

(参考)

平成 23 年 1 月に発生した海外の地震の解析結果について

平成 23 年 1 月 3 日に発生したチリ中部沿岸の地震、14 日に発生したローヤリティ一諸島の地震および 19 日に発生したパキスタン南西部の地震について、CMT 解析、W-phase 解析、体積歪波形解析、遠地実体波を用いた震源過程解析により、地震の規模、発震機構および断層の長さ等を推定しました。これらの結果は次のとおりです。

なお、気象庁ホームページに海外の地震の解析結果について掲載するページを準備しましたので、今後はそちらを参照ください。

○ チリ中部沿岸の地震 → モーメントマグニチュード(Mw) 7. 2

発生日時 2011 年 1 月 3 日 05 時 20 分頃(日本時間)
規模 Mw 7. 2 (CMT 解析による。他の解析手法による Mw は 7. 1~7. 2)
場所及び深さ 南緯 38 度 40 分、西経 74 度 9 分、深さ約 20 km
(CMT 解析によるセントロイドの位置)
発震機構 東西方向に圧力軸を持つ逆断層型
断層の長さ、幅とすべり量 長さ約 30 km、幅約 40 km、最大のすべり量約 2. 5m

○ ローヤリティ一諸島の地震 → Mw 7. 0

発生日時 2011 年 1 月 14 日 01 時 16 分頃(日本時間)
規模 Mw 7. 0 (CMT 解析による。他の解析手法による Mw は 6. 9~7. 0)
場所及び深さ 南緯 20 度 42 分、東経 168 度 21 分、深さ約 10 km
(CMT 解析によるセントロイドの位置)
発震機構 東北東-西南西方向に張力軸を持つ正断層型
断層の長さ、幅とすべり量 (解析中)

○ パキスタン南西部の地震 → Mw 7. 2

発生日時 2011 年 1 月 19 日 05 時 23 分頃(日本時間)
規模 Mw 7. 2 (CMT 解析による。他の解析手法による Mw も 7. 2)
場所及び深さ 北緯 28 度 7 分、東経 64 度 18 分、深さ約 45 km
(CMT 解析によるセントロイドの位置)
発震機構 東北東-西南西方向に張力軸を持つ正断層型
断層の長さ、幅とすべり量 長さ約 50 km、幅約 60 km、最大のすべり量約 0. 9~1. 3m

(注：上記解析結果は、今後再解析を行うことにより変更されることがある。)

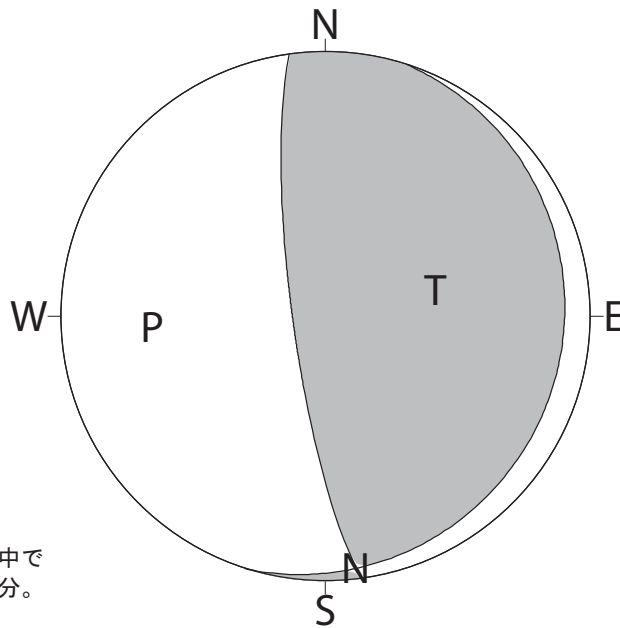
チリ中部沿岸の地震

2011年01月03日05時20分頃の地震の発震機構解 CMT解

東西方向に圧力軸を持つ逆断層型

[CMT解]

Mw=7.2



震源（セントロイド）

南緯 38度40分

西経 74度9分

深さ 約20km

※セントロイドとは、地震を起こした断層面の中で地震動を最も放出した部分。

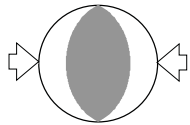
下半球等積投影法で描画

P：圧力軸の方向

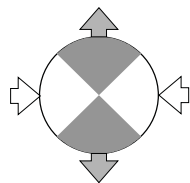
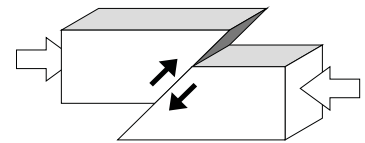
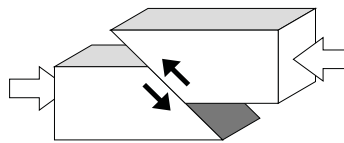
T：張力軸の方向

発震機構解 [CMT解] について

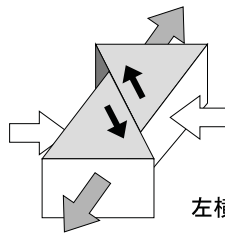
圧力軸に注目した場合の例



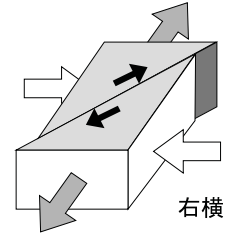
逆断層型



横ずれ断層型

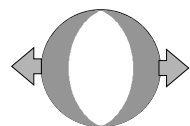


左横ずれ

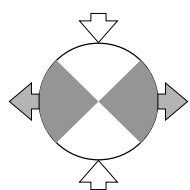
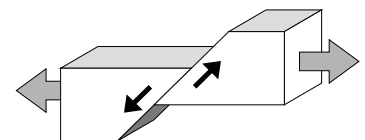
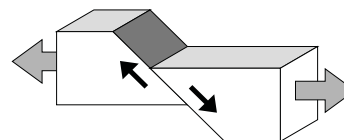


右横ずれ

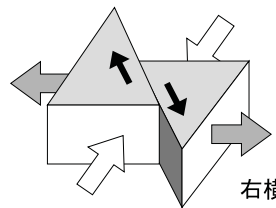
張力軸に注目した場合の例



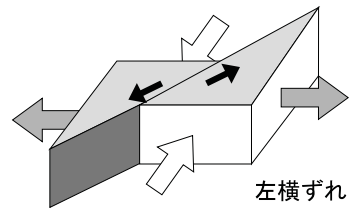
正断層型



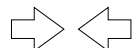
横ずれ断層型



右横ずれ



左横ずれ



圧力（押す力）



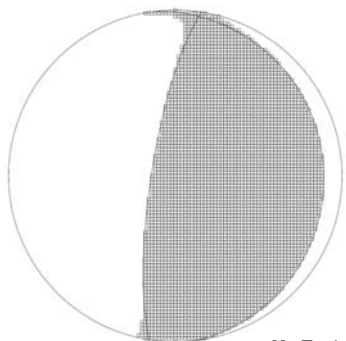
張力（引く力）



断層がずれる方向

1月3日 チリ中部沿岸の地震 (W-phase を用いたメカニズム解析)

W-phase による解

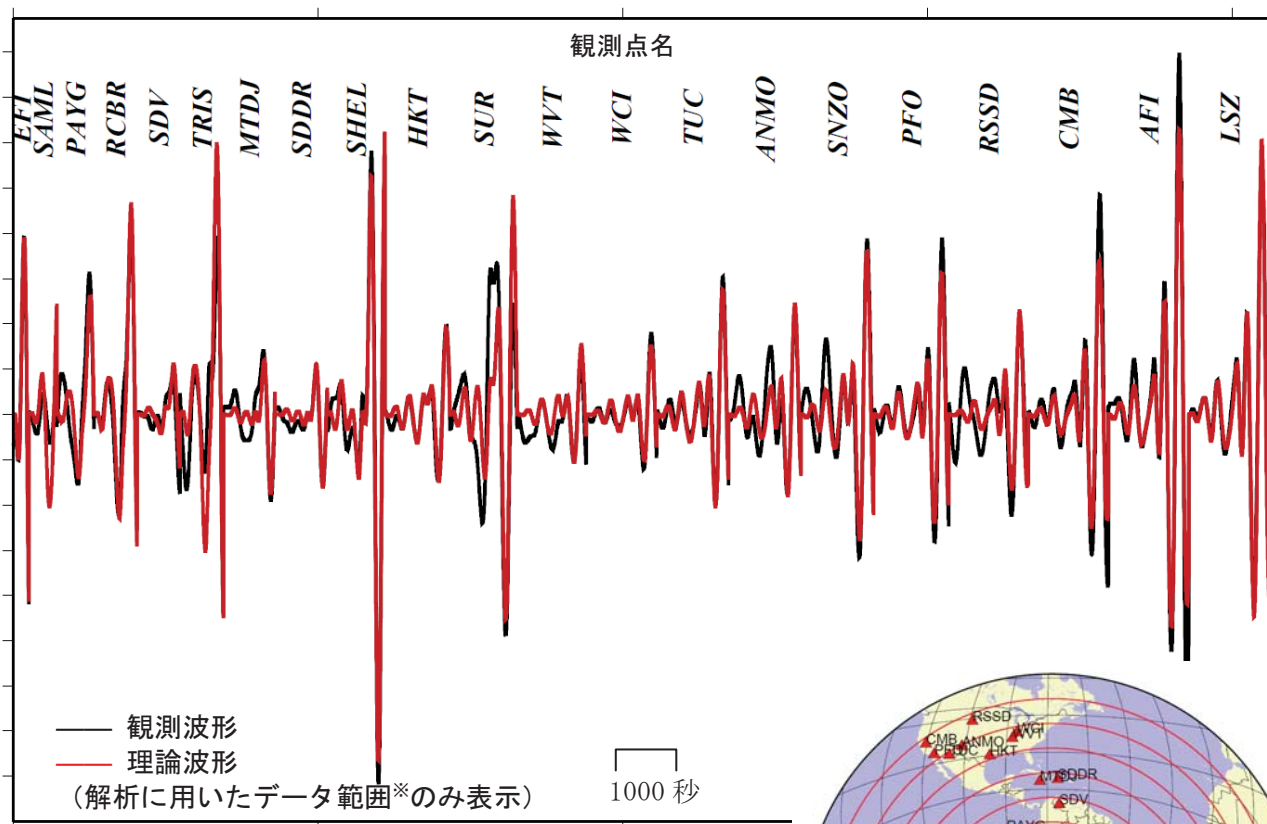


Mw7.1 (7.14)

