

7-1 2007年新潟県中越沖地震 (M6.8) の予測について On Forecast of the 2007 Niigata Chuetsu-oki Earthquake (M6.8)

茂木清夫
Kiyoo Mogi

2007年7月16日に新潟県中部の日本海沿岸域に起こった2007年中越沖地震(M6.8)は柏崎市を中心に多大の被害をもたらした。また世界最大の柏崎刈羽原子力発電所のほとんど直下に起こり、原発が被災した為に国内外から注目されている。この地震についてはその発生機構、余震活動、地殻変動などについて詳しい調査や報告がある(例えば、岩崎, 2009)。しかしこの地震の発生の前に何らかの先行現象の発生があって地震発生の予測の可能性があったのかどうかについて検討したものはない。

本報告では、この地震発生の前に何らかの地震活動の変化の有無を調査した結果について述べる。地震の資料としては1997年から気象庁、防災科学技術研究所、各大学、関係諸機関の協力によって得られている一元化震源の表を用いると共に、それ以前については気象庁の地震カタログを使用した。

1. 長期的予測

図1(左図)は新潟地震とその翌年から始まった松代群発地震の震源域を示したものであり、右図は左図内で発生したM4.0以上の地震の時空間分布を示したもので、新潟地震の余震が、時間と共に次第に南下し、その延長上で1965年から始まった松代群発地震が起こったとみられ、両者の間に密接な関係があることが認められた(Mogi, 1988)。

図2は新潟地震から20年以上経った1987年までに発生したM4.0以上の地震の分布である。これを見ると、新潟地震の余震域と松代群発地震の震源域を除くと、新潟地震の南西一帯ではほぼ様な分布をしていると見られる。ところがこの図の中の新潟の沿岸部と佐渡海峡を含む楕円形の領域では全く起こっていない。新潟地震の余震域が次第に西南西方向にほぼ一様に拡大したという傾向から見ると不自然で、ここは小地震が発生しにくい状況にあり、将来、新潟地震に連なる大きい地震が起こる可能性のあるところ、つまり「地震空白域」ではないかと考えて、そういう意味で今後注意して監視してゆくべき所ではないかということを1988年に著者が発表した。その後も約20年間静かな状態が続いた。

2007年7月16日午前10時過ぎに、自宅(習志野)でゆっくりした地震動を感じ、テレビのスイッチを入れると、新潟県柏崎市を中心に震度6となった地震が発生したことを報道していた。その気象庁の報道によると今回の地震はM6.8で中越地区と佐渡ヶ島間の海域にあり、弱い津波がいくつかの験潮所で記録されたということであった。

この地震が上述の「地震空白域」内で起こったのかどうかをチェックすると、その範囲内であることが分かった。実際、その夜に気象庁の石川有三さんから主な地震研究者宛にメールが送られてきて『今回の地震は茂木による「地震空白域」で起こったようだ』とあった。この地域はこのように、これまでに注目していた所ではある。しかし、今回の地震は図2に示したように、本震は「空白域」の南端部にあるが、その余震域は沿岸域に沿うようにさらに南西部に進展したものであった。今回の地震が日本海沿岸に沿う地震帯で起こったものであり、1964年の新潟地震以降のこの地域の

活発化を示すものと思われるが、図2に示した「地震空白域」の大部分は依然としてそのままであり、今後もこの領域についての警戒を進めてゆく必要があると考えられる。

2. 2007年中越沖地震(M6.8)に先行した地震活動静穏化と前震活動

地震の発生を予知することができれば災害の軽減に大いに役立つという考えで、長い間この困難な問題が追究されてきたし、現在も続けられている。しかし、太平洋側のサブダクションゾーンでの大地震については、その発生場所が凡そ推定されて居り、大きな被害が予想され、また、沈み込むプレートの移動速度が大きいことなどもあって、多くの人が研究を進めており、新しい研究の進展が見られつつある。

しかし、例えば、近年(1980年以降)起こったM6.8以上の被害地震11回のほとんどが日本海側乃至内陸の地震であるのに、このタイプの地震の予測についての見透しはついていないのが現状である。

