

□内陸地震に備える

東京大学・大学院情報学環・総合防災情報研究センター 教授 飯高 隆

1. はじめに

日本列島は、東から太平洋プレートが沈み込み、南からフィリピン海プレートが沈み込む複雑な構造をしている。海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込んでいるのであるから、それらプレートの境界では大きな摩擦と変形のために、プレート境界地震が発生する。また、プレート境界でのひずみをうけて、沈み込む海洋プレートに押された島弧はひずみをためている。そのような中、日本列島には多くの活断層が存在している。そのひずみを開放するために、これらの活断層で発生する地震を内陸地震と呼んでいる。数十年から数百年周期で発生するプレート境界地震に対して、数千年から数万年の周期で発生する内陸地震ではあるが、活断層が数多く存在するため、数年、あるいは十数年に一度の間隔で日本列島のどこかで被害地震が発生することとなる。そのため、それぞれの活断層の活動周期や地震の破壊の特徴を知ることが非常に重要な課題である。しかし、活動履歴が長いことから断層の長さやすべりの量は、地形や地質学的データをもとに推測するしかない。そのため、不確定な部分も多く、理解が進まないのが実情である。また、地表が堆積層で覆われて、基盤の断層を直接見ることができない地域もあり、断層のパラメータ推定を困難にさせている。そのような活断層であるが、人々の生活圏の直下に存

在する活断層も多く、内陸地震は深さ15km以浅で発生することが多い。また、地震によっては断層面が地表まで到達するものもあり、一度大きな地震が発生すると、ひじょうに大きな災害につながる事となる。

2. 近年の内陸地震の実像

1995年1月17日におきた兵庫県南部地震は、活断層による内陸地震の一つである。M7.3という充分大きな地震であったが、神戸という大都市の直下で発生すると、いかに大きな災害につながるのかを示した地震であった。全壊家屋が104906、半壊が144274、全半焼が7132、そして、6400人を超える死者が出ってしまった。地震の発生時刻が早朝であったため、死者の多くは建物の倒壊と火災によっている。大都市における地震として、建物の倒壊とその倒壊によって発生する火災による災害の大きさを実感する地震であった。

この兵庫県南部地震の地震断層は淡路市北部から伊丹市にかけての約50kmの長さの断層で、震源となる地震の破壊開始点は深さ16kmであった。この地震の断層面の破壊開始点の下にはポアソン比が高い場所がみられた (Zhao et al., 1996)。ポアソン比とは、ある方向に力を加えたとき、力を加えた方向とその直交方向の歪みの比率のことであり、どれだけ直交方向に変形を受けるかを示す指

標である。そのため、ポアソン比が高いことは、その場所の変形が大きいことが予想され、地下流体の存在が示唆された。その後、被害をもたらした様々な内陸地震を調べてみると、断層面の下の地震波の伝播速度が遅く、電気抵抗の低い低比抵抗域が多いことがわかってきた。これらのことから内陸地震の発生において地殻流体の存在が大きく関係していることが示唆されている。近年、能登半島で発生している地震についても地殻内流体の関与が取りざたされているという話題がテレビなどの報道でなされており、耳にした方も多と思われる。

2011年4月11日におきた福島県浜通り地震(M7.0)も、活断層の活動による内陸地震と考えられている(石山・他, 2011)。この地震によって、4人の方が亡くなられるとともに、地表断層が現れ道路の変形なども見られた(図1)。この

震源域周辺に臨時観測点を展開し解析を進めてみると、地殻内部の深さ15kmから23kmに顕著な反射面が観測され、その反射面での振幅が大きいことから地殻内流体の存在が示唆された(臼田・他, 2022)。また、地球電磁気学的観測から比抵抗構造の研究もおこなわれ、この深さでは比抵抗値が低いことも示された。このように、近年大きな被害を引き起こした断層を調べてみると、様々な断層の下に低速度域や低比抵抗域がみられ、地殻内流体の存在が示唆されている。

また、地震の原因となる歪みに関係する歪み場についても理解が進んだ。近年のGPSの技術の発展や日本における空間的高密度での観測点の設置に伴い、新潟から神戸にかけてひずみ速度の大きい新潟-神戸ひずみ集中帯が発見された(Sagiya et al., 2000)。日本列島における歴史地震を調べてみると、このひずみ集中帯において歴史

