

過去の地震・津波災害における死者発生分布の法則性の解明

都司嘉宣¹・矢田俊文²・佐藤孝之³・中西一郎⁴

¹深田地質研究所

²新潟大学

³東大史料編纂所

⁴京都大学

Study on the Law of the Distribution of Casualties for the past Earthquakes and Tsunamis

TSUJI Yoshinobu¹, YATA Toshifumi², SATO Takayuki³, and NAKANISHI Ichiro⁴

¹Fukada Geological Institute

²Niigata Univ.

³Historiographical Inst., Univ. Tokyo

⁴Kyoto Univ.

要旨：本研究では、まず地震による死者は、起震断層に近接した狭い地域の中で集中的に発生するという事実を明らかにした。例えば 2011 年の熊本地震のほとんど総ての死者は、起震断層であった布田川断層の北側 3 km の幅の範囲内で生じていた。1927 年に京都府北部で起きた北丹後地震の時も、死者の分布はやはり起震断層となった峰山断層と山田断層に近接した地域に集中していた。さらに、倒壊家屋 1 軒当たりの死者数の分布が、断層位置を指し示すより良い指標になっていることが明らかとなった。これらの知識は、起震断層がどれかが必ずしも明らかになってはいない歴史地震に対して起震断層を特定するのに有効である。われわれは、1766 年明和津軽地震起震断層が津軽山地西縁断層と青森湾西断層であることを明らかにした。また、津波の高さと死亡率の関係を、1896 年の明治三陸地震津波について検証した。われわれは、最小二乗法によって、この両者の関係を表す対数正規分布関数を定めた。

キーワード：地震津波の死者分布、2016 年熊本地震、昭和 2 年北丹後地震、明治 29 年陸羽地震、明和 3 年津軽地震、文政 11 年越後三条地震、安政元年伊賀上野地震、大正関東震災、昭和 20 年三河地震、後背湿地での液状化、明治 29 年三陸津波

Abstract: In this study, it is clarified that casualties of earthquakes were densely distributed in the narrow zone which is located close parallel to the fault. For example, almost all casualties of the 2016 Kumamoto earthquake were distributed in the narrow zone with 3 kilometers width located on the north side of the Futagawa fault, the seismogenic fault of this event. In the case of the 1927 Kita-Tango earthquake, which occurred in the north part of Kyoto prefecture, casualties were densely distributed also in the zone close to the Mineyama and Yamada faults, both of which are the seismogenic faults of this earthquake. In addition that it was found out that the distribution of numbers of casualties per one destroyed houses makes a more sensitive indicator of the location of the seismogenic faults. Those facts are possible to be applied in identification of the seismogenic faults for the cases of historical earthquakes, which are not always identified it clearly. On the basis of those facts, the seismogenic faults of the Meiwa Tsugaru earthquake of 1766 are identified as the Tsugaru-Sanchi-Seien fault and the Aomori-wan Nishi fault. In the present study, we also clarified the relationship between tsunami heights and the percentage of casualties for the case of the 1896 Great Meiji Sanriku Earthquake Tsunami. We obtained the empirical formula of casualty percentage

in the style of a logarithmic normal distribution as a function of tsunami inundation height by applying the method of the least mean square.

Keywords: distribution of casualties due to an earthquake-tsunami, The 2016 Kumamoto earthquake, The 1927 Kita-Tango Earthquake, The 1896 Riku-u earthquake, The Meiwa Tsugaru earthquake of March 3rd, 1766, The Bunsei Echigo · Sanjo earthquake of December 18th, 1822, The Ansei Iga-Ueno earthquake of July 9th, 1854, The Great Kanto earthquake of September 1st, 1923, The Mikawa earthquake of January 13th, 1945, liquefaction in a back swamp, The 1896 Great Sanriku earthquake-tsunami

1. はじめに

2016年4月14日、および同16日に発生した熊本地震の前震と本震によって、9人、および41人の死者がそれぞれ生じた。筆者は、『熊本日々新聞』の2016年4月末日までの文を入手し、これらの死者の居住地の町名が小字、あるいは丁目までの詳しさを総て記載されていることから、各死者の発生地点が地図上のどこであるのかを突き止めることが出来た(都司, 2016)。16日の本震の起震断層となったのは、阿蘇山の外輪山の出口に当たる南阿蘇村黒川付近を起点として西南西方向に約35kmはなれた宇土市の中心街までを結んでほぼ直線上に走る布田川(ふたがわ)断層であった。そうして14日21時26分の前震による9人の死者、および16日の未明1時25分に起きた本震による41人の死者の大部分は、ほとんどがこの布田川断層の北側3km以内の細長い帯状の地域内で生じた。この両地震による家屋の倒壊は、布田川断層から10km以上離れた大津町の中央付近でも生じている。しかし、このように起震断層から離れた地域では全壊家屋はあっても、人の死は起きていない。この2016年の熊本地震の教える「地震動による死者は、ほとんどが起震断層のごく近くでのみ発生する」という法則が一般的に成り立つならば、我が国で近代的な意味での地震観測が始められた明治20年(1887)以前に我が国で発生した歴史地震に対して、死者分布を調査

することによって、起震断層を特定し、その断層のどの部分がずれを起こしたのかを判定出来るのではないだろうか?実は、このような事実は、都司(2009)、矢田ら(2011)によって文政11年(1828)越後三条地震について指摘されている。また矢田(2015, 2016)は、安政5年(1858)の飛越地震について、同様の事実を論じている。この法則性を近代に起きた3つの地震について確立し、さらに歴史地震に応用する議論が本論文の主要部をなしている。

地震による人の死亡の集中する他の原因に、大河川の後背湿地での液状化を挙げることが出来る。この例は、大正関東震災(1923)の古利根川の流域や、昭和20年(1945)1月の三河地震に見ることが出来る。この事情も1章を設けて詳述しよう。

津波の沿岸集落への来襲による死亡率は一般に地震による死亡率を大きく上回る。例えば1995年の阪神淡路大震災の最大被災地となった神戸市三ノ宮の旧市街地地区での対人口死亡率は7%程度であった。本稿でも取り上げる昭和2年(1927)北丹後地震の最大被災地となった峰山(現京丹後市)ではこの値が20%にも達したが、この数字は地震災害としては異例に大きな数値とすべきであろう。ところが津波による死者は地震による死者よりも遙かに大きく、死亡率が80%を越えることも珍しくない。明治三陸津波(1896)では津波来襲時にその集落にいた人の全

員が死亡した、という例もいくつか見られる。本稿では津波高さと同集落での人口当たり死亡率の関係について考察した。

本稿の構成について記しておこう。本稿は四つの章から成っている。第1章の「はじめに」に続く第2章では、近現代に起きた3件の内陸地震について起震断層と死者密度分布の関係を確認する。このような近現代に起きた地震では、フィールド調査によって、起震断層はすでに知られているが、家屋、および人的被害と断層との関係の法則性を見だし、確立することを目的として取り上げる。第3章では明治中期以前の歴史の時代に生じた三件の内陸地震を取り上げ、第2章で確立された法則性を応用して、文政越後三条地震（1828）、明和津軽地震（1766）、および安政伊賀上野地震（1854）の三例の地震に対して死者分布によって歴史時代の地震の起震断層の同定を行った。第4章では、大河川の後背湿地での液状化に伴って発生する家屋倒壊、および死者の発生について述べる。大正関東震災、および昭和20年三河地震を取り上げる。最後の第5章では津波の高さと沿岸集落での死者発生の関係について述べる。

2. 近現代の内陸地震事例に見る断層と死者分布の関係

2.1 2016年熊本地震

2016年4月14日の夜21時26分、熊本県熊本市の南東約10kmの地点を震央とするM6.5の地震が起き、気象庁によって震央に最も近い益城町での震度は7と発表された。その約28時間後の16日未明午前1時25分、最初の地震の約北西2kmの地点を震央としてM7.3の地震が起きた。気象庁によって最初の地震は前震と、後の地震は本震と認定された。本震は布田川断層が起震断層

であり、前震の方は、これから分岐した日奈久断層の北端部の滑りによるものであった。この2つの地震については、昨年すでに詳細を報告した（都司、2016）。本震による41人の死者の発生点と起震断層である布田川断層の位置関係を図1に示す。なお、死者発生点については、地震発生直後の2週間に発行された「熊本日々新聞」の記事によった。そこには、死者の住所が書かれている。地震発生の時刻が深夜の午前1時25分であるので、大部分の人は自宅で就寝中であったと考えられる。

図1によると、大部分の死者は、布田川断層から、その北側3kmの狭い帯状の範囲内で発生している。この範囲をはずれた地点での死者はわずか3人に過ぎない。布田川断層は、北側傾斜の断層面であって、地表に現れた断層線の北側が上盤側に当たっている。すなわち、断層線の北側に立てば、その足下の地下にすべり面がある。これに対して断層線の南側は下盤側に当たっており、そこ立っている人の足下では断層すべり面はない。当然上盤側である断層線北側の方が地震による揺れの衝撃が大きい。これが、断層線の北側にだけ死者が分布していて、南側にはほとんど死者が出なかった理由であろう。

交通監視用の無人ビデオカメラの映像によると、地震断層に近い益城町では、家屋の倒壊は地震発生後わずか2秒で完了していたと言われる（熊本日々新聞社の社員談）。家のなかで強い地震を感じたら、机の下などに体を移動させて身を守りなさい、と一般的に言われている。その通りなのであるが、地震発生後わずか2秒でもう天井と屋根が落下してくるような地震では、このようにして身を守る時間すら確保できないであろう。起震断層にごく近い場所では、地震による揺れは短周期成分が卓越して衝撃的な揺れとなるため、

