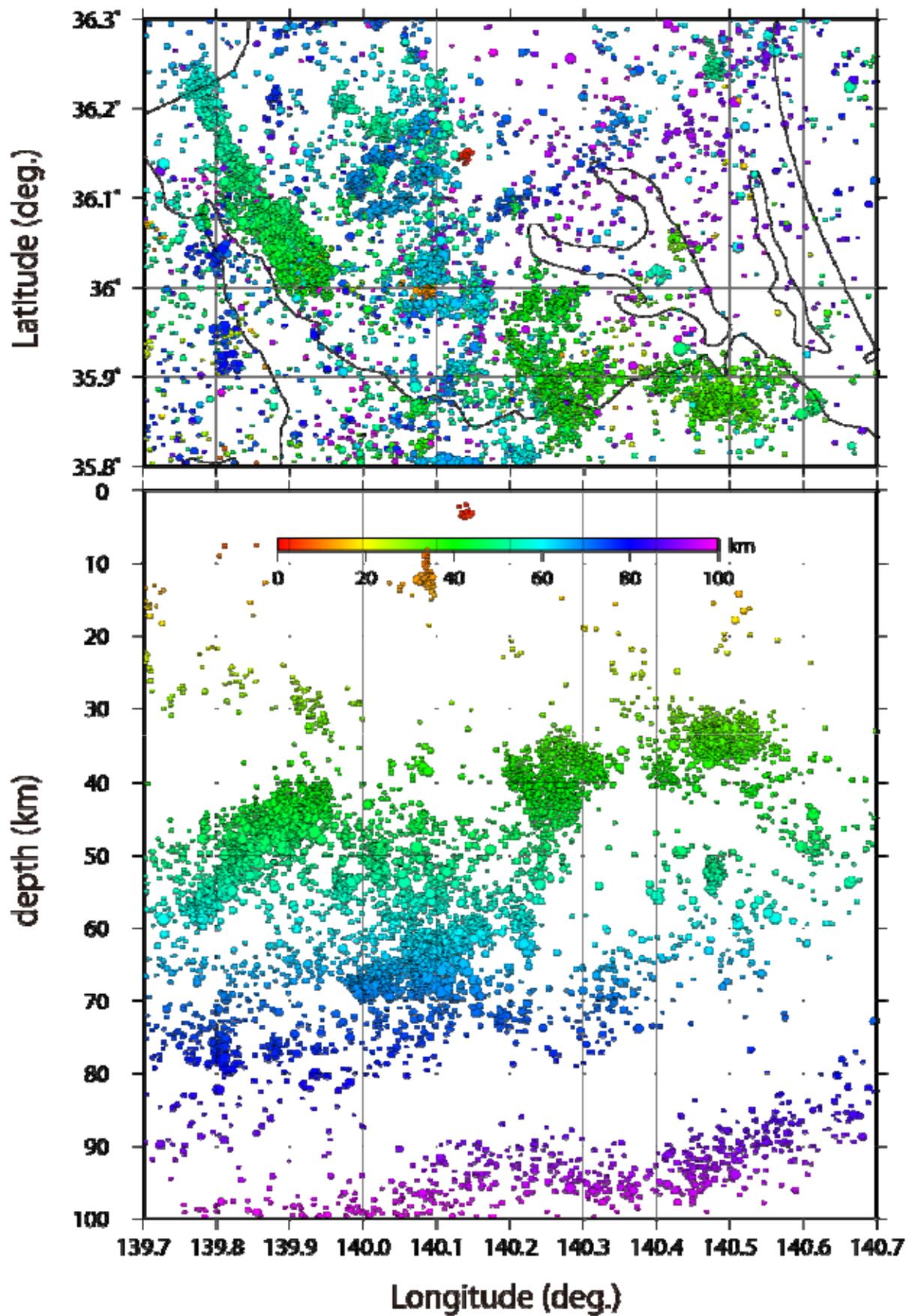


図4．茨城県南西部の地震活動〔1997年10月～2008年5月震源の深さ100km以浅、マグニチュード1.5以上、Double Difference法を用いた再決定震源による〕。

宇佐美 (2003)⁴⁴⁾は、震央を 140.4°E、36.1°N の霞ヶ浦付近、M を 7.2 と推定し、茨城、東京、埼玉、神奈川、栃木の被害一覧表ならびに、中央气象台 (1895c)⁵²⁾の震度分布を掲載し、被害について「局部的被害はそれほど大きいとはいえないが被災範囲が広い。とくに被害の大きかったのは茨城県の鹿島・新治・那珂・行方各郡と水戸で、東京の下町にもかなりの被害があった。このほか、千葉県では銚子で小被害、松戸で土蔵の落壁および亀裂あり。佐原町では倒潰家屋 1、その他土蔵の破損等数十。取手で土蔵の半潰 1、土蔵壁の破損。また、福島県猪苗代・群馬県佐波郡でも小被害。」と述べた。

茨城県南西部では、図 4 に示すように鬼怒川沿いの深さ約 40-60 km の PHS 上面で発生するもの (鬼怒川側クラスター) と、筑波山付近の深さ約 60-80 km の PAC 上面で発生するもの (筑波側クラスター) の、2 つの活発な地震活動が観測されており (たとえば野口、1998⁵⁵⁾; 勝間田、2001⁴¹⁾)、1895 年 1 月 18 日の地震 (M7.2) はどちらかのタイプの地震であった可能性が指摘されている。神林・勝又 (1975)³³⁾で推定された震度分布は、烈震域 (震度) が見られる一方で、石橋 (1975)⁵³⁾や宇佐美 (2003)⁴⁴⁾では見られない。また、宇佐美 (2003)⁴⁴⁾では強震域が茨城県の南西部に限られる一方、石橋 (1975)⁵³⁾では東京を含む関東平野の広域が強震域になっているなどの相違が震度分布に見られる。

c) 1921 年茨城県南部の地震 (M7.0; 宇津 (1979)⁸⁾による)

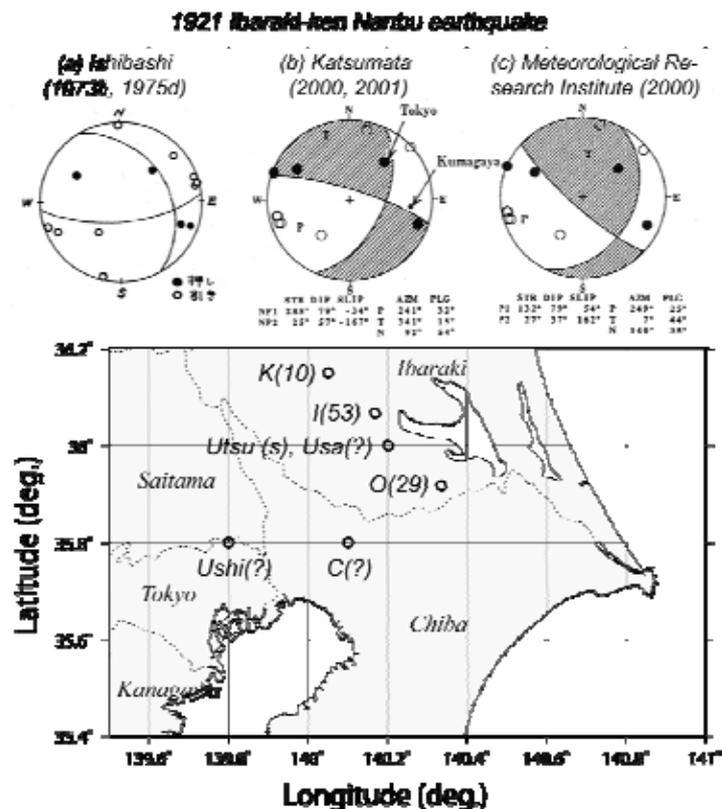


図 5 .1921 年茨城県南部の地震の震源(C:中央气象台 (1921)⁵⁶⁾、O:大森(1922a⁵⁸⁾、1922g⁶⁸⁾)、Ushi: Ushiyama (1922c)⁶⁷⁾、K: 勝又 (1975a⁵⁹⁾、1975b⁶⁰⁾)、I: 石橋 (1973a⁶¹⁾、1973b⁶²⁾、1975b⁶³⁾)、Utsu: 宇津(1979)⁸⁾、Usa: Usami (2003)⁴⁴⁾による)と発震機構[(a) 石橋(1973b⁶²⁾、1975d⁶⁴⁾) (b) 勝間田 (2000)⁶⁵⁾ (c) 気象研究所地震火山研究部 (2000)⁴⁰⁾による]。括弧内は震源の深さ (km) を示す(s はやや深い地震、? は不明)。

1921(大正10)年12月8日に茨城県南部を震源として発生した、茨城県南部の地震(龍ヶ崎地震とも呼ばれた)は、千葉県北西部と茨城県南西部を中心とした関東地方の内陸に、道路の亀裂や墓石の転倒、垣や塀の崩壊などの被害を及ぼし、東京・銚子・水戸・熊谷・宇都宮・横浜・横須賀・飯田において現在の気象庁震度階級で震度4相当が観測された。中央气象台(1921)⁵⁶⁾、牛山(1922b)⁵⁷⁾、大森(1922a)⁵⁸⁾、勝又(1975a⁵⁹⁾、1975b⁶⁰⁾)や石橋(1973a⁶¹⁾、1973b⁶²⁾、1975b⁶³⁾)、宇津(1979)⁸⁾によって震源決定が行われており、また、石橋(1973b⁶²⁾、1975d⁶⁴⁾)や勝間田(2000)⁶⁵⁾、気象研究所地震火山研究部(2000)⁴⁰⁾によって発震機構が推定されている(図5)。

中央气象台(1921)⁵⁶⁾は、観測された初期微動継続時間からその震央を140.1°E、35.8°Nの龍ヶ崎付近であるとした。この地震によって北は釧路、南は大阪に至るまで有感であった。震央付近においては強震(弱き方)程度で、この程度の地震動で期待される石灯籠の倒壊や壁の亀裂、地面の小亀裂等が観測された程度で、顕著な被害は現地調査からは認められなかった。余震が50数回、そのうち有感地震が24回と活発な余震が観測された。各測候所における震度は以下の通りである。

