

3-2 福島県浜通りから茨城県北部にかけての地震活動

The earthquakes in Hamadori region of Fukushima Prefecture to northern part of Ibaraki Prefecture

気象庁 地震予知情報課
Earthquake Prediction Information Division, JMA
気象庁気象研究所
Meteorological Research Institute, JMA

1. 地震活動の概要

福島県浜通りから茨城県北部にかけての地域では、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の発生後、地殻内で地震活動が活発化している。このうち、4月11日17時16分に発生したM7.0の地震(最大震度6弱)では死者4人、負傷者10人の被害が、4月12日14時07分に発生したM6.4の地震(最大震度6弱)では負傷者1人の被害が発生した(2011年7月7日現在、総務省消防庁による)。

地震活動は初め茨城県北部で活発で、3月19日18時56分のM6.1の地震(最大震度5強)などが発生した。その後、福島県浜通りで3月23日07時12分にM6.0の地震(最大震度5強)、07時13分にM5.8の地震、07時34分にM5.5の地震(最大震度5強)、07時36分にM5.8の地震(最大震度5弱)の4つの地震が発生するなどした。これらの地震活動の間の領域では、初めはあまり地震活動が活発でなかったが、4月11日17時16分にM7.0の地震(最大震度6弱)が発生し、それ以降は地震活動が活発な状態が続いている(第1図)。

2. 茨城県北部の地震活動

2011年3月19日18時56分に茨城県北部の深さ5kmでM6.1の地震(最大震度5強)が発生した。この地震の発震機構(CMT解)は北東-南西方向に張力軸を持つ正断層型であった。

2011年3月11日から4月3日に茨城県北部で発生した地震について、DD法で震源を再決定した結果を第2図(a)に示す。3月19日のM6.1の地震の震源付近では、西南西方向に傾き下がる震源分布が見える。

また、3月19日のM6.1の地震について、近地強震波形を用いた震源過程解析を行った。解析には(独)防災科学技術研究所が展開する強震観測網(K-net)、基盤強震観測網(KiK-net)の観測点の強震波形を用いた。その結果、主なすべりは破壊開始点付近の浅い部分と南東側にあり、主な破壊継続時間は約5秒であった。主な断層の大きさは長さ約10km、幅約8kmであり、最大のすべり量は約0.9mであった。モーメントマグニチュードは6.0であった(第2図(b))。

3. 福島県浜通りの地震活動

2011年3月23日07時12分に福島県浜通りの深さ8kmでM6.0の地震(最大震度5強)、07時13分に深さ1kmでM5.8の地震、07時34分に深さ7kmでM5.5の地震(最大震度5強)、07時36分に深さ7kmでM5.8の地震(最大震度5弱)が発生した。これらの地震の発震機構は、M5.5の地震が西北西-東南東方向に張力軸を持つ正断層型、M6.0と07時36分のM5.8の地震の発震機構(CMT解)は東西方向に張力軸を持つ正断層型であった。

2011年3月12日から4月3日に福島県浜通りで発生した地震について、DD法で震源を再決定した結果を第3図(a)に示す。3月23日のM6.0の地震の震源付近では、北西方向に傾き下がる震源分布が見える。

また、3月23日のM6.0の地震及び07時36分のM5.8の地震について、近地強震波形を用いた震源過程解析を行った。解析には(独)防災科学技術研究所が展開する強震観測網(K-net)、基盤強震観測網(KiK-net)の観測点の強震波形を用いた。その結果、M6.0の地震については、破壊は震源の南側に進んでおり、断層の食い違いは最大で0.7m程度であった。M5.8の地震については、M6.0の地震で大きな破壊のなかった場所を埋めるように破壊しており、断層の食い違いは0.6m程度であった(第3図(b))。

3. 4月11日からの福島県浜通りの地震活動

2011年4月11日17時16分に福島県浜通りの深さ6kmでM7.0の地震(最大震度6弱)が発生した。この地震の発震機構(CMT解)は東北東-西南西方向に張力軸を持つ正断層型であった。

2011年4月11日から4月13日に福島県浜通りで発生した地震について、DD法で震源を再決定した結果を第4図(a)に示す。4月12日14時07分に福島県中通りの深さ15kmで発生したM6.4の地震の震源付近では、西方向に傾き下がる震源分布が見える。このM6.4の地震の発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であった。また、CMT解は北西-南東方向に圧力軸を持つ型であった。

4月11日のM7.0の地震について、近地強震波形を用いた震源過程解析を行った。解析には(独)防災科学技術研究所が展開する強震観測網(K-net)、基盤強震観測網(KiK-net)の観測点の強震波形を用いた。その結果、主なすべりは破壊開始点より北側の浅い部分にあり、主な破壊継続時間は約10秒であった。最大のすべり量は約2.0mであり、モーメントマグニチュードは6.7であった(第4図(b))。

この地震について、米国地震学連合の広帯域地震波形記録を収集し、遠地実体波を利用した震源過程解析¹⁾を行った。その結果、主なすべりは破壊開始点周辺にあった。また、破壊開始点の北方10-15km付近にもやや小さなすべりがあった。主な破壊継続時間は約15秒であった。断層長は約30km、幅は約10kmであり、最大のすべり量は約1.5mであった。モーメントマグニチュードは6.6であった(第4図(c))。

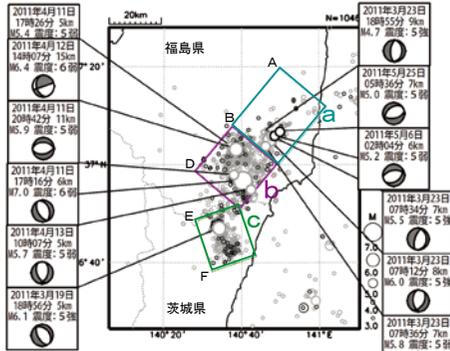
参 考 文 献

- 1) M. Kikuchi and H. Kanamori, Note on Teleseismic Body-Wave Inversion Program, <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/ETAL/KIKUCHI/>