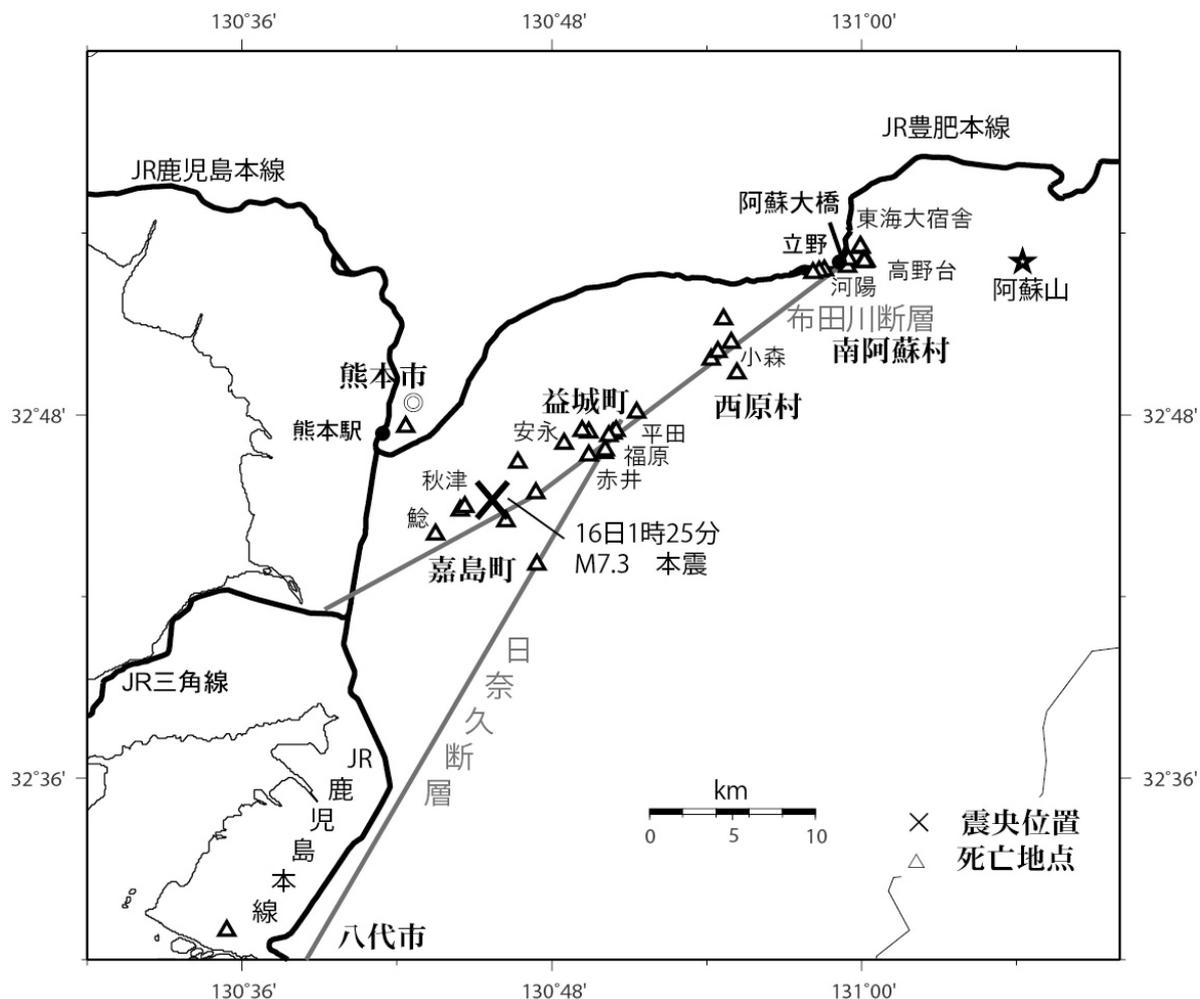


図1 2016年熊本地震の本震(6月16日, M7.3)による死者の発生地点と起震断層である布田川断層。

家屋の全壊は「一瞬」といっていい短時間に起きて完了するのである。これに対して起震断層から数キロ以上離れた場所では、地震の揺れが始まってから家屋が全壊するまで10秒から20秒以上の時間が経過するのが一般的で、この場合には、中にいる人は十分機の下や丈夫な家具の側に身を寄せる時間的なゆとりを保つことが出来る。

2016年熊本地震は、内陸地震による死者は、起震断層の上盤側の近接した場所で死者が集中して現れる、という事実を鮮明に示す恰好の事例となった。

2.2 昭和2年(1927)北丹後地震

京都府北部の丹後半島の付け根に当たるところに、現在京丹後市の市役所の所在地である峰山の市街地がある。昭和2年(1927)3月7日18時27分、峰山付近を震央とする「北丹後地震」(M7.3)が起きた。この地震による全壊家屋数は5,106軒、で死者2,925人を生じたが、その大部分は奥丹後半島付近の京都府与謝郡、中郡、竹野郡の三つの郡内で生じた。現在の京丹後市と与謝野町の地域である。この地震は、半島の根元を横断するように走る郷村断層を主な起震断層とし、その共役断層に当たる山田断層が副次的な起震断

層であった。この地震の家屋、及び人的の被害分布については、すでに都司 (2015-b) に述べたが、本稿の論点の中心をなすので、ここに4枚の図を引用しておこう。

図2は町村別に家屋全壊率の分布を示したものである。これは一つの町村内での全壊家屋数をその町村の総戸数で割った数字に100を掛けたものである。図には赤の太実線で郷村断層と、その副断層である仲禅寺断層、および山田断層を示した。この図によると、家屋全壊率が大きかったのは、郷村断層付近、およびそれとほぼ直行する共役断層の山田断層ということになる。もしこの事例が歴史地震であって、近代的観測による起震断層の位置が未知であったとしたら、家屋倒壊率の分布図からもある程度起震断層の配置が推測できる、ということになる。しかしながら、倒壊家屋は起震断層の近くのほかに、図の左方の久美浜湖周辺の久美浜村、神野村のあたりでも多くなっている。これら久美浜湖周辺の家屋40%以上の全壊率の村々が、断層位置の判断を迷わせる要因となるであろう。すなわち家屋被害分布だけで

は、起震断層の配置について決定的な判断は下せないのである。

図3は町村別死者数を表している。当時の「村」は、明治21年(1888)の「町村制施行」に基づき「約500軒で1村とする」という政府の方針によって組織された。この村の大部分は昭和10年代にまでほぼ変わることなく存続していたため、昭和期になっても、およそ1つの村は約500軒の家屋(住家)と約2000~3000人の人口からなっているという状態は変わらなかった。ただし、明治から昭和初期の時点ですでに500軒を大きく越えるまとまった市街地を形成していたところは「町」として発足した。この図の中で町は峰山町と宮津町の2か所だけであった。図3では、死者の多い町村が図2より鮮明に起震断層に沿って分布している様子が読み取れるであろう。たとえば、図の左側の久美浜湖周辺の神野や久美浜ではほとんど死者が無く、起震断層はこれらの場所から隔たっていると読み取ることができる。すなわち、起震断層を推定するには、家屋全壊率より村別死者数の分布図の方がより鮮明な判断ができ

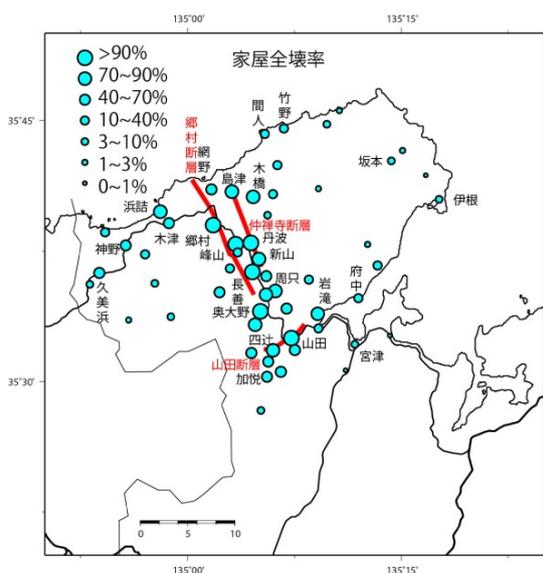


図2 昭和2年(1927)北丹後地震の家屋全壊率.

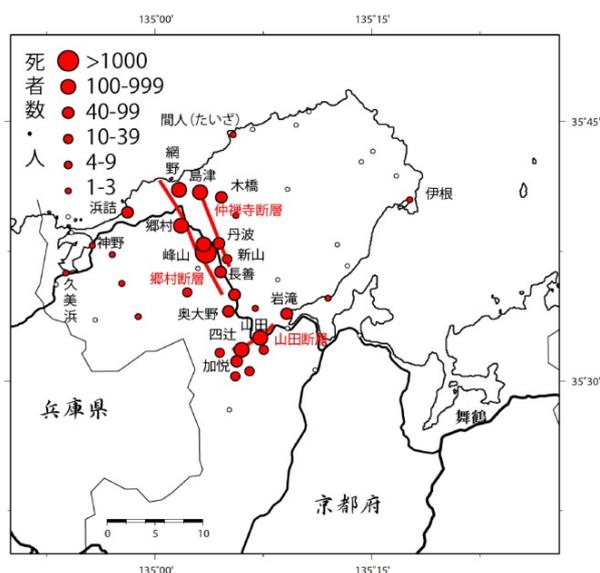


図3 北丹後地震の町村別死者数.

るということである。

久美浜湖の周辺は、確かに家屋の全壊率は40%以上と大きかったが、それは湖周辺の軟弱な沖積層の厚い場所であったからであって、そういう地域では、家屋は最終的には全壊する場合であっても、地震の揺れが始まってから全壊に至るまでにおそらく10秒以上の時間を要し、中に住んでいた住民が十分に自分の身を守る態勢がとれたことを示している。

図4は、人口当たりの町村別死者率である。図3の死者の町村別絶対数の分布であるから、町村自身に人口の大小があると、相互比較の意味が曖昧になってしまうが、図4は人口当たりの死者数であるから、町村の大小によるゆがみは除去されている。図4では、分布の起震断層近傍への集中はさらに鮮明に現れている。最大被災地となった峰山は現在の京丹後市の市役所の所在地でこの地域での中心集落であるが、ここでは人口当たり死者率は20%に達している。1995年の阪神淡路大震災の最大被災地となった神戸市三宮の市街地で人口死者率が7%であったことを想起すれば、峰山での死者率の高さは注目すべきである。

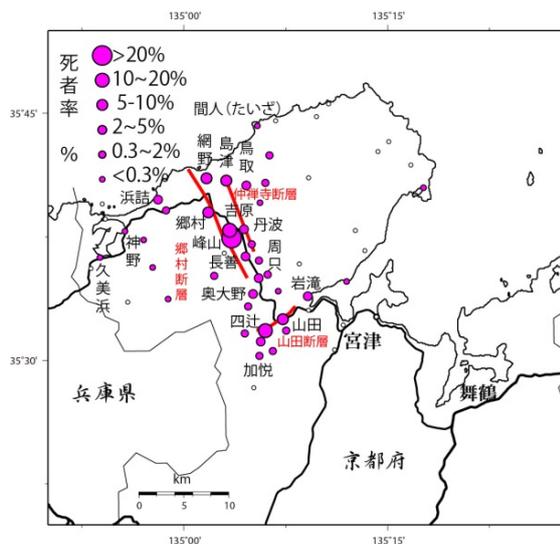


図4 北丹後地震の人口当たり死者率。

図5は全壊家屋1軒当たりの死者数である。

この分布図は図4よりさらに鮮明に起震断層直近に集中して、大きな円が集中して現れていることが読み取れよう。

けっきょく、被災分布図から起震断層を解明しようとする場合、①家屋倒壊率、②町村（現在では大字、市町の下部単位）別死者数、③人口当たり死者率、④全壊家屋1軒当たり死者数としたとき、この4項目のうち、後に挙げた項目ほどより鮮明に起震断層の位置を表出してくれることを理解することが出来る。

2.3 明治29年(1896)陸羽地震

秋田県中央部の角館から大曲を経て横手にかけての内陸の平野地域で、明治29年(1896)8月31日の17時06分に陸羽地震(M7.2)が起きた。この地震による被害は秋田県内で住家の全壊家屋が5,682軒、死者が205人発生した。この他に岩手県内でも110軒の全壊家屋と4人の死者を生じているが、全壊被害家屋数、人の死亡とも、岩手県で生じた数はいずれも秋田県の50分の一程度であるから本稿では秋田県で生じた被害につ