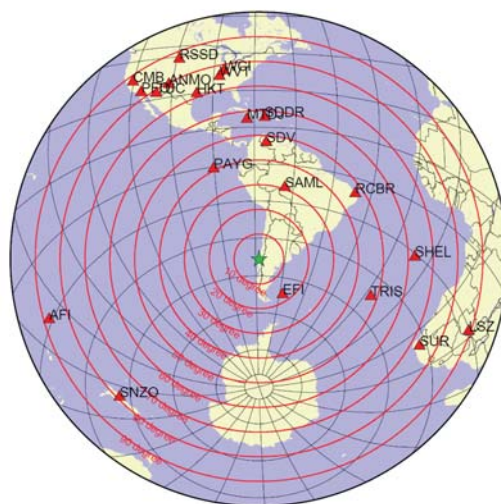
2011年1月3日05時20分(日本時間)にチリ中部沿岸で発生した地震について W-phase を用いたメカニズム解析を行った。メカニズム、Mwとも、Global CMTなどの他機関の解析結果とほぼ同様であり、Mwは7.1であった。なお、最適位置はS38.9°, W73.7°となった(深さはUSGSによる25.1kmを使用した)。

W-phaseの解析では、震央距離10°~90°までの21観測点の上下動成分を用い、200~500秒のフィルターを使用した。

注)W-phaseとはP波からS波付近までの長周期の実体波を指す。



※解析に用いたデータの範囲は15秒×震央距離(度)としており、各々の観測点の解析区間のみを繋げた波形を表示している。



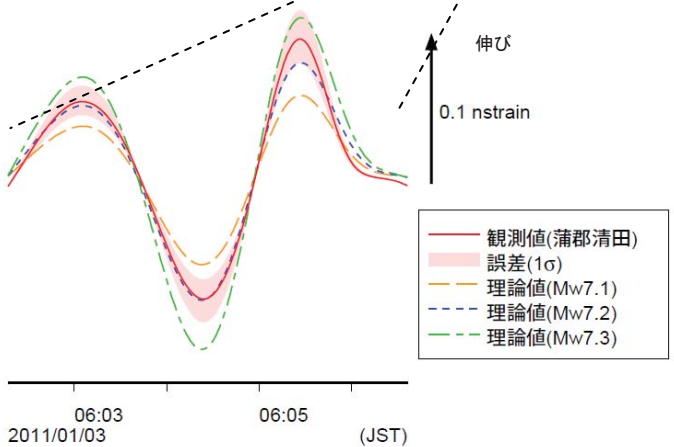
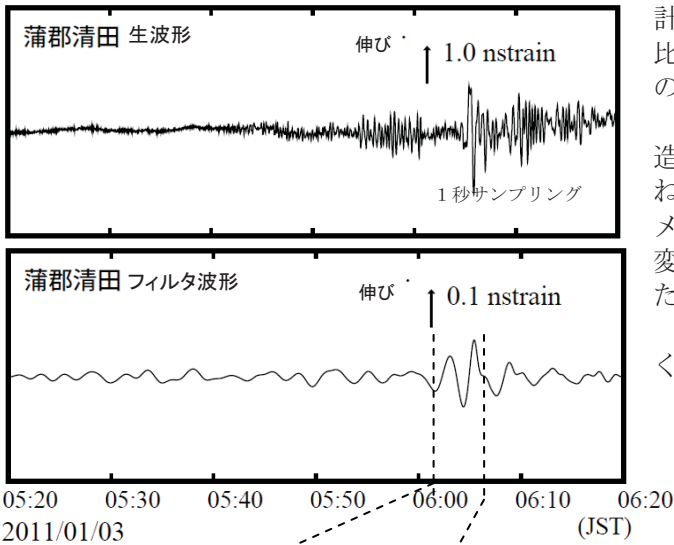
解析に使用した観測点配置

(W-phaseに関する参考文献)
Kanamori, H and L. Rivera (2008): Geophys. J. Int., 175, 222-238.

IRIS-DMCより取得した広帯域地震波形記録を使用した。また、解析に使用したプログラムは金森博士に頂いたものを使用した。記して感謝する。

1月3日05時20分 チリ中部沿岸の地震 — 体積歪計の記録から推定される Mw —

蒲郡清田観測点で観測された体積歪波形



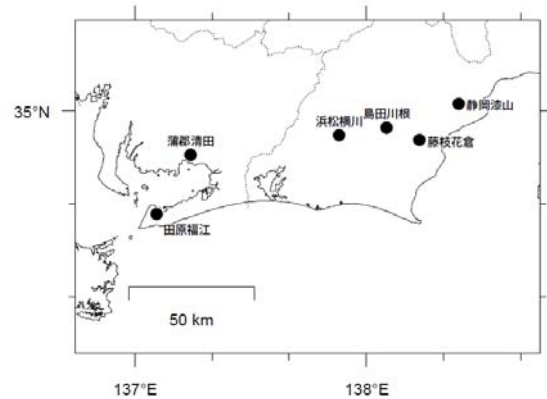
蒲郡清田観測点の観測波形と理論波形の振幅比較 (上図)
データには周期 120~333 秒のバンドパスフィルタを時間軸の正逆両方向にかけている。網掛けは誤差 (1 σ) の範囲を示す。

気象庁が東海地域に設置している埋込式体積歪計の今回の地震による波形記録と理論波形の振幅比較により、地震のモーメントマグニチュード (Mw) の推定を行った。

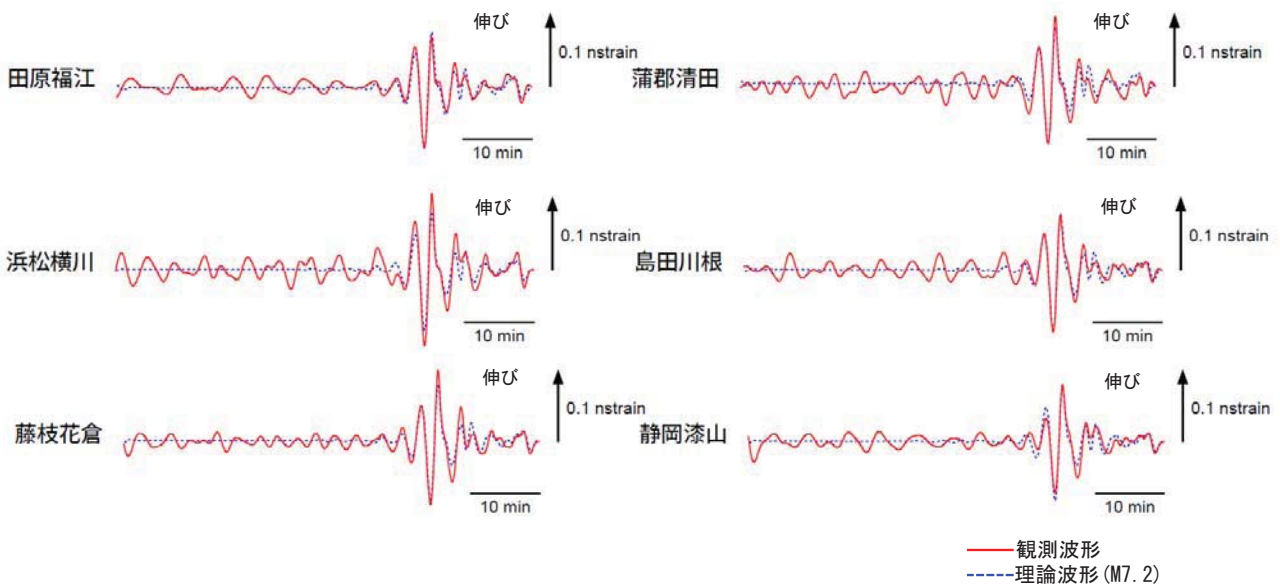
理論体積歪は気象庁 CMT 解を用い、一次元地球構造モデル PREM の固有モード周期 45 秒~3300 秒の重ね合わせにより計算した。その際に、スカラーモーメント量を Mw7.0 相当から 7.4 相当まで 0.1 刻みで変化させて、それぞれについて観測波形と比較した。

体積歪計の観測波形と理論波形の振幅が最もよく整合するのは、Mw7.2 相当の場合であった。

体積歪計の配置図



理論波形と体積歪観測点 6 ヲ所の観測波形との比較 (下図)
データには周期 120~333 秒のバンドパスフィルタを時間軸の正逆両方向にかけている。



— 観測波形
— 理論波形 (M7.2)

