7-11 平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震について The Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007

気象庁 地震予知情報課 気象庁 地震津波監視課 気象庁 気象研究所 Earthquake Prediction Information Division, JMA Earthquake and Tsunami Observations Division, JMA Meteorological Research Institute, JMA

1. 本震

2007 年 7 月 16 日 10 時 13 分に新潟県上中越沖の深さ 17 kmで, M6.8 (最大震度 6 強)の地震が 発生した(第 1 図).発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であった.気象庁は,こ の地震を「平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震」と命名した(以下,中越沖地震).この地震 により,死者 14 人,全壊 1259 棟などの被害があった(総務省消防庁調べ,11 月 27 日現在).

中越沖地震の本震により,柏崎(国土地理院管轄の検潮所)で高さ32 cmを観測するなど,秋田 県〜石川県の沿岸で津波を観測した.第2 図の上に検潮所で観測した津波の波形を,第2 図の下表 に津波の観測値を示す.なお,地震調査委員会によれば,柏崎(新潟県管轄の検潮所)では高さ約 1 mの津波観測の報告がある.

2. 余震活動の状況

第3図は、中越沖地震の余震の発生状況(M4.0以上)を他の地震と比較したものである.本震 発生後2週間までの余震の発生状況(右上の地震活動経過図)を見ると、周辺で発生した同様なマ グニチュードの平成19年(2007年)能登半島地震(M6.9)(以下,能登半島地震)や平成16年(2004年) 新潟県中越地震(M6.8)(以下,中越地震)と比べて、中越沖地震(M6.8)は余震活動が活発では ないことがわかる.また、他地域で発生した大きな地震と比べても、中越沖地震の余震活動は低調 である(左下図).第4図は、中越沖地震・能登半島地震・中越地震の余震活動のパラメータを比 較したものである.中越沖地震は相対的にb値が大きく、K値が小さく、p値が大きい.b値およ びM度数分布図(右上)より、規模の大きい余震が他地震より少ない傾向であったことがわかる. また、K値が小さいことおよびp値が大きいことから、余震活動があまり活発ではなく減衰が早かっ たことがわかる.

3. 余震分布

第5図に,震源を再計算した結果を示す.上図は一元化震源の分布である.中図は,震源計算 に使用する観測点を限定して Double-Difference 法¹⁾を適用した結果(以下 DD 法),下図は同様に 観測点を限定して三次元速度構造²⁾を適用した結果(以下,三次元)である.それぞれの震央分布 図,断面図には大きな違いはないが,DD 法と三次元による結果は一元化震源の分布を凝縮したよ うな形状を呈しており,また,三次元の結果は深さが全体的に約10km程度浅く決まっている.A, B, C の 3 つの領域に分割して DD 法および三次元の結果を見ると,領域 A には全体的に南東傾斜 が認められるが,本震を含む西側の塊には局所的に北西傾斜の分布があるようにも見える.領域 B では、断面図に大きな余震の塊が1つ見られ、三次元の結果からはやや南東傾斜に見える.領域C には楕円形のドーナツ状の震央分布が認められ、断面図では、北西方向と南東方向の両方に傾き下 がる2つの面がハの字のように分布しているように見える.第6図は、第5図の下図の震源計算に 使用した三次元速度構造である.第6図内の色は、基準となる速度構造からの偏差を表し、青色は 高速度、赤色は低速度領域をそれぞれ示す.第7図は、観測点を限定した上でDD法による震源の 再計算を行った結果(第5図の中図)について、更に細かく断面図を取り詳細に余震分布を見たも のである.本震や最大余震を含む領域では北西傾斜の分布があるようにも見えるが、おおむね南東 傾斜の分布が優勢であり、特に余震域の南部では南東傾斜が明瞭である.

4. 中越地震,能登半島地震との比較

第8図は、中越沖地震の余震の発震機構を中越地震や能登半島地震のものと比較したものである. 中図に示した中越地震は比較的シンプルで、逆断層型の余震が多かった.また、下図に示した能登 半島地震は、本震自体横ずれ成分を含む逆断層型であり、余震も逆断層型~横ずれ断層型が多かっ た.一方、上図に示した中越沖地震は、本震及び余震の多くは逆断層型であったが、余震の中には 横ずれ成分を含むものが存在するほか、正断層型に近いものも存在することがわかる.このように、 中越沖地震の余震の発震機構は中越地震や能登半島地震に比べて多様性があると言える.

