

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21310114

研究課題名（和文） GRiD W-phase MT による巨大地震のリアルタイム地震解析システム

研究課題名（英文） GRiD W-phase MT: Realtime Earthquake Analysis System for Large Earthquake and Tsunami Earthquake

研究代表者

鶴岡 弘 (TSURUOKA HIROSHI)

東京大学・地震研究所・准教授

研究者番号：10280562

研究成果の概要（和文）：

グローバルおよび日本に展開されている広帯域地震計からの長周期波動場(W-phase)を常時監視することにより、巨大地震あるいは津波を発生する可能性のある地震の位置と規模とモーメントテンソル解を同時決定する新しいリアルタイム地震解析システムを開発した。このシステムにより、巨大地震や津波地震に対する震源時・震源位置・モーメントテンソル解の同時決定を近地においては約 6 分、遠地については約 15 分で迅速かつ高精度で決定できる可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：

We have developed and implemented a new grid-based earthquake analysis system that continuously monitors long-period seismic wave field (W-phase) recorded by regional and global broadband seismometers. This new analysis system automatically and simultaneously determines the origin time, location and moment tensor of large seismic events and tsunami earthquakes within 6 min for regional events and 15 min for global ones.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2010 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2011 年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
年度			
年度			
総計	13,400,000	4,020,000	17,420,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：リアルタイム, GRiD MT, W-phase, 巨大地震, 災害軽減

1. 研究開始当初の背景

日本は世界有数の地震国であり、地震により励起された津波により過去多くの甚大な被害を経験している。津波警報・予報は、震源要素(地震の位置、深さ、マグニチュード)から実験式や経験則に基づいて津波の発

生・大きさを予測するが、そのためには、震源要素を如何に早く精度よく決定するかが非常に重要なファクターである。Kanamori & Rivera(2008)は、S 波到達前の長周期の W-phase を用いることによって、震源のメカニズムと規模を迅速にかつ高精度で決定す

る手法を開発し、津波警報に対しての有効性を主張し、近地地震(震央距離 10° 以内)であれば、6分ではほぼ最終解が得られると結論している。彼らはグローバルの地震計ネットワークからデータを収集、その地震波形データから時間領域において **W-phase** を抽出する手法も開発しており、巨大地震の際に、データが **S** 波到達後に飽和するような場合でも、地震のメカニズムと規模をうまく決定できる。ただし、震源の位置および発生時間とおおよその規模を **PDE** 等の地震情報(地震速報)を必要としており、メカニズムと規模を決定する時間は、その地震情報を取得する時間に制約されるという問題がある。一方、我々は、Tsuruoka et al. (2009)において、地震情報を使わず、震源要素とメカニズムを同時決定する新しい完全自動のリアルタイム地震解析システムを開発した。このシステムは、**GRiD MT** と呼ばれ、地震研究所の Web サイトにおいてリアルタイムに解析結果を公開している。ただし、常時監視する波動場の周期は 20 秒から 50 秒であるため、**Mw4.0-6.5** 程度の地震に限り検知することができる。Kanamori & Rivera による利用されている **W-phase** と **GRiD MT** 地震解析システムを融合させることにより、巨大地震の地震発生とメカニズム決定を迅速かつ高精度で行い、津波警報等の災害予測に利するシステムを構築できるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

グローバルおよび日本に展開されている広帯域地震観測網からリアルタイムで配信される地震波形データを常時監視し、全世界で発生する **Mw6.5** 以上の巨大地震の震源および発生機構を **W-phase** を用いて地震発生後 6 分(遠地地震の場合は 15 分)という即時的に決定するリアルタイム地震解析システムを開発し、津波警報および地震直後の震度マップ作成等の災害予測に利することを目的とする。

3. 研究の方法

グローバルおよび日本に展開されている高性能の広帯域デジタル地震計ネットワークにより配信されるリアルタイムの地震波形データを収集するシステムを構築し、**W-phase** インバージョン解析のために過去 5 年に発生した巨大地震の波形データを IRIS および防災科学技術研究所広帯域地震観測網(F-net)のホームページによりダウンロードし、データセットを作成する。作成されたデータセットにたいして、**W-phase** ソースインバージョンにより決定されるメカニズム解と地震の規模(モーメントマグニチュード)を表面波等を用いる他の手法で決定される値との比較を行い、**W-phase** ソースインバ

ージョン手法のポテンシャルを評価する。特に、震源位置の精度と震源メカニズム解の安定性を比較検討する。**GRiD W-phase MT** リアルタイム地震解析システムは、**W-phase** ソースインバージョンの性能評価を進めるとともに、**GRiD MT** のアルゴリズムを **W-phase** ソースインバージョンに融合させ、システムを開発する。開発された新しいシステムを、日本およびグローバルの領域に展開し、常時稼働のテストを実施するとともに、決定された震源要素等の評価を行う。また、ホームページ等を用いて解析結果を迅速に公開できるシステムも構築する。