強震(弱き方) 東京・銚子・水戸・熊谷・宇都宮・横浜・横須賀・飯田

弱震 筑波山・前橋・足尾・浜松・甲府・福島・山形

弱震(弱き方) 松本・長野・新潟・津・水沢(現在の奥州市)・石巻

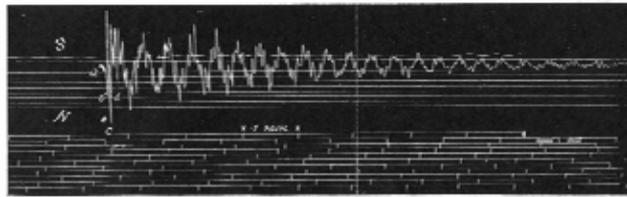
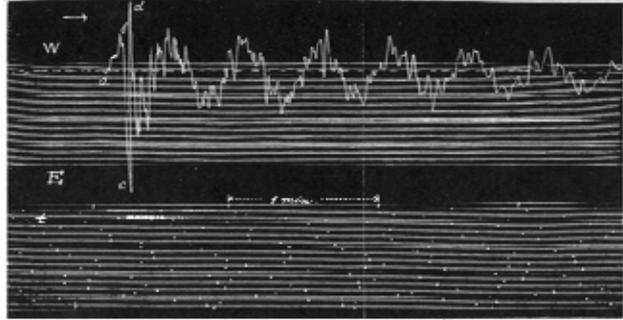
微震 宮古・釧路・名古屋・彦根・秋田・岐阜・大阪・函館・八丈島・境港・鹿児島

牛山(1922a)⁶⁶⁾、Ushiyama(1922c)⁶⁷⁾は、各測候所から報告された地震記象紙を基本として震源を推定し、千葉県印旛沼、手賀沼付近の湖沼地帯の地下を中心として発生した地震であるとした(Ushiyama(1922c)⁶⁷⁾による震央は139.8°E、35.8°N)。また、各測候所における初動や初期微動継続時間、現地調査による被害報告を取りまとめた。牛山(1922b)は、2つの地震観測点における初動継続時間の比を用いて震源決定を行い、東京の北東に位置する江戸川流域(流山-岩槻-草加-野田-松戸の付近)と推定した。

大森(1922a)⁵⁸⁾は、本郷における観測結果を掲載し、初動が南15°西、押しであったこと、初期微動継続時間が8.8秒であったことから震央を霞ヶ浦南方、震源深さを29kmと推定した。また微動計観測による最大動が58mmに達し、1894年明治東京地震と1895年茨城県南部の地震発生以降、20数年間で最大の強震を伴った地震であることを述べた。Omori(1922g)⁶⁸⁾は、本郷及び一ツ橋で観測された強震計記録を掲載し、その特徴について論じた(図6)。また、東京(8.8秒)、水戸(8.0秒)及び銚子(9.4秒)の3点におけるS-P時間から大森公式を用いて震源を、140°20'38"E、35°55'48"N、深さ29kmと推定した。Omori(1922g)⁶⁸⁾の東京におけるS-P時間は東京帝国大学地震学教室(本郷)と一ツ橋の強震計から検出したものであり、中央气象台(1921)⁵⁶⁾による6.3秒、牛山(1922a)⁶⁶⁾による6.2秒と大きく異なる。そのため、牛山(1922a⁶⁶⁾、1922b⁵⁷⁾)、Ushiyama(1922c)⁶⁷⁾や中央气象台(1921)⁵⁶⁾による震源とは大きく離れている。保田(1922a)⁶⁹⁾、Yasuda(1922b)⁷⁰⁾は、本震後3日間に東京で観測された44個の余震について、初期微動や主要動の継続時間、最大振幅などを報告した。

中央气象台(1950)²⁴⁾、気象庁観測部地震課(1971)²⁵⁾による震央は、140.1°E、35.8°Nの茨城県龍ヶ崎付近、Mは7.1とされている。宇佐美(1973)³¹⁾は、理科年表の震央(140.1°E、

(a)



(b)

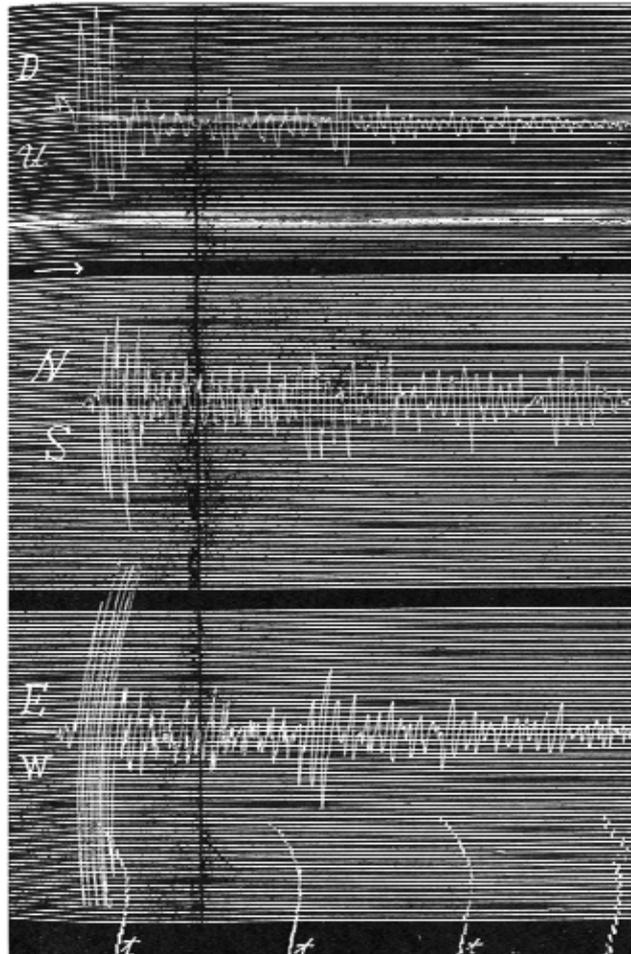


図 6 . (a) 本郷 (b) 一ツ橋における強震計で記録された 1921 年茨城県南部の地震の波形記録 [Omori (1922g) ⁶⁸⁾ による]。

35.8°N)とM(7.1)を採用し、震央の推定誤差を緯度、経度方向ともに±10 kmと見積もった。石橋(1973a)⁶¹⁾は、地震発生当時の刻時精度に比べて信頼性が高いS-P時間を用いて、津村(1970)⁷¹⁾の作図解法により震源決定を行った。東京、水戸、銚子の3点を用い、筑波を参考にした。東京におけるS-P時間として、Omori(1922g)⁶⁸⁾の本郷及び一ツ橋の強震計記録を再検測して得られた、本郷の水平2成分の平均値8.5秒を用いた。水戸と銚子は両測候所が東京帝国大学地震学教室に送った観測表に従い、その震源を140°10.6 E、36°3.1 N、深さ63 kmと推定した。また10個の余震検測から余震の平均的な位置の推定を行い、この震源が本震からS30°Eの方向に30 km離れて位置することから、断層面の走向がこの方向にあると推定した。石橋(1973b⁶²⁾、1975d⁶⁴⁾)は、節面は一意ではないと付記した上で初動による発震機構を掲載した(図5a)。石橋(1975a⁷²⁾、1975b⁶³⁾、1975c⁷³⁾)は、津村(1973)⁷⁴⁾の速度構造と本郷(8.5秒)、水戸(8.0秒)、銚子(9.8秒)および筑波(6.0秒)におけるS-P時間から、震源を140°10 E、36°04 Nの土浦南西部、深さ53 kmであると推定した。そして、S-P時間の読み取り誤差を考慮しても震源の深さが40~60 kmに収まることから、現在も地震活動が活発な茨城県南部の深さ数10 kmの地震の巣(坪井、1967)⁷⁵⁾で発生した地震であろうと結論付けた。

勝又(1975a⁵⁹⁾、1975b⁶⁰⁾)は、S-P時間を用いて震源再計算を行い、140°03 ±3 E、36°09 ±4 N、深さ10 kmと推定した。また、最大振幅からMを6.7、震度分布からMを7.1とそれぞれ推定した。宇津(1979)⁸⁾は、21ヶ所の最大振幅からMを7.0と見積もった。震源は石橋(1975b)⁶³⁾を参考にして、140.2°E、36.0°Nの茨城県南西部とした。やや深い地震に分類し、Mの割に余震が少なかったことを報告した。また、1923年大正関東地震発生前の2年間に1921年茨城県南部の地震と1922年の浦賀水道付近の地震を含んだ4回の被害地震が関東地方内陸部に発生したことを述べ、これらの地震が関東地震の広義の前震であるとした。

勝間田(2000)⁶⁵⁾は、東京帝国大学および熊谷気象台の長周期地震計、今村式2倍強震計、GME普通地震計で観測された地震記象と理論波形の比較から発震機構と地震モーメントを推定した。石橋(1975a⁷²⁾、1975b⁶³⁾、1975c⁷³⁾)による震源を仮定した場合、地震モーメントは約 5.6×10^{18} Nm (Mw 6.4)となり、その発震機構は節面の1つが走向288°、傾斜角79°、すべり角-34°という、圧縮軸が北東-南西方向の地震であったと推定した(図5b)。石橋(1975a⁷²⁾、1975b⁶³⁾、1975c⁷³⁾)で推定された震央は、PHSとPACとの境界で発生しているとされる深さ60~75 kmの茨城県南西部の筑波地震クラスター域と重なっているが、推定された発震機構は西ないし北西傾斜の低角逆断層型のメカニズムを持つPHSとPACの境界付近で発生する地震(古川・井本、1990)⁷⁶⁾や、茨城県南西部の筑波、鬼怒川地震クラスターの典型的な発震機構(例えば、笠原、1985)⁷⁷⁾とも異なるとした。

気象研究所地震火山研究部(2000)⁴⁰⁾は、東京帝国大学の長周期地震計、今村式2倍強震計の地震波形記録と理論波形との比較から、発震機構を議論した(図5c)。推定された発震機構(走向132°、傾斜角79°、すべり角54°、地震モーメント約 4.5×10^{18} Nm (Mw 6.4))と、石橋(1975a⁷²⁾、1975b⁶³⁾、1975c⁷³⁾)による震源の深さ(53 km)から、この地震はPHSとPACとの境界で発生したものである可能性は低く、PACの影響を強く受けてPHS内部で発生したものであると解釈した。勝間田(2001)⁴¹⁾は、PHSとPACの相互

作用によって発生した地震であるとした。

宇佐美 (2003)⁴⁴⁾ は、宇津 (1979)⁸⁾ の震央 (140.2° E、36.0° N) と M (7.0) を採用した。震度分布を掲載し、被害について「千葉県印旛郡で土蔵破損数ヶ所、道路に亀裂を生ず。茨城県龍ヶ崎で墓石多く倒れ、田畑・道路に亀裂。また、栃木県芳賀郡で石堀潰れ、河内郡で壁や瓦の落下などがあつた。千葉・成田・東京でも微小被害があつた。」と述べた。

d) 1922年浦賀水道付近の地震 (M6.8; 宇津 (1979)⁸⁾ による)