5. 震源過程

第9図は、遠地実体波記録を使用して解析を行い、断層面上のすべり量分布を推定したものであ る. 解析は, 震央距離が 30 ~ 100 度の観測点の広帯域地震計記録を IRIS-DMC より取得して行っ た. 破壊開始点は, 観測点を限定し三次元速度構造を用いて計算した結果に, DD 法を適用した震 源再計算結果の本震の位置(北緯 37.551°, 東経 138.605°, 深さ 10 km)とした. 第9図(a)と(c)の 断層面は反復はぎとり法により求めたメカニズム解(走向,傾斜,すべり角)=(33,38,71)(236, 54,104)の南東傾斜とし,第9図(b)は北西傾斜とした.断層の幅と長さは,第9図(a)および(b) は 45 kmと 25 km, 第9図(c)は小さくした 35 kmと 20 kmとした. 第9図(a)と(c)ではグリッド上端 の深さが異なり、(a)は 3.8 km, (b)は 6.9 kmである. 第9図(b)のグリッド上端の深さは、1.9 kmで ある. 解析には WEB 上で公開されている菊地・金森のプログラム³⁾を用いた. 解析の結果得られ たすべり量分布、モーメント速度関数、観測波形と理論波形の比較、および解析に使用した観測点 を第9図(a)~(c)に示す. (a)および(c)のように南東傾斜の断層面を仮定した場合,最大のすべり は破壊開始点より南西側浅部(沖合)で起きる.最大すべり量は、断層の幅と長さを45kmと25km にした場合(a)は1.1m,やや小さい断層の35kmと20kmにした場合(c)は1.4mとなる(剛性率を 30GPaとした場合). 一方,(b)のように北西傾斜の断層面を仮定した場合,最大のすべりは破壊開 始点より南東側浅部(陸側)で起きる.最大すべり量は、断層の幅と長さを45kmと25kmにした場 合 1.0 mであった.以上のように断層面の傾斜方向を変更して解析を試みたが、観測波形と理論波 形の合致に大きな違いはなかった.

第10回は、近地強震計の記録を用いて解析を行い、断層面上のすべり量分布を推定したものである.解析には(独)防災科学技術研究所のK-NET及びKiK-netの記録、気象庁の震度計の記録、および東京電力(株)から提供された記録を用いた.波形計算には武尾⁴⁾の手法を用い、インバージョンは multiple time window で時空間のすべり量分布の滑らかさを ABIC が最小となるように決定した⁵⁾.破壊開始点として、三次元速度構造を用いて計算した結果に、DD 法を適用した震源再計算

結果の本震の位置(北緯 37.555°, 東経 138.615°, 深さ 11.3 km)を使用した.発震機構は(独)防 災科学技術研究所が F-net で決めた CMT 解を用いて,北西傾斜と南東傾斜の両方の断層面を設定 した.第10図(a)に,設定した断層面と,計算に使用した速度構造を示した.第10図(b)は南東傾斜, 第10図(c)は北西傾斜の断層面を仮定した場合である.ともに,解析の結果得られたすべり量分布, 震源時間関数,観測波形と理論波形の比較,および解析に使用した観測点を示してある.どちらの 傾斜を仮定した場合でも,破壊開始点から南西に離れたところに大きな滑りが推定される.この大 きな滑りは,震央分布図で見られた楕円状ドーナツの中に分布しており,余震が比較的少ない領域 に当たる.両断層面での滑り分布で異なる点は,南東傾斜の断層面を仮定した場合,破壊開始点の すぐ南にも大きな滑りが推定されることである.

6. 周辺の地震活動

第11 図は,2004 年に発生した中越地震が中越沖地震に与えた影響を ΔCFF で調べたものである. 今回の中越沖地震の断層面として北西傾斜・南東傾斜の両傾斜の面を仮定したが,どちらの面であっ ても中越地震は今回の中越沖地震を促進するセンスではなかったことがわかった.

