

4. 地震は繰り返す

～同じ場所で同じ大きさの地震が起きる～

札幌管区气象台 濱 田 信 生

1. はじめに

日本で近代科学の歴史は、明治時代以降の 130 年あまりしかありません。初期には学問分野は未分化で、色々な専門分野の研究が区別されず、ごったに行われてきました。

今日気象学と地震学ははっきり分かれており、学会も日本気象学会と日本地震学会に分かれています。昭和の初期までは気象学会の学会誌にも色々な地震に関する研究や報告が掲載されています。

今回はそのような経緯もあるので、地震は自然現象として現在のどのように調べられ、捉えられているかについての一端を紹介したいと思います。

2. これまでの地震に関する認識

科学的な観測が始まる前は、地震は地面が揺れる現象として人々には認識されて来ましたが、神仏の仕業とでも思われたのでしょうか、その仕組みはまったくわかりませんでした。ナマズと地震を結びつけたナマズ絵というものをご覧になったことがあると思います。地下にすむナマズが地震を起こすという俗信は、1855 年に起きた安政の江戸地震の後に広まったもので比較的新しいものです。

今でもテレビやラジオのニュースで「先ほど何時何分頃、何々地方で地震がありました」という放送が流れています。「この地震がありました」という表現は、正確には「どこか（何々地方とは限らず）で断層が滑って地震波が励起されました」という意味と、「その結果発生した地震波が、何々地方まで伝わって地面を揺らし、それを人々が感しました」という両方の意味を含んでいます。このような曖昧な表現は、昔からの人々の地震に関する漠然とした認識を今でも引き継いでいるためと考えられます。

しかし自然現象として地震がどのようなもの

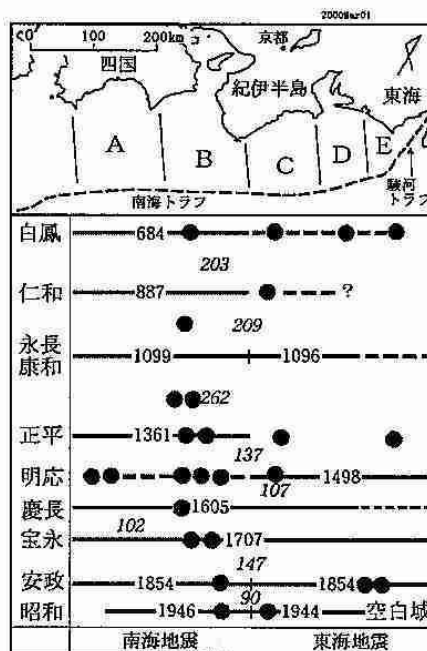


図1. 古文書などから推定されている東海地震と南海地震の繰り返し。地震の起きた年代(縦)と震源の範囲(横棒)を南海トラフに沿って示したもの(横軸)

か分からなかった時代から、地震が多く起きる地域とそうでない地域がある程度のは知られていました。

図1は、今世紀前半に発生すると予想されている東海地震や南海地震に関連してしばしば引用される図です。図1は東海地方から紀伊半島、四国にかけての太平洋岸で、いつ頃どの地域で大地震が発生したかを表しています。いつ頃どこで大地震が起きたかは、大部分は昔から伝わる古文書に記された記事から推定されたものですが、近年遺跡の調査など考古学の研究から推定されたものも含んでいます。図1からは四国や紀伊半島の沖合では、ほぼ百年に一度の割合で大地震が起きていることが読み取れます。このことは地元では、昔から時々大地震が起こり津波が押し寄せるという古老の話として伝承されていました。つまり大地震が同じ地域で繰り返し起きることが比較的古くから認識されていたことを示しています。

3. 地震と断層

地震が断層が動いて発生するという考え、あるいは地震が断層の運動そのものである

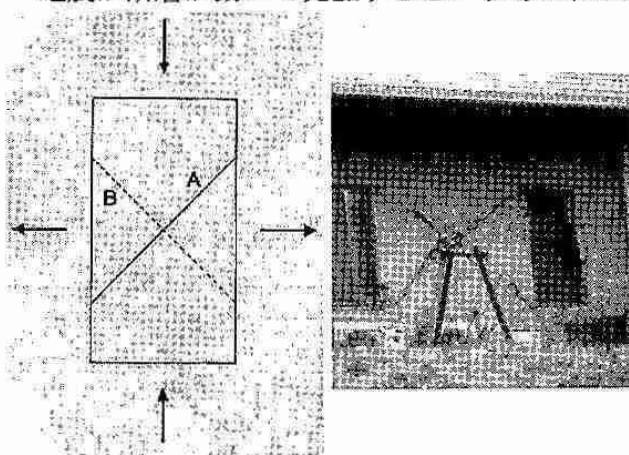


図2. 岩盤に力が加わった時の剪断面の生成。Aの面が形成されるか、Bの面あるいは両方が形成されるかは、岩石の不均一性に依存する。右側は地震によるコンクリート壁の剪断破壊