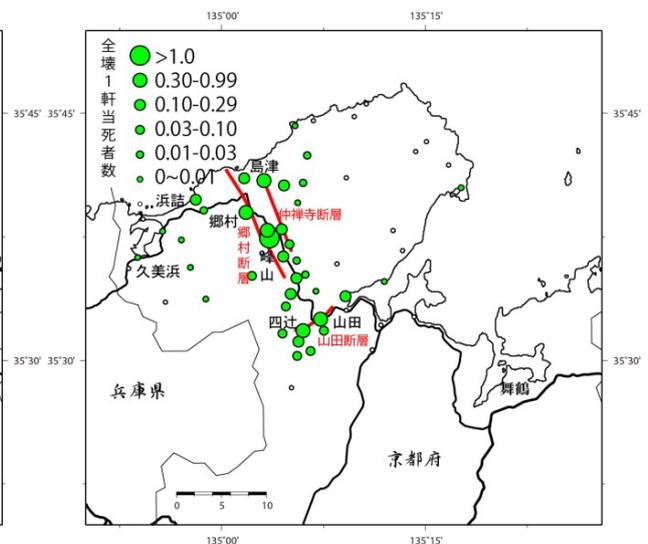


図5 北丹後地震の全壊家屋1軒当たり死者数。

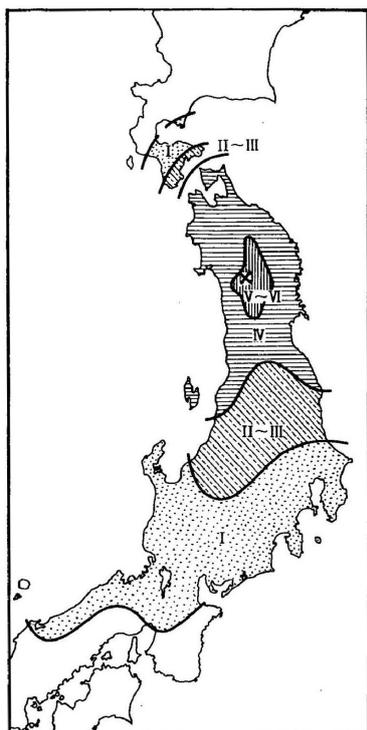


図6 陸羽地震(1896)の震度分布
(宇佐美, 1999 による)。

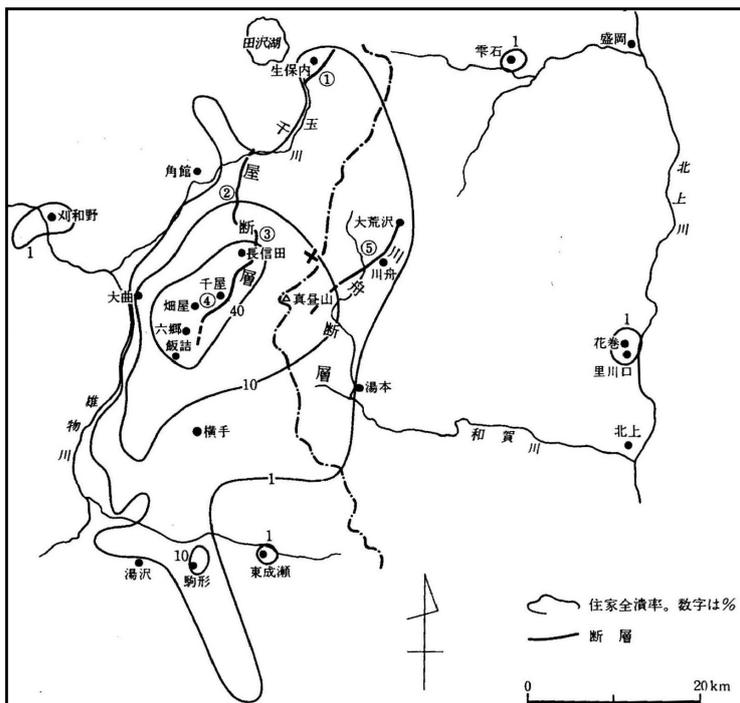


図7 陸羽地震による家屋倒壊率分布 (松田, 1980)。

いて検討しよう。

図6は陸羽地震の中央気象台による広域震度を図にしたものである(宇佐美, 1999)。震度5から6となった被害域の大部分は、秋田県内にあるが、一部岩手県にも被害域が張り出している。

この地震の発生する2ヶ月余り前の同年6月15日には、太平洋側の三陸海岸沖で、明治三陸津波が起きており、約2万2千人の死者を生じたが、本稿で取り挙げる陸羽地震はこの巨大地震に誘発された内陸地震と考えることができる。この地震は、田沢湖付近から南南西に伸びる千屋断層の活動であると解明されている(図7, 松田, 1980)。この地震に伴って各所で断層ずれが観察され、手描きのスケッチが多数残されていて、そのなかには断層による地盤変動を描いたものもいくつか見ることが出来る。図7は、松田(1980)による家屋倒壊率の分布図と起震断層となった千屋

断層の位置が描かれている。

この地震の起震断層となったのは、田沢湖南東の生保内(おぼない)付近から奥羽山脈の西の麓に沿って南南西に進み横手市付近までの約35kmの長さの千屋断層である(松田, 1980)。この地震の被害に関しては、地震発生の翌年、秋田測候所(1897)によって観測、および被災地踏査報告がなされている。また、秋田県震災救済会(1897)による『秋田県震災誌』に当時の町村単位の家屋、および人的被害数が記述されている。また、近年水田ら(2009-a, 2009-b)によって家屋破壊、および死者の一人一人の死因まで詳細に述べられた。これらの文献に基づき、この地震の秋田県内各町村の倒壊家屋数の分布を示したものが図8である。この図の一番大きい円と2番目に大きい円その村(行政村, おおむね500戸からなる)で300戸以上の家屋(住家)が倒壊したこと

を示しており、倒壊率で言えば 60%以上である。これらの場所では、現行震度階のほぼ震度 6 強から 7 であったと推定される。この図によると、このような場所は千屋断層に近接した場所に現れており、しかも千屋断層に近いほど家屋倒壊率が大きくなっている傾向を読み取ることが出来るであろう。地表に現れた千屋断層は、角館以南、横手付近までであるが、倒壊家屋による被害率はこの間で均等に分布しているのではなく、南半分でより大きな倒壊分布を示していることが分かる。なお、図 8 には現在の JR 鉄道線路を記入したが、この鉄道線路のすぐ西側に田沢湖から流出している玉川と、南方からは雄物川の本流が北上してきて、この両川は大曲のすぐ西側で合流している。このような河川状況から考えると、千屋断層から西に離れた場所ほど沖積層が厚く地盤は軟弱であって地震の揺れが強く表れるはずである。ところが家屋倒壊率はこのことを反映することなく、むしろ両川から隔たった千屋断層に近い場所ほど家

屋倒壊率が大きくなっている事実に注目すべきである。

なお、図 8 をよく見ると、地表に現れた千屋断層の南限は横手付近までであるのに、家屋倒壊率の大きかった地域はその南方の延長上にも延びていることがわかる。このことは断層のずれを起した場所が、断層の南の延長上にまで延びていたことを示唆している。

町村別の死者数の分布を示したのが図 9 である。家屋の全壊率と同様に、千屋断層に接近した場所で集中的に死者を生じていることが分かる。最大の死者数を出したのは断層名の基となった千屋村で、ここでは 34 人の死者を出している。図 8 の家屋倒壊数の分布図と図 9 の死者数の分布図とは大きな差はないが、わずかに死者数の分布の方が断層線近くに集中している傾向が認められる。また、死者分布の方が、やや北に分布が偏っている様に見える。死者分布でも千屋断層の南の延長部に分布がはみ出ているが、その程度は倒壊家屋

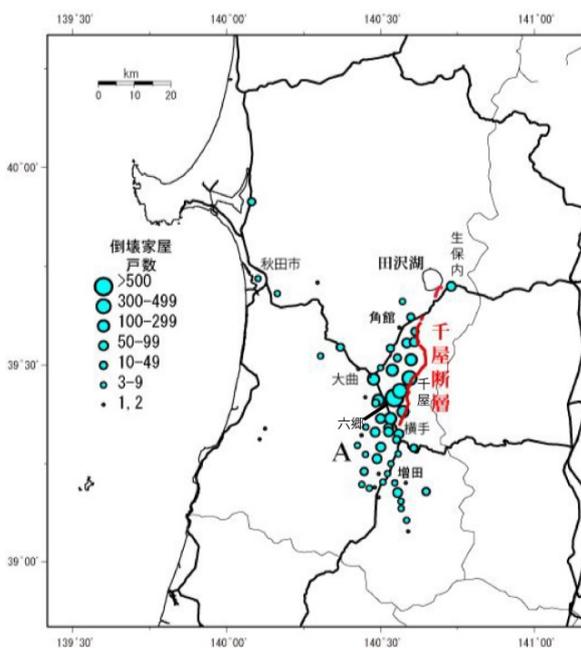


図 8 陸羽地震(1896)の町村別全壊家屋数.

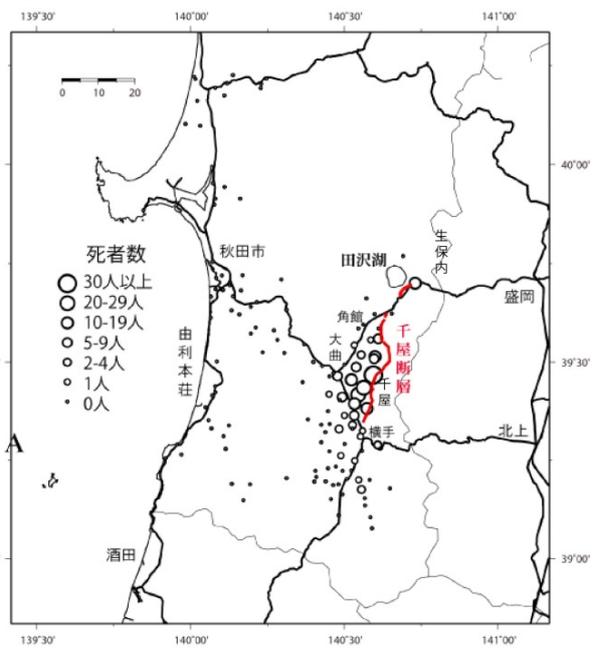


図 9 陸羽地震(1896)の町村別死者数. 図 8 の全壊家屋と似ているが A 付近が異なっている。

数ほどは著しくはない。

家屋倒壊、死者分布とも、千屋断層から北の延長上の田沢湖近くの生保内（おぼない）という飛び離れた地点で少しの被害が出ている。ここは千屋断層が角館付近でいったん地下に伏在して、その北の延長上で再び断層線が地表に現れたところであって、断層面のずれはここにまで及んでいたことを示している。

図 8 では家屋倒壊は千屋断層付近から飛び離れた秋田市付近、あるいは八郎潟周辺でもわずかに生じているが、これらの場所では死者は生じていない。

図 10 は倒壊家屋 1 軒当たりの死者数である。この図では、町村の絶対人口の大小によるゆがみは生じていない。この図は、図 8、および図 9 とは異なった分布を示している。というのは、千屋断層の南端、およびその延長上でやや大きい値を示しているからである。前節までの結論によると、この「倒壊家屋 1 軒当たりの死者数」という指標

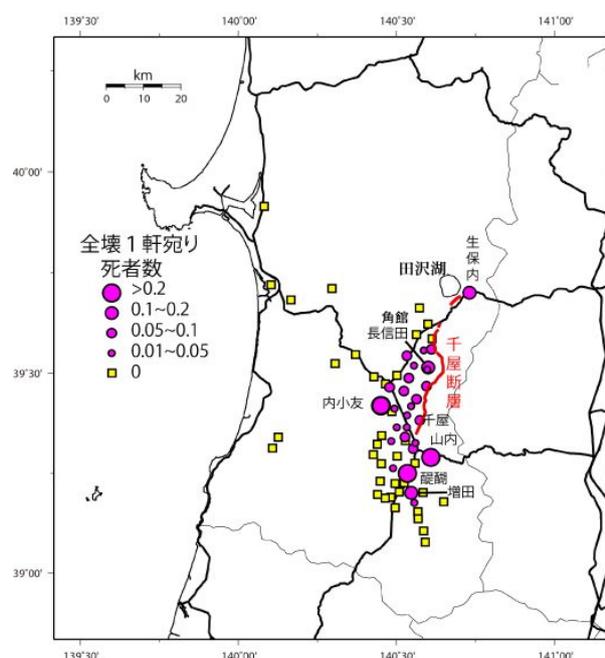


図 10 陸羽地震(1896)による全壊家屋一軒当たりの死者。

はより地震断層活動のメカニズムを鋭敏に示す指標であった。してみると、陸羽地震の起震断層は千屋断層とその北の延長部分ではあっても、その地震滑りの起点となったのは、この断層の南側端のさらに南の近き伏在して連なるその断層の延長部分であっただろう、という推測が成り立ちそうである。