従って、このタイプの地震についてはこれまで起こった地震についての調査、研究を行い、それを役立てることが重要であると考え、これまでもそういう調査を積み重ねてきたのである。しかし、今回の調査で感じたことは、冒頭で述べたように、地震のデータがこれまでに比較して格段に良くなっているのだから、従来のデータで全く同じ手法で調べると、何ら有用な結果が得られないような場合でも、以下に示すような新しい結果を得ることができた。

図3は佐渡ヶ島、佐渡海峡および本州の新潟県中部一帯で発生したM2以上で、25kmよりも浅い所で1995年から2007年7月16日までに起こった地震の分布図で、図中の左側の二重丸印は2007年中越沖地震の本震、右側の二重丸印は2004年中越地震の本震である。

中越沖地震前の地震の時空間分布を調べるために、その大きい地震の震源域を含む二つの矩形の領域を選定した。一つはおよそ海岸線に沿うABという直線に沿うものと、それにほぼ直交するCD線に沿うものである。

図4(a)はABに沿う矩形領域について、縦軸にAからBまでの距離をとり、横軸に時間(年)をとった地震の時空間分布図である。図4(b)は縦軸にCからDに至る距離をとり、横軸に時間(年)を取った同じような時空間分布図である。2007年中越沖地震の本震(二重丸)とそれに続く余震の前にその震源域に当たる領域で、地震活動が顕著に低下したことがよくわかる。即ち、点線で示した範囲内で全く地震が起こっていない。このような静穏化は大体2000年頃から始まり、大地震発生直前まで続いた。

このように、M2という小地震まで見ても約6年間全く起こらず、M6.8という被害地震が突発的に起こったということがわかったのである。もし、こういう活動の異常さを1~3年位前に気づいて居れば、かなりの災害軽減対策を取ることができたと思う。

このような調査を、これまでのようにM3以上の地震データで行っても、何の情報も得られない。これまで、基本的な観測網の充実が重要だということを訴えてきたが漸く関係各機関の協力によって観測網が充実され、一元化震源の表のようなものとして一般に活用できるようになったための成果で、これによって地震予知の可能性が明らかに高まったと言ってよい。

図4では二つの矩形の中での地震の時空間分布図として示したが、図5に二次元の地震分布図を示す。図4で指摘したように2000年から震源域の静穏化がスタートしたと見られるので、例えば、1995-2000年についての二次元の分布図を作ってみると、その分布図では2007年の地震との関係が見られないが、2000年から2007年中越沖地震の発生直前までの分布図である図5では2007年の

地震の震源域が明瞭な空白域となっている。

図6に地震活動分布図の空白域と本震及び余震の分布図を重ねると、2007年中越沖地震がこの空白域を埋めるように起こったことが分かる。(この図に2003年11月に発生した深さ28km, M4.8の地震を記入してある。これは広い意味で2007年中越沖地震の前震と見られることについては後述べる。)

以上の結果を見ると、内陸の浅い大きい地震の発生地域を小地震の分布図からある程度予測できる場合があることがわかった。しかし、他の地震についてはどうか問題になる。そこで、中越沖地震の約3年前に、約35km位内陸で起こった2004年中越地震(M6.8)ではどうかを全く同じ方法で検討してみた。

図7には2007年中越沖地震と2004年中越地震の震源域をそれぞれ四角形で示したが、図8にこの二つの地震の特徴を示して比較したが、2004年中越地震の場合には2007年中越沖地震の場合のような明らかな前兆的变化は認められなかった。

このように近接した所で起こった同じ大きさ(M6.8)の地震の起こり方が大きく違う場合があることを指摘しておきたい。その理由は2004年中越地震は活発な活褶曲地帯(Ohta et al., 1973)で起こったので、この地域一帯の地殻の力学的構造が特に不均一、複雑であるのに対して、中越沖地震の場合はかなり均一で、両者の地震発生型や余震の起こり方などにも明らかな違いが見られ、そのことと密接な関係があると考えられる(Mogi, 1963)。

さて、地震の予測、予知のための研究を進めている者として、2007年中越沖地震の予測問題を検討してみた。地震発生を予測するのに必要なことは、発生場所、地震の大きさ、発生時期をある程度の確度で推定することであり、それを試みた。