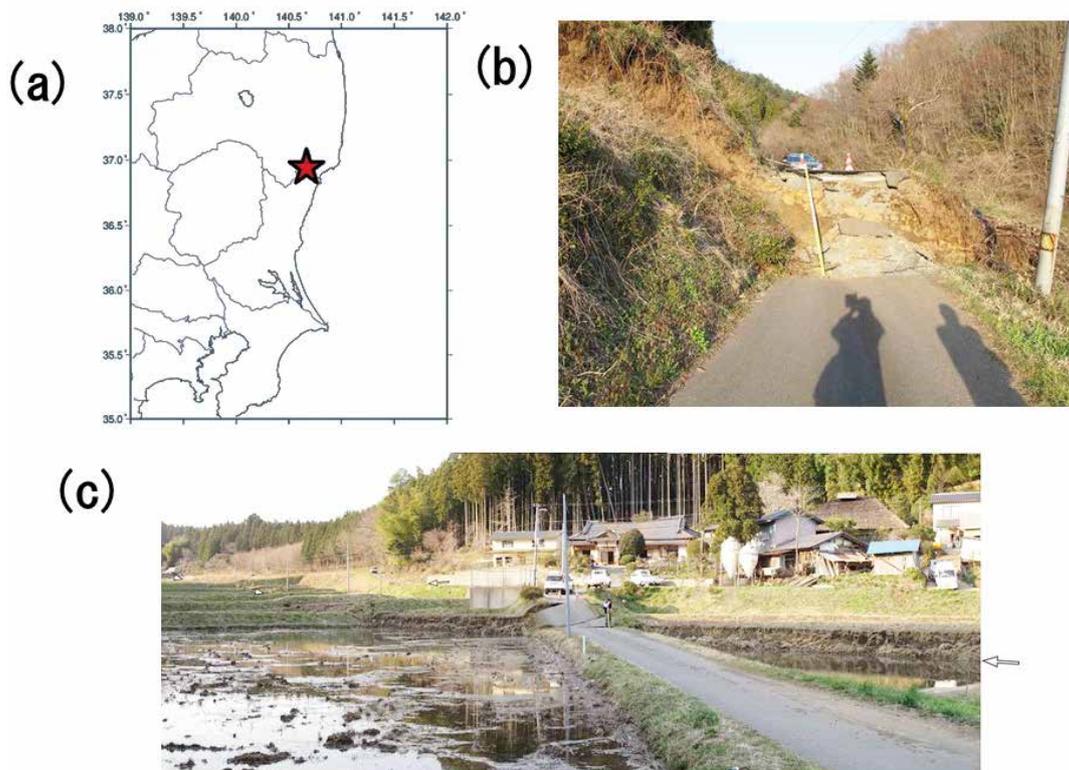


図1 福島県浜通り地震断層写真

2011年4月11日におきた福島県浜通り地震(M7.0)の震源の位置(a)と地表断層による被害の写真(石山・他, 2011)。(b) いわき市田人町塩ノ平での写真。塩ノ平集落東側の道路を切る地表地震断層で崖高は約1.8 m。(c) いわき市田人町塩ノ平でみられた地表地震断層。道路面の崖高は約1.3 m。

的に見て大きな被害地震がいくつも発生していることがわかる(図2)。近年でいえば1995年の兵庫県南部地震も2004年の新潟県中越地震や2007年の新潟県中越沖地震も、このひずみ集中帯の中で発生している。また、歴史的に見ても1891年に発生した濃尾地震もこのひずみ集中帯の中で発生したと考えられている。