1月3日 チリ中部沿岸の地震

— 遠地実体波による震源過程解析（暫定） —

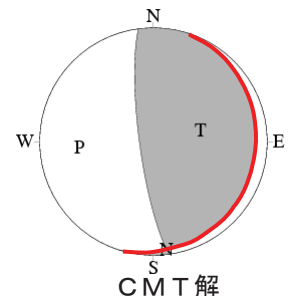
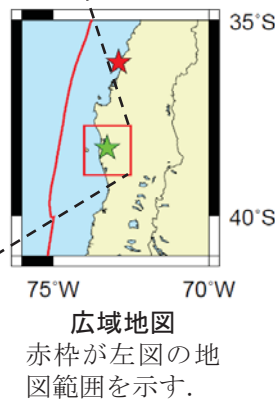
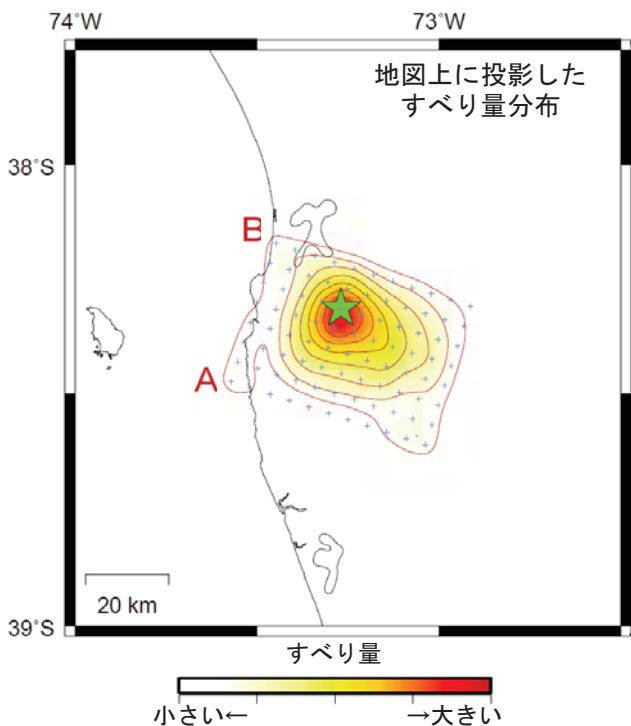
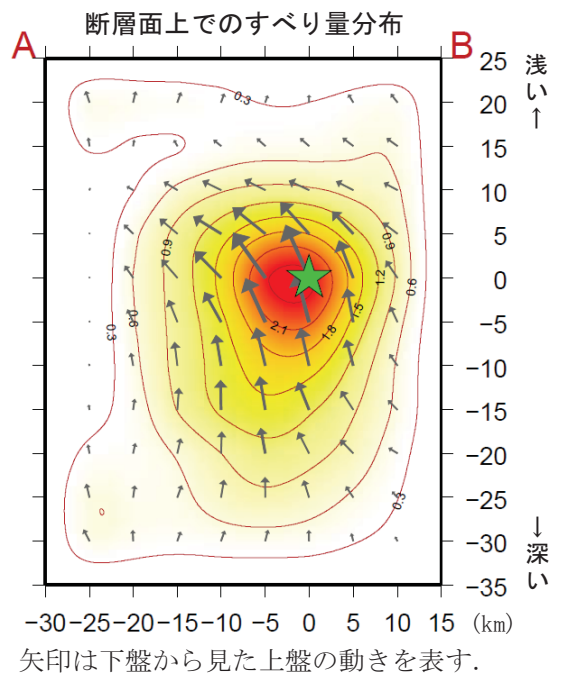
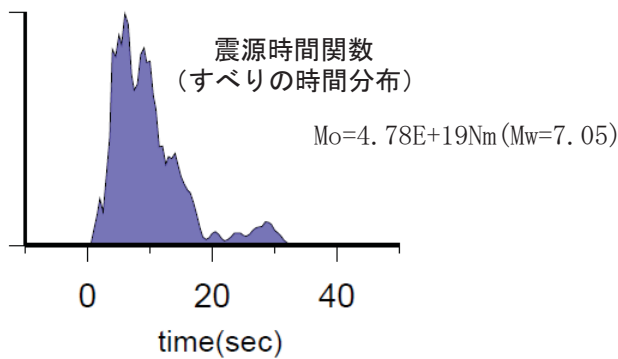
2011年1月3日05時20分(日本時間)にチリ中部沿岸で発生した地震について、米国地震学連合(IRIS)のデータ管理センター(DMC)より広帯域地震波形記録を取得し、遠地実体波を利用した震源過程解析(注1)を行った。

破壊開始点はUSGSによる震源の位置(S38.313°, W73.269°, 深さ24km)とした。

断層面は、海外のデータを用いた気象庁のCMT解の低角側の節面を用いた(この解析では2枚の断層面のうち、どちらが破壊した断層面かを特定しづらいが、プレート境界付近で発生しているため、低角側の節面を破壊した断層面と仮定して解析した結果を以下に示す)。

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にあり、主な破壊継続時間は約20秒間であった。
- 断層の大きさは長さ約30km、幅約40km(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2.5m(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7.1であった。



解析に用いた節面を赤線で示す。
(走向 18°, 傾斜 11°, すべり角 115°)

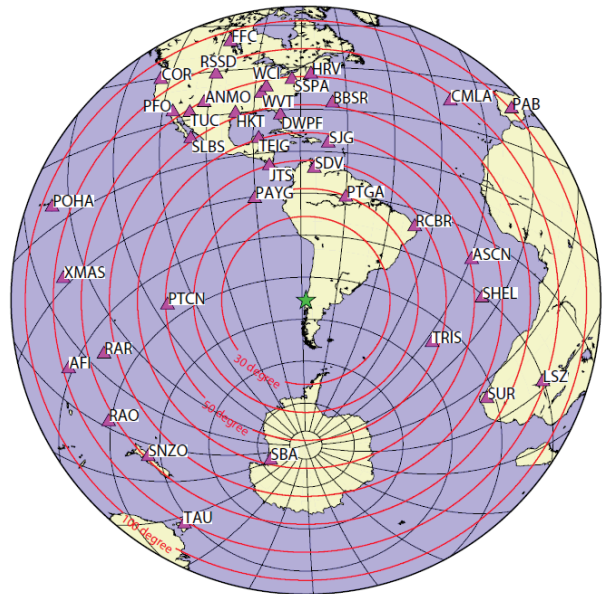
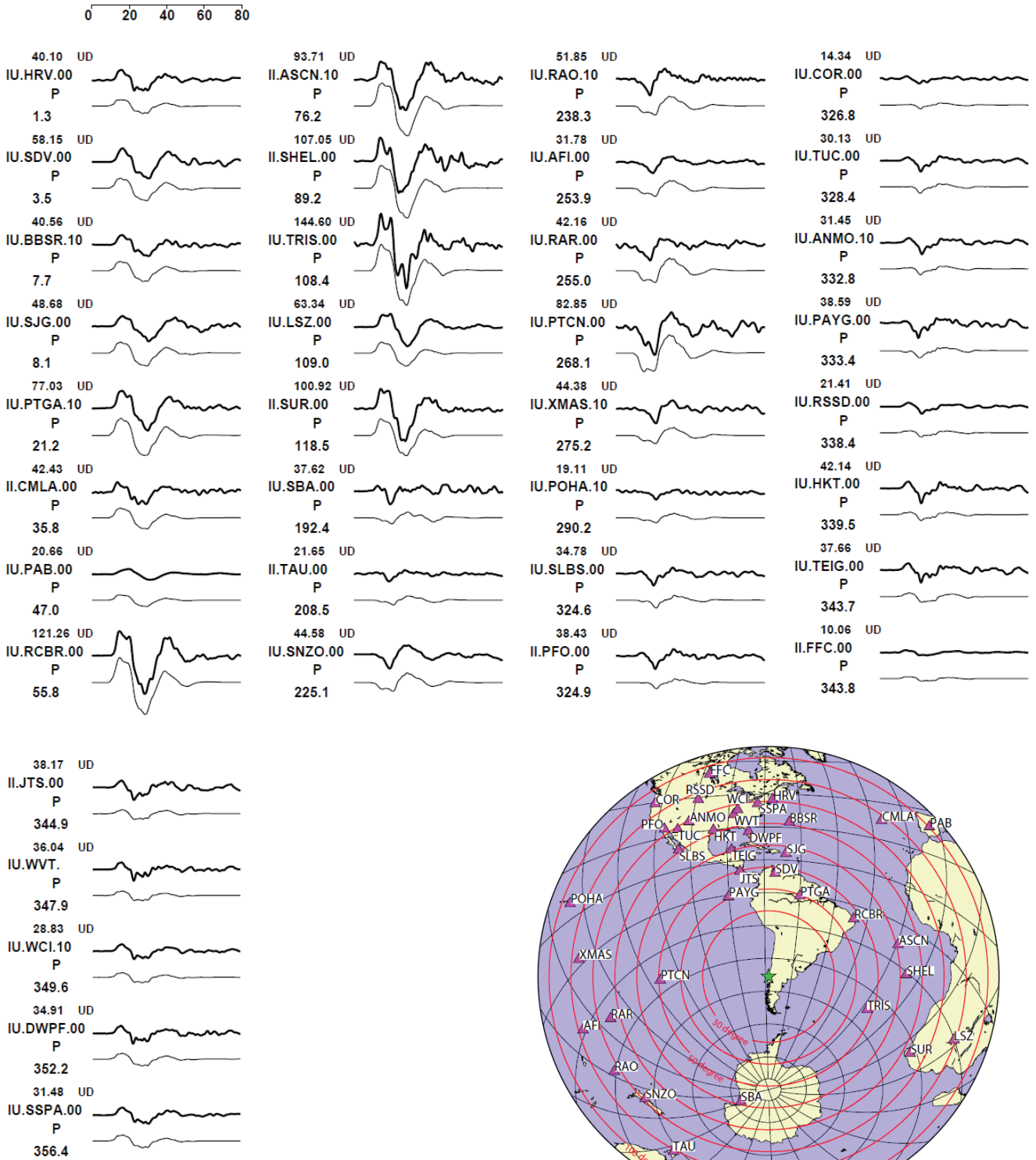
緑星印は本震の破壊開始点を、赤星印は 2010/2/27 に発生した Mw8.8 の地震の震央位置を、赤線は海溝軸の位置をそれぞれ示す。