福島県浜通りから茨城県北部の地震活動

3月11日以降活発な地震活動、地殻内の地震、正断層型、最大M7.0、最大震度6弱

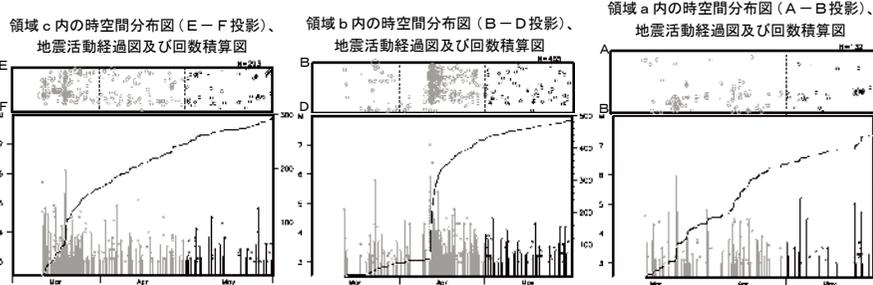
震央分布図
(2011年3月1日～2011年5月31日、深さ0～20km、M \geq 3.0)



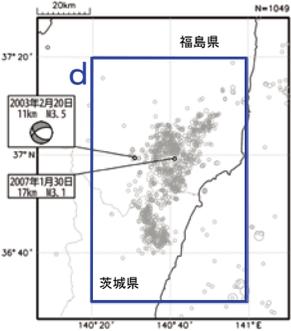
最大震度5弱以上を観測した地震に吹き出しをつけている。
3月23日のM4.7の地震及び3月23日のM5.5の地震以外の
発震機構はCMT解。

福島県浜通りから茨城県北部にかけての地域（領域d）では、「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」の発生後、地殻内で地震活動が活発化しており、5月31日までにM5.0以上の地震が24回、M4.0以上の地震が182回発生した。また、最大震度5弱以上を観測する地震は12回発生した。

このうち最大のものは、4月11日17時16分に福島県浜通りの深さ6kmで発生したM7.0（最大震度6弱）の地震で、発震機構（CMT解）は東北東-西南西方向に張力軸を持つ正断層型であった。この地震により、死者4人、負傷者10人の被害が生じた（2011年7月7日現在、総務省消防庁による）。

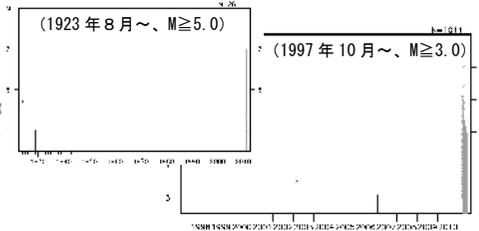


震央分布図(1997年10月1日～2011年5月31日、
深さ0～20km、M \geq 3.0)
2011年3月10日以前の地震を濃く表示



1997年10月以降の活動を見ると、今回の地震の震央周辺（領域d）では、「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」が発生する以前にはM3.0以上の地震はほとんど観測されていない。2023年8月以降の活動を見ても、領域dではM5.0以上の地震はほとんど観測されていない。

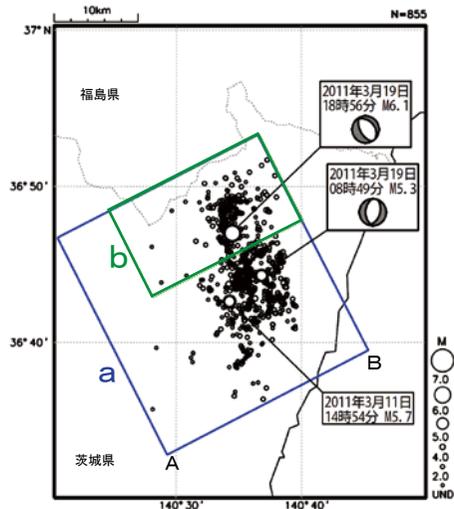
領域d内の地震活動経過図



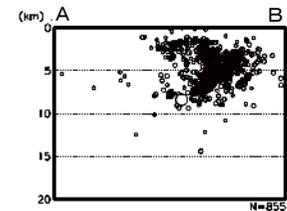
第1図 福島県浜通りから茨城県北部にかけての地震活動
Fig.1 The Earthquakes in Hamadori region of Fukushima Prefecture to northern part of Ibaraki Prefecture.

3月19日 茨城県北部の地震 周辺の地震活動（DD法による解析）

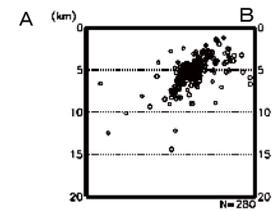
DD法による解析結果
(2011年3月11日～4月3日)



領域a内の断面図（A-B投影）



領域b内の断面図（A-B投影）



第2図(a) 茨城県北部の地震のDD法による震源分布
Fig.2(a) Hypocenter distribution using the double-difference relocation method in northern part of Ibaraki Prefecture.

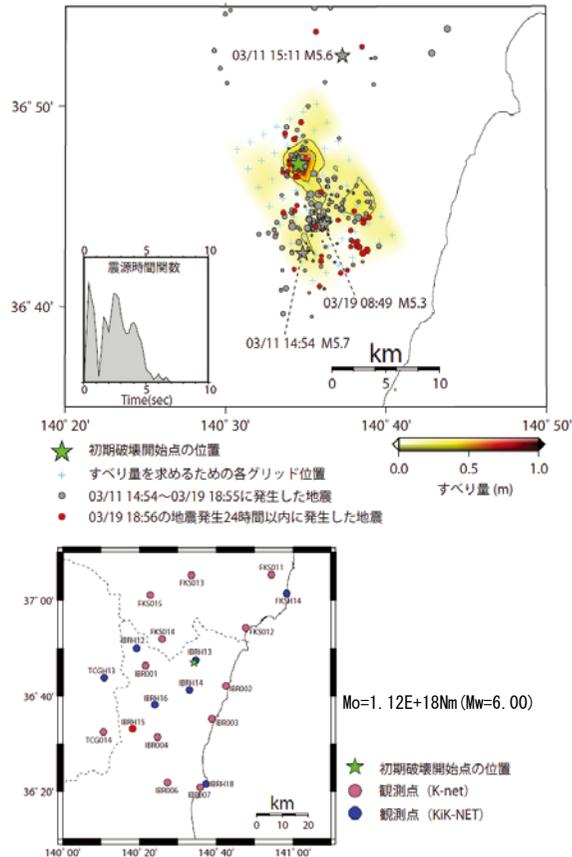
3月19日 茨城県北部の地震 — 近地強震波形による震源過程解析 (暫定) —

2011年3月19日18時56分に茨城県北部で発生した $M_{\text{JMA}}6.1$ の地震について、(独)防災科学技術研究所が展開する強震観測網(以下、K-NET)、基盤強震観測網(以下、KiK-net)の観測点の強震波形を用いて震源過程解析を行った。