(a) 発生場所 図5と図4から推定される。

(b) 地震の規模 図5の空白域の大きさから推定できる。空白域の長さが地震の余震域のながさLと同程度と仮定すれば、次の宇津の式からMを求めることができる。

$$\text{Log } L = 0.5M - 1.8$$

今回は $M \approx 6.8 \sim 7$ が得られた。

(c) 地震の発生時期 一般にこれを推測するのが最も容易でない。前震のような短期の前兆現象が観測されれば可能であるが、そういう前震が観測された例はこれまで少なかった。しかし、中越沖地震の場合は本震の震源域内の直下(深さ28km)でM4.8を含む地震群が2005年11月に発生したので、それを広義の前震と考えておよその発生時期を以下のように推定した。

図8(A)～(D)の左の部分は2004年中越地震、右の部分は2007年中越沖地震について示したものである。図の上段は地震の深さの時間的变化を示したもので、下段は地震の大きさの変化、いわゆるM-T図を示したものである。これらの図は図7(a)に示されている2004年と2007年の二つのM6.8の地震の本震-余震を含む震源域内で起こった地震についての図で、この二つの大きい地震の特性の違いを端的に示している。

図8(A)と(B)：(A)と(B)を見ると一見してこの二つの地震前の地震活動の違いが分かる。ここで縦軸は地震の深さ、横軸は時間(年)である。2004年の場合(A)では深さ25kmよりも浅い所(上部地殻)でだけ地震が起こって居り、本震の前にたくさんの地震がほぼランダムに起こって居り、余震が実に多い。

ところが2007年の場合(B)を見ると、深さ25kmよりも浅い所では地震が非常に少なく、特に、2000年から本震(M6.8)が起こるまで全く静穏である。これが図4、図5で見られた本震

前の静穏化である。しかし、25kmよりも深い所での地震があり、特に、本震の約1年半位前の2005年11月にM4.8のやや大きい地震を含む地震群（広義の前震）が発生し大地震発生に至った。

図8(C)と(D)：(C)と(D)の縦軸はM、横軸は時間（年）を示したものであるが、やはり、2004年と2007年の大地震前の違いがよくわかる。特に、(D)では2002年以降25～30kmの深さのものの活動度が増して本震発生となったと見ることができ、2005年11月のM4.8を含む地震群は広い意味の前震と考えられることは上述の通りである。これは著しい静穏化が進んだ上部地殻で応力が次第に高まっていた時に、高温で強度が低い下部地殻内でM4.8の地震を含む本震・余震型の地震群が起こり、これが上部地殻での大きい破壊を誘発したとして理解できるのではないかとと思われる。

従って、2007年の大きい地震の発生時期は図8の(B)(D)のパターンからM4.8を含む広義の前震発生後間もない1～2年後、つまり2006年～2007年と推定された。

結論として、現在の高精度の地震データを使用した地震活動の調査を注意深く検討することによって、2007年中越沖地震(M6.8)の予測がある程度の精度でできる可能性があったと思われる。

上に述べたような地震活動についての情報を地震発生の前に提供することができれば地震災害の軽減に大いに役立つであろう。場合によってはこの地震のように直下型の中規模地震(M6.8)の予知の可能性もあるのであるから、地震国であるわが国では、地下の地震活動の微妙な変化をとらえるための一層の努力と工夫を積み重ねつつ、監視を続けることが重要であることを改めて強調したい。

引用文献

国立天文台編，理科年表，地1-244，2009.

岩崎貴哉，平成19年（2007年）新潟県中越沖地震（2007年7月16日，M6.8），地震予知連絡会40年のあゆみ，206-211，2004.

Mogi, K., Some discussions of aftershocks, foreshocks and earthquake swarms — the fracture of a semi-infinite body caused by an inner stress origin and its relation to the earthquake phenomena (3), Bull. Earthquake Res. Inst., 41, 615-658, 1963.

Mogi, K., Some features of seismic activity in and near Japan (2), Bull. Earthquake Res. Inst., 47, 395-417, 1969.

Mogi, K., The mechanism of the occurrence of the Matsushiro earthquake swarm in central Japan and its relation to the 1964 Niigata earthquake, Tectonophysics, 159, 109-119, 1988.

Mogi, K., Two grave issues concerning the expected Tokai Earthquake, Earth Planets Space, 56, Ii-Ixvi, 2004.

茂木清夫，とらわれずに考えよう－地震・火山・岩石破壊，古今書院，196p. 2009.

Ohta, Y., T. Machida, T. Shirai and T. Suzuki, Active folding of the fluvial terraces along the Shinano River, central Japan, "The Crust and Upper Mantle of the Japanese Area" Part II, 121-129, Geol. Surv. of Japan, 1973.