3. 歴史時代の内陸地震事例に見る断層と死者分布の関係

3.1 明和津軽地震

明和津軽地震 (M7.3) は明和 3 年 1 月 28 日酉刻 (1766 年 3 月 8 日 18 時) に青森県津軽半島地方に発生した。宇佐美 (1999) には家屋倒壊率の分布から図 11 のような震度分布図が示されている。この図の黒丸は震度 5 の範囲で白丸は震度 6 の範囲を現している。この図によると、震度 6 の領域は、弘前や五所川原、板柳などの津軽平野を避けており、むしろ津軽半島の東部、現在の青森市を含む陸奥湾の海岸と津軽海峡に面した三厩 (みんまや)、今別の地域をカバーしている。地震被害の中心は津軽半島の東部にあるように見える。家屋被害分布だけから判断すると以上のことしか言えない。

そこで、本研究独自の試みとして、当時の津軽半島のいわば行政単位である「組」別に家屋、および死者数をプロットして、活断層分布と対比して、起震メカニズムを検討してみた。「組」というのは、津軽半島を支配した弘前藩の組織で、数個の「村」を束ねたもので、弘前藩の用人・三橋左十郎の記した『要記秘鑑』(「新収日本地震史料 第三巻」(東京大学地震研究所, 1983) の p675 所載) には、津軽平野の被害統計は「組」を単位として記録されてい

る。宇佐美 (1999) には、地震発生年に近い年の各組の総戸数、および総人口が記してあり、この両史料を用いれば、全壊した家屋の全家屋数に対する比率、および死者数の人口に対する比率を計算することが出来る。こうして得られた比率の分布図は、単純な倒壊家屋数、あるいは、死者数の分布図とは異なって、「組」の家数、あるいは人口の絶対数の影響は排除される。なお、津軽平野部以外の陸奥湾沿岸、および津軽海峡沿岸では、「組」ではなく、町（青森と蟹田）や村の被害数記録があって、町村による家屋倒壊率、人の死亡率の分布図を作成した。以下ではこのようにして作成した図を例えば「組町村別家屋倒壊率」と表記することにする。

図 12 は、明和津軽地震による組、および町村別の家屋倒壊率である。この図の作成に当たっては、潰家のみ数字を用い、半潰、大破、焼失の家屋数は用いなかった。図には「日本の活断層」

(活断層研究会, 1991) による活断層の配置を書き加えてある。図 12 を見れば、家屋被害が発生した地域は、①浪岡、田舎館、板柳を中心とする津軽平野の区域、②青森、油川、蟹田の陸奥湾の海岸沿いの区域、および ③津軽海峡に面した三厩、今別の区域、の三つの区域に分散していることが分かる。区域①と区域②の間にある大釈迦、鶴ヶ坂、津軽新城などでは被害が記録されていないので、この両区域間には無被害の地域が挟まれており、区域①と区域②は連続して居らず明白に分離していることがわかる。また、区域②と区域③の間も、中間に明白に無被害の領域が挟まっている。例えば、今別の約 4 km 南に位置する二股では家屋倒壊も人の死傷も無かったことを明記した古文書がある。

区域①は、津軽山地西縁断層（北部、および南部）の活動によって発生した被害区域と推定される。また、区域②の被害は、青森湾西断層の滑

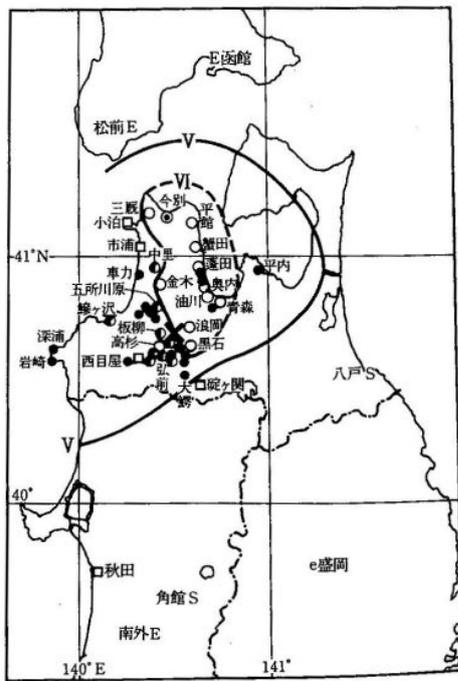


図 11 明和津軽地震の震度分布。
宇佐美 (2003) による。

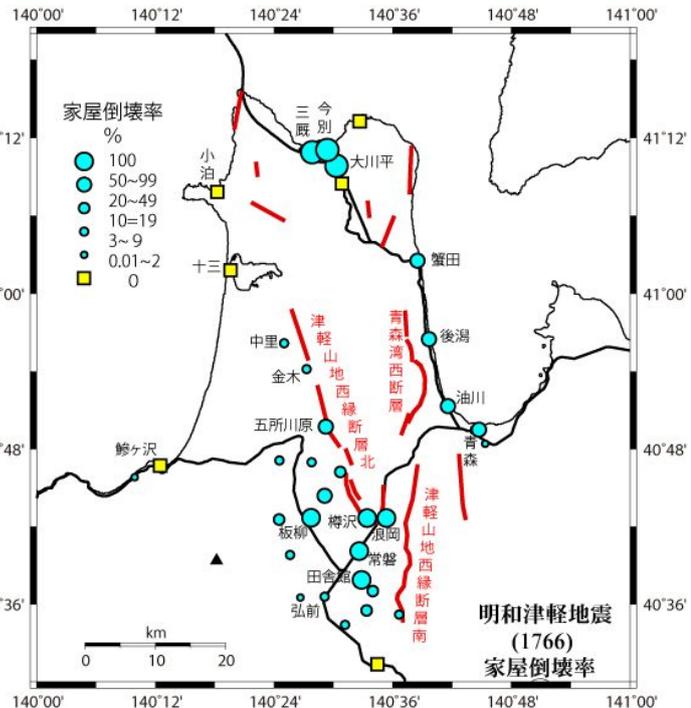


図 12 明和津軽地震の組町村別の家屋倒壊率。

りによるものと推定される。区域③は、被害範囲が狭く海岸線に沿ってわずか長さ 6 km ほどの範囲にすぎないが、この範囲の中での被害が際だって大きく、この範囲に含まれる大川平、今別、三厩の 3 村では家屋倒壊率がいずれも 100%に達していた。この付近には地上に現れた活断層はないが、この付近に局地的に伏在する活断層のずれによって家屋被害が発生したものと理解される。

図 13 は、この地震による、組、町村別の人口当たりの死者数 (%) を表している。分布は家屋被害率分布の図 12 と同じく明白に 3 区域に分かれていることが読み取れる。注意すべきは、分布の傾向が図 12 と似ていながら、津軽山地西縁断層（北部）の南端付近での分布の集中傾向がやや強く表れていることである。近現代の地震事例でも見てきたように、地震による死者は、衝撃的な短周期地震波を受けて 2,3 秒以内に全壊した家屋で多くなる傾向がある。そうすると区域①の死者分布は、津軽山地西縁断層（北部）では、最南端付近で一番最初の破壊が生じ、順次破壊が断層面に沿って北上していったものと理解することがで

きる。また図 13 から区域③の大川平、三厩などでの死者率の大きさが図 13 でも際だっていることが分かる。区域③でこのように際だった被害が出現している事実は、津軽山地西縁断層だけが起震断層であったと解釈するだけではどうも説明することは出来ない。区域③にはこの区域のごく近くに、独立して滑った別個の起震断層があったと理解すべきである。

図 14 は倒壊家屋 1 軒当たりの死者数を組、町村別にプロットしたものである。図 14 で注目されるのは、陸奥湾に沿った青森、油川、蟹田で大きな数値を示していることである。さらに、津軽平野北部の五所川原付近は、図 12、および図 13 では大きな数値には成らなかった場所で、図 14 では大きな数値が現れていることである。後に述べる大正関東震災の埼玉県北部の例でわかるように、この分布は、局所的な液状化の発生が大きかった場所であったため図 14 では大きく現れたものと理解される。

以上、図 12 から図 14 までの 3 図は、明和津軽地震の断層メカニズムについて、詳細な考察材

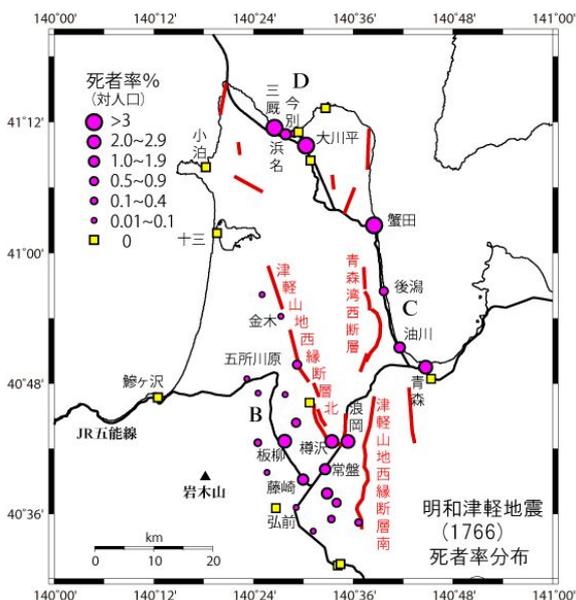


図 13 明和津軽地震の死者率。

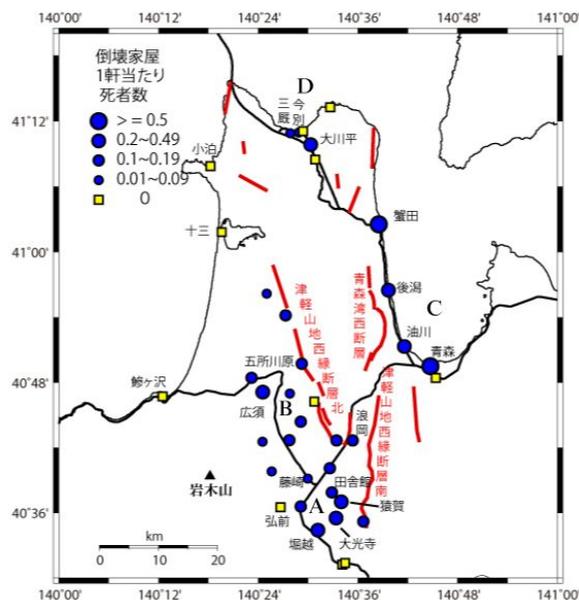


図 14 明和津軽地震の全壊家屋一軒当たり死者数。

料を与えていることが分かった。これに対して、震度分布のみを表示した図 11 だけではこのような鮮明詳細な判断を下すことはとうてい出来なかったであろう。家屋倒壊率、人の死者の発生率などの分布図が、内陸地震のメカニズムの考察に非常に有効であることが理解できるであろう。

3.2 文政越後地震

江戸時代後期の文政 11 年 11 月 12 日卯の下一刻（1828 年 12 月 18 日、午前 7 時）に新潟市の南西約 30km 付近が震央と見なされてきた M6.9 の地震は、「文政越後三条地震」と呼ばれてきた。この地震に関しては筆者はかつて詳細に論じたことがある（都司，2010）。また、矢田ら（2010）もこの地震について詳細に論じた。ここでは、その概要を述べておこう。現在の三条市を中心に、当時の村単位の家屋倒壊数、および死者数の記録が詳細に記録されている。この地震で被災した各村の総家屋軒数も記録されているため村毎の家屋倒壊率を求めることができる。

付記：家屋倒壊率から現行の気象庁震度を求

めるには、昭和 40 年代（1970 年ころ）までの日本式の木造家屋の倒壊率が 30%以上を震度 7、10%以上 30%未満を 6 強、1%以上 10%未満を 6 弱、0.1%以上 1%未満を 5 強とされている。ところが江戸期の家屋は明らかに近代の家屋よりも耐震性に劣るので、震度 7 と 6 強の境界を家屋倒壊率 60%、震度 6 強と 6 弱の境界を 20%、震度 6 弱と 5 強の境界を 3%とする。