第12回は、新潟県中越地方周辺について1960年以降の地震活動(M4.0以上)の推移を見たものである.2004年の中越地震発生前後から、米山-小木隆起帯付近(H)では地震の発生数が増加している.最近の地震急増は、中越沖地震および余震の入り込みによる.上越地方(E)では、最近10年間程度地震活動が低調になっており、M5クラス以上の地震が1988年以降発生していないのが注目される.第13回はM下限を下げてM1.5以上で中越沖周辺の地震活動推移を見たものである. 中越沖地震発生後、顕著に地震活動が活発化している領域はなかった.余震域の北の佐渡を含む広い領域a,余震域の北東の領域c,余震域の北西の領域eでは、中越地震以降,活動レートが若干上がっているように見える.余震域そのものの領域fでは、中越地震や能登半島地震の発生前後に地震活動の変化は見られなかった.

第14回は、日本海東縁部の地震活動を1964年から示したものである.今回の中越沖地震は広域 的には、日本海東縁部に存在すると考えられている歪集中帯で発生したと考えられる.

第15回は,新潟県付近で発生した過去の主な地震(1600年以降)を示したものである.今回の 地震の近傍では中越地震(M6.8)や1828年の三条地震(M6.9)が発生している.

第16回は、1923年8月以降の北陸地方のM6.0以上の地震活動の推移を示したものである. 1964年の新潟地震の前には比較的多くの地震が発生するが、新潟地震後はしばらく静穏な状態が 続いていた.その後、1993年の能登半島沖の地震後は再び多くの地震が発生し、今回の中越沖地 震が発生している.このように、時間的に近接してM6.0以上の地震が発生することがある地域で ある可能性がある.また、それらの地震は、1930年~1960年代始めまでは福井県付近に発生が集 中し、1990年代以降は能登半島周辺で2回、中越地方周辺で2回発生というように、時間的にも 空間的にも近接したところで複数の地震が発生する傾向があるように見える.

参考文献

1) Waldhauser, F. and W. L. Ellsworth: A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the Northern Hayward Fault, California, Bull. Seism. Soc. Am., 90, 1353-1368 (2000).

- 2)勝間田明男:震源計算のための三次元速度構造,日本地震学会2006年秋季大会予稿集,C034 (2006).
- 3) M.Kikuchi and H.Kanamori, Note on Teleseismic Body Wave Inversion Program, http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/ETAL/KIKUCHI/
- 4) 武尾実:非弾性減衰を考慮した震源近傍での地震波合成-堆積層での非弾性減衰の効果について-,気象研究所研究報告,第36巻,245-257,1985.
- 5) Ide, S., M. Takeo and Y. Yoshida, Source Process of the 1995 Kobe earthquake: Determination of Spatio-Temporal Slip Distribution by Bayesian Modeling, Bull. Seism. Soc. Am., 86, 547-566, 1996.



2007 年 7 月 16 日 10 時 13 分に、上中越沖の深さ 17km で M6.8(最大震度 6 強)の地震が発生した。 発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であった。これまでの最大の余震は、16 日 15 時 37 分に発生した M5.8(最大震度 6 弱)の地震である。(] ()





-376-

新潟県中越沖地震で観測した津波

今回の本震(M6.8)により、柏崎(国土地理院管轄の検潮所)で津波の最大の高さ 32cm など、新潟県 を中心に秋田県から石川県の沿岸で津波を観測した。検潮所で観測した津波の波形を下図に示し、観測 値を下表に示す。なお、地震調査委員会によれば、柏崎(新潟県管轄の検潮所)で高さ約1mの津波を 観測した。



図: 検潮所の位置(左図)と検潮所で観測した津波の波形(右図)

右図において、点線は本震の発生時刻、 ◆ は第一波の到達時刻、 ▼印は最大の高さの発現時刻 を示す。(第一波の高さ、最大の高さがともに5 cm 以上の津波を観測した検潮所のみ表示) *は国土交通省東北地方整備局、*2 は国土交通省北陸地方整備局、*3 は国土交通省国土地理院の 検潮所であることを示す。