宇津徳治，北海道及びその周辺の地震活動，北海道大学地球物理学研究報告，20, 51-75, 1968.

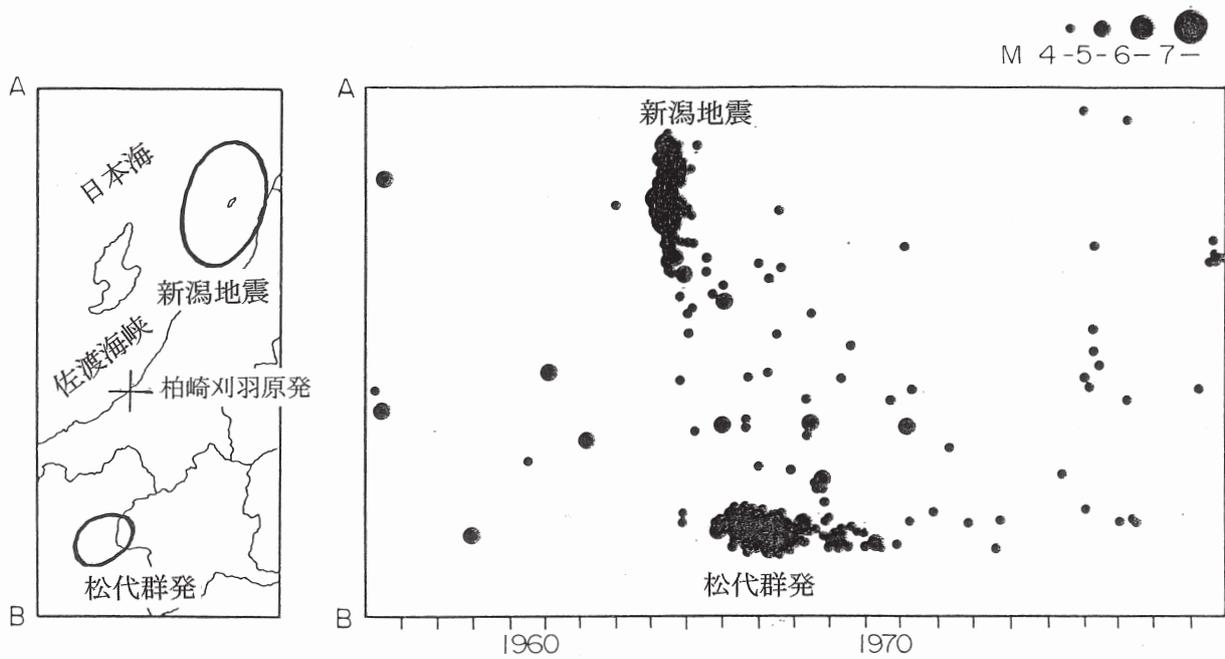


図1 左図：1964年新潟地震と1965年から始まった松代群発地震の震源域。右図：左図内で発生したM4.0以上の浅い地震の時空間分布図。
 Fig1. Left part: locations of the 1964 M7.5 Niigata earthquake and the Matsushiro earthquake swarm region. Location of Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Plants is shown by Symbol +NP. Right part: space-time distribution of shallow earthquakes ($M \geq 4.0$) in the Niigata-Matsushiro region shown in the left part (Mogi,1988).