上述の「付記」に従って震度分布図を描くと図 15 が得られる。この図で×印は、宇佐美ら（1999）による震央の位置であって、北緯 37.6 度、東経 138.9 度である。この地点は、震度分布のほぼ重心位置に近い「北緯、東経の 0.1 度の整数倍点」として決定されたもので、図 15 を見て得られる視覚的な重心点とは若干の差異があるが、本質的には「家屋倒壊率から決定した震度の重心点」であることには間違いはない。この点は燕と三条との中間点に近く、この意味でこの地震を「文政越後三条地震」と呼ぶのは合理的なのである。しかし、この震央の決定方法と呼称は、地震メカニズム的にも合理的なものと考えることが出

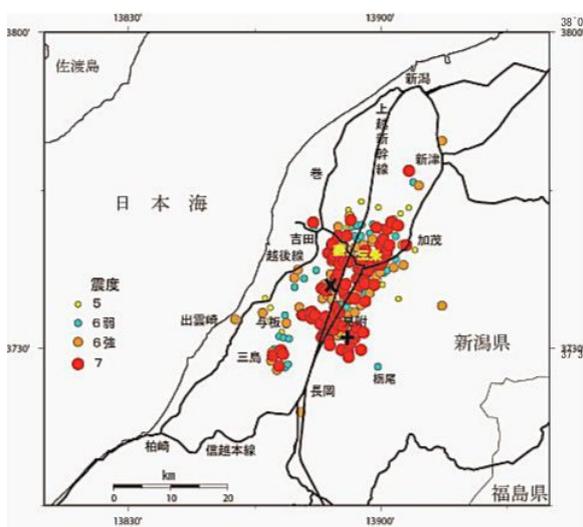


図 15 文政越後三条地震(1828)の家屋倒壊率から推定した震度分布。この方法で推定した震央を×印で示す。

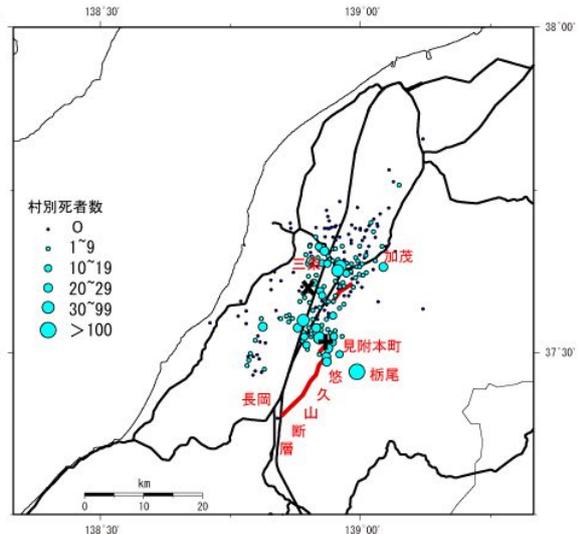


図 16 文政越後三条地震(1828)の村別死者数。死者分布から推定した震央を+印で示す。

来るであろうか？

そこで、死者分布でこの地震を見てみることにしよう。図 16 はこの地震を江戸期の村（現行の「大字（おおあざ）」）ごとの死者数をプロットしたものである。死者数が最も多かったのは栃尾である。ただし、栃尾は他の村より村としての規模が大きかったのでこれを除外するにしても、死者数の多かった村は、三条付近よりもむしろ、三条から南南東に約 10 km の位置にある見附付近である。見附近傍の村々は軒並み死者数が大きくなっている。

図 17 は、村別の倒壊家屋 1 軒当たり死者数である。図 17 では、この地震の 1 軒当たり死者数をもっとも大きかったのはほぼ見附付近であったことがより明白に現れている。図 16 と図 17 の両

図で見た分布の中心を「死者数から見た震央」とみると、震央はほぼ図中の「十」印点付近とするのが合理的である。この点の位置は、見附市本町付近の北緯 37.53 度、東経 139.92 度であって、この地点を死者数分布から見た震央と推定する。この地点のすぐ南側を悠久山（ゆうきゅうざん）断層が走っている（図 16、および図 17 の赤実線）。すなわち、この地震は悠久山断層が起震断層であったと推定されるのである。家屋倒壊率分布図だけでは、とうていこの結論は出せなかったであろう。

以上のことからこの地震は「文政越後三条地震」と呼ぶよりもむしろ「文政見附地震」と呼ぶ方がより適切である。この呼称を新たに提案したい。

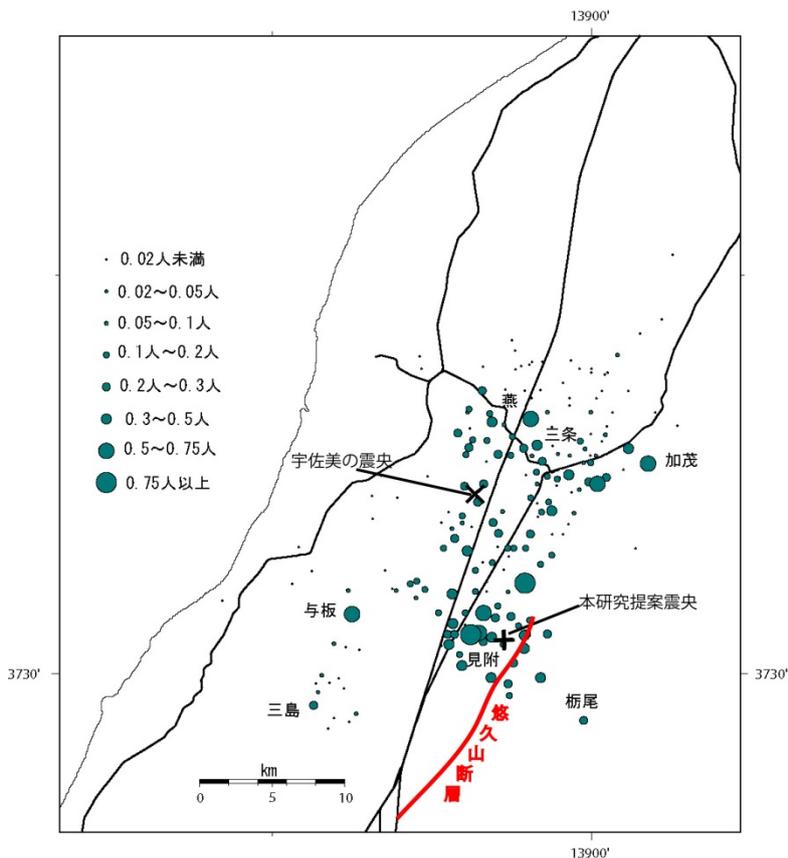


図 17 文政越後三条地震(1828)の村別の倒壊家屋 1 軒あたり死者数。

3.3 安政伊賀上野地震

安政伊賀上野地震は安政東海地震（安政元年11月4日）、および安政南海地震（同月5日）に約半年先行して安政元年6月15日（1854年7月9日）の丑刻（午前2時）に、三重県伊賀地方北部の上野付近で起きた地震である。この地震がその北部を走る木津川断層の活動によるものであることは、現地調査を通じて大長ら（1982）によってほぼ立証されているが、ここでは家屋倒壊率、および死者率の分布図からこのことを再検証してみよう。

図18はこの地震による家屋倒壊率を江戸期の村毎に示したものである。伊賀上野の城下については街区ごとの倒壊率を示した。80%~100%の最も大きな家屋倒壊率を示したのは、伊賀上野城下とその付近の村ではなく、その北側の木津川を挟んでその北側の平野部にある野間、三田、西高倉など、木津川断層に近接した村々であった。図19はこの地震による村毎の人口当たりの死者率

である。やはり死者率が大きかったのは上野の城下やその東西の郊外の村々ではなく、北側の三田、野間などの村であった。したがってこの2枚の図からもこの地震の起震断層が木津川断層であることがはっきり現れている。ただし、木津川断層は、東は上野城下の東北東方向約15kmにある柘植（つげ）付近から、西は京都府南方の笠置町にまで達する25km余りの断層である。安政伊賀地震によって京都府内では死者はほとんど生じて居らず（中西ら、2006）、三重県伊賀国内でも図19に見られるように主要な起震部分は西高島・三田間の約8kmの間に過ぎなかったらしい。西高島以西では、家屋倒壊、死者の発生は断層付近であっても全く生じておらず、この部分は起震断層とは成っていなかったと見られる。三田以東柘植までの約10kmの部分については、家屋倒壊、死者発生はあることはあるが少なく、この部分は本格的な起震断層とはならなかったと推定される。

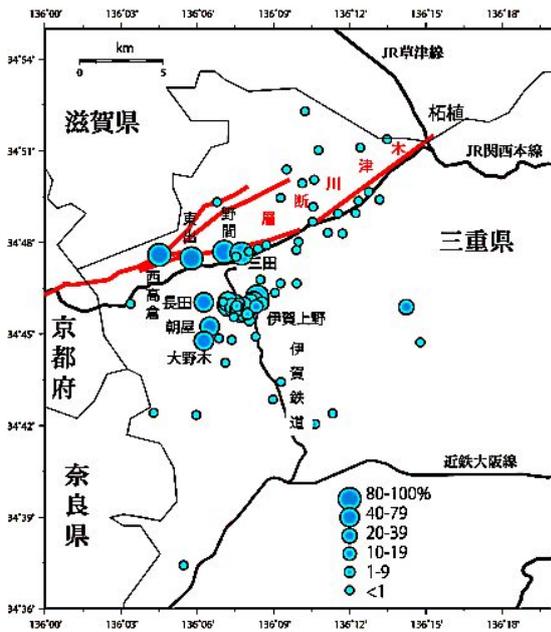


図18 安政伊賀上野地震(1854)の村別家屋全壊率。

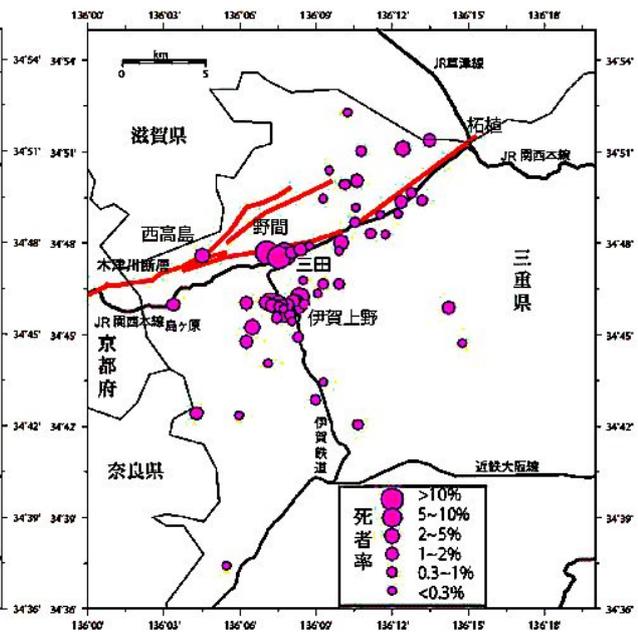


図19 安政伊賀上野地震(1854)の死者率。

4. 大河川の後背湿地での液状化による死者発生

4.1 大正関東震災(1923)の埼玉県北部での死者の発生

これまで近現代、あるいは江戸期に発生した地震について、地震による死者は、その地震の起震断層付近で集中的に分布することを論じてきた。しかしながら、「地震によって死者を生ずる」というとき、これとは別の原因によるものがある。それは大河の自然堤防の背後に生ずる後背湿地（こうはいしっち）での液状化に伴う家屋倒壊によって起きる死者である。いま、図 20 によってその事情を説明しておこう。静岡県得天竜川のような山岳地域から流れ出てくる大河は、長年にわたって山岳部から運んできた礫混じりの土砂の堆積によって、流水の高さが両側の平野部より標高が高い天井川（てんじょうがわ）となっていることが多い。この自然堤防の上は、中に粒の大きな礫を高密度に含んでいるため地盤は比較的堅牢で、地震には「強い」地盤となっている。ところが、流水の一部が自然堤防の内部に浸透し、自然堤防の背後にしみ出してここに後背湿地を作る。後背湿地にしみ出た水を集めて勾配がきわめて緩やかな後背湿地の中を流れる河川ができる。この河川は勾配が緩やかなために、少し降水量の大きな降雨があるとすぐ氾濫を起こす。結局後背湿地の場所は軟弱地盤の厚い、しかも地下水位の高い土地となる。すなわち地震時には最も液状化が起きやすい場所となるのである。木造家屋の下で液状化が起きると、家屋はきわめて短時間で倒壊する。