という考えは、今から40年ほどまえに学説として確立したものです。

図2は、色々な教科書や資料に使われている岩石などの破断の模式図と実際の地震によるコンクリート壁の破断の例です。地下の岩盤、地層に圧力が加わると、その圧力に応じて岩盤は少しずつ変形し、内部にひずみエネルギーが蓄積されます。

しかし圧力が岩盤の破壊強度を超えると、岩盤は剪断面と呼ばれる面に

沿って破断し、ずれを生じます。これが地震そのもので、岩盤が破断し、ずれることにより、それまで内部に蓄えられていたエネルギーの多くは、熱になったり、岩盤を伝わる弾性波つまり地震波となって伝わり、人々が揺れを感じるわけです。この破断面、岩盤がずれを生じる面が連なったものが断層です。

断層にはその滑り方により図3に示すようなタイプに分類されます。

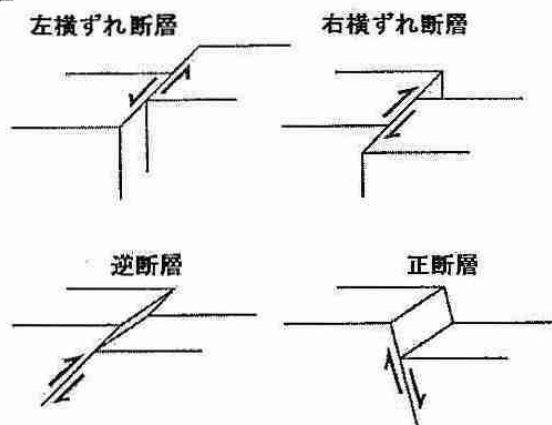


図3. 各種の断層の模式図。断層がどのようにずれるかは、主要な圧力が掛かる方向で決まる。

さて地震が断層運動そのものであることは分かったのですが、次の問題として同じ断層が繰り返し滑るのだろうか、それとも毎回岩盤の違う部分がすべるのかという疑問が出てきます。

4. 活断層と地震の繰り返し

断層は一度地震を起こしてすべると、地下の深い部分では、地震の時に発生する熱や、物理化学的な反応、高い圧力を受け、やがて固着すると考えられています。

その後、地下の圧力で岩盤に再びひずみエネルギーが蓄積され、次の地震が発生する場合、おなじ部分が断層として滑るのか、あるいは別の場所で新たに破断面を生ずるのかという疑問が湧いて来ます。もし毎回違った部分が破断し、断層として滑るのであれば、正確には地震は繰り返すとは言えなくなります。

しかしまったく同じ部分が断層として滑るのであれば、地震は繰り返すといっていいいでしょう。この同じ断層が滑るのかという問いに対する、今日の地震学の答えは、「はい」でもあり、また「いいえ」でもあります。

図4は、阪神淡路大震災を引き起こした、平成7年兵庫県南部地震(M7.3)の震源付近の断層を示した地図です。たくさんの線が引かれていますが、線

の一本一本が過去の地震によって動いて出来た断層と考えられます。しかし兵庫県南部地震のような大地震が起きるときには、この断層のすべてが動くのではなく、その内の



図5. 活断層の発掘調査の様子。断層を横切る大きな溝(トレンチ)を掘削し、斜面に現れる断層のずれを調べ、何回、いつ頃、どのくらい変位したかを調査し、断層の活動度を評価するために行われている。