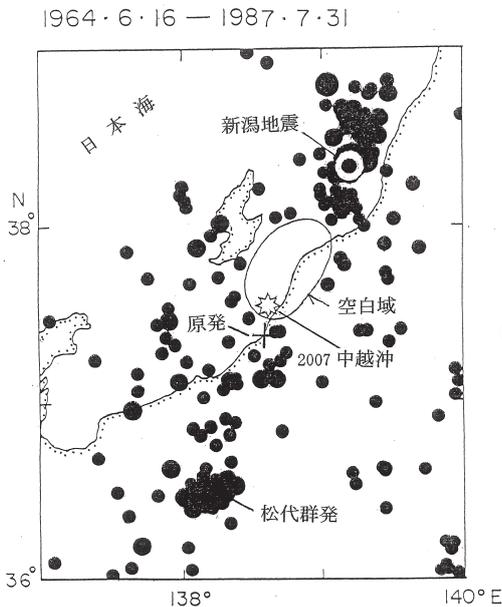


図2 1964年新潟地震(M7.5)以来、新潟-松代地域で起こったM4.0以上の浅い地震の分布。1998年に筆者が提唱した地震空白域、柏崎刈羽原発及び2007年中越沖地震の本震の位置も示す。
 Fig2. Locations of shallow earthquakes ($M \geq 4.0$) which have occurred in the Niigata-Matsushiro region since the 1964 Niigata earthquake. The seismic gap proposed by the present author and the epicentral location of the main shock of the 2007 Chuetsu-oki earthquake ($M6.8$) are also shown (modified Mogi, 1988).

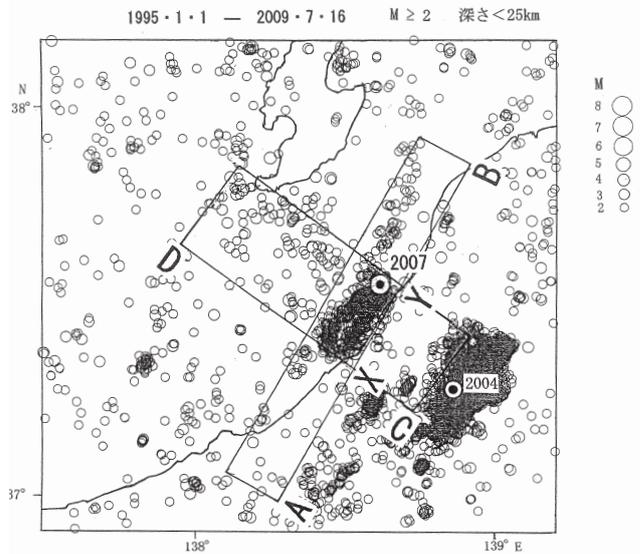


図3 佐渡ヶ島から新潟県中越地方の地震活動を調べるために、この地域で1995年から2009年7月までに発生した深さ25kmよりも浅く、M2以上の地震の分布を示すとともに、A-BとC-Dに沿う2つの矩形領域内の地震の時空間分布を調べる。
 Fig3. For research of the seismic activity before the 2007 Chuetsu-oki earthquake, the space-time distributions of earthquakes in the two rectangular areas along A-B and C-D lines were obtained.

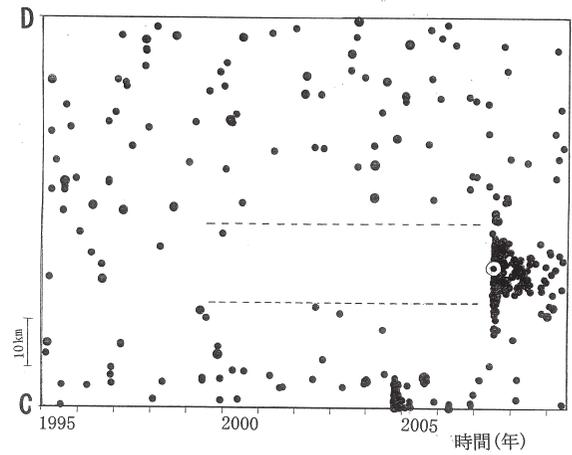
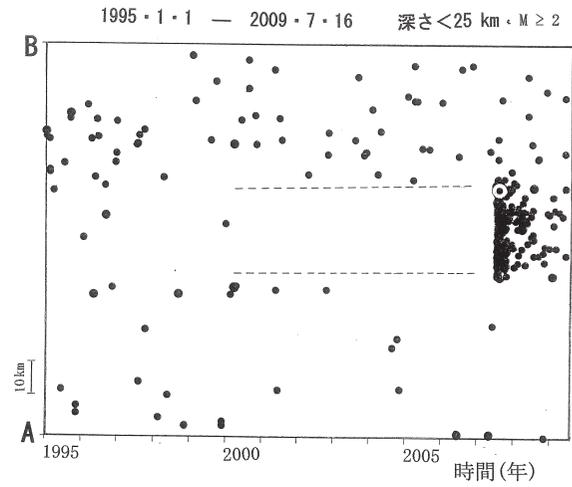


図4 上図:縦軸にAからBまでの距離をとり,横軸に時間(年)をとって示した時空間分布.