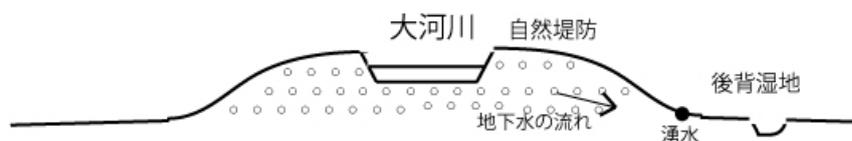


図 20 大河川の後背湿地の背後の後背湿地。後背湿地では液状化が起きやすい。

このような場所も地震の揺れによって死者の出やすい場所になるのである。この事情を、大正関東震災（1923）について見ておこう。

図 21 は、大正関東震災の町村別倒壊家屋数である。大正 12 年（1923）当時もこのような 1 つの行政村当たりの家数約 500 軒という事情はほぼ変化がなかった。図 21 に描かれている傾いた長方形は、関東震災に伴って生じた地下のプレート境界すべり面の位置である。家屋倒壊の大きかったのは、このすべり面の直上に当たる神奈川県ほぼ全域と、房総半島の先端部である。これに加えて、東京の江東区・江戸川区の地域と、その北側の埼玉県の平野部、大宮・春日部を結ぶ線以南の地域、山梨県の大月・都留・富士吉田方面、および、甲府市付近が家屋倒壊率の大きかった地域ということになる。

注：図で現在の神奈川県の小田急江ノ島線の走る高座郡が無被害であったかのように見えるが、この地域に相当する高座郡だけ原データが欠落しているからにすぎない。

今度は町村別の死者数の分布を図 22 に見ておこう。図 21 の長方形の内部、プレート境界すべり面の直上の房総半島先端部と神奈川県の平野部では死者も多く発生していたことが分かる。この理由は 2016 年熊本地震と同じで、「地震断層面上盤側で死者が多くなる」という法則に従っているのである。一方、東京都の江戸川区・江東区の地域、山梨県の大月・都留・富士吉田地域、甲府地域ではそれほど死者は出ていない。これらの地位では「家は多く倒れたが人はそれほど死ななかった」のである。なぜそうなったのであろうか？ これらの場所は古い時代に海域であったり湖域であったりしたのが、後に

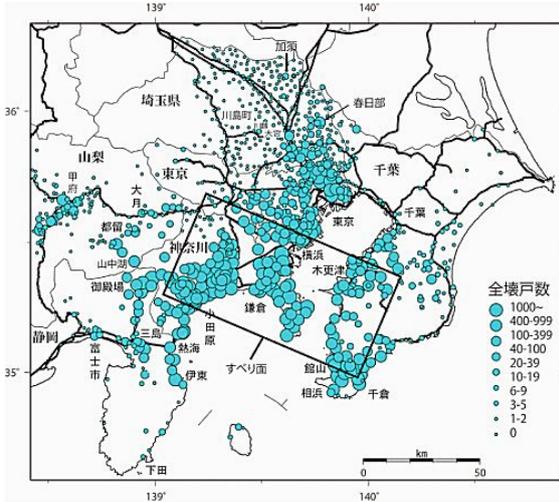


図 21 大正関東地震による町村別全壊家屋数.

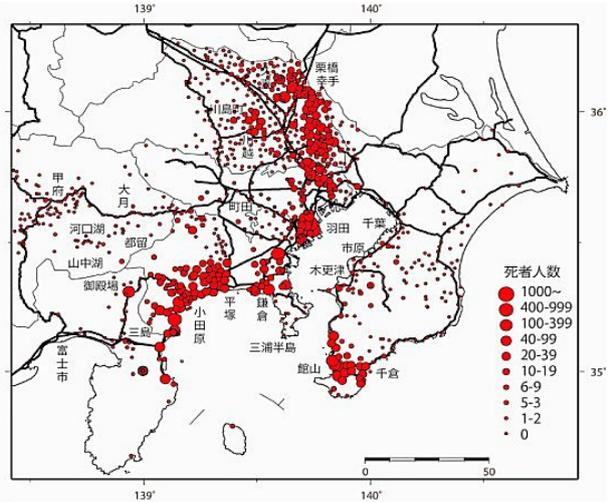


図 22 大正関東地震による町村別死者数.

埋まって出来た沖積層の厚い軟弱地盤の場所である。これらの場所では、家屋は最終的には倒壊しても、揺れ始めてからたとえば 20 秒ほどの時間を経過してから倒壊した地域と推定される。家屋が倒壊するまでに時間がかかったため、中にいた人は机の下や丈夫な家具の側、あるいは戸外に脱出するなど、身を守る余裕があった場所であると言える。

これらの地域に対して、特異な死者の出方をしたのが埼玉県北部、大宮・春日部を結ぶ線以北の地域である。この地域には加須、幸手、栗橋などの都市があるが、ここでは「倒壊した家は少ないのに、死者が多い」という奇妙なことが起きている。このことをもっとはっきり見るために、倒壊家屋 1 軒当たりの死者数の分布を描いてみると、埼玉県北部の町村で特異的にこの数値が大きくなっていることが分かる (図 23)。これらの地域では例えば当時の 1 つの村の約 500 軒のうち、倒壊した家屋はわずか 20 軒程だったに過ぎない。しかしその倒壊した 20 軒の家を 1 軒ずつ訪問してみると、それらの家の家族は全員死亡していた、という特異なことが起きていたことになる。図

22,あるいは図 23 をさらによく見ると、なにやら一つの「線」に沿って、死者の多かった町村が並んでいるように見える。

この事実の種明かしをしておこう。埼玉県北部で倒壊した家というのは、大河の後背湿地に建てられていて、液状化によって一瞬で全壊した家なのである。「埼玉県北部に、そんな大河はないじゃないか?」という質問が出そうである。今の地図で判断してはいけない。

16 世紀の末、徳川家康が江戸を事実上の日本の首都と定め、ここに江戸城と広大な江戸という都会を築いたとき、上野国 (群馬県) を水源とする大河・利根川は東京湾に注いでいた。現在の中川がその名残である。このしばしば洪水氾濫を繰り返す危険な大河が、新首都江戸のすぐ近くを流れることの危険さに気付いた家康は、現在の加須の付近で利根川の本流を付け替え、渡良瀬川に合流させたのである (図 25)。これによって、利根川の本流は、現在の東京都と千葉県境界を流れる江戸川に合流した。大河・利根川はひとまず江戸から遠ざかったが、依然として東京湾に注いでいることには変わりなく、洪水が江戸を襲う恐怖

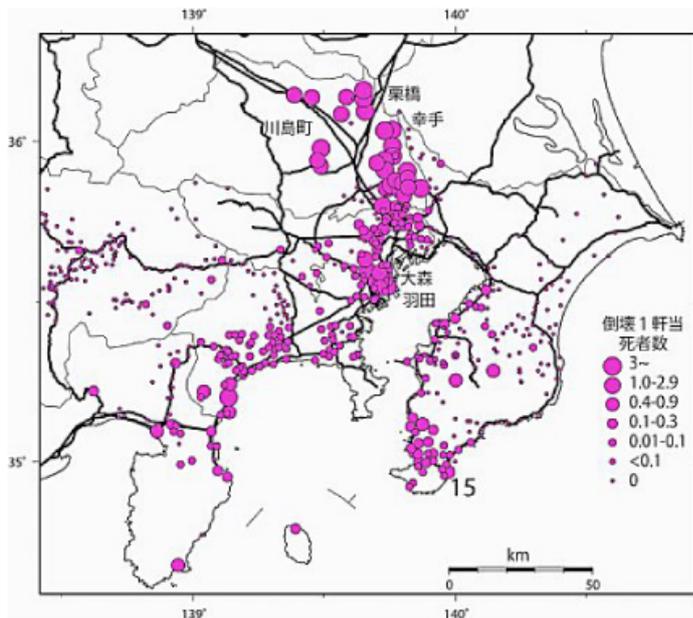


図 23 大正関東地震(1923)による全壊家屋一軒当たり死者数.



図 24 大正関東地震による液状化地点 (○印). △印は東日本震災による液状化地点 (若松, 2008).

から完全に逃れることは出来なかった. 第4代将軍・徳川家綱の時代, 1654年には, 関宿から「赤間開削」の大工事が行われ, 利根川は鬼怒川に合流させて, 銚子に至る入り海に流し出され, ここに現在の地図にみる大和利根川の流れが完成して, 江戸はと名川の洪水氾濫の直撃から永久に免れることとなった (以上, 大熊, 1997).

いま埼玉県東部の詳しい地図を見ると, 東武日光線の鉄道線路にほぼ平行して「古利根川」と記された小さな川があるのを発見するであろう. この流れが, 徳川幕府が流路を変更する前の利根川の流れなのである. 若松 (2008) は, 大正関東震災によって液状化が起きた場所をの分布図を作成した. 図 24 の「○」印の場所が液状化が起きた場所であるが, みごとに古利根川の流れに沿って並んでいるのが認められるであろう. 開削工事によって利根川の本流の流路を替えると言う偉業を成し遂げた徳川幕府をもってしても, 利根川が何万年も掛けて作り上げた自然堤防と後背湿地まで移動させることは出来なかった. 関東震災によ

る液状化とそれによる一瞬のうちの家屋倒壊, 人の圧死は付け替え前の古利根川の流路に沿って起きたのである.

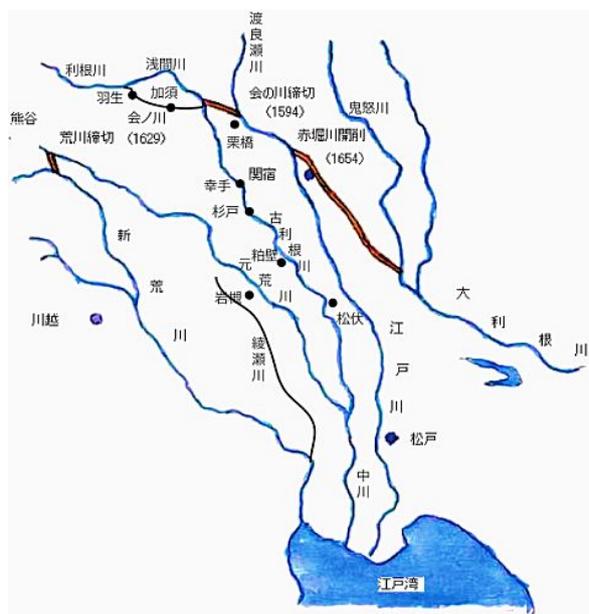


図 25 江戸時代初期の利根川流路の付け替え (大熊, 1997).