(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

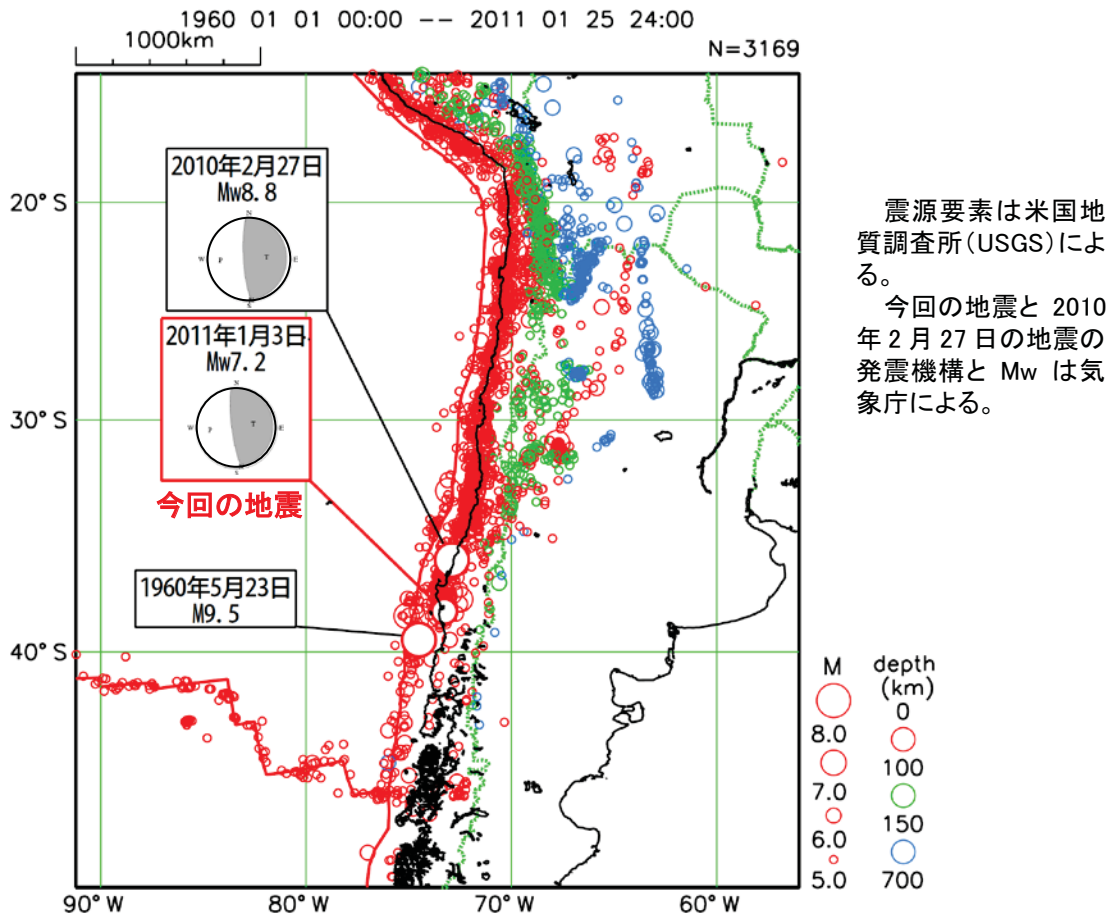


観測点配置図（震央距離 30° ~100° ※¹ の 37 観測点※² を使用）

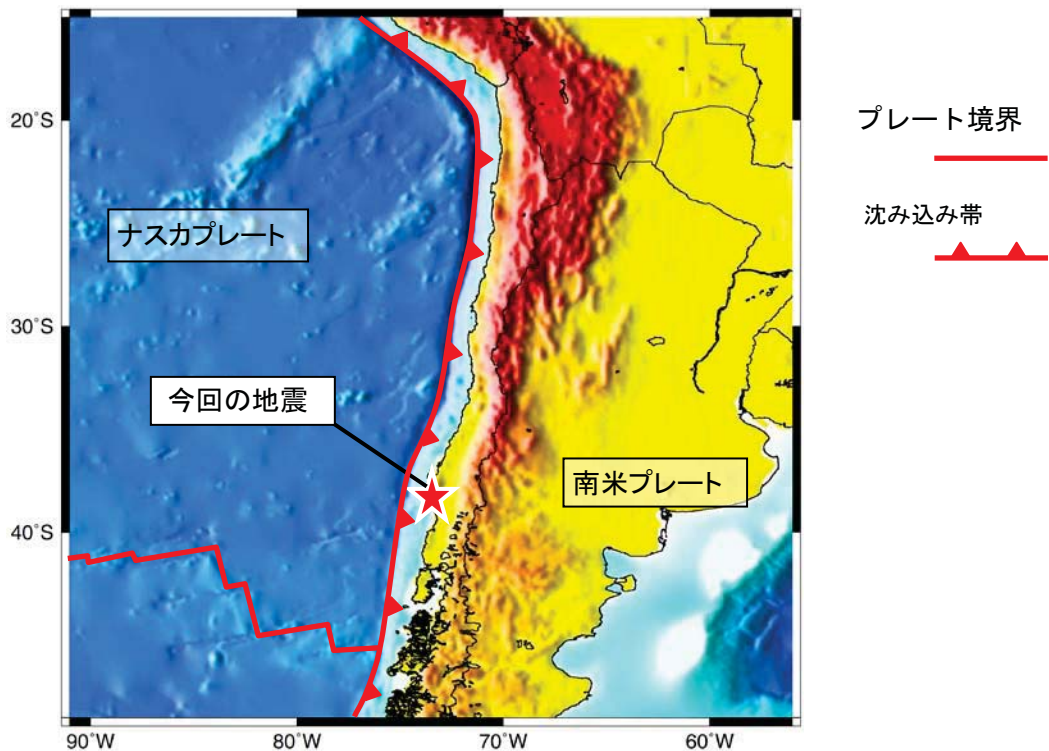
※¹: 近すぎると理論的に扱いつらくなる波の計算があり, 逆に遠すぎると, 液体である外核を通ってくるため, 直達波が到達しない. そのため, 評価しやすい距離のデータのみ用いている.

※²: IRIS-DMC より取得した広帯域地震波形記録を使用.

チリ中部沿岸の地震 周辺のテクトニクス概要



今回の地震の発震機構は東西方向に圧力軸を持つ逆断層型であった。今回の地震は、ナスカプレートと南米プレートのプレート境界で発生した地震である。



USGS の情報を参考に加筆

ローヤリティー諸島の地震

2011年01月14日01時16分頃の地震の発震機構解 CMT解

東北東-西南西方向に張力軸を持つ正断層型

[CMT解]

Mw=7.0

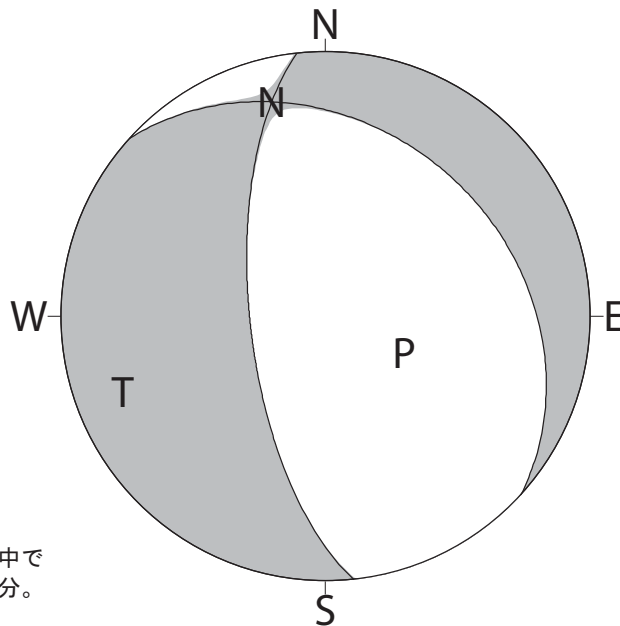
震源（セントロイド）

南緯 20度42分

東経 168度21分

深さ 約10km

※セントロイドとは、
地震を起こした断層面の中で
地震動を最も放出した部分。



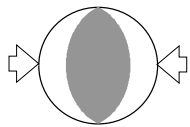
下半球等積投影法で描画

P：圧力軸の方向

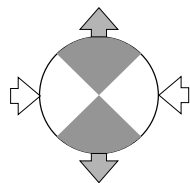
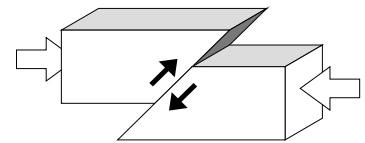
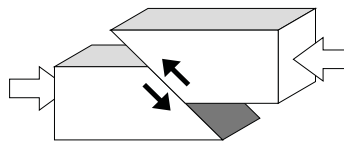
T：張力軸の方向

発震機構解 [CMT解] について

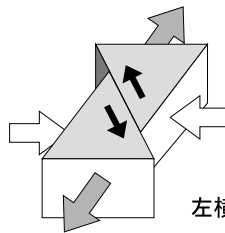
圧力軸に注目した場合の例



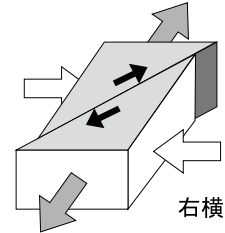
逆断層型



横ずれ断層型

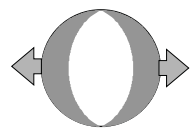


左横ずれ

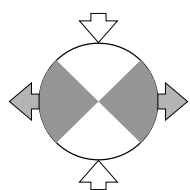
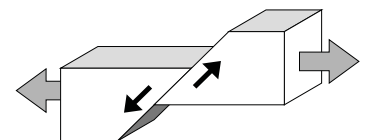
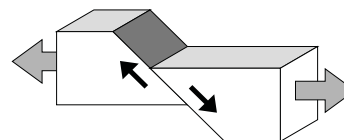


右横ずれ

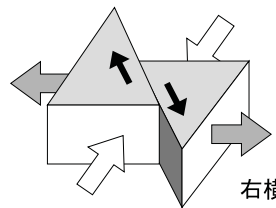
張力軸に注目した場合の例



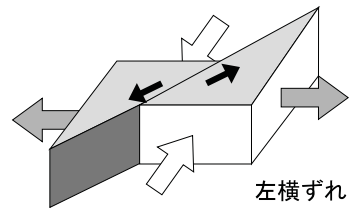
正断層型



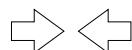
横ずれ断層型



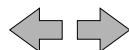
右横ずれ



左横ずれ



圧力（押す力）



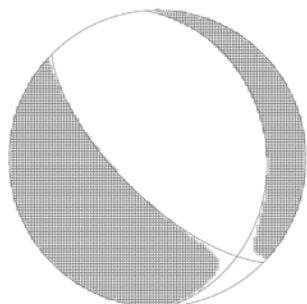
張力（引く力）



断層がずれる方向

1月14日 ローヤリティー諸島の地震 (W-phase を用いたメカニズム解析)