下図:縦軸にCからDの距離をとって示した時空間分布.

Fig4. Upper part: the space-time distribution of earthquakes in the rectangular area along A-B line.

The vertical axis is the distance from A to B and horizontal axis is time in years. This result shows the seismic quiescence before the 2007 earthquake.

Lower part: the similar seismic quiescence before the 2007 earthquake is also seen in the area along the C-D line which is nearly perpendicular to the A-B line.

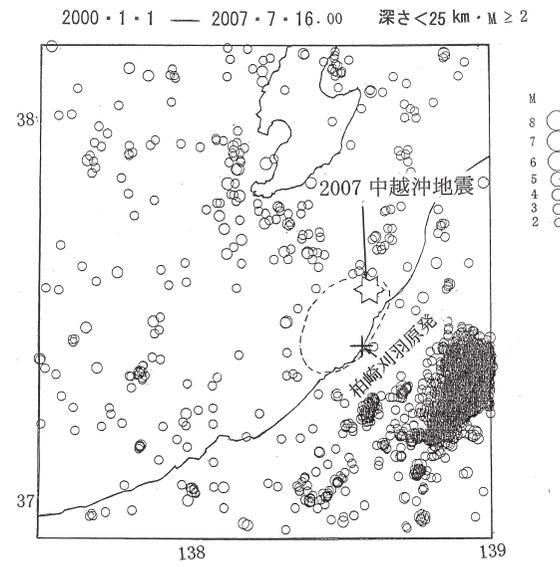


図5 2000年から2007年の中越沖地震(星印)の直前までの地震分布図で中越沖地震発生前の楕円形の空白域が認められる. +印は柏崎刈羽原発.

Fig5. The epicentral distribution of earthquakes during the period 2000-Jul. 16, 2007. The focal region of the subsequent 2007 Chuetsu-oki earthquake shown by a star Symbol is completely vacant of earthquakes. + symbol shows Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Plants.

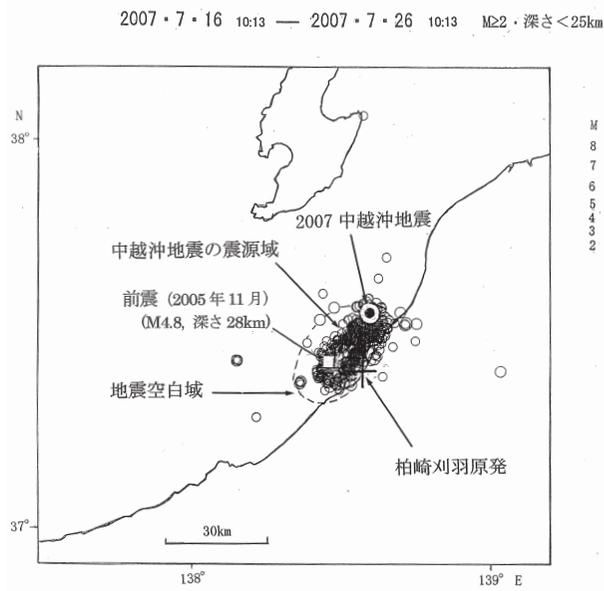


図6 2007年中越沖地震の本震とその余震(10日間)及び図5の地震空白域. 白色の四角印はM4.8の前震(深さ28km)で+印は原発.

Fig6. Epicenter of the main shock and aftershocks (10days) of the 2007 Chuetsu-oki earthquake, and precursory quiescent region (seismic gap). + : Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Plants.