この地震は 1922 (大正 11) 年 4 月 26 日に発生し、京浜、三浦、房総の東京湾沿岸一帯に家屋や土蔵の破損、水道管の破裂やがけ崩れなどの被害を与えた。東京と横浜で 1 名ずつ、計 2 名の死者が発生した。中央気象台 (1922c)⁷⁸⁾、中村 (1922a)⁷⁹⁾、Nakamura (1922b)⁸⁰⁾、大森 (1922b⁸¹⁾、1922c⁸²⁾、1922e⁸³⁾、Omori (1922h)⁸⁴⁾、勝又 (1975a⁵⁹⁾、1975b⁶⁰⁾、石橋 (1975a⁷²⁾、1975b⁶³⁾、1975c⁷³⁾、宇津 (1979)⁸⁾、宇佐美 (2003)⁴⁴⁾ などによって震源決定がなされているが、推定された震源位置は浦賀水道に留まらず、広範にわたる (図 7)。

中央気象台 (1922c)⁷⁸⁾ は、この地震を 1922 年 4 月 26 日 10 時 11 分ごろに木更津付近の陸上 (139.9° E、35.4° N) を震央とした顕著地震とした。その有感区域は、北は秋田地方から南は八丈島、西は奈良、京都地方にまで及び、震央地付近で地鳴りが発生し、東京湾沿岸に被害が発生したことを報告した。また、警視庁、各県の警察部や測候所からの被害報告を取りまとめた。各測候所による震度を下に列記する。

強震 (弱き方) 東京・飯田・熊谷・横浜・横須賀

弱震 甲府・筑波山・水戸・八丈島・宇都宮

弱震 (弱き方) 福島・金山・石巻

微震 岐阜・名古屋・福井・八木・秋田・彦根・宮津・敦賀

大森 (1922b⁸¹⁾、1922c⁸²⁾ は、東京帝国大学構内における観測から震源や規模を議論した。東京帝国大学に設置された地震計から検出した初期微動継続時間は 10.6 秒で、これから大森公式により計算される震源距離 (約 79 km) と初動 (南微東、引き) から震源は東京よりほぼ真南の浦賀水道付近と推定した。また、最大加速度は 233 mm/sec² に達し、1921 年茨城県南部の地震と同程度、1894 年明治東京地震の半分程度であったと報告した。大森 (1922d)⁸⁵⁾ は、東京帝国大学構内および神田一ツ橋に設置された強震計による観測から「初期微動の後、主要部となりて先づ四十「ミリメートル」(一寸三分) 動きたるが此は単振幅と見做すべきものにして、次ぎて反動として六十七「ミリメートル」(約二寸) 動きたるは重振幅なるが前記最初の単振幅を取りて計算すれば震動の強さ、即ち最大加速度は一秒に付き二百七十四「ミリメートル」となる。前年十二月八日の強震の加速度一秒に付き二百四十六「ミリメートル」に比すれば一・一と一・〇との比を以て大なることとなる」と述べた。大森 (1922e)⁸³⁾ は、東京における初動 (南微東、下方動) と初期微動継続時間 (10.6 秒)、銚子における初動 (北 54 度東) から大森公式を用いて震源を館山と横須賀の中間なる浦賀水道の深さ 48 km と推定した。Omori (1922h)⁸⁴⁾ は、東京、千葉、神奈川における被害をとりまとめ、各測候所の震度報告に基づいた震度分布図ならびに本郷、一ツ橋などに設置された田中館式強震計、1 倍強震計、微動計などによる波形記録を掲載し

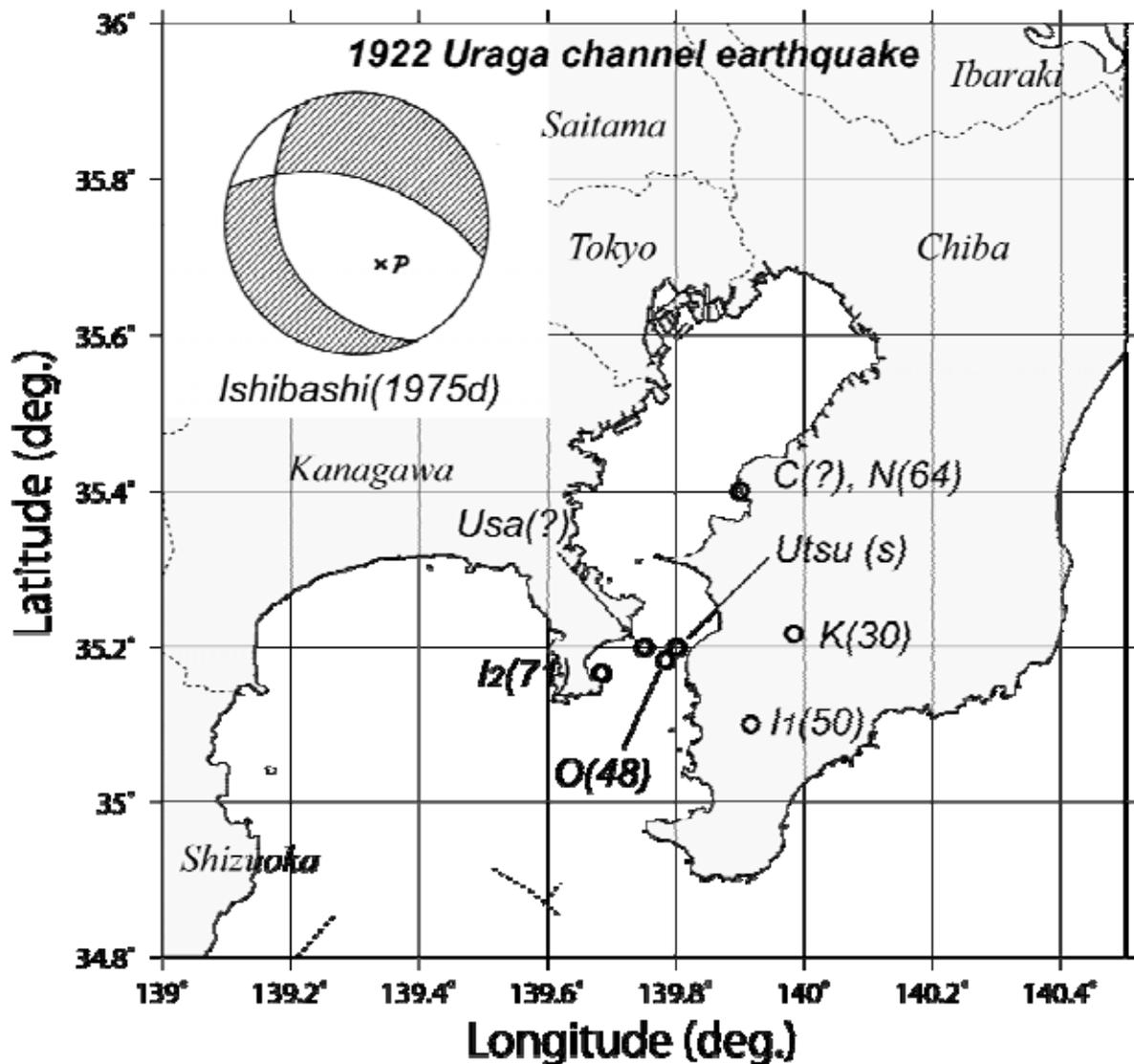


図7. 1922年浦賀水道付近の地震の震源〔C：中央気象台（1922c）⁷⁸⁾、N：中村（1922a）⁷⁹⁾、Nakamura（1922b）⁸⁰⁾、O：大森（1922h）⁸⁴⁾、K：勝又（1975a⁵⁹⁾、1975b⁶⁰⁾）、I₁：石橋（1975c）⁷³⁾、I₂：石橋（1975a⁷²⁾、1975b⁶³⁾）Utsu：宇津（1979）⁸⁾、Usa：宇佐美（2003）⁴⁴⁾による〕と発震機構〔石橋（1975d）⁶⁴⁾による〕。括弧内は震源の深さ（km）を示す（sはやや深い地震、?は不明を表す）。

た（図8）。東京（本郷）の1倍強震計から読み取られた初期微動継続時間（11.1秒）から、大森公式を用いて推定された震源距離は83kmで、これと銚子における初動（北54度東）から震源を139°47'E、35°11'Nの浦賀水道、深さを48kmと推定した。

中村（1922a）⁷⁹⁾、Nakamura（1922b）⁸⁰⁾は、東京、千葉、神奈川における被害状況と東京における微動観測記録による前震、本震ならびに余震の初期微動継続時間を報告した。東京における本震の初期微動継続時間は9.6秒となっている。また、横浜の普通地震計で観測された初期微動継続時間（6.3秒）から震源を千葉県木更津付近の深さ64kmと推定した。牛山（1922b）⁵⁷⁾の手法を用いて推定した震源もほぼ同位置となっている。

中央気象台（1950）²⁴⁾、気象庁観測部地震課（1971）²⁵⁾による震央は、139.9°E、35.4°Nの浦賀水道、Mは6.9とされている。宇佐美（1973）³¹⁾は、被害域が房総半島の先端にま

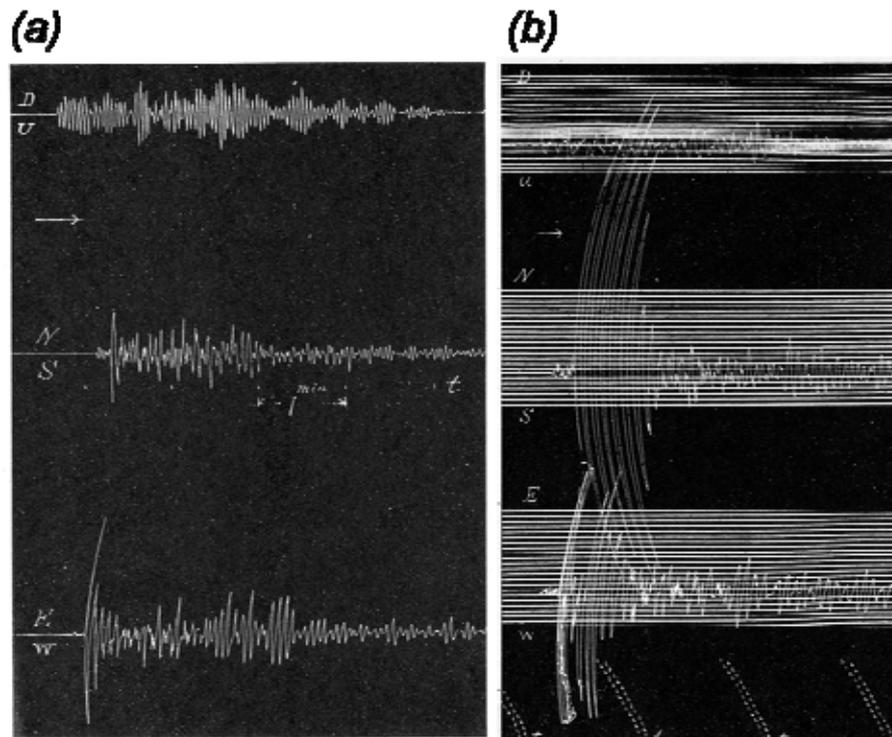


図 8 . (a) 本郷 (b) 一ツ橋の強震計で記録された 1922 年浦賀水道付近の地震の波形記録 [Omori (1922h)⁸⁴⁾ による]。

で伸びていることから、震央を $139\frac{3}{4}^{\circ}$ E、 35.4° N と推定し、その推定誤差を経度、緯度方向ともに $\pm 0.1^{\circ}$ と見積もった。