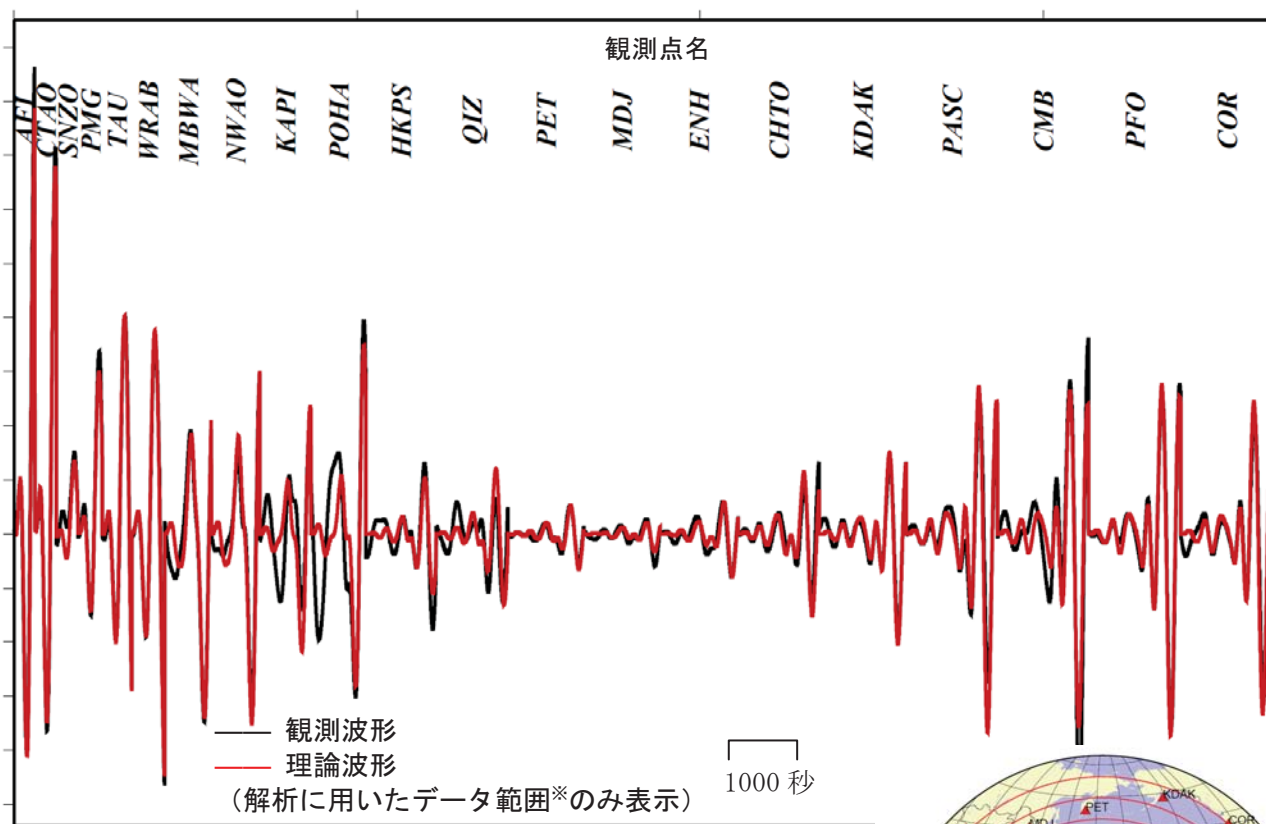
W-phase による解



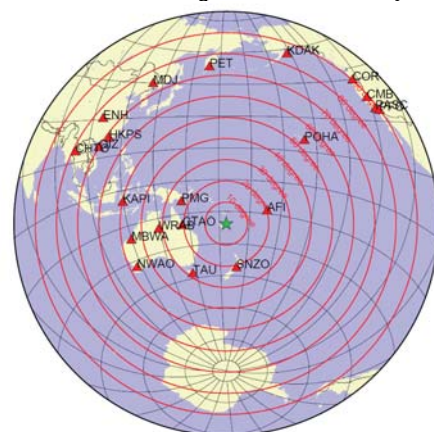
Mw7.0(7.03)

2011年1月14日01時16分(日本時間)にローヤリティー諸島で発生した地震について W-phase を用いたメカニズム解析を行った。メカニズム、Mwとも、Global CMTなどの他機関の解析結果とほぼ同様であり、Mwは7.0であった。なお、最適位置は S20.8°, E168.2° となった(深さはUSGSによる9.0kmを使用した)。

W-phaseの解析では、震央距離10°~90°までの21観測点の上下動成分を用い、200~500秒のフィルターを使用した。
注)W-phaseとはP波からS波付近までの長周期の実体波を指す。



※解析に用いたデータの範囲は15秒×震央距離(度)としており、各々の観測点の解析区間のみを繋げた波形を表示している。



解析に使用した観測点配置

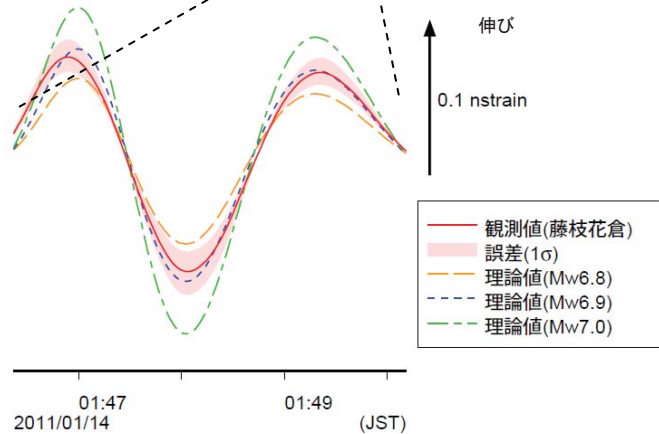
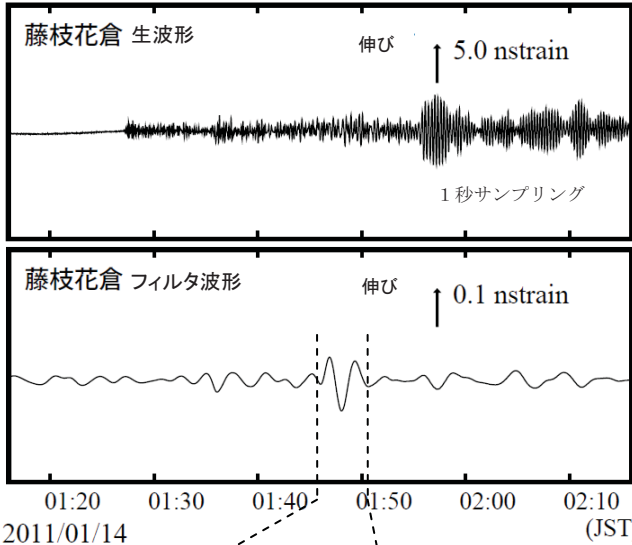
(W-phaseに関する参考文献)
Kanamori, H and L. Rivera (2008): Geophys. J. Int., 175, 222-238.

IRIS-DMCより取得した広帯域地震波形記録を使用した。また、解析に使用したプログラムは金森博士に頂いたものを使用した。記して感謝する。

1月14日01時16分 ローヤリティー諸島の地震

— 体積歪計の記録から推定される Mw —

藤枝花倉観測点で観測された体積歪波形



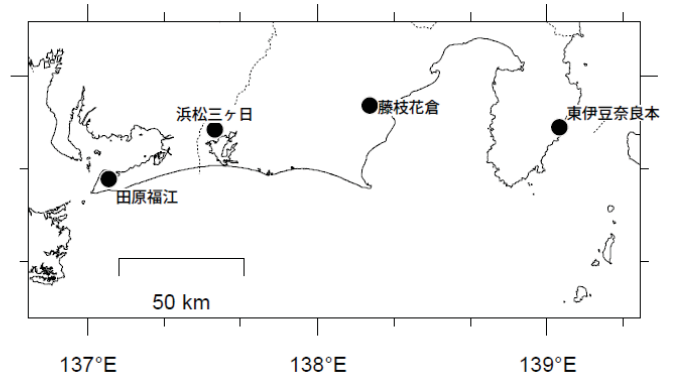
藤枝花倉観測点の観測波形と理論波形の振幅比較（上図）
データには周期 120～333 秒のバンドパスフィルタを時間軸の正逆両方向にかけている。網掛けは誤差（1σ）の範囲を示す。

気象庁が東海地域に設置している埋込式体積歪計の今回の地震による波形記録と理論波形の振幅比較により、地震のモーメントマグニチュード (Mw) の推定を行った。

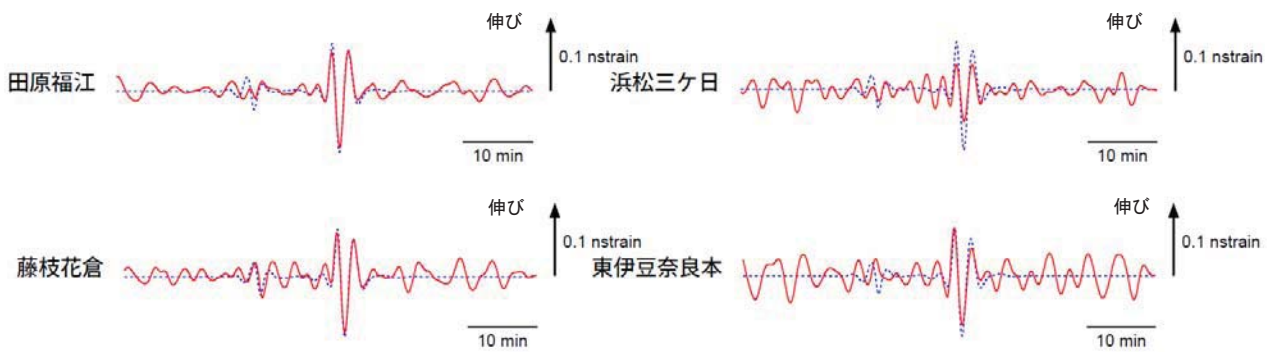
理論体積歪はグローバル CMT 解を用い、一次元地球構造モデル PREM の固有モード周期 45 秒～3300 秒の重ね合わせにより計算した。その際に、スカラーモーメント量を Mw6.7 相当から 7.1 相当まで 0.1 刻みで変化させて、それぞれについて観測波形と比較した。