4.2 昭和20年(1945)三河地震の死者分布

地震による死者発生の実用問題として、昭和20年の三河地震による死者分布を述べておこう。三河地震は昭和20年(1945)1月13日の未明午前3時38分に愛知県蒲郡市形原付近を震源として発生したマグニチュード6.8の地震である。この地震の1ヶ月余り前の昭和19年(1944)12月9日には東海地震の一つ、「東南海地震」(M7.9)が紀伊半島熊野海岸沖に発生しており、三河地震はこの地震の広義の余震、あるいは誘発地震の一つと見ることが出来る。この地震による死者は1,961人であって、「本震」である東南海地震の死者1,251人よりも多かった。この地震の起震断層は深溝(ふこうづ)断層と呼ばれ、その痕跡は現在も見ることが出来る(図26の太実線)。

三河地震の死者数を当時の町村別に示すと図26のようになる。図には形原から始まり、約5km北上してそこから西に折れさらに約5km継続して終わるこの地震の起震断層である深溝断層が描かれている。断層の始点に当たる形原で233人死者が出たのは「断層線の直近で死者が集中する」の原則にかなっている。また明治村で死者が325人と多かったのは大河である矢作川の後背湿地での液状化による死者であろうと推定することが出来る。しかし分からないのは、福地村と横須賀村での大きな死者数だ。断層線に近接していないし、大河の近接地でもない。

もったいぶらないでタネを明かせば、ここも大河・矢作川の流路変更が行われた場所なのである。すなわち、江戸期初頭の慶長10年(1605)、

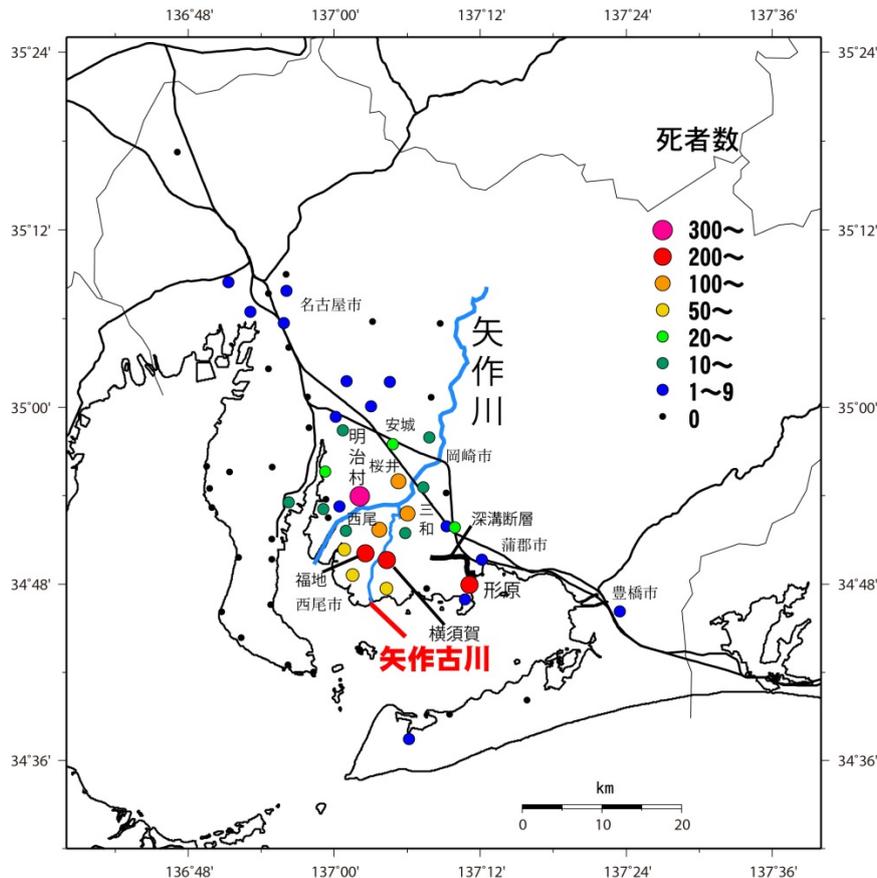


図26 昭和20年(1945)三河地震の町村別死者数。

徳川家康らの命を受けた米津清右衛門によって矢作川の流路が下流部で変更されたのである。図 26 に、現在の矢作川の流路と、変更前の流路、「矢作古川」とを両方書き入れておいた。やはりこの場合も流路は変更されても、自然堤防と後背湿地まで移動されることはなく、旧流路に沿って後背湿地が残った。ここで液状化が起きて死者を多く生じた。これが、現在は矢作川の側には位置しない福地村と横須賀村で死者数が多くなった理由なのである。

地震の揺れによる死者発生議論はここまでとして、次には津波による死者発生について考察してみよう。

5. 津波の高さと沿岸集落での死者発生の関係

5.1 明治 29 年 (1896) 三陸地震津波

明治 29 年 (1896) 6 月 15 日 19 時 32 分に発生した明治三陸地震による津波は、地震発生の約 30 分後から三陸地方の海岸を襲った。その浸水高の最高点は現在の大船渡市三陸町綾里白浜での遡上高 38.2 m であった。この津波は地震の揺れが弱い割に大きな津波が誘発された「津波地震」であったことが知られている。この時の津波被災地となった岩手県の海岸では地震による揺れは震度 2 からせいぜい 3 程度であって、地震の揺れによる被害は全く生じなかった。三陸海岸に住んでいた人が地震の揺れを感じたとき、この地震は年に数回は起きる「普通の地震の一つ」と考え、まさかその後未曾有の大被害をもたらす大津波が来襲することは誰も予想しなかったはずである。さらにこのとき、三陸地方の人々は津波というのは余りたいした災害をもたらすものではない、と考えていたらしい。この明治 29 年の三陸地震の一つ前に三陸海岸を襲った津波は、安政 3 年

(1856) の三陸北部沖地震の津波であったが、この津波による死者は日本全体で 26 人程度であった (都司ら, 1995)。このため明治三陸津波まで、三陸海岸の人々が「津波とはたいした災害ではない」と考えていても無理はなかった。

以上まとめると、明治三陸津波は、この海岸に住む人にとって、全く無防備な状態で突然襲ってきた大津波であった、ということになる。

明治三陸津波による三陸海岸での死者の総数は約 2 万 2 千人であった。沿岸集落のなかにはこの津波で 90%以上の住民が死亡した例も存在する。この数字は住民票を基準にしているため、生き残った 10%の人と言うのは津波発生時に遠方に旅行していた人、漁業活動のため沖合に出ていた人を含むため、死亡率 90%というのは津波来襲時にその集落にいた人は事実上全員が死亡したと理解してよい。

図 27 は、岩手県釜石から南、宮城県牡鹿半島までの各集落の津波死亡率と、津波高さの分布である。陸前高田市以北では津波高さはおおむね 10m を超えているが、この範囲の海岸線では津波死亡率がだいたいどこも 50%以上で、死亡率 80%を越えている集落もしばしばあったことが分かる。宮城県南三陸町より南では、津波高は 5 m 前後となり、死亡率が 50%を越えた集落はほぼなくなっている。さらに南の石巻市の海岸では津波の高さは 2-3 m であるが、この付近の海岸では死者はいない。

以上、当然のことではあるが津波の高さと死亡率には密接な相関関係があることが分かるであろう。

5.2 津波の高さと津波による死者率の関係

明治三陸地震が起きた直後、山奈宗真は、約 700 km に亘る被災海岸を単身徒歩で 40 日を掛け

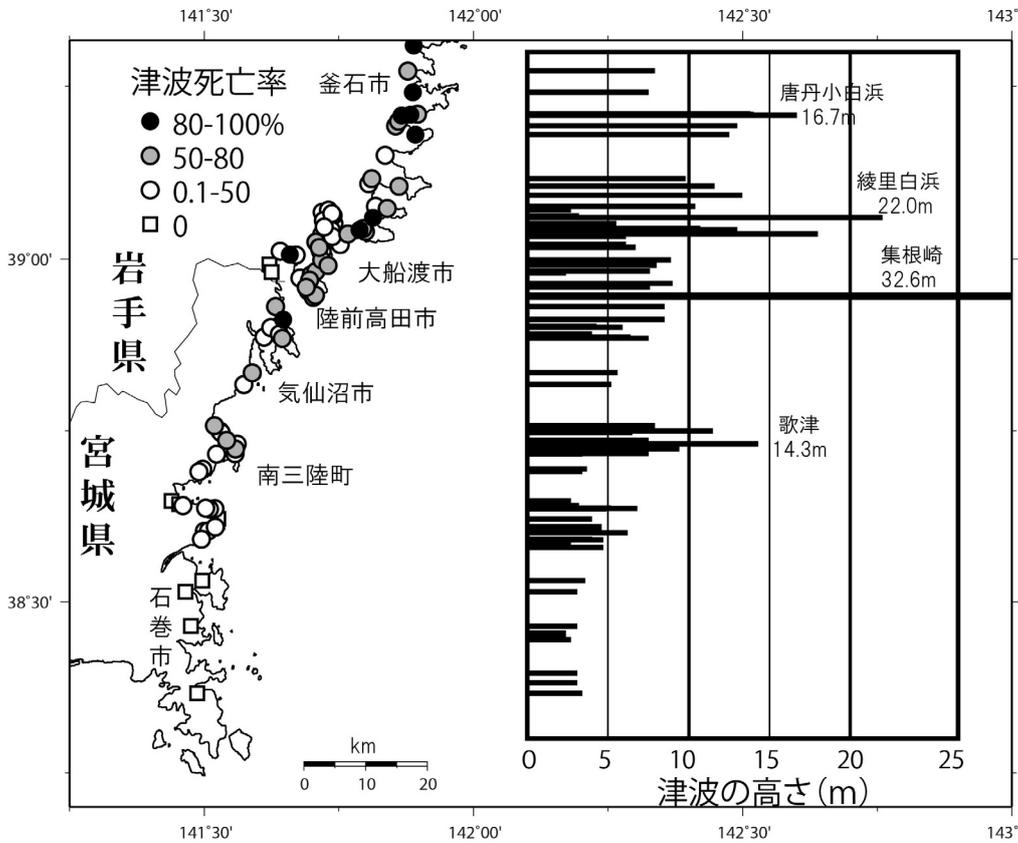


図 27 岩手県釜石以南、宮城県石巻市までの海岸線の明治三陸地震津波(1896)による「死亡率分布」(図の左半分)と津波の高さ分布。

て調査し、集落ごとの詳細な報告書を作成した。その成果は、宇佐美 (1999) にまとめられている。これによって、三陸沿岸の各集落での津波による流失家屋数、津波来襲前の総家屋数、死者数、津波来襲時の人口、および津波による海水上昇の高さを知ることが出来るのである。これまでの津波研究で、津波の高さと死亡率の関係が客観的な数式の形で求められてこなかった。そこで本稿では、津波に対する備えがほとんど無かった明治三陸津波について、津波高と海岸集落の死亡率の関係を求めることにした。

本研究では、明治三陸津波の集落での被害について、(1) 死者数、(2) 当時の人口、(3) 流失家屋数、(4) 総家屋数、(5) 津波高さ、の5個の

数値がそろっている 148 個の集落を選び出し、津波の高さと各集落での「死亡率」との関係のプロットし、正規分布曲線を当てはめることを試みた。

集落毎の「死亡率」を計算するさい、分子はその集落の死者数で問題ないとして、分母の集落の人口を推計する際、留意すべき問題がある。

- (1) 山奈の表に記された 1 単位の集落のなかに、標高の高い位置にあつて津波被災と全く無関係な家屋の人口が合算されている可能性がある。この「人口」を分母とするのは合理的ではない。
- (2) このため、津波によって影響が及んだ範囲の家屋にいた人だけの人口数を推定する必要がある。

(3) 津波の発生時刻が夜 19 時 32 分であるので、この時間に海岸に出て漁業活動をしていた人などはまずいなかったと考えられる。したがって、家の戸外での死者はいなかったと仮定する。