	第一波			最大の高さ	
観測点名	到達時刻	押し引き	高さ(cm)	発現時刻	高さ(cm)
秋田*	14時43分	引き	10	17時05分	12
酒田*	11時47分	引き	13	15時58分	24
新潟*2	10時53分	押し	6	11時35分	14
小木*3	10時27分	押し	27	10時33分	27
柏崎*3	10時16分	押し	32	10時22分	32
鼠ヶ関*3	11時54分	押し	3	14時22分	9
佐渡市鷲崎	10時39分	押し	4	12時33分	7
輪島*3	—	_		17時36分	6
珠洲市長橋	—	_	_	12時41分	5
富山	10時44分	押し	4	12時03分	5

表: 今回の地震に伴って観測した津波の観測値

今回の地震によって、津波を観測した検潮所における観測値を示している。 表中の-は、値が決定できないことを示す

* :国土交通省東北地方整備局、*2 :国土交通省北陸地方整備局

*3 : 国土交通省国土地理院

また、表中の値は暫定値であり、後日変更される場合がある。

第2図 新潟県中越沖地震で観測した津波

Fig. 2 Tsunamis generated by the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007.

余震発生状況の比較

余震の発生状況について、新潟県中越地震(2004 年)、能登半島地震(2007 年)との 比較を行った。本震発生後2週間の、M≥4.0の地震活動経過図を示した。



新潟県中越沖地震、能登半島地震、新潟県中越地震の 余震活動パラメータの比較



震央分布図(2004年10月23日~11月6日、 2007年3月25日~4月8日、 2007年7月16日~7月30日、 M すべて)

パラメータの大小関係

	中越沖	能登半島	中越
b値	大	中	小
K値	小	中	大
p値	大	中	中

新潟県中越沖地震の余震活動



第4図 余震活動パラメータの比較

Fig. 4 Comparison of parameters of aftershock activities.

震源決定の再計算

一元化震源(上段)の読み取り値を基に、震源の再計算を行った。中段は、一元化で用いている一 次元構造を用い、観測点を固定した上で DD 法を行った。下段は、観測点を固定し、三次元速度構造 (勝間田, 2006)を用いて計算を行った。









中越沖地震震源域周辺の速度構造



第6図 震源再計算に使用した中越沖地震震源域周辺の速度構造 Fig. 6 3-D velocity structure used for relocation of hypocenters. 余震の分布状況1 (全域)



観測点補正を施した一元化震源を基に、DD法を適用して震源の再計算 を行った。気象庁の汎用速度構造(JMA2001)を用いているため、震源の 深さは依然、深い(16km)ままであるが、余震分布のばらつきは小さくな っている。

このデータセットを用い、左図の領域①~⑤の断面図を下に示した。 概ね、南東(右下)傾斜の分布に見えるが、領域①などに北西傾斜の分 布があるようにも見える。また領域⑤においても、北西側の深いものを除 くと、明瞭な南東傾斜の分布が見られる(詳細、次葉参照)。



第7図(a) 余震の分布状況(全域) Fig. 7(a) Distribution of aftershocks in whole area which are relocated by Double-Difference method.



余震の分布状況2(南西領域)

余震域の南西領域では、余震分布が北西側と南東側の二条に分かれている。この領 域をさらに細かく区切って、その断面図を見た。

領域DやEでは明瞭な南東傾斜の面が見えている。一方、A~Cでは全体的な分布 は水平もしくは北西に傾き下がる分布の様に見える。

2つのクラスターのうち、陸側のものの深さは概ね 15km 程度であるのに対し、沖側 のものの深さはEからAに向かうに従って、系統的に深くなっているように見える。 沖のクラスターは陸(観測網)からやや離れていることから、震源決定精度(速度 構造)に原因がある可能性もある。



第7図(b) 余震の分布状況(南西領域)

Fig. 7 (b) Distribution of aftershocks in southwestern area which are relocated by Double-Difference method.