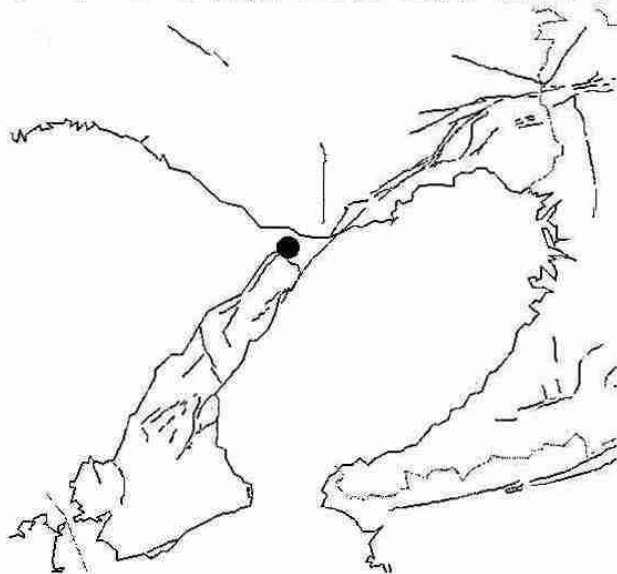


図4. 淡路島から神戸にかけて走る活断層の分布。平成7年兵庫県南部地震(マグニチュード7.3, 黒丸)の震源域周辺を北東から南西方向に延びており、大部分がそれぞれの断層上に立つと、右側が手前にずれる右横ずれを示している。

一部だけがずれて地震が起こります。兵庫県南部地震のような大地震は、この地域では過去に繰り返し起きていたと考えられますが、一つ一つの大地震で動いた断層はこれらの断層の一部で、毎回毎回同じ断層ではなかったと考えられます。

また地下にはまだ存在の知られていない断層が隠れている可能性もあるので、大地震で動く可能性のある断層の数は実際にはもっと多

いだろうと考えられます。もし毎回違う断層が動いて大地震を起こすのであれば、厳密には大地震が繰り返すとは言えないでしょう。

しかしおおまかに見ると狭い範囲に集中して大地震が起きるので、大地震は繰り返すと言えるかもしれません。図5は実際に断層を発掘してどの程度地震を起こしたか、何年くらいの間隔で地震が起きていたかなどを調べているところです。このように繰り返し地震を起こし、将来も地震を発生させる可能性のある断層を活断層と呼びます。

5. 地震観測による繰り返しの確認と固有地震

これまで断層が動いて地震が発生する。断層は繰り返し地震を発生させるらしいことを紹介してきました。しかし大地震だけでなく、小さい地震も同じように小さな断層で繰り返し発生するのだろうか、或いは繰り返し発生する地震の揺れは毎回同じだろうかという疑問が次に湧いてきます。この疑問に答えるのは容易ではありません。大地震は百年に1回あるいはもっと長く数千年に1回の頻度でしか起きません、地震計による観測から揺れ方を比べることは不可能です。小さい地震は大きい地震に比べて頻繁に起こりますが、断層そのものが小さく、震源の位置が同じかどうかなど精度の点からも確認するのが容易ではありません。しかし近代的な地震の研究と観測が始まって130年位たち、ようやく手がかりが得られるようになってきました。

1) マグニチュード6クラスの地震が繰り返し発生する（パークフィールドの地震）

1966年に米国カリフォルニア州のパークフィールドという町で、マグニチュード6の地震が発生しました。この地震は詳細な余震観測により、余震が本震の断層面に沿って起こっていることが実際に確かめられた初めての例として有名ですが、その後、米国の地震学者達は、同じ地域で同じくらいの大きさの地震が、1857年、1881年、1901年、1922年、1934年にも起きていることに気がつきました（図6）。

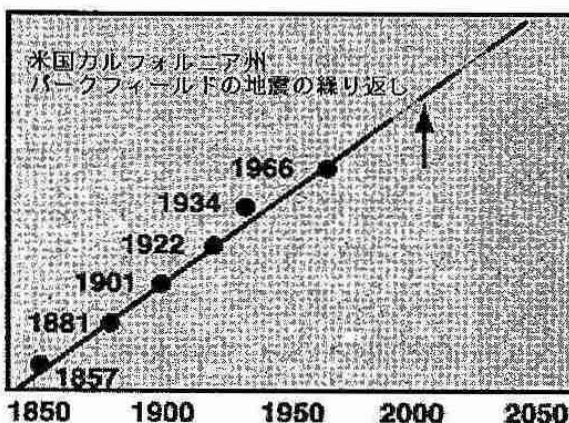


図6. パークフィールドの地震の繰り返し（米国地質調査所ホームページから）

縦は発生した地震のエネルギーの積算、横軸は発生時間を示す。

初めの3回は曖昧な点が多くよくわからないのですが、1922年と1934年の地震は、地震計の記録から1966年の地震とそっくりであったのです。1966年の地震まで平均すると22年に一度の間隔で地震が起きています。このことから次の地震が1985年から1993年の間に90%の確率で起きると予想した地震学者達は、パークフィールドに地震予知のための色々な観測器械を持ち込み、地震が起きるのを待ちました。しかし予想された期間内に地震は起きず、地震予知の期待はしぼんでいきました。