体積歪計の観測波形と理論波形の振幅が最もよく整合するのは、Mw6.9 相当の場合であった。

体積歪計の配置図

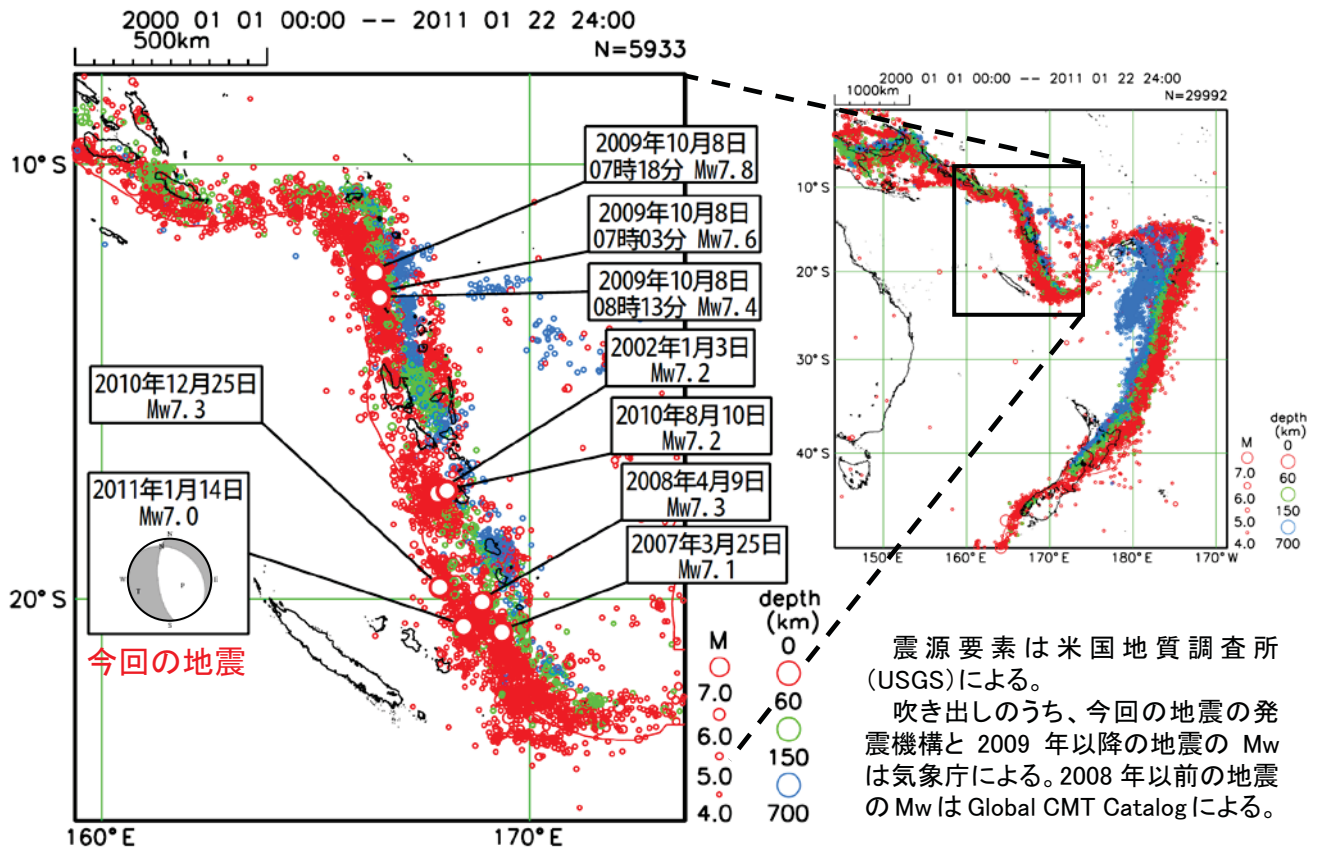


理論波形と体積歪観測点 6 カ所の観測波形との比較（下図）
データには周期 120～333 秒のバンドパスフィルタを時間軸の正逆両方向にかけている。

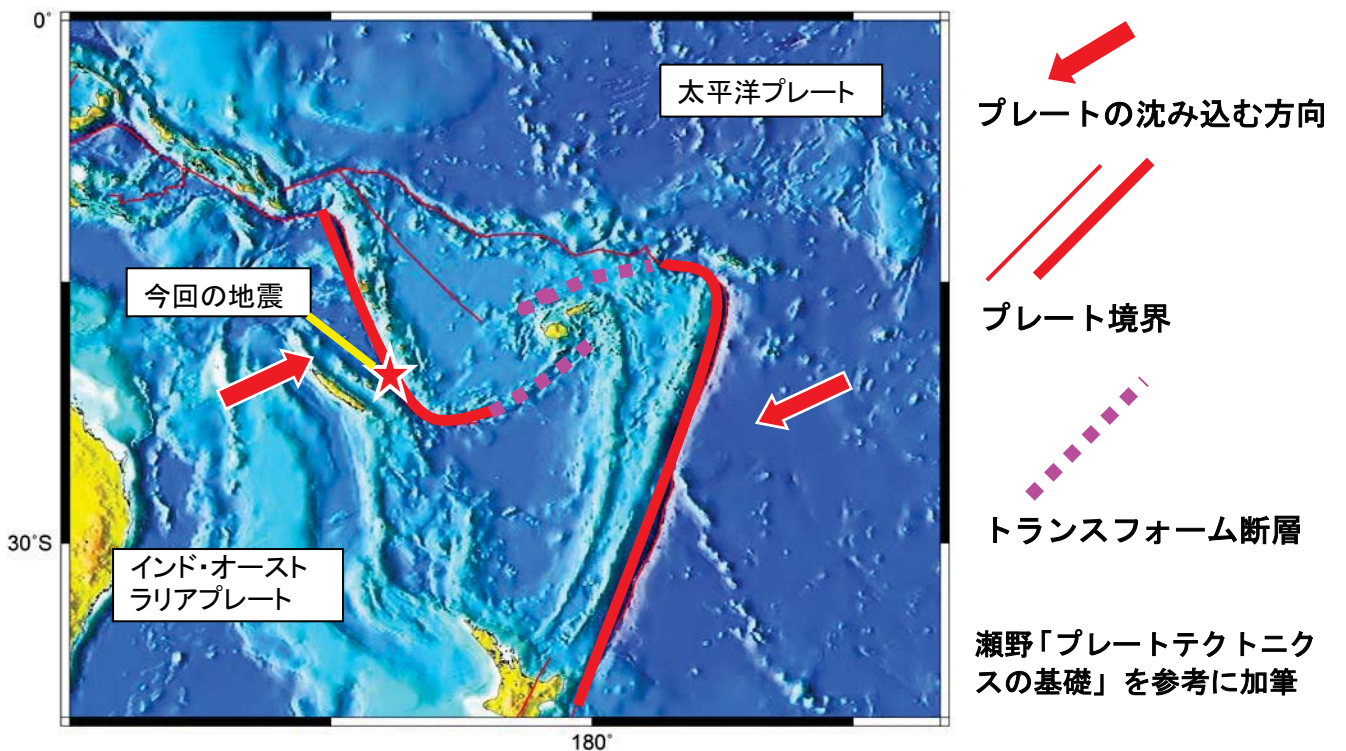


— 観測波形
— 理論波形 (M6.9)

ローヤリティー諸島の地震 周辺のテクトニクス概要



今回の地震の発震機構は東北東-西南西方向に張力軸を持つ正断層型であった。この地震は太平洋プレートとインド-オーストラリアプレートのプレート境界付近で発生した。



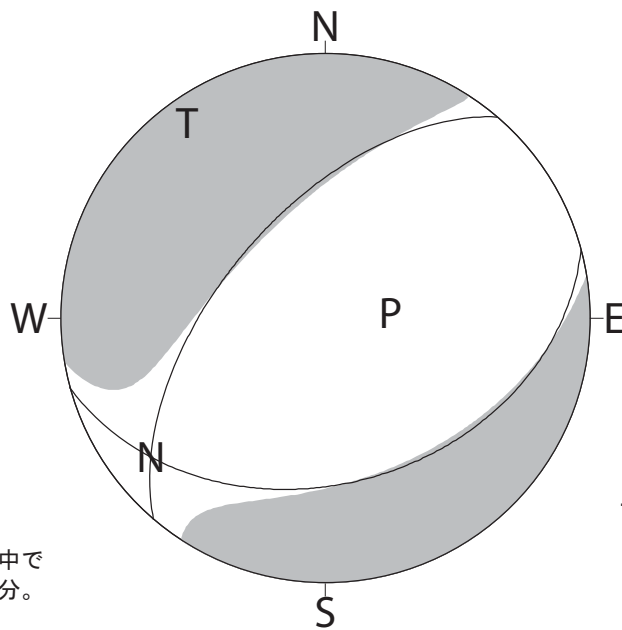
パキスタン南西部の地震

2011年01月19日05時23分頃の地震の発震機構解 CMT解

北西－南東方向に張力軸を持つ正断層型

[CMT解]

Mw=7.2



震源（セントロイド）

北緯 28度7分

東経 64度18分

深さ 約45km

※セントロイドとは、地震を起こした断層面の中で地震動を最も放出した部分。

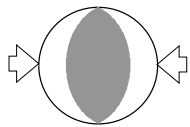
下半球等積投影法で描画

P：圧力軸の方向

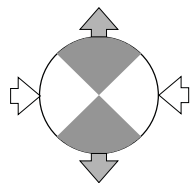
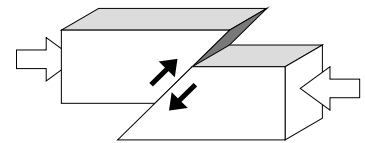
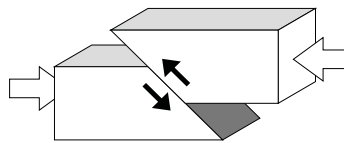
T：張力軸の方向

発震機構解 [CMT解] について

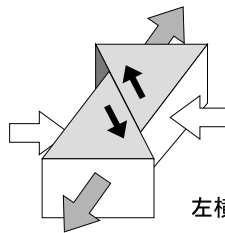
圧力軸に注目した場合の例



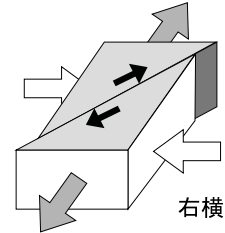
逆断層型



横ずれ断層型

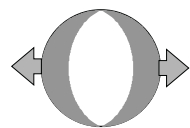


左横ずれ

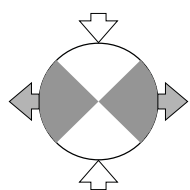
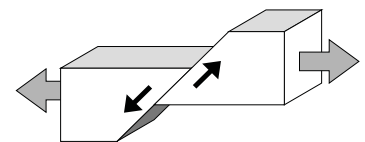
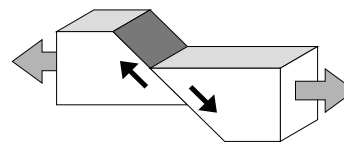


右横ずれ

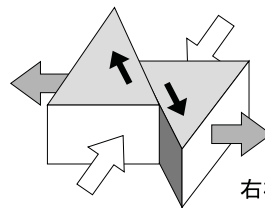
張力軸に注目した場合の例



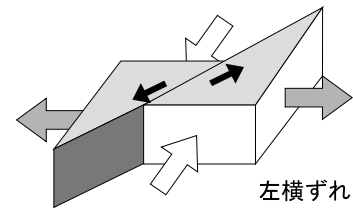
正断層型



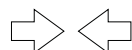
横ずれ断層型



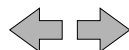
右横ずれ



左横ずれ



圧力（押す力）



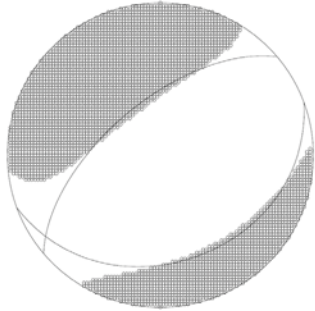
張力（引く力）



断層がずれる方向

1月19日 パキスタン南西部の地震 (W-phase を用いたメカニズム解析)