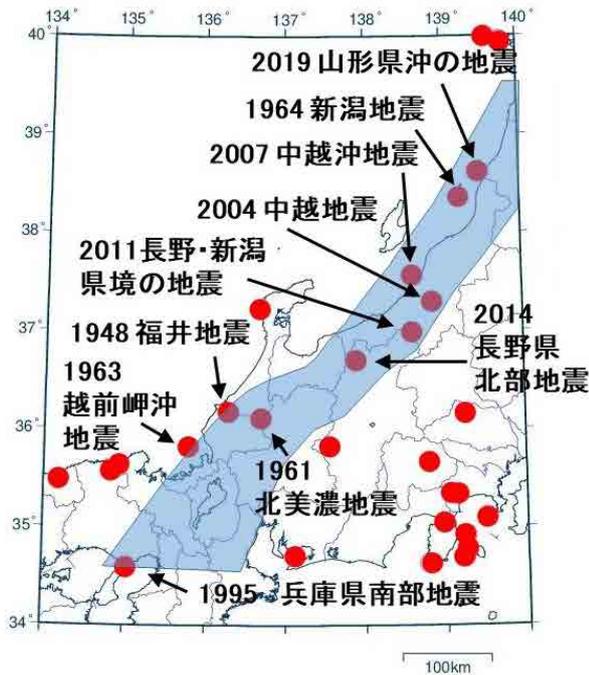


図2 ひずみ集中帯と地震

Sagiya, et al., (2000) によって発見された新潟—神戸ひずみ集中帯(陰影領域)と1923年1月1日から2022年12月31日に深さ0km—35kmで発生したM \geq 6.7の地震(●)の分布。

1891年の濃尾地震は、我が国の内陸地震で最大クラスのものと考えられており、気象庁マグニチュードは8.0とされている。従来、大きな被害をおこす内陸地震の最大値はマグニチュード7クラスである。近年に日本で起きた内陸地震を挙げると以下ようになる。1984年 長野県西部地震(M6.8)、1995年 兵庫県南部地震(M7.3)、2000年 鳥取県西部地震(M7.3)、2003年 宮城県北部地震(M6.4)、2004年 新潟県中越地震(M6.8)、2005年 福岡県西方沖地震(M7.0)、2007年 新潟県中越沖地震(M6.8)、2007年 能

登半島地震(M6.9)、2008年 岩手・宮城内陸地震(M7.2)、2011年 福島県浜通り地震(M7.0)、2016年 熊本地震(M7.3)、2018年 北海道胆振東部地震(M6.7)のように、ほぼマグニチュード7クラスである。しかし、1891年の濃尾地震は、マグニチュード8.0と考えられている。マグニチュードの式は対数を用いているため、マグニチュードが1違うと、そのエネルギーの違いは約30倍違うこととなる。2004年新潟県中越地震の30倍以上のエネルギーをもった地震が足元で起こることを考えるとひじょうに大きな恐怖を感じる。ただ、実際の詳細な解析によって、実際のマグニチュードはもう少し小さかったのではないかという解析結果もあるが、他の内陸地震と比べて桁違いに大きかったことは事実である。大きな地震となった理由は断層の破壊に際して複数の断層面を渡り歩き、震源断層長が長くなったことが理由と考えられている。建物全潰14万余、死者7273名と災害の規模も大きかった。なぜ、このように破壊が複数の断層を渡り歩いたのかは謎であり、現在も研究が続けられている。ひずみ速度の大きなひずみ集中帯だから起きた現象なのか、あるいは断層間の距離が狭かったために起きたものなのかは、今後明らかにされるべき課題であろう。

地震は、断層が動くことによって発生する。そのため、その規模を表すのに、断層面の大きさ(面積)やすべり量が重要なパラメータとなる。断層面のすべり量は、面全体において均一でなく、不均質な分布となるのが普通である。そのため、地震断層においては、アスペリティと呼ばれる固着の大きなところが存在する。そこでは断層のすべり量も大きく、地震波のエネルギーを多く放出するのである。そのため、断層面においてどこがアスペリティになるかについて知ることはひじょうに重要である。現在はそのようなアスペリティの場所を明らかにするような研究が進められている。その一例をあげると、地下の地震波の伝播の速度を調べるのに地震波トモグラフィという手法が

用いられるようになってきた。これは医療で使われているCTスキャンのように、多くの震源から出た地震波を多くの観測点で観測することによって、地震と観測点のペアによる走時（地震波の伝播時間）のデータが得られる。そこで、地下を小さな升目に区切って、それぞれの升の領域がどれだけの速度を持つと、より観測値と矛盾なく説明できるかを、計算機を用いて求めるのである。その手法により、地下の細かな速度構造が求められてきた。その結果、断層面上のアスペリティと考えられるところは、地震波の伝播速度が高速度であることがわかってきた。ただ、地震波の伝播速度が高速度なところが、すべてアスペリティとなるかという点、そのようなことはなく、高速度域とアスペリティが1対1で対応しているわけではないのである。そのため、今後は、既存の断層の速度構造を調べることにより、詳細な速度構造を明らかにし、アスペリティとなる領域を明らかにする研究を進め、アスペリティの位置を推定し、より高度な災害予測につなげていくことが期待されている。