ところが、予測の期間を 10 年以上過ぎた 2004 年 9 月にマグニチュード 6.0 の地震が起きました。細かく見ると色々違いもあるのですが、2004 年に起きた地震もそれまでの地震と大変よく似ており、地震が同じ場所で、繰り返し起きていることが確かめられました。今日これら同じ場所で同じ断層が繰り返し活動して発生する地震を固有地震と呼んでいます。

2) 日本で見つかった固有地震（釜石沖地震）

1999 年頃、東北大学の研究者が、東北地方の太平洋沿岸の地震活動を詳しく調べているうちに、岩手県釜石市の沖合、深さ 50km の海底で、1957 年以降 5 年くらいの間隔でマグニチュード 5 クラスの地震が繰り返し発生していることに気がつきました。

平均発生間隔は 5.5 年で、毎回地震波形がよく似ていることから、パークフィールドの地震と同じような固有地震と判断されました。

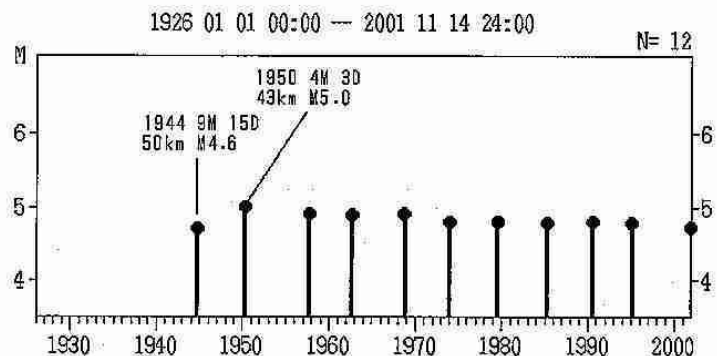


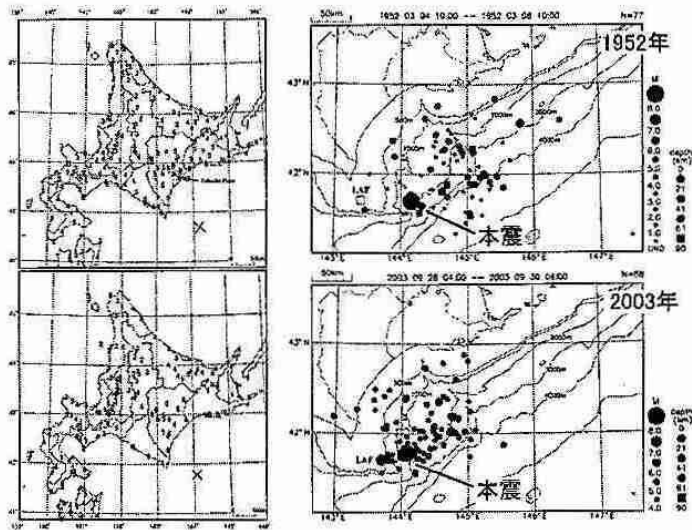
図 7. 釜石沖で発生する固有地震の繰り返し。縦軸は地震の規模を横軸は発生時間を表す。

パークフィールドの地震と違うのは、8 回と繰り返しの回数が多く、また間隔もより規則的なことです。最後の地震は、1995 年 3 月に起きているので、東北大学の研究者は、次に地震が起こるのは 2000 年頃ではないかと推定し論文を発表しましたが、果たせるかな 2001 年 11 月にマグニチュード 4.7 の地震が発生し、予想がほぼ的中しました。その後断層面の滑りなどを詳細に解析してみると 1995 年の地震と 2001 年の地震はほとんど同じような形の断層が同じような滑り方をしていることが分かりました。その後の調査で 1950 年と 1944 年にも地震が発生していることが分かり、述べ 11 回も繰り返していることが分かりました（図 7）。