那須 (1974)⁸⁶⁾ は、ユーイング円盤記録式強震計、田中館式強震計などで観測された波形記録を数値化し、地動の変位、速度、加速度や周期特性を議論した。加速度スペクトルでは、最大加速度値を有する波の周期は $0.2\sim 0.3$ 秒で $1\sim 1.5$ 秒および $5\sim 8$ 秒に卓越したピークを有すると述べた。関連した波形記録の数値化に那須・他 (1974a⁸⁷⁾、1974b⁸⁸⁾ などがある。勝又 (1975a⁵⁹⁾、1975b⁶⁰⁾ は、S-P 時間を用いて震源再計算を行い、震源を $139^{\circ}59' \pm 3'$ E、 $35^{\circ}13' \pm 3'$ N、深さ 30 km と推定した。また、最大振幅から M を 6.9、震度分布から M を 6.8 とそれぞれ推定した。

石橋 (1975a⁷²⁾、1975b⁶³⁾ は、東京 (本郷) の 10.4 秒、東京 (一ツ橋) の 10.8 秒、横須賀の 6.3 秒、沼津の 11.1 秒、熊谷の 14.0 秒及び水戸の 16.0 秒の S-P 時間を用いて多層構造モデルのもとで震源決定を行い、震源を $139^{\circ}41'$ E、 $35^{\circ}10'$ N、深さ 71 ± 21 km と推定した。なお、Omori (1922h)⁸⁴⁾ に掲載された本郷及び一ツ橋の地震記象から再検出した S-P 時間に、信頼度が高いとして圧倒的な重みをかけた。また、他の 4 点の読み取り誤差を大きく取ったため、同じく石橋 (1975a⁷²⁾、1975b⁶³⁾ で震源決定が行われた 1921 年茨城県南部の地震に比べて、震源の存在可能範囲が広範 (三浦半島先端部から浦賀水道を経て房総半島南部に至る一帯のどこかで、深さは $40\sim 70$ km 程度) にわたる。石橋 (1975c)⁷³⁾ は、横須賀、東京 (本郷)、銚子、横浜、東京 (一ツ橋)、沼津、熊谷、水戸、前橋の S-P 時間から、津村 (1973)⁷⁴⁾ の P 波速度構造と渋谷 (1974)⁸⁹⁾ の関東地方における V_p/V_s の深さ分布を用いて震源を、 $139^{\circ}55'$ E、 $35^{\circ}06'$ N の嶺岡付近、深さ 50 km と推定した。石橋 (1975d) は、「解は自由度がかなりあるので模式的に示したが、P 軸 (×P 印)

はあまり動かない」と付記した上で発震機構を掲載した(図7)。

神林・勝又(1975)³³⁾は、中央気象台(1950)²⁴⁾、気象庁観測部地震課(1971)²⁵⁾、宇佐美(1973)³¹⁾、勝又(1975a⁵⁹⁾、1975b⁶⁰⁾)および石橋(1975a⁷²⁾、1975b⁶³⁾)による震源、Mと震度分布を掲載した。宇津(1979)⁸⁾は、震源を139.8°E、35.2°Nの千葉県西岸のやや深い地震とし、Mを6.8と見積もった。勝間田(2001)⁴¹⁾はPHS内部からPAC上面までの間に発生したやや深い地震とした。宇佐美(2003)⁴⁴⁾は、震央を139.75°E、35.2°N、Mを6.8として震度分布を掲載し、被害の概要を述べた。

e) 1987年千葉県東方沖地震(M6.7; 気象庁による)

1987(昭和62)年12月17日11時8分に房総半島の九十九里浜沖約10kmの深さ57.9km(気象庁震源による)で発生した。銚子、勝浦、千葉で震度、水戸、熊谷、河口湖、横浜、東京、館山、網代で震度を観測した。この地震による死者は2名、負傷者数は文献により異なり、123名(溝上、1990⁹⁰⁾; 宇佐美、2003⁴⁴⁾)、135名(気象庁地震予知情報課、1988a⁹¹⁾)、138名(鈴木、1990⁹²⁾)、144名(荒、1990⁹³⁾)または161名(宇津、1999⁵¹⁾)であった。家屋被害は、全壊10棟、半壊93棟、一部破損63、692棟にのぼり、多数の道路(1,565ヶ所)や橋梁(68ヶ所)の損壊、ブロック塀の倒壊(1,901ヶ所)やがけ崩れ(385ヶ所)といった被害が報告された(溝上、1990⁹⁰⁾; 宇佐美、2003⁴⁴⁾)。また、九十九里沿岸の砂丘地帯や利根川沿いの沖積低地、東京湾沿岸の埋立地を中心に予想以上に広い範囲で地盤の液状化現象が発生した。そのため、液状化や斜面崩壊について多くの調査研究が行われた。

気象庁地震予知情報課(1988a⁹¹⁾)は、本震の発震機構は逆断層成分を含む右横ずれであると推定し(図9a)、余震活動の推移ならびに千葉県東方沖における過去の地震活動について議論した。1988年1月16日の最大余震(M5.2)発生後にやや活発化した。余震活動は全体的に順調に減衰したこと、および本震の約15秒前にM2.7の前震があったことを報告した。茂木(1988⁹⁴⁾)は、1987年千葉県東方沖地震を含んだ房総半島及びその周辺と、房総半島南東はるか沖のプレート三重会合点の周辺の地震活動が連動している可能性を、両地域で発生した地震のM-Tダイアグラムから指摘した。

川勝(1988)⁹⁵⁾は、Centroid moment tensor法(Dziewonski et al., 1981⁹⁶⁾)やNabelek(1984)⁹⁷⁾の方法などから発震機構(図9b)、地震モーメントならびに震源の深さを議論した。発震機構はいずれも一つの節面がほぼ南北走向をもつ横ずれ型となっている一方で、地震モーメントと震源の深さはそれぞれ、 6.1×10^{25} dynecm、54.5 km(CMT解)、 7.4×10^{25} dynecm、39.9 km(Nabelek解)と異なる。

武尾・関田(1988)⁹⁸⁾は、震央距離約100kmまでの4観測点(銚子、館山、東京、及び水戸)の1倍強震計記録を用いてTakeo(1987)⁹⁹⁾の方法により震源過程解析を行った。推定された震源過程の特徴として、破壊が断層面の南側の深いところから浅い方向に向かって伝播したこと、地震モーメント解放量の大きな領域は断層面の中央部と深い方に見られるが全体的に滑らかな分布であること、地震モーメント解放量の大きな領域は余震発生が少ない領域と対応していることを挙げた。

山田(1988)¹⁰⁰⁾は、気象庁、国立防災科学技術センター、東京大学地震研究所、名古屋大学の地震データによる発震機構と余震域から、震源を140.50°E、35.33°N、深さ50km

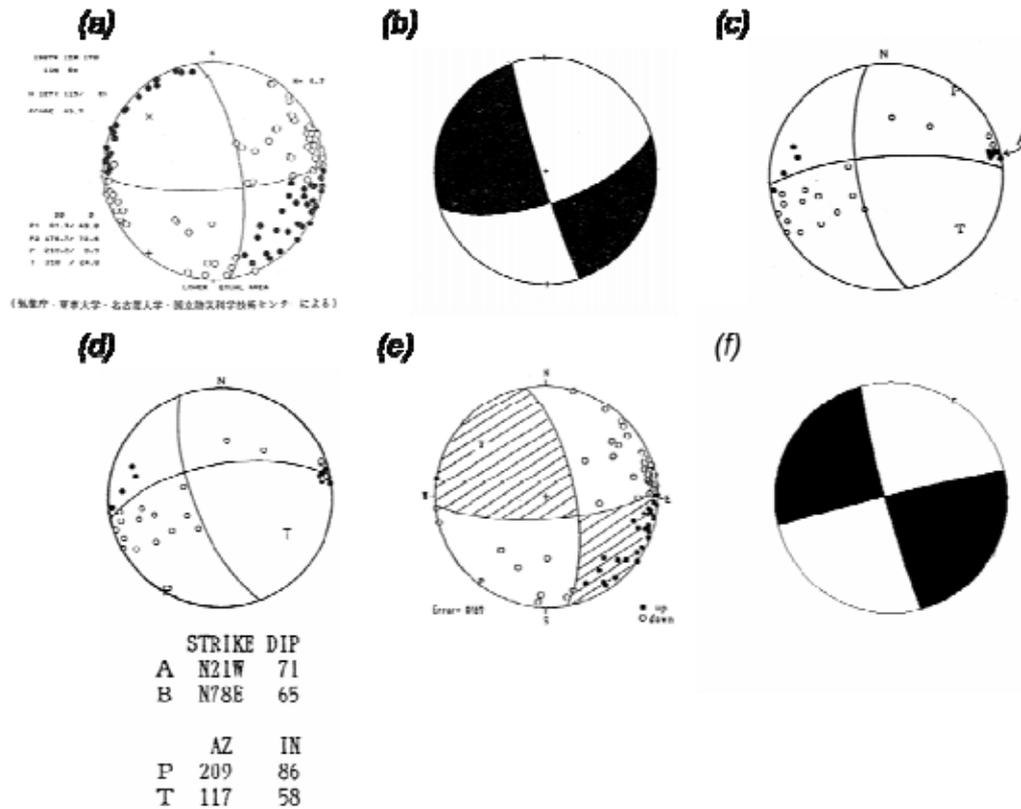


図9. 1987年千葉県東方沖地震の発震機構〔(a) 気象庁地震予知情報課(1988a)⁹¹⁾ (b) 川勝(1988)⁹⁵⁾ CMT解 (c) 山田(1988)¹⁰⁰⁾ (d) 山田・佐藤(1988)¹⁰⁸⁾ (e) Okada and Kasahara(1990)¹¹⁴⁾ (f) 石辺・鶴岡(2009)¹³⁰⁾による〕。

(断層の下端) M を 6.7 と推定し、断層パラメーターを断層長さ 17.3 km、断層幅 27 km、走向 351.3° 、傾斜角 69.8° 、すべり角 164.0° 、すべり量 0.46 m とそれぞれ推定した(図 9c)。この断層モデルから Sato and Matsu'ura (1974)¹⁰¹⁾の式によって計算された歪の理論値と、気象庁の体積歪計で観測された歪ステップを比較し、5 観測点で極性が不一致となったこと、震源からある程度離れた場所ではほぼ理論値と一致するが、震源近傍では理論値と観測値に差が見られることを報告した。