破壊開始点はDD法を用いて再決定した本震の震源位置(N36.7853°, E140.5758°, 深さ6km)とした。断層面のパラメータは、DD法を用いて再決定した余震分布を参考に走向150°, 傾斜45°とし、すべり角はCMT解(暫定解)によるすべり角-81°の片側45°の幅に収める拘束条件を与えた。

主な結果は以下のとおり。

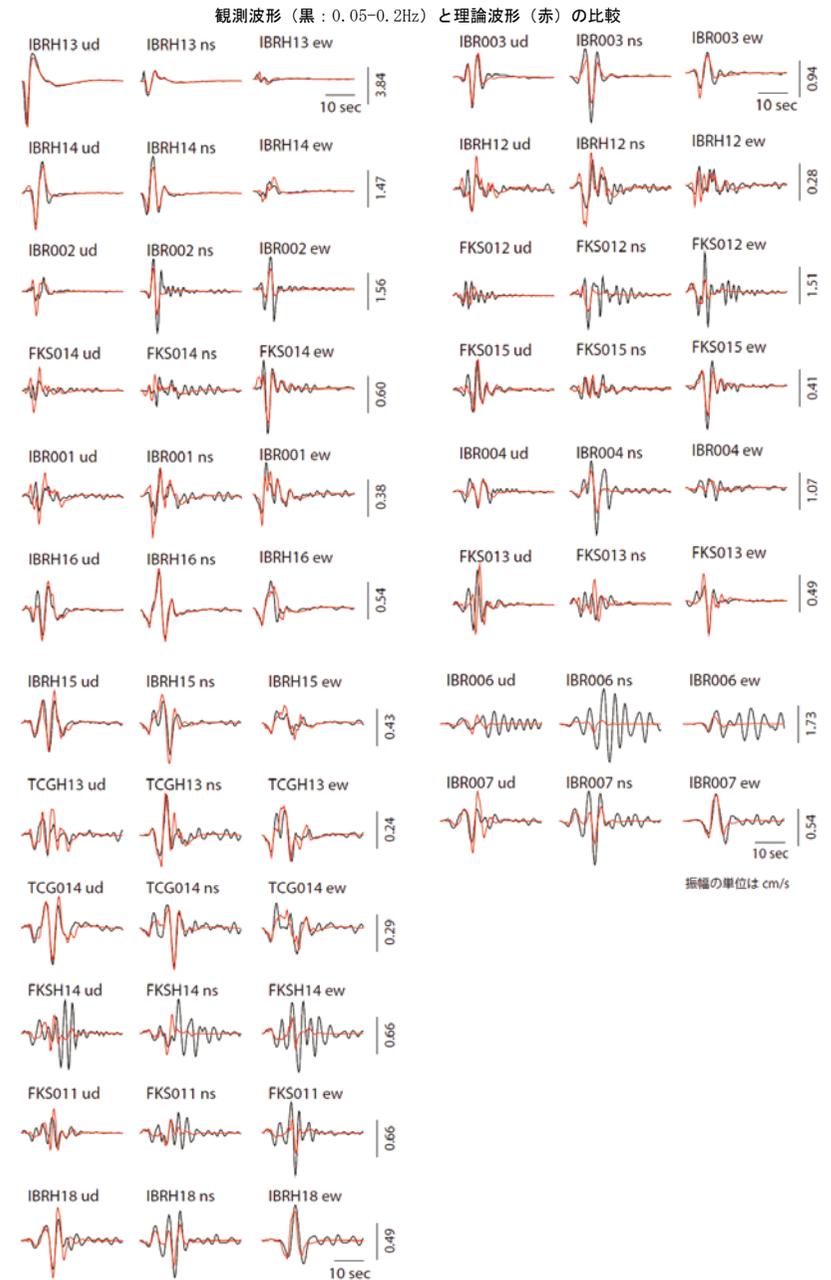
- ・ 主なすべりは初期破壊開始点付近の浅い部分と南東側にあり、主な破壊継続時間は約5秒であった。
- ・ 主な断層の大きさは長さ約10km、幅約8km(最大破壊伝播速度を2.5km/sと仮定した場合)、最大のすべり量は約0.9m。
- ・ モーメントマグニチュードは6.0であった。



解析には(独)防災科学技術研究所のK-NET・KiK-netの波形データを使用した。記して感謝します。
※ この解析結果は暫定であり、今後更新する可能性がある。

第2図(b) 3月19日の茨城県北部の地震の近地強震波形を用いた震源過程解析

Fig.2(b) Source rupture process analysis by near field strong motion seismogram of the earthquake in northern part of Ibaraki Prefecture on March 19, 2011.