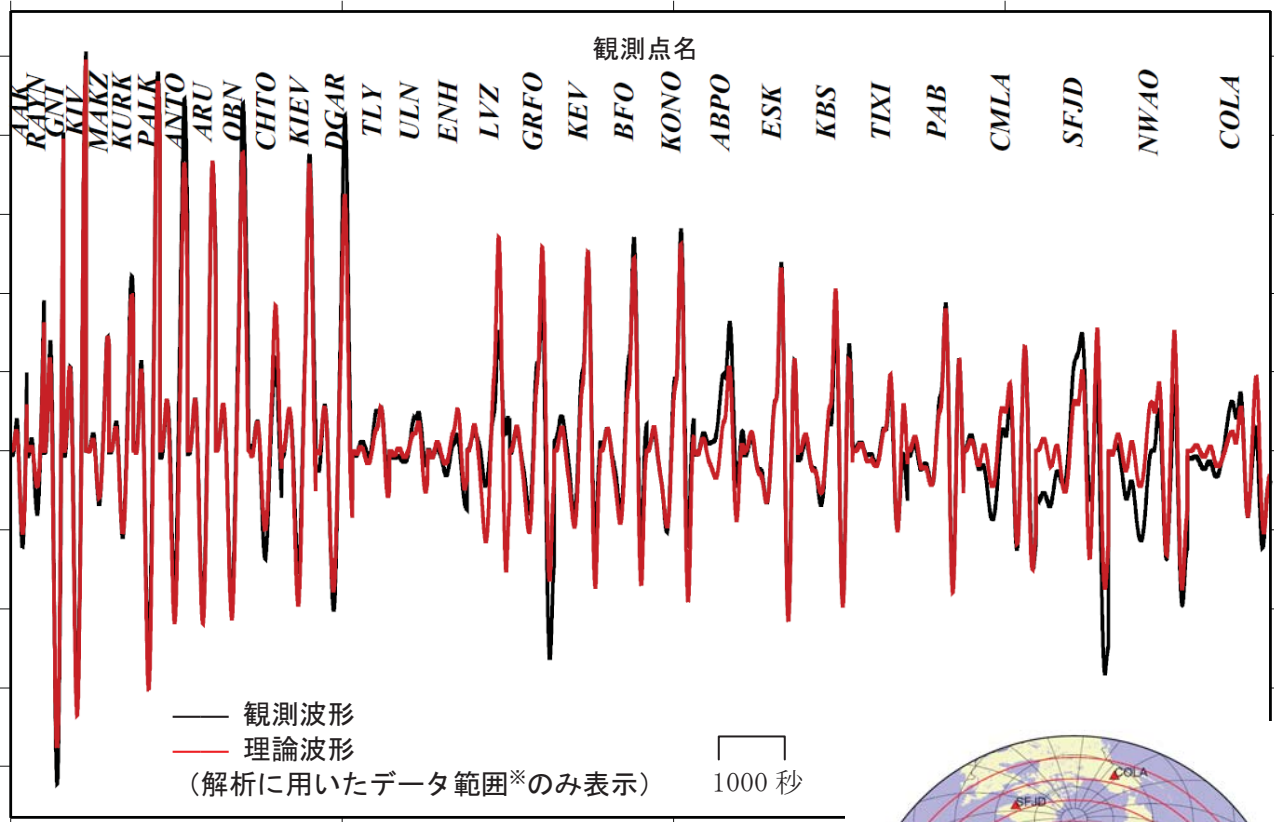
W-phase による解



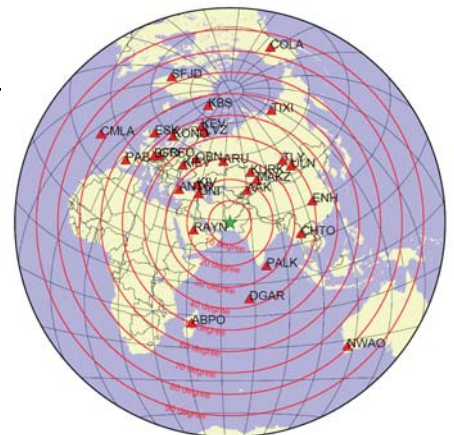
2011年1月19日05時23分(日本時間)にパキスタン南西部で発生した地震について W-phase を用いたメカニズム解析を行った。メカニズム、Mwとも、Global CMTなどの他機関の解析結果とほぼ同様であり、Mwは7.2であった。なお、最適位置はN28.6°, E63.7°となった(深さはUSGSによる68.0kmを使用した)。

W-phaseの解析では、震央距離10°~90°までの30観測点の上下動成分を用い、200~1000秒のフィルターを使用した。
注)W-phaseとはP波からS波付近までの長周期の実体波を指す。

Mw7.2(7.20)



※解析に用いたデータの範囲は15秒×震央距離(度)としており、各々の観測点の解析区間のみを繋げた波形を表示している。



解析に使用した観測点配置

(W-phase に関する参考文献)

Kanamori, H and L. Rivera (2008): Geophys. J. Int., 175, 222-238.

IRIS-DMC より取得した広帯域地震波形記録を使用した。また、解析に使用したプログラムは金森博士に頂いたものを使用した。記して感謝する。

1月19日 パキスタン南西部の地震 — 遠地実体波による震源過程解析（暫定） —

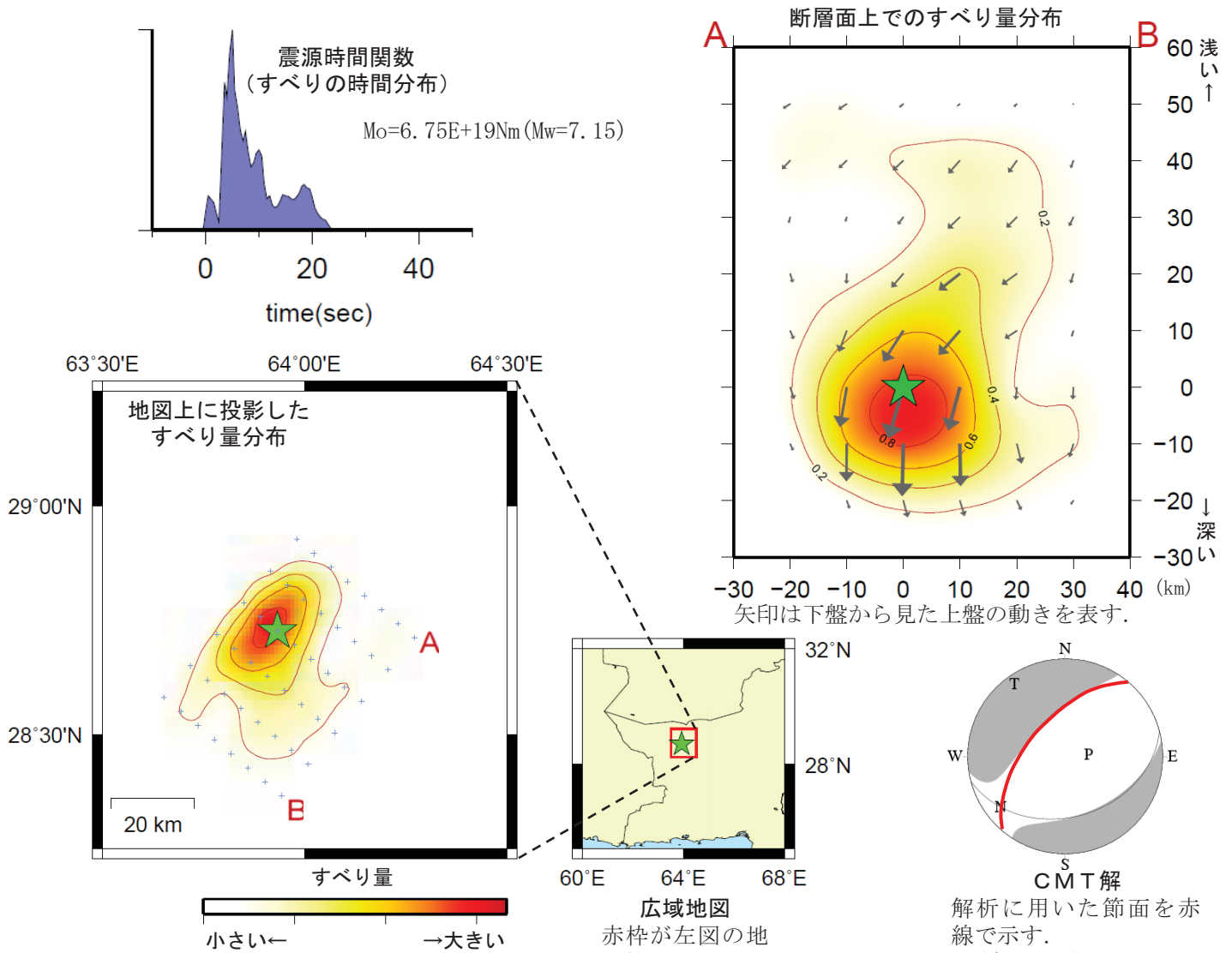
2011年1月19日05時23分（日本時間）にパキスタン南西部で発生した地震について、米国地震学連合（IRIS）のデータ管理センター（DMC）より広帯域地震波形記録を取得し、遠地実体波を利用した震源過程解析（注1）を行った。

破壊開始点はUSGSによる震源の位置（N28.727°，E63.933°，深さ68km）とした。

断層面は、海外のデータを用いた気象庁のCMT解の北西傾斜の節面を用いた（この解析では2枚の断層面のうち、どちらが破壊した断層面かを特定しづらいが、南東傾斜の節面より北西傾斜の節面を仮定した方が、わずかだが観測波形を説明しやすいため、北西傾斜の節面を破壊した断層面と仮定して解析した結果を以下に示す）。

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と浅い部分にあり、主な破壊継続時間は約20秒間であった。
- ・ 断層の大きさは長さ約50km、幅約60km（最大破壊伝播速度を3.2km/sと仮定した場合）、最大のすべり量は約0.9~1.3m（剛性率を50~70GPaと仮定した場合）。