中越沖地震の発震機構解の多様性

2007 年新潟県中越沖地震の本震、最大余震の発震機構解は典型的な逆断層であった。余震の多 くは逆断層型の地震であるものの、横ずれ断層型に近い地震や正断層型に近い地震なども発生し ており、多様な発震機構解となっている。発震機構解の多様性について、三角ダイアグラム*を用 いて 2004 年新潟県中越地震、2007 年能登半島地震と比較した。本震を三角ダイアグラム上では ☆印で、地図上では△印で囲むことでそれぞれ示す。

2007年新潟県中越沖地震(2007年7月16日~7月30日、23イベント)



2004年新潟県中越地震(2004年10月23日~2004年10月31日、91イベント)





2007年能登半島地震(2007年3月25日~4月6日、22イベント)



※三角ダイアグラム: Flohlich,C(1992) Triangle diagrams による

第8図 中越沖地震の発震機構解の多様性 Fig. 8 Diverseness of mechanisms of aftershocks.

平成19年(2007年)新潟県中越沖地震の震源過程

2007年7月16日10時13分に新潟県上中越沖で発生した地震(Mj=6.8)について, IRIS-DMCより広帯域地震波形記録を取得し、遠地実体波の解析(*1)を行った。



第9図(a) 中越沖地震の震源過程(遠地実体波・南東傾斜断層面その1)

Fig.9 (a) Slip distribution of The Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 estimated by teleseismic body-wave inversion. (southeastern-dipping fault plane case 1)



①メカニズム解



(*1) 解析に使用したプログラム M.Kikuchi and H.Kanamori, Note on Teleseismic Body Wave Inversion Program, http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/ETAL/KIKUCHI/

- 第9図(b) 中越沖地震の震源過程(遠地実体波・北西傾斜断層面)
- Fig.9 (b) Slip distribution of The Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 estimated by teleseismic bodywave inversion. (northwestern-dipping fault plane)



第9図(c) 中越沖地震の震源過程(遠地実体波・南東傾斜断層面その2)

Fig.9 (c) Slip distribution of The Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 estimated by teleseismic body-wave inversion. (southeastern-dipping fault plane case 2)

新潟県中越沖地震の震源過程

2007 年 7 月 16 日に起きた新潟県中越沖地震(Mj=6.8)を近地強震計の記録を用いて解析を 行った。以下に解析において設定した断層面(北西傾斜と南東傾斜)を示す。メカニズムは防 災科研が F-net で決めた解(走向 49 度、傾斜 42 度、すべり角 101 度)を用いた。



2007 年7月16日中越沖地震の余震分布(三次元+DD)と設定断層面

謝辞:解析には防災科学技術研究所の K-NET 及び Kik-net の記録、気象庁の震度計の記録、 東京電力(株)から提供された記録を用いた。記して感謝致します。

第10図(a) 中越沖地震の震源過程解析(近地波形)

Fig.10(a) Inversion analysis of slip distribution of The Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 by means of near-field waveforms.

南東傾斜の面を断層面とした場合



第10図(b) 中越沖地震の震源過程(近地波形・南東傾斜断層面)

Fig.10(b) Slip distribution of The Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 estimated by near-field waveforms. (southeastern-dipping fault plane) 北西傾斜の面を断層面とした場合

第10図(c) 中越沖地震の震源過程(近地波形・北西傾斜断層面)

Fig.10(c) Slip distribution of The Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 estimated by near-field waveforms. (northwestern-dipping fault plane)

2007 年 7 月 16 日 新潟県中越沖地震への影響

平成16年(2004年)新潟県中越地震が、今回の地震に与えた影響(ΔCFF)を調べてみた。 → 北西傾斜、南東傾斜ともに、促進するセンスではなかった。

国土地理院の北西傾斜断面2枚のうち、北東側の1面を南西側に伸ばしたような断層面を仮定し、上端:1.6km、走向:220°、傾斜:45°の傾斜面に投影

国土地理院の南東傾斜断面2枚のをおおよそ包括するような1枚の断層を仮定し、上端: 2.4km、走向:46°、傾斜:45°の傾斜面に投影

- 第11図 中越地震が中越沖地震へ与えた影響
 - Fig.11 Delta CFF (Coulomb Failure Function) due to the Chuetsu earthquake in 2004 for the Chuetsu-oki earthquake in 2007.