1995 1/1 0:0 — 2009 1/1 1:0

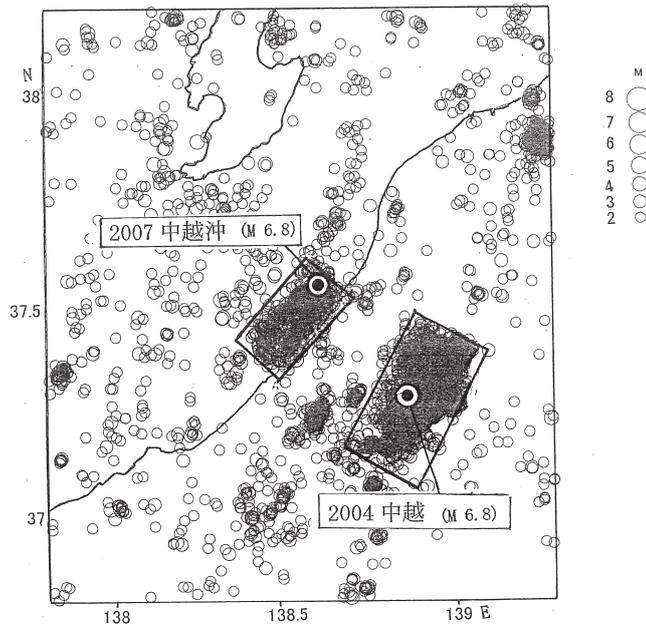


図7 図8で調査した2007年中越沖地震と2004年中越地震の震源域。
 Fig7. Locations of earthquakes ($M \geq 2$, focal depth 0-35 km) from 1995 to 2008 in the focal regions of the 2004 Chuetsu earthquake and the 2007 Chuetsu-oki earthquake.

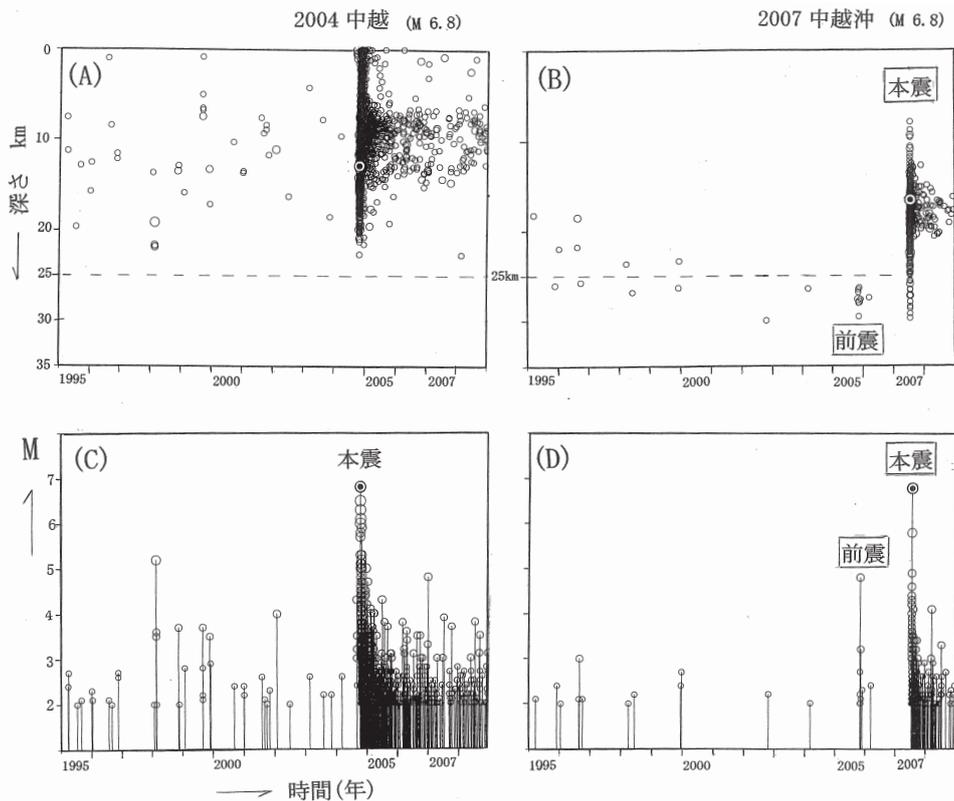


図8 左側の(A)と(C)は2004年中越地震, 右側の(B)と(D)は2007年中越沖地震についての図。上段の(A)(B)はこの二つの地震の震源域内に起こった地震の深さの時間的な変化を示す。下段の(C)(D)は縦軸にMをとり, 横軸に時間をとったM-T図。

Fig8. (A)~(D) Focal depths and magnitude of the earthquakes in the focal regions of the 2004 Chuetsu earthquake ($M6.8$) and the 2007 Chuetsu-oki earthquake ($M6.8$) regions as function of time. Upper part: focal depths of earthquakes as function of time. (A) the 2004 Chuetsu earthquake and (B) the 2007 Chuetsu-oki earthquake. Lower part: magnitude as function of time. (C) the 2004 Chuetsu earthquake and (D) the 2007 Chuetsu-oki earthquake.