3月23日 福島県浜通りの地震 近地強震波形を用いた震源過程解析

3月23日 07時台に福島県浜通りでM5.5以上の地震が4つ発生した。以下に示す：

- ① 07時12分28秒 M6.0 最大震度5強
- ② 07時13分52秒 M5.8 (近接した時間に地震が発生したため、震度は分離できていない)
- ③ 07時34分56秒 M5.5 最大震度5強
- ④ 07時36分31秒 M5.8 最大震度5弱

このうち、1つ目と4つ目について、近地強震波形*を用いた震源過程解析を行った。

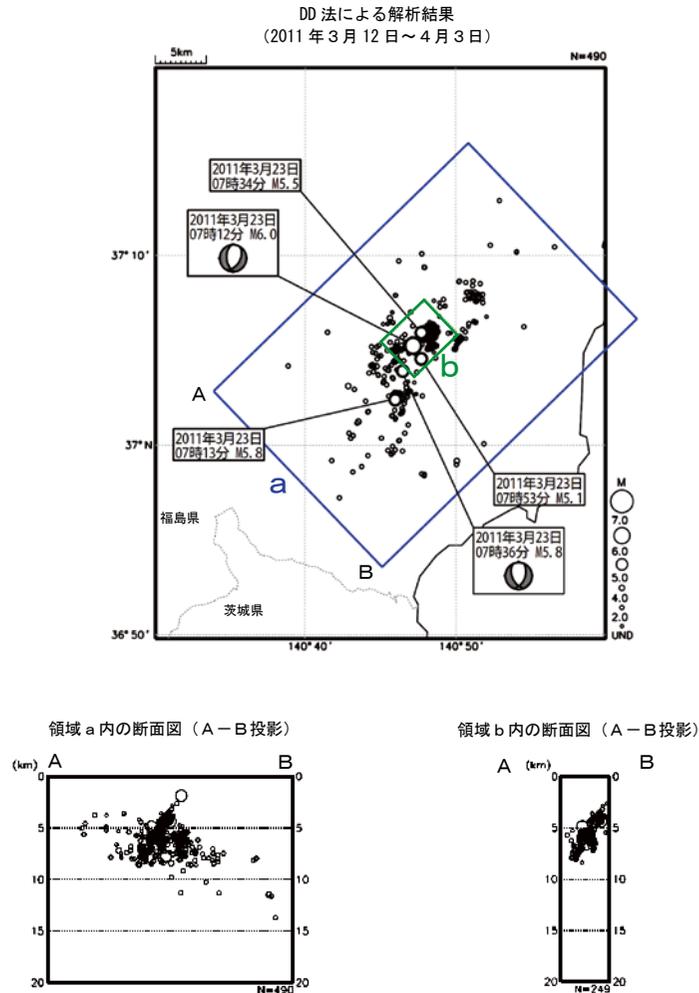
断層面は1つ目についてはGlobal CMT解、4つ目については気象庁CMT解の節面のうち余震の分布等から西落ちの面を採用した。破壊伝播速度は、1つ目は2.0km/秒、4つ目は2.5km/秒とした。震央(破壊開始点)はDouble Differential法により再計算されたものを用いた。

結果は以下のとおり。

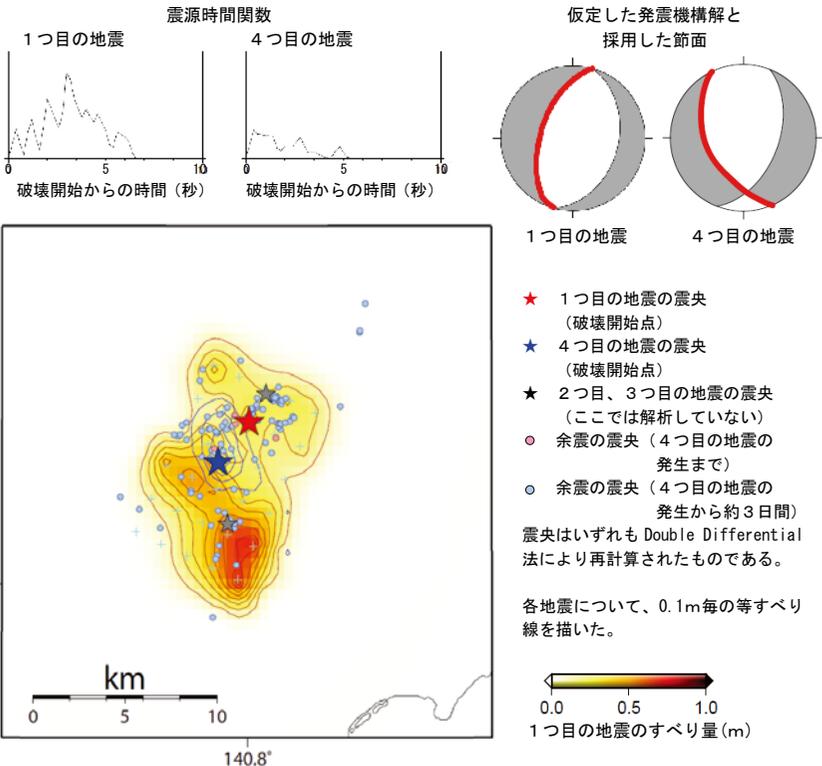
1. 破壊継続時間はいずれも5秒程度であった。
2. 1つ目の地震では、破壊は震源の南側に進んだ。これは余震分布とも調和的である。また、断層の食い違いは最大で0.7メートル程度であった。
3. 4つ目の地震では、1つ目の大きな破壊がなかった場所を埋めるように破壊した。断層の食い違いは0.6メートル程度であった。

※ 解析には、独立行政法人防災科学技術研究所のK-NET、KiK-net(計24観測点)の波形を使用した。

3月23日 福島県浜通りの地震 周辺の地震活動 (DD法による解析)