1960年以降の M4.0以上の地震活動の推移を地域別にみてみた。Eの上越地方は最近 10年間程度の活動が低調になっており、M5 クラス以上の地震も 1988年以降発生していない。

第12図 新潟県中越地方周辺の M4.0 以上の地震活動の推移 Fig.12 Seismic activities around Chuetsu area. (M ≧ 4.0)

新潟県中越沖周辺の地震活動の状況

日本海東縁部の地震活動

A 震央分布図(1964年以降、M≥4.0)

日本海東縁部の地震活動の長期評価(地震調査委員会)より抜粋

日本海東縁部では「新潟地震」、「昭和58年(1983年)日本海中部地震」、「平成5年(1993年)北 海道南西沖地震」などが発生しており、その配列は帯状の分布となっている。「新潟地震」以南も「平 成16年(2004年)新潟県中越地震」、「松代群発地震」と帯状の分布が見られる。「平成19年(2007 年)新潟県中越沖地震」は、「新潟地震」、「新潟県中越地震」、「松代群発地震」と伸びる活動からはや や外れているが、広域的には、歪集中帯に沿う領域で発生したと考えられる。

> 第14図 日本海東縁部の地震活動 Fig.14 Seismic activity in the eastern margin of the Japan Sea.

新潟県付近で発生した過去の主な地震

新潟県付近では、1600年以降、M7前後の地震が10個程度知られている。最大規模の地震は1964年6月16日に発生した新潟地震(M7.5)である。今回の地震の近傍では2004年10月23日の新潟県 中越地震(M6.8)や1828年12月18日のM6.9の地震(三条地震)が発生している。

矩形内の地震および能登半島地震の発生年月日と M の値を吹き出しで示した。1600~1800 年代の地震の震央と M はおおよその推定である。新潟県中越地震の M6.5 の余震は除外した。

年月日	М	主 な 被 害
1666. 2. 1	$6\frac{3}{4}$	高田城破損。死者約1500、住家倒壞多数
1670. 6.22	$6\frac{3}{4}$	上川4万石で、死者13、家屋全壊503
1751. 5.21	7 ~ 7.4	高田城破損、全体で死者2000、高田領の死者1128、家屋全壊および焼失6088
1762.10.31	7	石垣、家屋が損壊、死者があり。鵜島村で津波により家屋流失26
1802.12. 9	6.5 ~ 7	佐渡3郡全体で死者19、全壊家屋1150、同焼失328
1828.12.18	6.9	三条・見附・今町・与板などで被害。死者1400、家屋倒壊9800、同焼失1200
1847. 5.13	$6\frac{1}{2}$	(善光寺地震の被害と区別できないところが多い)
1964. 6.16	7.5	新潟市内で地盤の流動、不同沈下による被害が著しかった。死者13、負傷者315、 住家全壊1448、同全焼290
2004.10.23	6.8	死者67、住家全壊3175 (総務省消防庁による)

「日本の地震活動」, 1997, 地震調査委員会 に加筆

なお、1961年2月2日に発生した長岡付近の地震(M5.2、死者5、家屋全壊220)や1995年4月1日の新潟県下越地方の地震(M5.6、負傷者82、家屋全壊55)など、M5クラスの地震によって被害を伴うこともある。

第15図 新潟県付近で発生した過去の主な地震

Fig.15 Major earthquakes that occurred around Niigata Prefecture since 1600.

北陸地方の M6.0 以上の地震活動

北陸地方の M6.0 以上の地震活動の推移をみてみた。北陸地方では、1964 年の新潟地震(図中9番)の前は比較的多くの活動が見られる。新潟地震後はしばらく静穏な状態が続いていたが、1993 年の能登半島沖の地震(11番)以降は再び活動が続いている。

最近の活動は能登半島付近(11,14番)と新潟県中越地方付近(13,15番)で2個ずつ発生 しており、比較的近いところで複数の地震が発生する傾向が考えられる。新潟地震の前の活動 でも福井県付近に活動は集中(1,5,6,7,8,10番)している。

> 第16図 北陸地方の M6.0 以上の地震活動 Fig.16 Seismic activity in Hokuriku district since 1923. (M ≧ 6.0)