3. 地震と災害

大きな地震には災害がつきものである。地震がいつ、どこで、どの程度の大きさで発生するのかを予測できれば、災害は大きく減らすことができるであろう。しかしながら、現在の科学のレベルでは、地震の発生予測を行うことはできていない。そのため、地震の発生に備えて準備し、発生したとしても地震の被害をなるべく少なくすることは非常に重要である。

地震による被害は、地震の大きさによるだけでなく、環境や季節や時間帯とも大きく関係する。プレート境界地震である1923年の関東地震は、死者・行方不明者10万5千余、住家全潰10万9千余、半潰10万2千余、焼失21万2千余の甚大な被害をもたらした。死者の約9割が火災によって被

災したと考えられている。地震の発生時刻が昼食の時間帯と重なったことから調理に火を使っていたため、多くの地点から火災が発生した。加えて、ちょうどそのころ、日本海を北上する台風が存在し、能登半島付近に位置していた台風により、関東地方全域で強い風が吹いていた。これらの状況によって火災は地震発生時の強風に煽られ火災による死者が多くなった。このように、火災による死者が増えたのは、発生時刻や気象状況による影響が大きいと考えられている。一方、兵庫県南部地震は早朝での地震発生ということもあり、自宅での就寝中や朝の支度中などのように自宅にいるなどして建物倒壊の犠牲となり、圧死者の数が多かった。また、建物倒壊による火災も大きな災害につながった。このように、災害は環境や季節、時間帯など様々な要因によってその様相は大きく変わる。そのため、いろいろな環境下での被災を想定し、準備することが重要であると思われる。

地震に伴う土砂災害も大きな被害をもたらす。2004年新潟県中越地震や2018年北海道胆振東部地震では広範囲にわたり土砂の崩落が確認された。2016年熊本地震では阿蘇大橋の崩壊がおこり主要道路が消失することになった。土砂災害は、道路等の寸断によって物資の流通の遮断を引き起こすとともに、停電やインターネット等の情報網でも障害が起き、物流だけでなく情報からも隔離される可能性が考えられる。発災時は生き延びたとしても、その後の生活を確保するには、さらなる対策が必要となる。土砂災害は、場合によって川や水路をせき止め大きな池や湖を作る可能性もあり、それが決壊することによって更なる大きな被害につながる可能性もあるため、十分注意が必要である。

4. おわりに

日本列島には非常に多くの活断層が存在し、内陸地震はそれらの活断層が活動することによって

発生する。また、それらの活断層が、いつ動き出すのか予測することは困難である。そして、それらの活断層は私たちの生活圏の直下に存在しているのである。そのため一度活動すると大きな災害につながってしまう。そのため、日頃からの防災に向けた準備がひじょうに重要であると思われる。内陸地震の発生は、建物の倒壊に加えて、それら倒壊によって発生する火災につながるものが懸念される。そのため、地震火災はひじょうに気をつけなければならない課題のひとつである。出火地点が多数になり、道路の崩壊や不通になれば消化に向かうことも困難となる。また、発生時間帯やその時の気象状況によっても被害の様相は大きく変わる。そのため、あらゆる場合を想定し、さまざまな観点から災害を予測し、対処していくことが重要と考えられる。

【参考文献】

- 石山達也・佐藤比呂志・伊藤谷生・杉戸信彦・越後智雄・加藤直子・今泉俊文，2011年4月11日の福島県浜通りの地震に伴う地表地震断層について(第2報)，https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/TOPICS_OLD/outreach/eqvolc/201103_tohoku/fukushimahamadoori/，2011.
- Sagiya, T., S. Miyazaki, T. Tada., Continuous GPS Array and Present-day Crustal Deformation of Japan, *Pure appl. geophys.* 157, 2303-2322, 2000.
- 白田優太・飯高隆・蔵下英司・五十嵐俊博・小原一成・加藤愛太郎・酒井慎一・中川茂樹・武田哲也、北茨城ーいわき地域における稠密アレイで記録された地殻内S波反射波イメージング、地震、第75巻，125-143頁、DOI: 10.4294/zisin.2021-13, 2022.
- Zhao, D., H. Kanamori, H. Negishi, and D. Wiens, Tomography of the Source Area of the 1995 Kobe Earthquake: Evidence for Fluids at the Hypocenter?, *Science*, 274, 1891-1894, doi:10.1126/science.274.5294.1891, 1996.