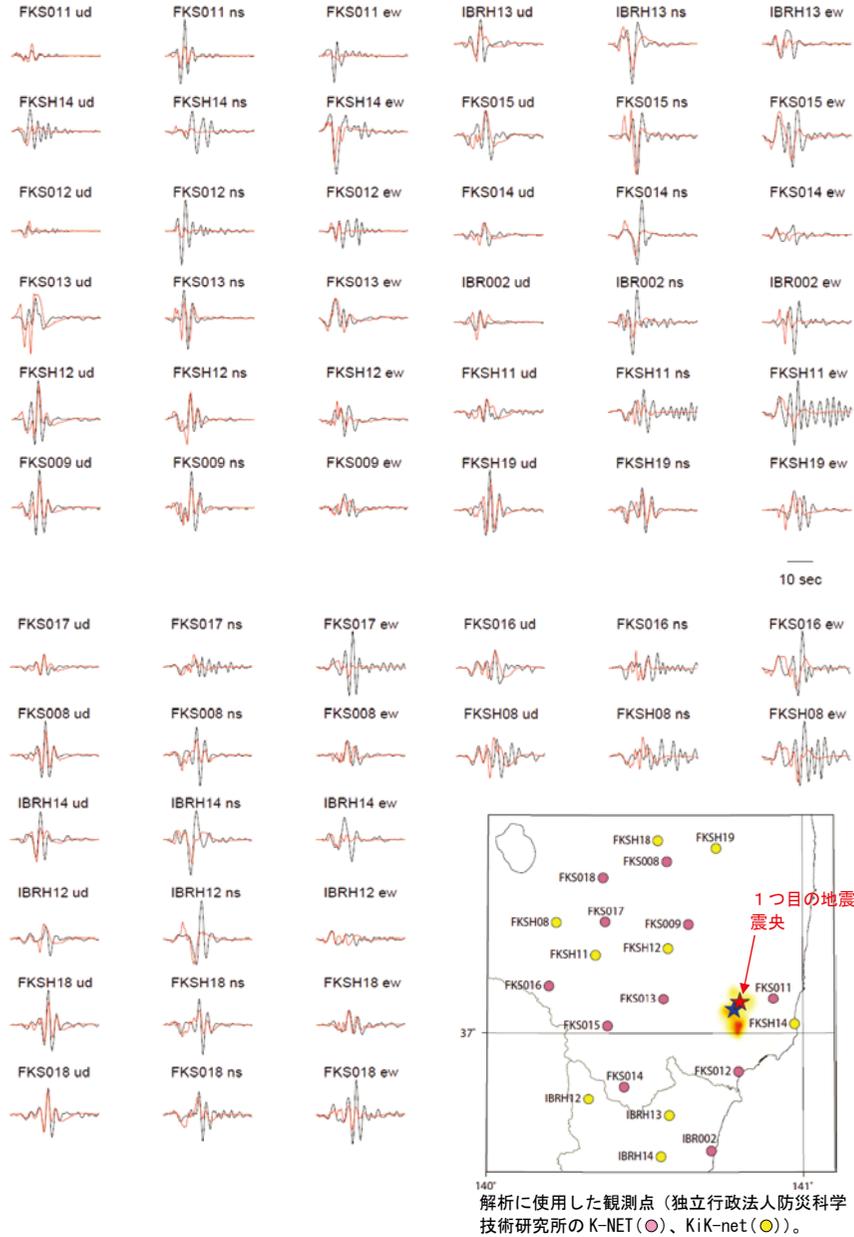


第3図(a) 福島県浜通りの地震のDD法による震源分布
Fig.3(a) Hypocenter distribution using the double-difference relocation method in Hamadori region of Fukushima Prefecture.

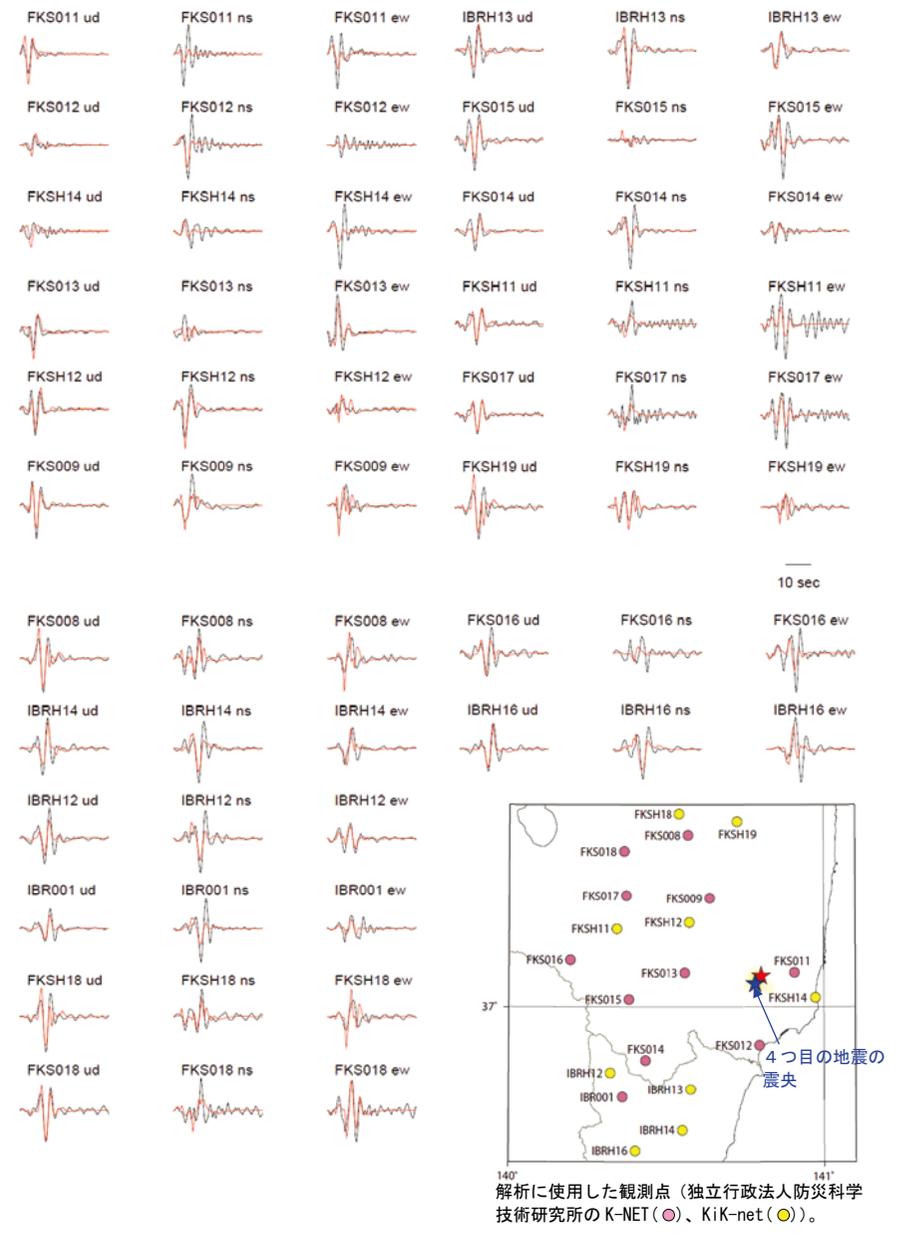


第3図(b) 3月23日の福島県浜通りの地震の近地強震波形を用いた震源過程解析
Fig.3(b) Source rupture process analysis by near field strong motion seismogram of the earthquake in Hamadori region of Fukushima Prefecture on March 23, 2011.