岡田・笠原(1988)¹⁰²⁾、岡田(1988)¹⁰³⁾は、初動から発震機構を推定し、余震分布と走向が一致する節面を断層面とした(走向 349° 、傾斜角 69° 、すべり角 163°)。断層面は余震域から $20 \text{ km} \times 20 \text{ km}$ とし、すべり量は $M6.7$ の地震に対する平均的な地震モーメントから 0.6 m と推定した。得られた断層モデルは、筑波における速度型強震計の波形及び八郷における 3 成分歪計のステップと調和的であり、この地震は沈み込んだ PHS の先端部が裂けるような形で発生したものと推定した。

井元(1988)¹⁰⁴⁾は、本震震源を中心とした球状の領域内における b 値の時間変化をベイズ統計の手法を用いて推定し、地震発生前に先行的な b 値の低下があった可能性を示唆した。笠原・他(1988)¹⁰⁵⁾は、1987年千葉県東方沖の地震が笠原(1980)¹⁰⁶⁾による関東・東海地域のテクトニクスを統一的に示すプレートモデルから期待される PHS 東縁の側面とユーラシアプレート間で発生する右横ずれの地震であったことを述べ、このような右横ずれ型の地震が霞ヶ浦～九十九里にかけての南北の帯状の地域で、深さ 50 km 程度に散見

されることを報告した。そして、この領域が笠原（1980）¹⁰⁶⁾による PHS 東縁部と一致することから、笠原（1980）¹⁰⁶⁾が提案したプレートモデルが妥当であるとした。

岩瀬・溝上（1988）¹⁰⁷⁾は、千葉県東方沖で過去に発生した地震の発震機構を調査し、A：北東 - 南西圧縮で横ずれ型の地震（震源深さ 30 ~ 60 km）、B：東西圧縮の逆断層型（震源深さ 60 ~ 80 km）、C：北西 - 南東（あるいは北北西 - 南南東）圧縮の低角逆断層型（震源深さ 20 ~ 40 km）の 3 つのタイプに分類されることを明らかにした（図 10）。また、A タイプは PHS 内応力場を反映した地震、B タイプは PAC の沈み込みを示す地震、C タイプは PHS 上面で発生した地震であるとそれぞれ解釈し、本震から 1 ヶ月後に発生した最大余震が C タイプであったことを報告した。

山田・佐藤（1988）¹⁰⁸⁾は、短周期歪計の観測記録に基づいた初動から発震機構を推定した（図 9d）。また、地震時の歪ステップの観測値と断層モデルから計算される理論値との比較から、極性が一致しなかった観測点が見られることを述べ、その原因として歪計の周辺媒質の非弾性による効果を挙げた。更には、房総半島や東伊豆の観測点において、長期にわたる余効的な伸び縮みが見られたことを報告し、これは地下水等の周辺媒質の動きを反映したものであるとした。

福山・木下（1988¹⁰⁹⁾、1989¹¹⁰⁾）および Fukuyama（1991）¹¹¹⁾は、経験的グリーン関数を用いた波形インバージョン法により震源過程を解析し、断層面上でのモーメント解放量の分布、破壊開始時間のパターン、破壊継続時間ならびに応力降下量の分布を推定した。ほぼ南から北へ破壊が伝播するユニラテラルな破壊で、モーメント解放量が最も大きかった領域は断層面の北側深部であったと推定した。また、モーメント解放量が小さかった領域で余震活動が活発であった特徴を述べ、北部浅部に延びていった余震活動は本震の破壊停止に伴う応力集中によるものである可能性を指摘した。

木下・御子柴（1988）¹¹²⁾は、強震記録から震源特性（加速度震源パワースペクトル密度）と、伝播経路の $1/Q_s$ の周波数特性を議論した。瀬川・他（1988）¹¹³⁾は、気象庁による余震分布から仮定した震源断層とマイクロゾーニング手法を用いて地震動分布を算定し、被害調査結果や強震観測波形との比較を行った。

Okada and Kasahara（1990）¹¹⁴⁾は、関東東海地殻活動解析システム（Hamada et al., 1985¹¹⁵⁾）で観測された初動から発震機構を推定し、地震後に観測された余震分布からほぼ南北走向をもった右横ずれの垂直な震源モデルを提示した（図 9e）。また、余震活動の時空間的な推移について議論した。溝上（1990）⁹⁰⁾は、震源過程と余震活動の特徴について既往研究を整理し、房総半島東方沖の群発地震活動や近年の関東地方の地震活動との関係について考察した。草野・吉田（1990）¹¹⁶⁾、及び吉田・他（2001）¹¹⁷⁾は、千葉県東方沖地震の余震活動の特徴を論じ、12月と1月の余震活動に明瞭な違いが見られたことを報告した。本震直後の2週間は震源断層の東側で余震が活発であったが、1月に入ってその活動域が西側に移り静穏化した後、16日に逆断層型の発震機構の最大余震（M5.2）が発生した。吉田・佐藤（1995）¹¹⁸⁾は、推定された断層面の東側に偏って余震活動が活発であったことを報告した。

小高・前田（1994）¹¹⁹⁾は、気象庁震源カタログ、国立大学観測網地震カタログ（JUNEC）を用いて 1987 年千葉県東方沖地震前後の震源域ならびに周辺の地震の巣における地震活動の変化を議論した。その結果、いずれのカタログでも千葉県中部の地震の巣において、

本震の発生前後で震源分布に顕著な深さ変化が認められ、震源域において 20 km 以浅の地震が本震の 2 年ほど前からほぼ見られなくなる特徴を挙げた。地震調査委員会 (1997³⁷⁾、1999³⁸⁾) は沈み込む PHS 内の地震であるとし、気象庁地震予知情報課 (1988a)⁹¹⁾ に基づいた震度分布と日別余震回数、藤井・宮下 (1988)¹²⁰⁾ や千葉工業大学 (1988)¹²¹⁾ などから作成した液化化地点分布、春川 (1990)¹²²⁾ から作成した屋根瓦の被害率を掲載した。宇佐美 (2003)⁴⁴⁾ は、震央を 140° 29.8 E、35° 22.3 N、深さを 58.0 km、M を 6.7 とし、震度分布、千葉県内液化化発生場所(荒、1990⁹³⁾ による)、屋根瓦の被害率(春川、1990¹²²⁾ による) および県別被害表を掲載した。

中島・長谷川 (2009)¹²³⁾、Nakajima and Hasegawa (2010)¹²⁴⁾ は、1987 年千葉県東方沖地震の余震が関東下のフィリピン海スラブ最東端部のマントル蛇紋岩化域 (Nakajima et al., 2009¹²⁵⁾; Uchida et al., 2009¹²⁶⁾) の西縁で発生し、走向が蛇紋岩化域西縁のそれとほぼ一致することを指摘した。また、1921 年茨城県南部の地震の一つの節面 (石橋、1973b⁶²⁾、1975d⁶⁴⁾) もほぼ蛇紋岩化域西縁の方向と一致することを指摘し、蛇紋岩化西縁に沿って近年発生した微小地震の発震機構が 1987 年千葉県東方沖地震とほぼ一致することから、蛇紋岩化域の西縁では現在も右横ずれの運動が進行している可能性を示唆した。さらには、関東地震の余震 (M7.1) が蛇紋岩化域の西縁に沿う地震であったとすれば、蛇紋岩化域の西縁に沿う変位速度から計算される変位量 (約 32 - 58 cm) と千葉県東方沖地震での平均すべり量 30 - 60 cm (Okada and Kasahara, 1990¹¹⁴⁾) がほぼ等しくなることから、関東地震の余震と 1987 年千葉県東方沖地震が同じアスペリティの繰り返し破壊であった可能性を指摘した。

これらの既往研究を総括すると、1987 年千葉県東方沖地震は PHS 内部で発生した、逆断層成分を含む横ずれ型の地震であった (図 9a ~ f)。震源は断層面の南側の深いところに位置し、浅い方向かつ北へ向かってユニラテラルに破壊が伝播した。本震によるモーメント解放量が大きかった領域と余震によるモーメント解放との間には相補的な関係が認められた。本震直後の余震活動は断層面の東側に偏って発生したが、1 月に入り西側領域へ移動、静穏化した後に逆断層型の最大余震 (M5.2) が発生した。本震発生前に先行的に b 値が低下した可能性があり、また周辺域の千葉県中部の地震の巣において、震源の深さ分布に明瞭な変化が認められた。

2) 新たな速度構造モデルを用いた震源再決定

首都直下で発生した M7 級の地震の類型化には、プレート境界と震源の深さの位置関係が重要な判断材料となる。そこで、新たな速度構造モデルを用いて最近の地震の震源再決定を行った。速度構造として地震研究所観測点の速度構造を用い、1997 年 10 月以降の気象庁震源を Double Difference 法 (Waldhauser and Ellsworth, 2000¹²⁷⁾) を用いた相対的震源再決定を行った。図 4 に茨城県南西部における再決定震源の分布を示す。

3) 1895 年茨城県南部の地震 (M7.2)、1921 年茨城県南部の地震 (M7.0) の震源深さの推定

1895 年茨城県南部の地震 (M7.2) は、図 4 に示すように鬼怒川沿いの深さ約 40-60 km の PHS 上面で発生するもの (鬼怒川側クラスター) と、筑波山付近の深さ約 60-80 km の PAC 上面で発生するもの (筑波側クラスター) のどちらかのタイプの地震であった可能性