これらの事から、次の地震が起きる時期は 2007 年頃と予測されています。

3) 大地震の繰り返し（十勝沖地震）

十勝沖地震と呼ばれているマグニチュード 8 クラスの地震は、今までに 1952 年、1968 年それに一昨年の 2003 年の 3 回発生しています。この内 1968 年の地震は、実際の震源域は青森県東方沖で、十勝沖ではありません。十勝沖で起きた十勝沖地震、1952 年の地震と 2003 年の地震は、地震波、余震分布、震度の分布、津波の初期の波形などが互いに似ており（図 8）、パークフィールドの地震や、釜石沖の地震と同じような固有地震と考えられています。マグニチュード 8 クラスの地震が同じ場所で、繰り返し発生していることが、地震観測により確認されたのは世界でも初めてではないかと考えら



れます。しかし地震の性質は大変よく似ているのですが、津波は1952年の時の方が大きく、全く同じといえません。その違いの原因については、今後の検討課題です。

図8. 1952年十勝沖地震(上)と、2003年十勝沖地震(下)の余震の起こり方(右)と震度分布(左)の比較、いずれも余震は本震の北東側に広がっており、震度分布も北海道全体で同じような分布を示している。

4) 新たな繰り返しの例(釧路沖地震)

昨年12月、一昨年の十勝沖地震の余震域の東の外側に、釧路沖地震(M7.1)が発生しました。釧路沖ではマグニチュード7クラスの地震は珍しくないのですが、注目されたのは、震源も規模も1961年8月に起きた釧路沖地震(M7.2)とほとんど一致することや、2つの地震の観測波形が大変よく似ていることです(図9)。さらに興味深いことは、余震の起こり方(図10)です。余震が起きている部分の間に、余震が起きない空白の部分があります。この空白部分は

本震で滑った断層の核心部分と考えられ、アスペリティと呼ばれています。

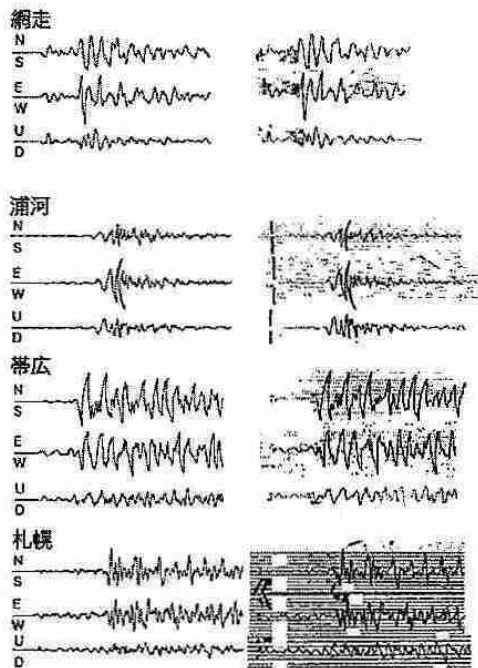


図9. 2004年釧路沖の地震(左)と1961年釧路沖の地震(右)の札幌などで観測された地震波形の比較。2004年の地震の記録はデジタルであるが、1961年当時の地震計のペン記録と比較するために円弧書きに補正している。各観測点の波形は細かい部分までよく似ており、両者がよく似た起こり方をした地震であることを示している。(吉田他 2005) による

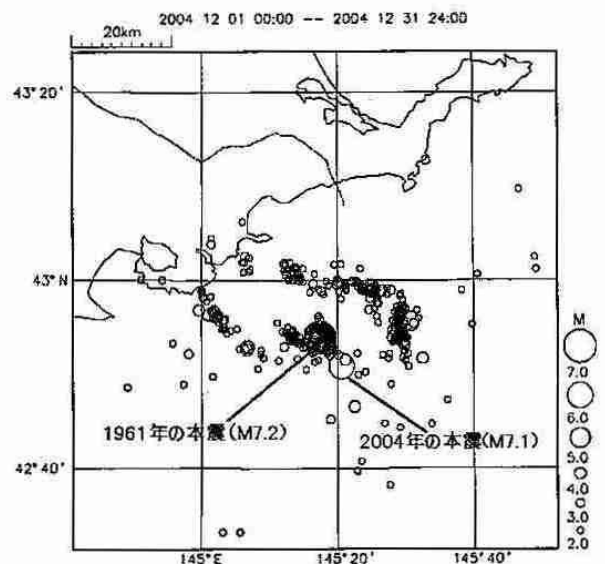


図10. 2004年釧路沖の地震の本震とその余震の分布、及び1961年の地震の本震の位置(黒丸)を示したもの。余震は本震の周りと北側に分かれて発生し、本震の北側では空白になっている。余震に挟まれた部分が本震で大きく滑ったアスペリティと考えられる。