(4) 津波によって、浸水だけした家屋、破損、大破にとどまった家屋では人は死なない、と仮定する。

ここまででは、多くの人が肯定できるであろう。さらに、次の仮定を加えよう。

(5) 津波による人の死亡は、流失家屋でのみ起きたと仮定し、流失はしていないが破壊した家屋内では人は死亡していないと仮定する。

この (5) の仮定は、「地震の揺れで人が死亡するのは、その家屋が 2 秒以内に全壊する場合にほぼ限られる」という前節までの事実をふまえての仮定である。

[事例研究] 津波によって家屋が最終的に全壊に至った場合でも、2 秒以内に全壊して天井が落ちて床と天井に挟まれて死んだ、ということはあるまいであろう。2011 年の宮古市田老町では、破壊されなかった旧堤防に囲まれた街区内では、全壊家屋は多くあったが、家を構成していた壁材、柱材、天井板、などはそのまま元の家屋の位置にあった。この場合その家屋は、津波で「流失」したのではなく「全壊」したのである。この堤防内では、人の死亡率は 4%程度であった。伝えられている。これに対して、家屋がほぼ全面的に流失した旧堤防外では、居住人口の約 24%が死亡した。そこで、少し乱暴であるが、以下の計算上、津波による全壊家屋内での 4%の死亡者の数は無視してゼロとみなすことにしよう。明治 29 年には防潮堤で守られた集落というのはほとんど無かったから、東日本震災の田老町のよ

うに流失はしていないが全壊した家屋、というのは実際にはきわめて少なかったと考えられる。

(6) その集落の津波時の総人口と、総家数が判明しているのので、その集落の 1 軒あたりの人数が計算出来る。実際に計算してみると、だいたい 4 人から 6 人の間で、平均的には 5 人前後であった。この数字は常識的であろう。

(7) その集落での流出家屋数に (6) で得られた 1 軒当たりの家族構成人数を乗じ、これをその集落の津波被災人口とし、この数字を「死亡率」計算の分母とする。

以上の手順によって得られた「死亡率」は、「家屋流失市街範囲」の人口の何パーセントが死亡したのか、という数字になる。この手順によって、津波と全く無関係な高い標高にある家屋の人口が排除されることは理解できるであろう。

以上のようにして得られた集落毎の「死亡率」を縦軸に、その集落での津波の高さを対数の形で横軸に取ってプロットすると図 28 が得られる。このプロットに対して、最小二乗法を適用した次の方針に従って対数正規分布を当てはめることを試みた。以下対数は総て 10 を底とする常用対数である。

(A) プロットは津波高 2.5 m 以下では、津波死者はほとんど生じない事を示している。

したがって、対数正規曲線は (2.5 m, 1%) の点を必ず通るものとする。

(B) その正規分布曲線が死亡率 50%の値を取る津波の高さを m (メートル) とし、この m の対数を μ とする。すなわち、 $\log m = \mu$ (ミュー、対数平均) とする。

(C) 対数正規曲線が (2.5m, 1%)、および (m , 50%) の 2 点と通る条件から、標準偏差 σ は定まり (後述)、正規曲線が定まる。こ

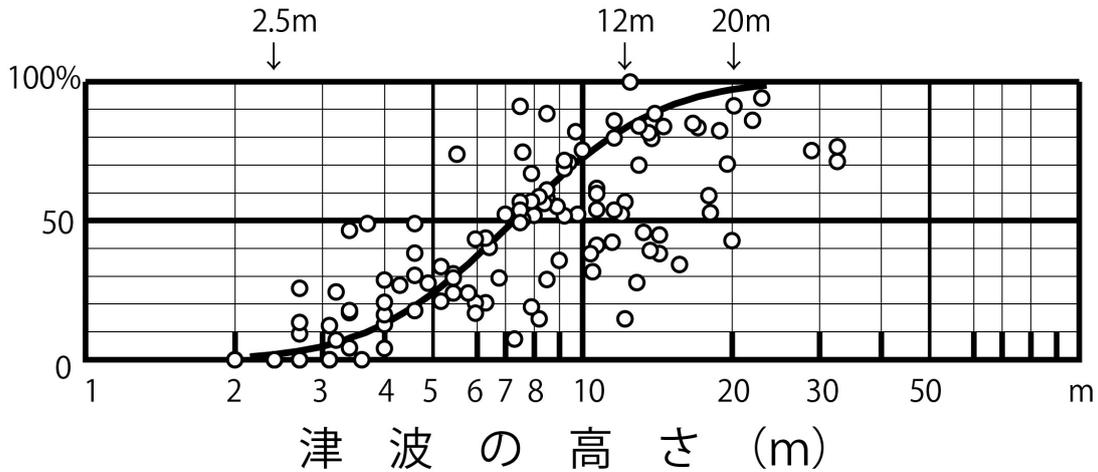


図 28 明治三陸津波(1896)による町村別津波の高さとそこでの死亡率.

の関数を次の対数正規分布曲線の形の,

$$P = \Phi\left(\frac{\log x - \log m}{\sigma}\right) = \int_{-\infty}^{\log x} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(t - \log m)^2}{2\sigma^2}\right] dt \quad (1)$$

とおく. ただし, この対数正規分布関数の標準偏差 σ は, 上記2点を通る条件から,

$$P = \Phi(-2.327) = 0.01$$

であることから,

$$\sigma = (\log m - \log 2.5) / 2.327 \quad (2)$$

によって求めることができる.

(D) 1 個のプロット点の座標 (津波の高さ, 死亡率) が (x_k, P_k) であるとき, この津波の高さ x_k を用いて(1)式によって死亡率の理論値 P_k^* を求め, それらの差の二乗和

$$S = \sum_{k=1}^N (P_k - P_k^*)^2$$

の値を最小にする μ の値を求める. ここで N はプロット点の総個数で, 今の場合 $N=148$ である.

(E) $\mu = \log m$ を満たす, 50%線横断値に対する高さ m (単位はメートル) を求める.

以上の手続きを経て, 死者率が 50%となる津波高さとして $m = 7.2$ m を得た. このとき, 対数正規分布関数の標準偏差 σ は (2) 式によって, $\sigma = 0.1974$ となる. こうして得た最適対数正規分布曲線が図 28 の太実線である.

このようにして得られた最適対数正規分布曲線から次のようなことが言える. すなわち, 海岸集落の住民が津波に対して, ① 防潮堤などの移設が無く, ② 経験知識が乏しく, かつ ③ 避難活動も十分行われなかった場合には,

- (1) 津波の高さが 2.5 m 以下の場合には, 死者はほとんど発生しない.
 - (2) 津波の高さが 7.2 m であると, 沿岸集落の流失家屋地域での死亡率は 50%に達する.
 - (3) 津波の高さは 12 m であると, 沿岸集落の流失家屋地域での死亡率は 80%に達する.
 - (4) 津波の高さが 20 m に達すると, 沿岸集落の流失家屋地域での死亡率は 98%に達し, 住民のほぼ全員が死亡して集落の壊滅が起きる.
- この前提となる, 上述の ①~③の条件が満た

される場合というのは、我が国では歴史事例で多く当てはまるであろう。また、海外においても tsunami という国際語が普及していなかった 1990 年以前の多くの事例で多くこの 3 つの条件が満たされるであろう。このことからここに得られた「津波高さ」と「死亡率」の関係を表す対数正規分布関数は、広い適用性を持っていると考えられるのである。

6. まとめ

地震による揺れによる死者の発生について、原因と法則性について 7 個の事例について検証した。その結果、地震による死者は、起震断層に接近した場所で、断層面の上盤側にほぼ限定して集中的に発生することがわかった。これとは別に、大河の自然堤防背後の後背湿地での液状化によって、きわめて狭い範囲で集中的に死者を生ずる例があることが判明した。本稿では取り上げなかったが、大正関東震災の東京で起きたような、火災が発生して取り囲まれ、逃げ道が無くなった場合も死亡原因としてあげることが出来るであろう。大正関東震災と安政江戸地震のさいの新吉原でこの原因による大量の死者が発生している（佐藤，2016）。

津波による死者発生事例として明治 29 年（1896）三陸の例を取り上げた。津波に対する防護施設も、避難活動も無かった時に発生した津波について、津波によって流失した家に住んでいた人の死亡率と津波高さの関係を対数正規分布の形として現すことが出来た。

以上の成果は、明治 20 年代の近代的な地震津波観測が始まる前に我が国で発生した地震、津波について、そのメカニズムを客観的に判断するための有力な手段と成るであろう。

謝辞

本研究は、科研費一般（C）「過去の歴史津波災害における死者発生分布の法則性の解明（代表：都司嘉宣）」（課題番号 No.26350479）の一環として行われたものである。また東京大学地震研究所の図書室の職員各位には、幾度も閲覧と複写の便宜を与えていただいた。ここに記して御礼申し上げます。

文献

- 秋田測候所（1897）：「震災彙報」，震災予防調査会報告，11,109-138.
- 秋田県震災救済会（1897）：「秋田震災誌」，pp169.
- 大長昭雄・藤田和夫・松田時彦（1982）：安政元年 6 月の伊賀上野地震一連動したか？活断層，『古地震』，東京大学出版会，231-270.
- 活断層研究会（1991）：「新編日本の活断層」，東京大学出版会，pp437.
- 松田時彦（1980）：活断層による地域区分と被害地震の分布との関係，地震予知連絡会会報，24，282-285.
- 水田敏彦・鏡味洋史（2009-a）：1896. 8. 31 陸羽地震の秋田県における被害分布に関する文献調査，日本建築学会技術報告集，30，597-600.
- 水田敏彦・鏡味洋史（2009-b）：1896. 8. 31 陸羽地震の人的被害に関する文献調査，日本建築学会技術報告集，15,31，963-966.
- 中西一郎・西山昭仁（2006）：嘉永七年（1854）伊賀上野地震に関する史料—京都府最南部の南山城村・加茂町—，地震，2，59，49-58.
- 大熊 孝（1997）：「利根川治水の変遷と水害」，東京大学出版会，pp393.
- 佐藤孝之（2016）：イェール大学バイネキ図書館

- 所蔵の地震史料について—安政江戸地震「な
み記」を中心に—, 東京大学史料編纂所編
『イェール大学所蔵日本関連資料 研究と目
録』 勉誠出版, 141-159.
- 都司嘉宣・上田和枝 (1995) : 慶長 16 年 (1611),
延宝 5 年 (1677), 宝暦 12 年 (1763), 寛政 5
年 (1793), および安政 3 年 (1856) の各三陸
地震津波の検証, 歴史地震, 11, 75-106.
- 都司嘉宣 (2010) : 集落別死者分布で見た文政 11
年 11 月 12 日 (1828 XII 28) 越後三条地震,
地質ニュース, 676, 16-20.
- 都司嘉宣 (2015) : 昭和 2 年 (1927) 京都府北丹
後地震の被害と津波について, 津波工学研究
報告, 32, 263-270.
- 都司嘉宣 (2016) : 平成 28 年 (2016) と明治 22
年 (1889)の両熊本地震の類似点と相違点, 深
田地質研究所年報, 17, 73-87.
- 宇佐美竜夫 (1999) : 「新編・日本被害地震総覧」,
東京大学出版会, pp493.
- 若松加津江 (2008) : 「日本の液化化履歴マップ」,
東京大学出版会, pp90.
- 矢田俊文・卜部厚志 (2010) : 1828 年越後三条地
震による被害分布と震源域の再検討, 地質ニ
ュース, 676, 21-27.
- 矢田俊文 (2015) : 1858 年飛越地震における死亡
者数と土砂災害—飛騨国を事例として—, 資料
学研究, 12,1-13.
- 矢田俊文 (2016) : 一八五八年飛越地震の史料と
家屋倒壊率—飛騨国を事例として—, 災害・復
興と資料, 7, 1-30.