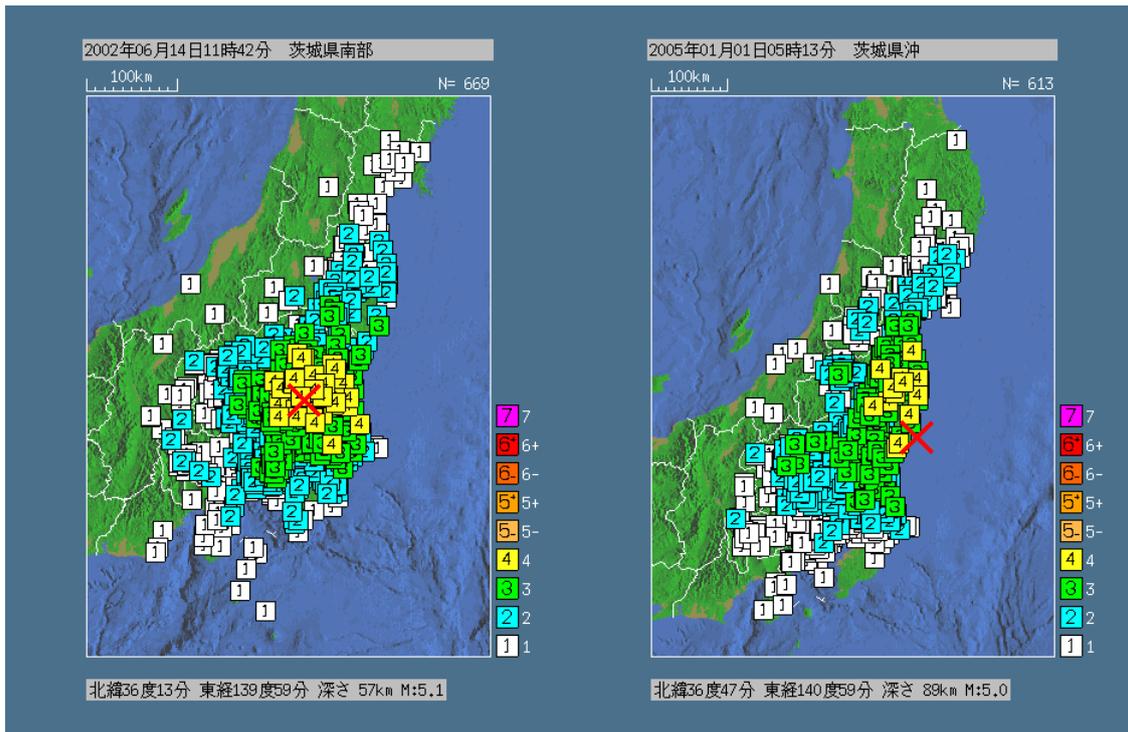


図 10. 茨城県付近で発生した地震の震度分布 (気象庁震度データベースによる。左; PHS 内部の地震、右; PAC 内部の地震)。

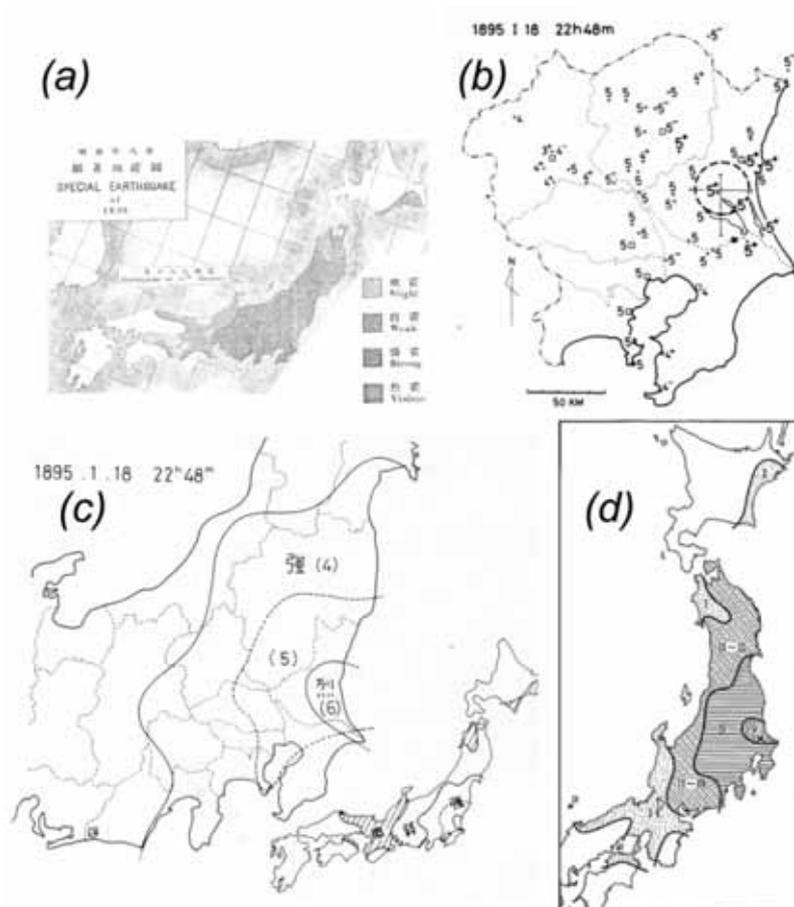


図 11. 1895 年茨城県南部の地震の震度分布 [(a) 中央気象台 (1895c)⁵²⁾、(b) 石橋 (1975)⁵³⁾、(c) 神林・勝又 (1975)³³⁾、(d) 宇佐美 (2003)⁴⁴⁾ による]。

が指摘されているが、具体的に震源深さを議論した既往研究は見当たらない。その一方で、大森 (1899b)²³⁾には東京の初期微動継続時間が 11.3 秒であったことが記載されている。この初期微動継続時間から宇津 (1979)⁸⁾の震央を仮定し、気象庁速度構造 JMA2001 (上野・他、2002¹²⁸⁾)を仮定すると、震源深さは 75~85 km 程度と推定される。これを当該領域で推定されている Ishida (1992)¹²⁹⁾の PAC 上面深度と対比すると、この地震が PHS と PAC の境界または PAC 内で発生した地震であった可能性を示唆する。

また、推定されている震央位置で近年発生した PAC 内地震と PHS 内地震の震度分布を図 10 に示す。PAC 内地震は、東北~北海道の太平洋側で震度が大きくなる「異常震域」が見られる一方、PHS 内地震はほぼ同心円状の震度分布になる。上記の特徴から 1895 年茨城県南部の地震の震源深さを議論することが可能であると考えられるが、震度分布が図 11 に示すように、既往研究に相違が認められるため、今後、震度分布について精査する必要がある。

1921 年茨城県南部の地震は、石橋 (1975a、1975b、1975c) によって 140°10'E、36°04'N の土浦南西部、深さ 53 km であると推定されている。また、S - P 時間の読み取り誤差を考慮しても震源の深さが 40~60 km に収まることから、現在も地震活動が活発な茨城県南部の深さ数 10 km の地震の巣 (坪井、1967) で発生した地震であろうとした。本年度は、上記の S - P 時間ならびに気象庁速度構造を用いて震源決定を行った。その結果、石橋 (1975a、1975b、1975c) とほぼ同様の深さ 55 km 程度と推定された。震源の深さとこの領域における PAC 上面の深さとを比較すると、1921 年茨城県南部の地震は沈み込む PHS 内で発生した地震であったことを示唆する。1921 年茨城県南部の地震の震度分布からは、PAC 内地震の特徴である「異常震域」は認められない。推定された震源の深さ、当該領域における PAC 上面の深度や震度分布からは PAC 内地震とは考えにくい。また、震源の深さ精度を考慮すると、PAC 上面に沿って発生した地震、つまりプレート間地震であった可能性も否定できないが、牛山 (1922a) による初動を用いて HASH (Hardebeck and Shearer, 2002) により推定された発震機構解は、震源決定精度を考慮しても横ずれ型であり、PAC の沈み込みに伴う低角逆断層型とは異なる。以上の点から、1921 年茨城県南部の地震は沈み込む PHS 内で発生した地震であったと考えられる。中島・長谷川 (2009)、Nakajima and Hasegawa (2010) によって示唆されるように、1921 年茨城県南部の地震や、1987 年千葉県東方沖地震が蛇紋岩化域西縁における右横ずれ運動によるアスペリティの繰り返し破壊であるとすれば、震源域を特定した長期評価の高度化が可能であると考えられる。したがって、今後引き続き、近年の地震活動分布との対応や震源位置とその発震機構について慎重な検討が必要である。

(c) 結論ならびに今後の課題

本年度は、「その他の南関東で発生する M7 級地震」の発生確率の根拠となっている 5 地震について、既往研究の整理と資料の収集を行った。また、新しい速度構造を用いて最近の地震の相対的震源再決定を行い、1895 年茨城県南部の地震 (M7.2) ならびに 1921 年茨城県南部の地震 (M7.0) の震源深さを議論した。その結果、1895 年茨城県南部の地震は 75~85 km 程度と推定され、これは沈み込む PAC の上面あるいは PAC 内部で発生した地震であった可能性を示唆する。また、1921 年茨城県南部の地震は、深さ 55 km 程度と推定され、沈み込む PHS 内で発生した地震であったと考えられる。今後は、本年度に収集さ

れた地震波形記録に基づいて S-P 時間を読み取り、より精度の高い震源深さの推定を実施するとともに発震機構解についても引き続き調査する予定である。

(d) 引用文献

- 1) Matsu'ura, M., T. Iwasaki, Y. Suzuki and R. Sato: Statical and Dynamical Study on Faulting Mechanism of the 1923 Kanto Earthquake, *Journal of Physics of the Earth*, **28**, 119-143, 1980.
- 2) Abe, K.: Seismic displacement and ground motion near a fault: The Saitama earthquake of September 21, 1931, *J. Geophys. Res.*, **79**, 4393-4399, 1974.
- 3) Okada, Y. and K. Kasahara: Earthquake of 1987, off Chiba, central Japan and possible triggering of eastern Tokyo earthquake of 1988, *Tectonophysics*, **172**, 351-364, 1990.
- 4) 防災科学技術研究所: 1992年2月2日浦賀水道付近の地震, *地震予知連絡会会報*, **48**, 112-120, 1992.
- 5) 岡田義光: 首都圏直下に発生する地震のタイプわけ, *地震学会講演予稿集*, **2**, 69 (A69), 1992.
- 6) 地震調査委員会: 相模トラフ沿いの地震活動の長期評価, 31pp, 2004.
- 7) 瀬野徹三: 首都圏直下型地震の危険性の検証 - 本当に危険は迫っているのか? -, *地学雑誌*, **116**, 370 - 379, 2007.
- 8) 宇津徳治: 1885 ~ 1925 年の日本の地震活動 - M6 以上の地震及び被害地震の再調査 -, *東京大学地震研究所彙報*, **54**, 253 - 308, 1979.
- 9) 茅野一郎: 明治 27 年東京地震の被害について, *東京都防災会議東京直下地震に関する調査研究(その3) - 地震活動状況に関する考察 -*, 123 - 131, 1975a.
- 10) 茅野一郎: 明治中期の“煙突地震”明治 27 (1894) 年 6 月 20 日東京・横浜の地震. *地震ジャーナル*, **8**, 30 - 37, 1989.
- 11) 大迫正弘・金子隆一: 1894 年の東京地震の写真資料, *国立科学博物館研究報告 E 類*, **27**, 9-19, 2004.
- 12) 震災予防調査会: 地震其他地異彙報, *震災予防調査会報告*, **3**, 142 - 171, 1895a.
- 13) 地学雑誌: 本月廿日東京四近の烈震, *地学雑誌*, **6**, 357 - 359, 1894.
- 14) 大森房吉: 本年六月二十日ノ強震及ビ其余震ニ就キテ, *東洋学芸雑誌*, **154 (11)**, 379 - 382, 1894a.
- 15) 大森房吉: 東京府下震災被害表, *東洋学芸雑誌*, **154 (11)**, 382 - 385, 1894b.
- 16) 大森房吉: 雑報(強震波線図・地震検測報告), *東洋学芸雑誌*, **154(11)**, 385 - 388, 1894c.
- 17) 中央气象台: 六月二十日午後二時零四分, *中央气象台年報第2編*, 戊 38 - 47, 1894.
- 18) 中央气象台: 六月二十日午後二時零四分, *明治廿七年地震報告*, 38 - 47, 1895a.
- 19) 中央气象台: 六月二十日午後二時零四分, *中央气象台年報第二部地震之部 1894 年*, 38 - 47, 1897.
- 20) 関谷清景・大森房吉: 明治二十七年六月二十日東京激震ノ地震計記録図, *震災予防調査会報告*, **28**, 97 - 99, 1899.
- 21) 大森房吉: 明治二十七年六月二十日東京激震ノ調査, *震災予防調査会報告*, **28**, 71 - 78, 1899a.
- 22) Omori F.: Note on the Tokyo Earthquake of June 20th 1894, *Publications of the Earthquake*

Investigation Committee in foreign language, 4, 25 - 35, 1900 .