緑星印は本震の破壊開始点を示す。

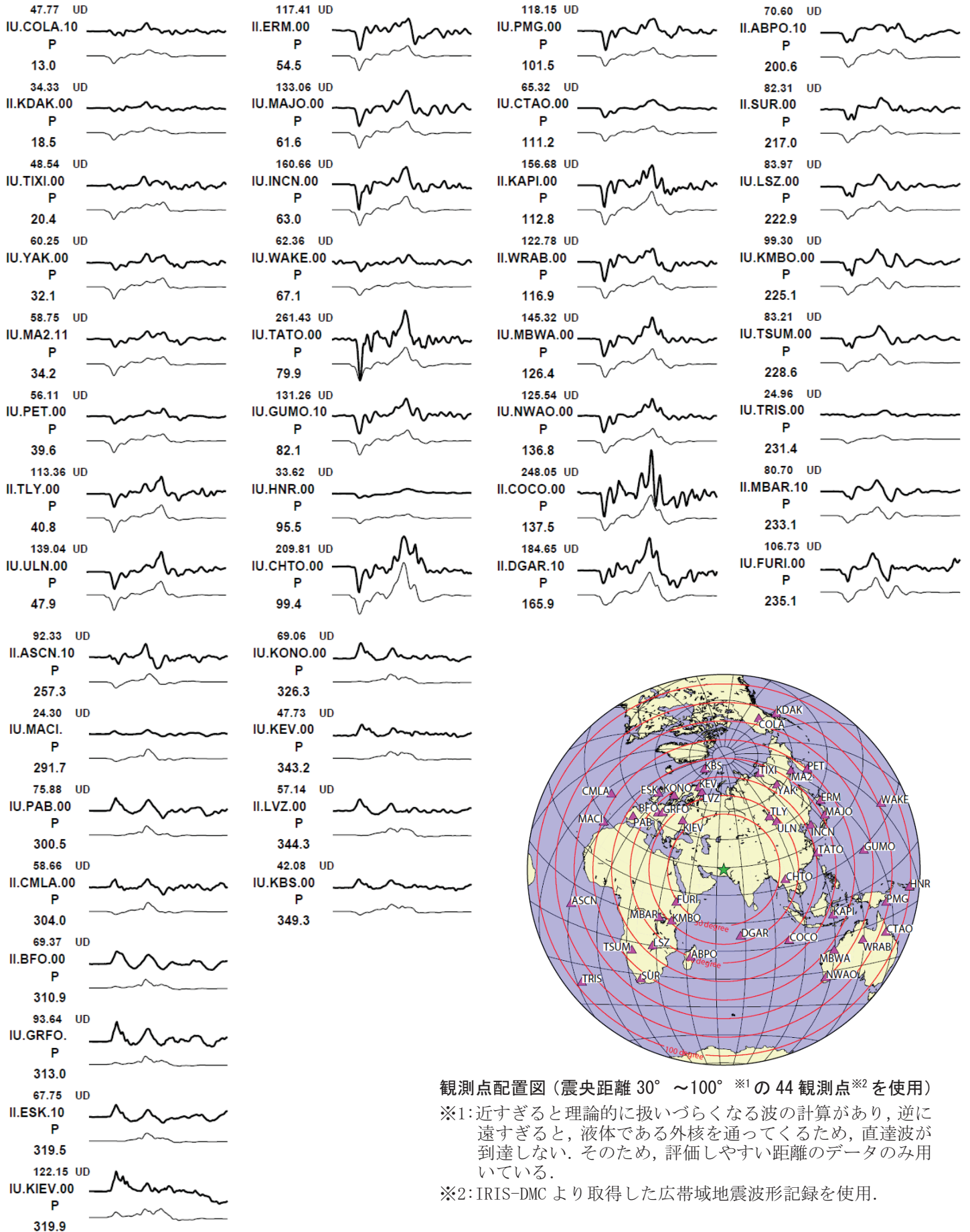
(注1) 解析に使用したプログラム

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

0 20 40 60 80

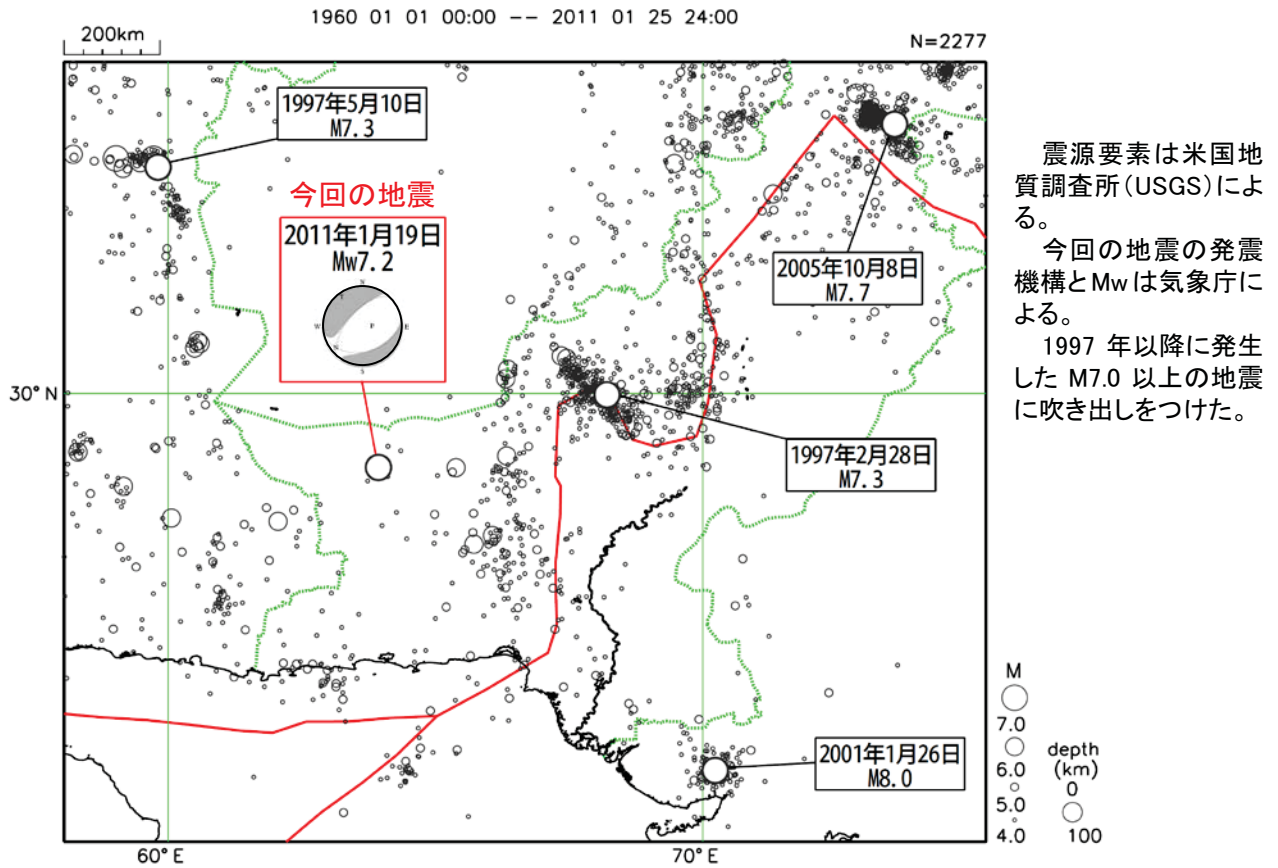


観測点配置図（震央距離 30° ~100° ※1 の44 観測点※2 を使用）

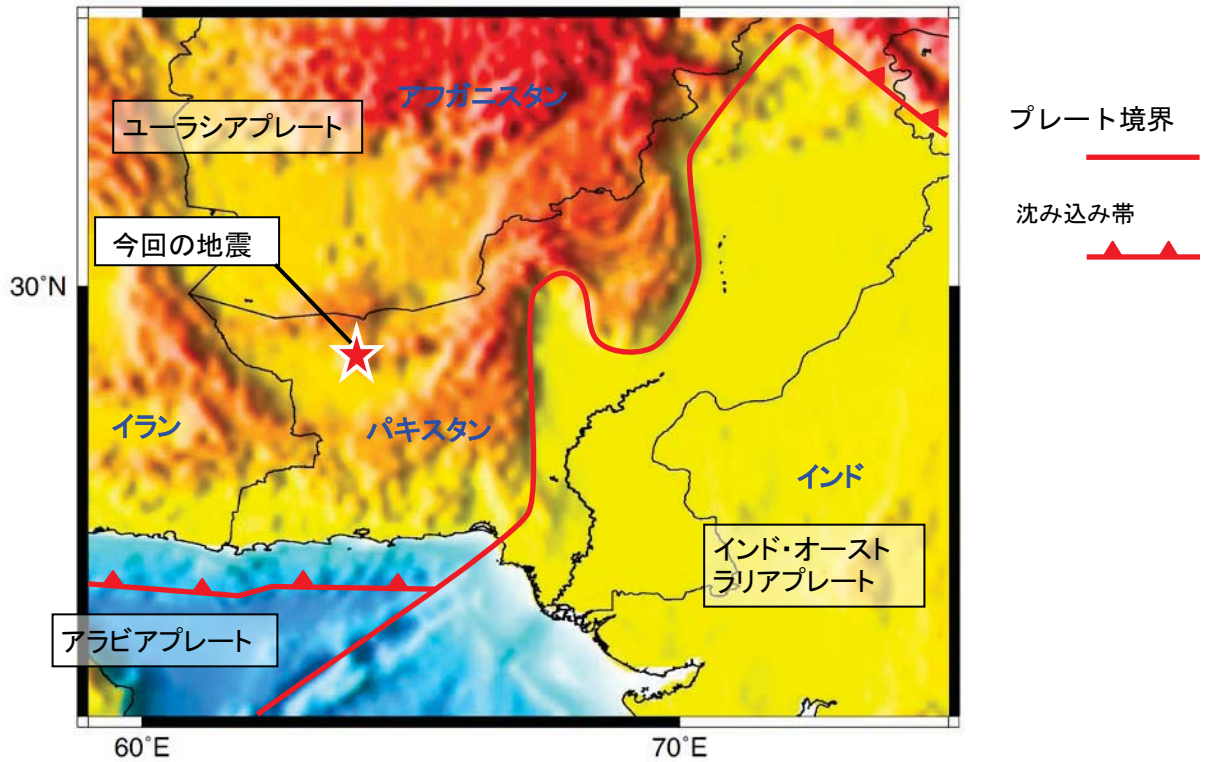
※1: 近すぎると理論的に扱いつらくなる波の計算があり, 逆に遠すぎると, 液体である外核を通ってくるため, 直達波が到達しない. そのため, 評価しやすい距離のデータのみ用いている.

※2: IRIS-DMC より取得した広帯域地震波形記録を使用.

パキスタン南西部の地震 周辺のテクトニクス概要



今回の地震の発震機構は北西-南東方向に張力軸を持つ正断層型であった。



USGS の情報を参考に加筆