(参考) 1つ目の地震の観測波形 (黒) と理論波形 (赤)



(参考) 4つ目の地震の観測波形 (黒) と理論波形 (赤)



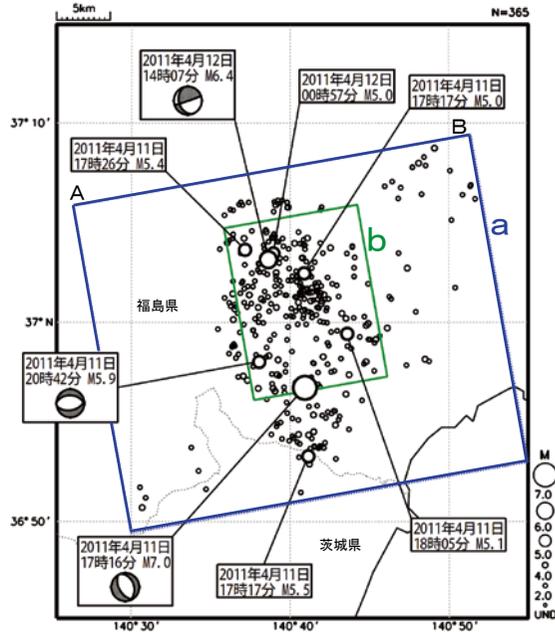
第3図(b) 3月23日の福島県浜通りの地震の近地強震波形を用いた震源過程解析

Fig.3(b) Source rupture process analysis by near field strong motion seismogram of the earthquake in Hamadori region of Fukushima Prefecture on March 23, 2011.

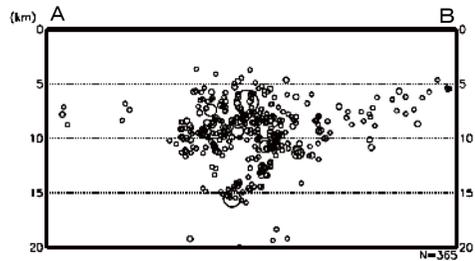
4月11日 福島県浜通りの地震
 — 近地強震波形による震源過程解析（暫定） —

4月11日 福島県浜通りの地震
 周辺の地震活動（DD法による解析）

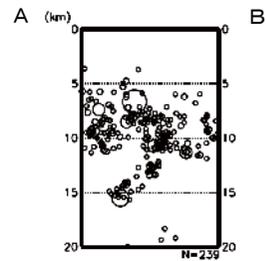
DD法による解析結果
 (2011年4月11日～4月13日)



領域 a 内の断面図 (A-B 投影)



領域 b 内の断面図 (A-B 投影)



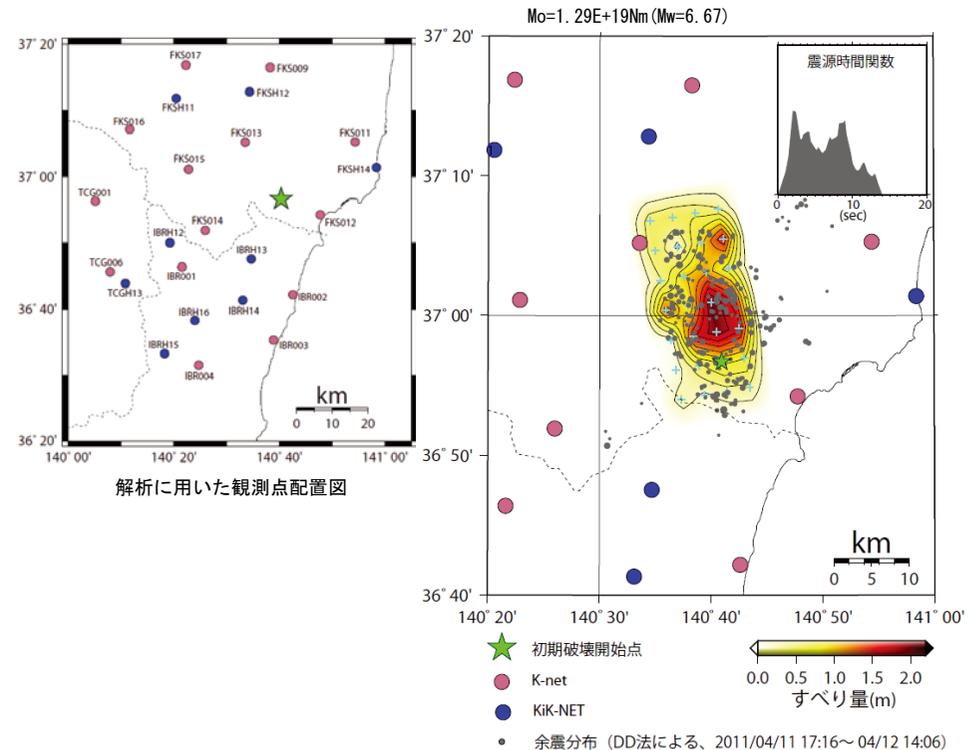
第4図(a) 福島県浜通りの地震のDD法による震源分布
 Fig.4(a) Hypocenter distribution using the double-difference relocation method in Hamadori region of Fukushima Prefecture.