- 23) 大森房吉:地震ノ初期微動ニ関スル調査, *震災予防調査会報告*, 29, 37 - 45, 1899b .
- 24) 中央气象台:日本におけるおもな地震の規模表(1885 - 1950),*中央气象台地震年報* 1950 , 99 - 184, 1950 .
- 25) 気象庁観測部地震課:東京有感地震資料 (1885 年 - 1970 年) 163pp, 1971 .
- 26) 国土地理院:明治 27 年の東京湾北部の地震前後の水準測量, *地震予知連絡会会報*, 7, 25 - 26, 1972 .
- 27) 萩原尊禮:明治 27 年東京地震, 安政 2 年江戸地震, 元禄 16 年関東地震の震度分布, *地震予知連絡会会報*, 7, 27 - 31, 1972a .
- 28) 萩原尊禮:東京の被害地震, *地質工学*, 8, 6 - 11, 1972b .
- 29) 勝又護・徳永規一: 震度 の範囲と地震の規模および震度と加速度との対応, *気象庁技術報告*, 76, 39 - 41, 1971 .
- 30) 村松郁栄: 震度分布と地震のマグニチュードとの関係, *岐阜大学教育学部研究報告, 自然科学*, 4, 168 - 176, 1969 .
- 31) 宇佐美龍夫: 関東地方の古い地震震央位置の範囲, *関東大地震 50 周年論文集*, 1 - 12, 1973 .
- 32) 茅野一郎: 明治 27 年東京地震に関する資料 (付属資料 II), *東京都防災会議東京直下地震に関する調査研究 (その 3) - 地震活動状況に関する考察 -* , 317 - , 1975b .
- 33) 神林幸夫・勝又護: 東京の被害地震の表およびその震度分布図付震度 以上の地震, *東京都防災会議東京直下地震に関する調査研究 (その 3) - 地震活動状況に関する考察 -* , 53 - 103, 1975 .
- 34) 須藤研: 1894 , 95 年の 2 つの東京被害地震の地震記録, *地震学会講演予稿集*, 2, 127, 1976 .
- 35) 須藤研: 東京地震 (明治 27 年 6 月) の断層模型, *地震学会講演予稿集*, 1, 144, 1977 .
- 36) 橋田俊彦・勝間田明男・三上直也:1894 (明治 27) 年に東京を襲った 2 つの地震, *地球惑星関連学会 1993 年合同大会予稿集*, F21-07, 220, 1993.
- 37) 地震調査委員会:『日本の地震活動 - 被害地震から見た地域別の特徴 - 』,391pp, 1997 .
- 38) 地震調査委員会:『日本の地震活動 - 被害地震から見た地域別の特徴 - (追補版) 』, 395pp, 1999 .
- 39) 勝間田明男・橋田俊彦・三上直也:明治の東京地震 (1894 年) の震源パラメーターについて, *地震* 2, 52, 81 - 89, 1999 .
- 40) 気象研究所地震火山研究部:南関東地域における応力場と地震活動予測に関する研究, *気象研究所技術報告*, 40, 156pp, 2000 .
- 41) 勝間田明男:古い強震計の記録からよみとれる明治以降の南関東地域の地震の特性, *月刊地球*, 号外 No.34, 61-69, 2001 .
- 42) Katsumata A.: Attenuation function of displacement amplitude for magnitude calculation, *Papers in Meteorology and Geophysics*, 50, 1-14, 1999.
- 43) 勝又護:深い地震の Magnitude を決める一方法, *地震* 2, 17, 158 - 165, 1964 .
- 44) 宇佐美龍夫:「最新版・日本被害地震総覧・416-2001」, *東京大学出版会*, 605pp, 2003.
- 45) 古村孝志・室谷智子・中村操:1894 年明治東京地震の強震動と震源像, *日本地震学会*

2005 年秋季大会講演予稿集, B097, 103, 2005.

- 46) 古村孝志・中村操・室谷智子・山中佳子:[講演要旨] 明治東京地震の震源像と強震動, *歴史地震*, **21**, 64, 2006.
- 47) 古村孝志・竹内宏之:首都圏直下の地震と強震動 - 安政江戸地震と明治東京地震 -, *地学雑誌*, **116**, 431 - 450, 2007.
- 48) 山田眞:東京における濃尾地震の円盤地震記録の解析, *2004 年日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 構造 II, 振動, 原子力プラント* 565-566, 2004.
- 49) 中央気象台:十月七日午後八時三十分, *明治廿七年地震報告*, 49 - 51, 1895b.
- 50) 震災予防調査会:地震其他地異彙報, *震災予防調査会報告*, **4**, 95 - 113, 1895b.
- 51) 宇津徳治:地震活動総説, *東京大学出版会*, 876pp, 1999.
- 52) 中央気象台:一月十八日午後十時四十八分常陸地方ノ地震, *明治廿八年地震報告*, 30 - 38, 1895c.
- 53) 石橋克彦:東京に被害を与えた明治・大正期の地震の震源位置の再検討, *東京都防災会議東京直下地震に関する調査研究(その3) - 地震活動状況に関する考察 -*, 132 - 136, 1975.
- 54) 橋田俊彦・三上直也:明治～昭和初期の地震記象の解析 - GME 普通地震計と CMO 強震計の例 -, *地震学会講演予稿集 1992 年秋季大会*, B65, 163, 1992.
- 55) 野口伸一:関東地域の地震活動・発震機構・火山フロントとフィリピン海および太平洋プレートの沈み込み, *東京大学地震研究所彙報*, **73**, 73-103, 1998.
- 56) 中央気象台:龍ヶ崎附近ノ地震, *気象要覧*, **265**, 309 - 311, 1921.
- 57) 牛山高見:初動微動時の比を用ひて震源を求むる作図 - 附大正十年十二月八日夜東京強震の震源につきて, *気象集誌*, **41**, 114 - 119, 1922b.
- 58) 大森房吉:大正十年十二月八日夜の東京強震に関する件, *東洋学芸雑誌*, **39 (484)**, 59 - 60, 1922a.
- 59) 勝又護:大正時代の地震活動について - 1923 年の関東地震前の地震活動を中心に - (概報), *東京都防災会議東京直下地震に関する調査研究(その3) - 地震活動状況に関する考察 -*, 117 - 122, 1975a.
- 60) 勝又護:大正時代の地震資料について 2, 3 のこと, *昭和 50 年度地震学会春季大会講演予稿集*, 66, 1975b.
- 61) 石橋克彦:大正 10 年龍ヶ崎地震の震源位置について - アーツ 1 号が発見した「線」との関連 - (速報), *地震 2*, **26**, 362 - 367, 1973a.
- 62) 石橋克彦:ERTS1 号による関東平野の「線形」といくつかの地震活動, *地震学会講演予稿集 No. 2*, 131, 1973b.
- 63) 石橋克彦:多層構造モデルのもとで多点の S - P 時間をもちいた古い地震の震源再計算, *地震 2*, **28**, 347-364., 1975b
- 64) 石橋克彦:関東大地震直前の関東内陸の起震応力 - 相模トラフ大地震発生の指標 -, *地震学会講演予稿集*, **1**, 69, 1975d.
- 65) 勝間田明男:1921 年 12 月 8 日に茨城県南西部で発生した地震の発震機構と地震モーメント, *地震 2*, **53**, 83 - 88, 2000.
- 66) 牛山高見:12 月 8 日夜千葉縣印旛沼附近の小破壊的地震に就きて, *気象集誌*, **41**, 4 -

- 13, 1922a .
- 67) Ushiyama, T.: On the Destructive Earthquake near Tokyo on the night of 8th, December 1921, *Seism. Bull. Cent. Met. Obs., Japan*, **1**, No.1, 36-38, 1922c.
- 68) Omori, F.: On the Severe Earthquake of Dec. 8, 1921, *Seismological Notes*, **2**, 1-21, 1922g.
- 69) 保田柱二:大正十年十二月八日夜強震の余震, *東洋学芸雑誌*, **39 (484)**, 60, 1922a .
- 70) Yasuda Ch.: List of the After-shocks of the Strong Earthquake of Dec. 8, *Seismological Note*, **2**, 22 - 23, 1922b .
- 71) 津村建四朗:地殻構造を考慮した震源の図式決定の一方法, *地震研究所彙報*, **48**, 1137 - 1143, 1970 .
- 72) 石橋克彦:東京に被害を与えた明治・大正期の地震の震源位置の再検討, *東京都防災会議東京直下地震に関する調査研究(その3) - 地震活動状況に関する考察 -*, 132 - 136, 1975a .
- 73) 石橋克彦:多層構造モデルのもとで多点の S - P 時間を用いた古い地震の震源再計算, *地震学会講演予稿集*, **1**, 68, 1975c .
- 74) 津村建四朗:関東地方の微小地震活動, *関東大地震50周年論文集*, 67 - 87, 1973 .
- 75) 坪井忠二:「新・地震の話」, *岩波書店*, 211pp, 1967 .
- 76) 古川信雄・井元政二郎:関東地方におけるフィリピン海・太平洋プレートの地下境界の微細構造, *地震2*, **43**, 413 - 429, 1990 .
- 77) 笠原敬司:プレートが三重会合する関東・東海地方の地殻活動様式, *国立防災科学技術センター研究報告*, **35**, 33 - 137, 1985 .
- 78) 中央气象台:千葉縣下木更津附近ノ地震, *気象要覧*, **269**, 105 - 114, 1922c .
- 79) 中村左衛門太郎:四月廿六日の東京附近の強震に就て, *気象集誌*, **41**, 139 - 156, 1922a .
- 80) Nakamura S.: On the Destructive Earthquake occurred near Tokyo on the 26th, April 1922, *Seism. Bull. Cent. Met. Obs., Japan*, **1**, No. 1, 39-44, 1922b.
- 81) 大森房吉:東京の強震, *地学雑誌*, **34 (401)**, 285, 1922b .
- 82) 大森房吉:東京にて感じたる激震強震の強震計記録図, *東洋学芸雑誌(学芸)*, **39(489)**, 2-5, 1922c .
- 83) 大森房吉:震源位置測定の方法, *東洋学芸雑誌(学芸)*, **39 (491)**, 42 - 46, 1922e .
- 84) Omori, F.: The semi-destructive earthquake of April 26, 1922, *Seismological Notes*, **3**, 1-30, 1922h.
- 85) 大森房吉:大正十一年四月二十六日強震に関する件, *東洋学芸雑誌(学芸)*, **39(489)**, 152, 1922d .
- 86) 那須信治:大地震の地動, *防災科学技術*, **26**, 2 - 3, 1974 .
- 87) 那須信治・竹内盛雄・森岡敬樹・稲葉正雄:大地震動の数値化と解釈(その4), *日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造系 49(構造系)*, 385 - 386, 1974a .
- 88) 那須信治・竹内盛雄・森岡敬樹・稲葉正雄:大地震動の数値化と解釈(その5), *日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造系 49(構造系)*, 387 - 388, 1974b .
- 89) 渋谷和雄:関東地方の地殻マントル構造について, *東京大学理学系大学院修士論文*, 1974 .
- 90) 溝上恵:千葉県東方沖地震の概要, *地質学論集*, **35**, 1 - 10, 1990 .