6. 固有地震とアスペリティ

長期間の地震観測データの蓄積により、同じ断層で同じ規模の地震が繰り返し起きる例が色々と見つかってきました。地震を起こす断層は、その断層に特有の規模と性質を持った地震を発生させるという考え方から、発生する地震を固有地震と呼ぶようになりました。この固有地震を説明するのにアスペリティという概念が用いられます。アスペリティは、「特異な性質を持つ部分」を意味しますが、日本語にうまく対応する用語がなく、そのまま訳さずに調査研究に使われています。

地震で断層が滑る時、断層の大きさは有限ですから、断層の滑りは断層面上で一様ではなく、大きく滑る部分と、あまり滑らない部分があります。

図11はアスペリティと断層、地震の震源の関係を表した模式図です。大きく滑る部分をアスペリティと呼んでいます。このアスペリティは、地震を起こす前は、強く接着しており、地震時には大きく滑るため、大きなエネルギーを持った地震波を励起します。また本震の時に大部分のエネルギーを放出するために、余震があまり起きません、余震

はむしろ本震による断層の滑りの少ない部分、アスペリティの周りで多く発生することから、余震分布からアスペリティがおおまかに推定できますが、地震波や地殻変動を解析することにより、より詳しく推定されるようになっています。

断層面上のアスペリティと本震、余震の分布

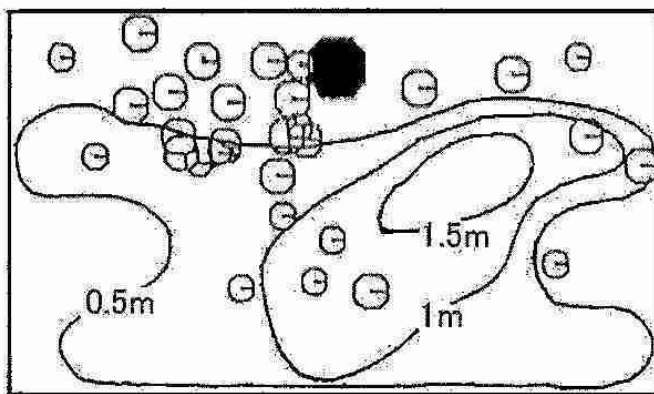


図11. 断層面上のアスペリティの概念。黒丸は本震が始まった位置、同心円は断層面上の滑り量を表し、中心部ほど滑りが大きい。中心部をアスペリティと呼び、余震（○印）はアスペリティの外側で多く発生するという傾向を示す。

7. 終わりに

これまでの地震観測データの積み重ねと研究により、特定の断層で、同じ規模の地震が繰り返し発生する仕組みが少しずつ見えるようになってきました。断層上のアスペリティと呼ばれる部分では断層面が強く固着しており、普段は小さい地震も起きないのですが、アスペリティの周辺の断層は固着が弱く、少しずつ滑って小さな地震を発生することから、平常時の地震活動はむしろ活発と考えられます。このようなアスペリティの性質を解明し、アスペリティにかかる歪みにより、地震発生直前にどのような変化が見られるか、あるいは期待できるかを知ることから、地震予知に結びつく有力な手がかりが得られるのではないかと考えられ、色々な調査研究が行われています。

参考になるホームページなど

活断層に関する一般知識（地震調査研究推進本部のホームページ）

<http://www.jishin.go.jp/main/katsudanso/index.htm>

パークフィールドの地震（米国地質調査所のホームページ、英文）

<http://quake.wr.usgs.gov/research/parkfield/index.html>

地震予知連絡会の資料（国土地理院のホームページ）

<http://cais.gsi.go.jp/KAIHOU/index.html>

釜石沖の地震（日本地震学会一般向け広報誌ないふるのホームページ）

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/ssj/naifuru/vol31/v31p2.html>