2011年4月11日17時16分に福島県浜通りで発生した $M_{\text{max}}7.0$ の地震について、(独)防災科学技術研究所が展開する強震観測網(以下、K-NET)、基盤強震観測網(以下、KiK-net)の観測点の強震波形を用いて震源過程解析を行った。

破壊開始点はDD法による本震の位置($N36.9453^\circ$, $E140.6823^\circ$, 深さ6.68km)とした。断層面のパラメータは、DD法による震源分布を参考に、走向 170° 、傾斜 40° とし、すべり角はP波初動解の -70° とし、すべり角 -70° の片側 45° の幅に収める拘束条件を与えた。

主な結果は以下のとおり。

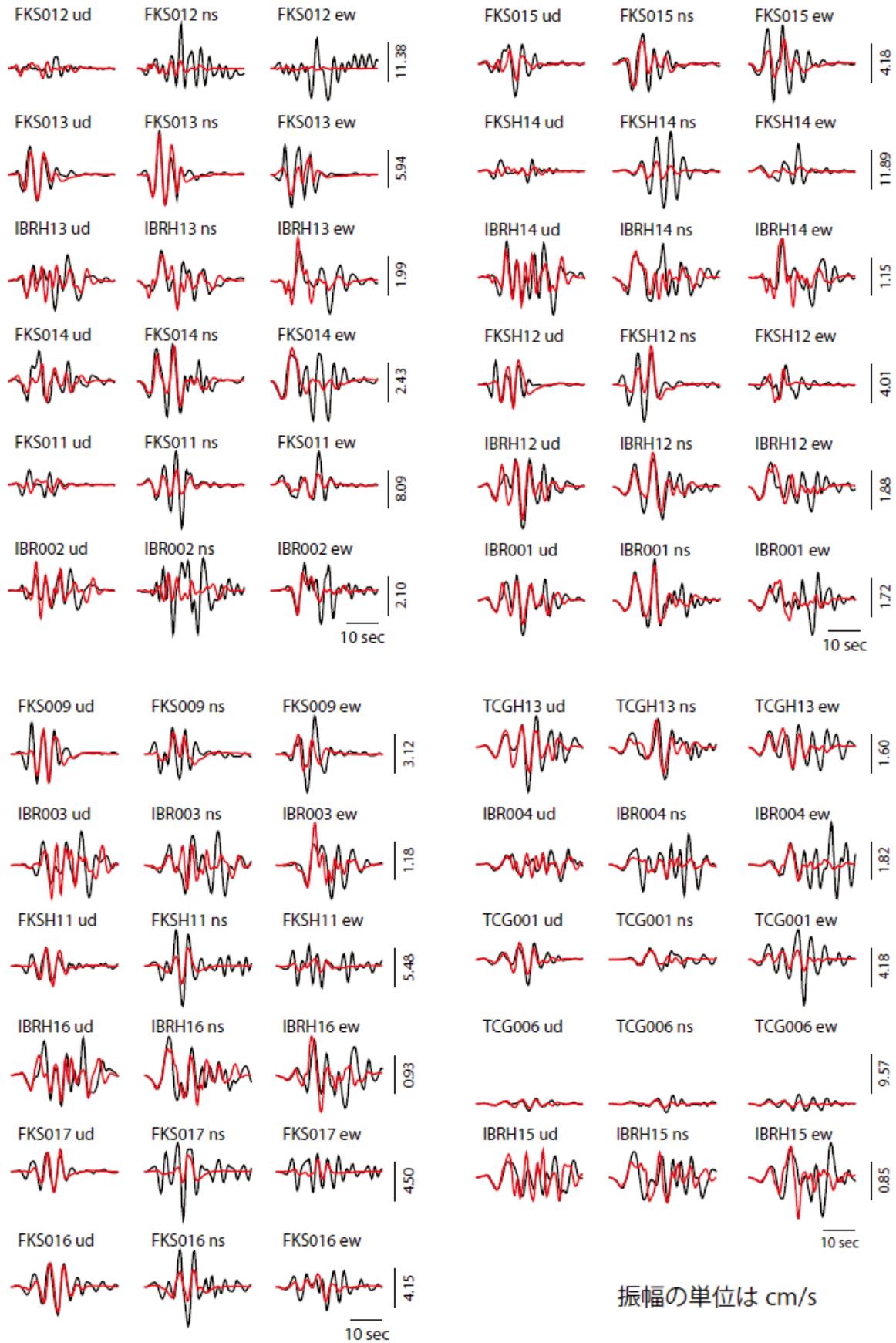
- ・ 主なすべりは初期破壊開始点より北側の浅い部分にあり、主な破壊継続時間は約10秒であった。
- ・ 最大のすべり量は約2.0mであり、モーメントマグニチュードは6.7であった。



解析には(独)防災科学技術研究所のK-NET・KiK-netの波形データを使用した。記して感謝します。
 ※ この解析結果は暫定であり、今後更新する可能性がある。

第4図(b) 4月11日の福島県浜通りの地震の近地強震波形を用いた震源過程解析
 Fig.4(b) Source rupture process analysis by near field strong motion seismogram of the earthquake in Hamadori region of Fukushima Prefecture on April 11, 2011.

観測波形（黒：0.05-0.2Hz）と理論波形（赤）の比較



第4図(b) 4月11日の福島県浜通りの地震の近地強震波形を用いた震源過程解析
 Fig.4(b) Source rupture process analysis by near field strong motion seismogram of the earthquake in Hamadori region of Fukushima Prefecture on April 11, 2011.