- 91) 気象庁地震予知情報課:千葉県東方沖の地震活動(1987年12月), *地震予知連絡会会報*, **40**, 72 - 80, 1988a.
- 92) 鈴木尉元:千葉県東方沖地震の発生機構について, *地質学論集*, **35**, 11 - 18, 1990.
- 93) 荒孝一:直下型地震に備える - 1987年千葉県東方沖地震の教訓 -, *地震ジャーナル*, **10**, 33 - 39, 1990.
- 94) 茂木清夫:1987年千葉県東方沖地震と周辺の地震活動, *地震予知連絡会報*, **40**, 87 - 89, 1988.
- 95) 川勝均:千葉県東方沖地震の震源解, *地震学会講演予稿集*, **2**, 246, 1988.
- 96) Dziewonski, A. M., Chou, T. A.-and Woodhouse, J. H.: Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity, *J. Geophys. Res.*, **86**, 2825-2852, 1981.
- 97) Nabelek J. L.: Determination of earthquake source parameters from inversion of body waves, Ph. D. Thesis, *Mass. Inst. of Technology*, 1984.
- 98) 武尾実・関田康雄:1987年房総半島沖地震の震源過程, *地震学会講演予稿集*, **1**, 18, 1988.
- 99) Takeo, M.: An inversion method to analyze the rupture processes of earthquakes using near-field seismograms, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **77**, 490-513, 1987.
- 100) 山田尚幸:体積歪計で観測された1987年12月17日千葉県東方沖の地震, *地震学会講演予稿集*, **1**, 66, 1988.
- 101) Sato R. and M. Matsu'ura: Strains and tilts on the surface of a semi-infinite medium, *Journal of Physics of the Earth*, **22**, 213-221, 1974.
- 102) 岡田義光・笠原敬司:1987年12月千葉県東方沖地震, *地震学会講演予稿集*, **1**, 63, 1988.
- 103) 岡田義光:1987年12月17日千葉県東方沖地震, *地震予知連絡会会報*, **40**, 81 - 86, 1988.
- 104) 井元政二郎:千葉県東方沖地震前の b 値変化, *地震学会講演予稿集*, **1**, 67, 1988.
- 105) 笠原敬司・岡田義光・大竹正和・沢田義博:1987年12月に発生した千葉県東方沖地震(M6.7)のテクトニクスの意味, *地震学会講演予稿集*, **1**, 64, 1988.
- 106) 笠原敬司:関東地方の地震発生様式について, *地震学会講演予稿集*, **2**, 66, 1980.
- 107) 岩瀬良一・溝上恵:千葉県東方沖周辺の地震のメカニズムについて, *地震学会講演予稿集*, **1**, 65, 1988.
- 108) 山田尚幸・佐藤馨:千葉県東方沖の地震に伴った体積歪計の記録について, *験震時報*, **52**, 25 - 38, 1988.
- 109) 福山英一・木下繁夫:1987年千葉県東方沖地震の破壊過程の推定 - 経験的 Green 関数を用いた解析 -, *地震学会講演予稿集*, **2**, 6, 1988.
- 110) 福山英一・木下繁夫:1987年千葉県東方沖地震の破壊過程の推定 - 経験的グリーン関数を用いた解析 -, *地震*, **2**, **42** (1), 39 - 48, 1989.
- 111) Fukuyama E.: Inversion for the Rupture Details of the 1987 East Chiba Earthquake, Japan, Using a Fault Model Based on the Distribution of Relocated Aftershocks, *J. Geophys. Res.*, **96**, 8205-8217, 1991.
- 112) 木下繁夫・御子柴正:千葉県東方沖地震の震源スペクトルと伝播経路における減衰の周波数特性, *地震学会講演予稿集*, **1**, 269, 1988.
- 113) 瀬川秀恭・山本明夫・金子史夫・吉村正義・田中宏:1987年千葉県東方沖地震におけ

- る地震動分布，*地震学会講演予稿集*，**1**，270，1988．
- 114) Okada, Y. and K. Kasahara: Earthquake of 1987, off Chiba, central Japan and possible triggering of eastern Tokyo earthquake of 1988, *Tectonophysics*, **172**, 351-364, 1990.
- 115) Hamada, K., Ohtake, M., Okada, Y., Matsumura, S. and Sato, H.: A high quality digital network for microearthquakes and ground tilt observations in the Kanto-Tokai area, Japan. *Earthquake Predict. Res.*, **3**, 447-469, 1985.
- 116) 草野富二雄・吉田明夫:1987年千葉県東方沖地震の余震活動，*地震2*，**43**，459 - 469, 1990．
- 117) 吉田明夫・草野富二雄・細野耕司:千葉県東方沖地震について．*月刊地球*，号外，**34**，38-50, 2001．
- 118) 吉田明夫・佐藤興平:地震活動と地質構造(2) - 余震分布の非対称性 - ，*地質ニュース*，**486**，27 - 39, 1995．
- 119) 小高俊一・前田憲二:1987年千葉県東方沖地震(M6.7)前後の震源域と周辺の地震の巣における地震活動の変化，*地震2*，**47(4)**，365 - 374, 1994．
- 120) 藤井陽一郎・宮下芳:茨城県における自然災害に関する総合的研究，茨城大学, 1988．
- 121) 千葉工業大学:千葉県東方沖地震被害調査報告，111pp, 1988．
- 122) 春川光男:千葉県東方沖地震による九十九里平野周辺の震度分布とその地質的震動区分，*地質学論集*，**35**，75 - 90, 1990．
- 123) 中島淳一・長谷川昭:関東下におけるフィリピン海スラブの断裂 - スラブ内地震(M \sim 7)との関連 - ，*日本地震学会講演予稿集2009年秋季大会(B12-06)*，47, 2009．
- 124) Nakajima, J. and A. Hasegawa: Cause of M \sim 7 intraslab 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.*, *accepted*, 2010.
- 125) Nakajima, J., F. Hirose, and A. Hasegawa: Seismotectonics beneath the Tokyo Metropolitan area, Japan: Effect of slab-slab contact and overlap on seismicity, *J. Geophys. Res.*, **114**, B08309, doi:10.1029/2008JB006101, 2009.
- 126) Uchida, N., J. Nakajima, A. Hasegawa, and T. Matsuzawa: What controls interplate coupling?: Evidence for abrupt change in coupling across a border between two overlying plates in the NE Japan subduction zone, *Earth Planet Sci. Lett.*, **283**, 111-121, 2009.
- 127) Waldhauser, F. and W.L. Ellsworth: A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **90**, 1353-1368, 2000.
- 128) 上野 寛，畠山信一，明田川保，舟崎淳，浜田信生:気象庁の震源決定方法の改善 -浅部速度構造と重み関数の改良-，*駿震時報*，**65**，pp.123-134, 2002.
- 129) Ishida, M.: Geometry and Relative Motion of the Philippine Sea Plate and Pacific Plate Beneath the Kanto-Tokai District, Japan, *J. Geophys. Res.*, **97**, No.B1, 489-513, 1992.
- 130) 石辺岳男・鶴岡弘:気象庁・JUNEC 検測データの初動極性を用いた 1923 年以降に日本で発生した地震のメカニズム解の推定とその特徴，*日本地震学会2009年秋季大会講演予稿集*，P3-66, 2009．

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
How much is recent seismicity affected by previous large earthquakes?	Ishibe T. and K. Shimazaki	6th international workshop on statistical seismology, Granlibakken resort and conference center, Lake Tahoe, CA, USA	平成21年 4月12日 - 16日	国際
過去の大地震による静的クーロン応力変化と近年の地震活動の相関性	石辺岳男・島崎邦彦	日本地球惑星科学連合大会2009年大会，幕張メッセ国際会議場	平成21年 5月16日 - 21日	国内
FORTRAN言語を用いた地震活動解析プログラム群の構築	石辺岳男・鶴岡弘	日本地球惑星科学連合大会2009年大会，幕張メッセ国際会議場	平成21年 5月16日 - 21日	国内
過去の大地震による静的クーロン応力変化と近年の地震活動の相関性について	石辺岳男・島崎邦彦・鶴岡弘・佐竹健治	第26回歴史地震研究会，滋賀県大津市明日都浜大津ふれあいプラザホール	平成21年 9月12日 - 14日	国内
気象庁・JUNEC検測データの初動極性を用いた1923年以降に日本で発生した地震のメカニズムの推定とその特徴	石辺岳男・鶴岡弘	2009年地震学会秋季大会，京都大学吉田キャンパス，時計台記念館および芝蘭会館	平成21年 10月21日 - 23日	国内
明治以降に南関東で発生したM7級地震 - 30年間の発生確率70%の根拠となった5地震について -	石辺岳男・西山昭仁・佐竹健治・島崎邦彦	2009年地震学会秋季大会，京都大学吉田キャンパス，時計台記念館および芝蘭会館	平成21年 10月21日 - 23日	国内
Correlation between the dCFF caused by large	Ishibe T., K. Shimazaki, H.	2009 AGU fall meeting, Moscone	平成21年 12月14日 -	国際

historical earthquakes and recent seismic activities	Tsuruoka and K. Satake	Convention Center, San Francisco, CA, USA	18日	
--	------------------------	---	-----	--

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所（雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
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 -	石辺岳男・西山昭仁・佐竹健治・島崎邦彦	東京大学地震研究所彙報	平成22年2月	国内
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 -	石辺岳男・西山昭仁・佐竹健治・島崎邦彦	東京大学地震研究所彙報	平成22年2月	国内

マスコミ等における報道・掲載

なし

(f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2)ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成22年度業務計画案

引き続き、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）に掲げられた南関東の直下型地震の5つ（1894年6月20日明治東京地震、1895年1月18日と1921年12月8日茨城県南部の地震、1922年4月26日浦賀水道付近の地震および1987年12月17日千葉県東方沖の地震）の地震についての記録を収集・整理し、1922年浦賀水道付近の地震（M6.8）、1894年明治東京地震（M7.0）などの震源位置や発震機構等を議論する。