4月11日 福島県浜通りの地震 — 遠地実体波による震源過程解析 (暫定) —

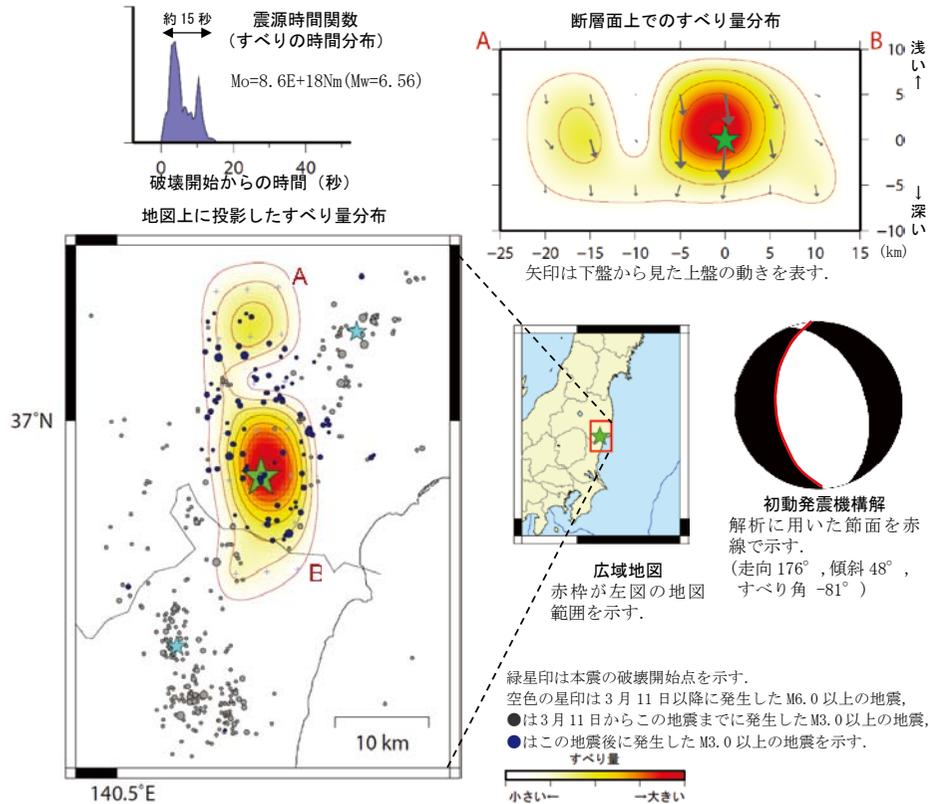
2011年4月11日17時16分に福島県浜通りで発生した地震について、米国地震学連合 (IRIS) のデータ管理センター (DMC) より広帯域地震波形記録を取得し、遠地実体波を利用した震源過程解析 (注1) を行った。

破壊開始点は気象庁による震源の位置 (N36° 56.7', E140° 40.3', 深さ6km) とした。

断層面は、気象庁による初動発震機構解を用いた。2枚の節面のうち、東傾斜 (走向 327°) よりも西傾斜 (走向 176°) の節面を仮定したほうが、わずかながら観測波形をよく説明できることから、ここでは西傾斜の節面を仮定して解析した。

主な結果は以下のとおり。

- ・ 主なすべりは初期破壊開始点周辺にあった。また、破壊開始点の北方 10 - 15km 付近にもやや小さなすべりがあった。主な破壊継続時間は約 15 秒間であった。
- ・ 断層の大きさは長さ約 30km、幅約 10km (最大破壊伝播速度を 2.4km/s と仮定した場合)、最大のすべり量は約 1.5m (剛性率を 30GPa と仮定した場合)。
- ・ モーメントマグニチュードは 6.6 であった。

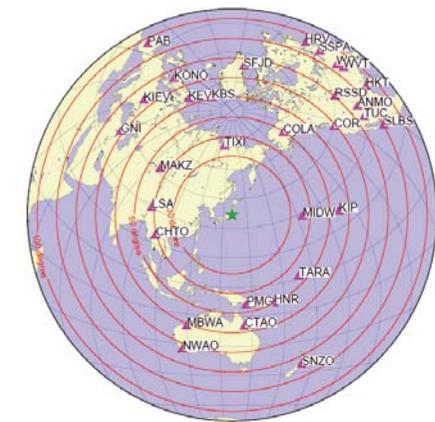
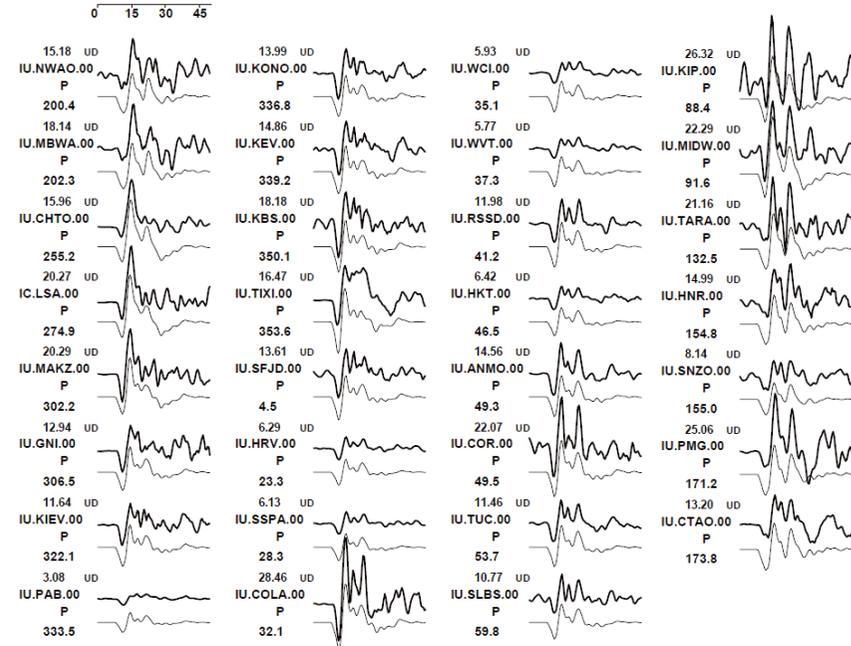


(注1) 解析に使用したプログラム

M. Kikuchi and H. Kanamori, Note on Teleseismic Body-Wave Inversion Program,
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/ETAL/KIKUCHI/>

※ この解析結果は暫定であり、今後更新する可能性がある。

観測波形 (上: 0.002Hz-1.0Hz) と理論波形 (下) の比較



観測点配置図 (震央距離 30° ~ 100° ※1 の 31 観測点 ※2 を使用)

※1: 近すぎると理論的に扱いつらくなる波の計算があり、逆に遠すぎると、液体である外核を通ってくるため、直達波が到達しない。そのため、評価しやすい距離のデータのみを用いている。

※2: IRIS-DMC より取得した広帯域地震波形記録を使用。

第4図(c) 4月11日の福島県浜通りの地震の遠地実体波を用いた震源過程解析

Fig.4(c) Source rupture process analysis by far field body-wave of the earthquake in Hamadori region of Fukushima Prefecture on April 11, 2011.