4. 研究成果

①リアルタイム地震波形データ収集システムの構築

日本国内の広帯域地震観測網の地震波形データは、気象庁、防災科学技術研究所、大学等の機関において、**JDXnet**(**SINET4/JGN+**)の高速な地上回線等により **WIN** システムを使用してリアルタイムでデータが集配信されている。**WIN** システムの特徴は、複数のプログラムを組み合わせることによりデータの集配信と蓄積を行うことにある。また、共有メモリを積極的に使用し、リアルタイムに特化しているのも特徴である。データの集配信には、`send_raw`、`relay` および `relaym` を用い、蓄積には、`recvt`、`order`、`wdisk` および `insert_raw` を用いる。

一方、グローバルの地震計ネットワークの収集・蓄積は、**GEOFON** により開発された `slarchive` システムを導入した。このシステムは単独のプログラム `slarchive` により、データの蓄積までを行うのが特徴である。**WIN** システムのようなリアルタイム性よりは、データの欠測なく蓄積することに主眼がおかれ、**WIN** システムのようなマルチチャンネルでなくシングルチャンネルが基本のシステムである。

②巨大地震の地震波形データセットの構築

グローバルで 2005-2011 年に発生したモーメントマグニチュード 7 以上の地震の地震波形データを IRIS から IRIS WebService を用いてダウンロードし、データセットとした。波形は **W-phase** ソースインバージョンと本研究でのシステムとの親和性を考慮して `miniSEED` からすべて `SAC` に変換してデータベースを作成した。図 1 に地震の震央と収集した観測点を示した。

③GRiD W-phase MT システムの開発

GRiD MT システムにおいては、観測点と仮想震源との組み合わせにおいて地震波形を解析する時間長は近地の **P** 波、**S** 波および表面波が含まれる 2 分で固定されているが、

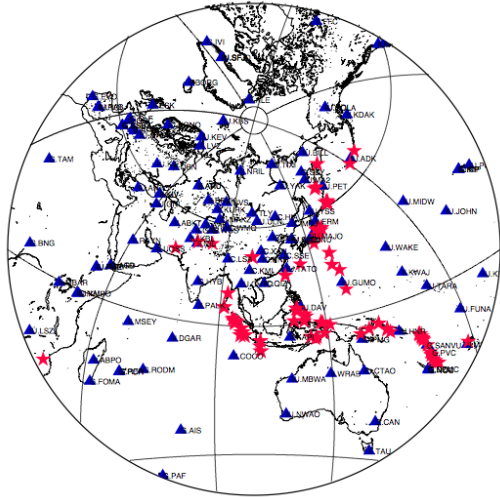


図1. 2005-2011年に発生したM>=7の地震の震央および観測点.

W-phase の場合にも柔軟に対応できるように、観測点毎に可変に設定できるようにした。また、グローバルの観測点においては、日本の観測点のように水平動を含む3成分のS/Nがよいとは限らないことが多いため、TRZの3成分からNEZの3成分を使ったインバージョンを行い、S/Nが悪い成分のウェイトを下げられるようにした。さらに、任意の震源時間関数をコンボリューション可能なオプションと、サーバに搭載したメモリサイズに依存するものの再コンパイルが必要とならないように任意の仮想震源数をサポートできるようなコードの開発を行った。また、グリーン関数は、速度構造モデルとしてPREMを用いて球殻成層での理論波形を計算した。図2に開発したシステムの概要を示す。

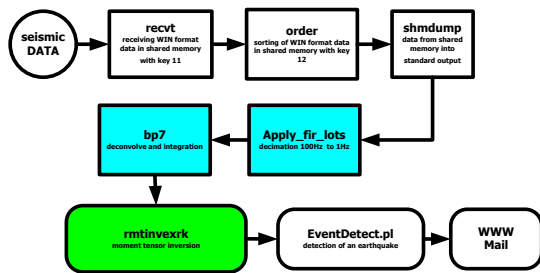


図2. GrId W-phase MT システム概要.

④事例解析

②により構築されたデータセットを用いて、W-phase ソースインバージョンによるモーメントテンソル解とGrId W-phase MTシステムにより決定されたモーメントテンソル解の比較検討を行った。この事例解析においては、地震と震源の震央距離が30と85°の

2通りについて調査を行った。30°は、リアルタイムの解、85°は最終的な解を想定した。

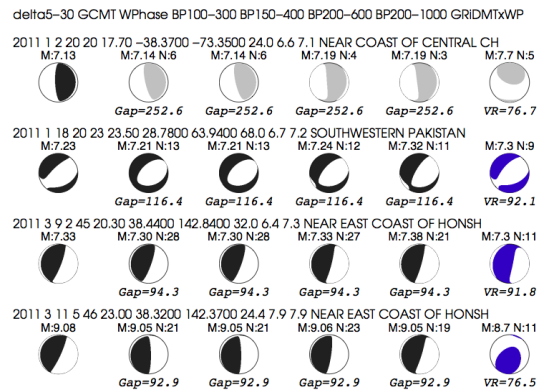


図3. W-phase ソースインバージョン vs GrId W-phase MT 解の比較.

図3は、W-phase ソースインバージョンにおいて解析周波数を変えた際の解と100-300sec周期帯のGrId W-phase MT解の比較である。観測チャンネルが10を超える場合には、両者の解の差はなく、またΔとして30°と85°の明瞭な差は見られなかった。つまりΔ30°以内の観測点を使うことによって大地震および津波を発生させる地震の震源要素が決定できることがわかった。

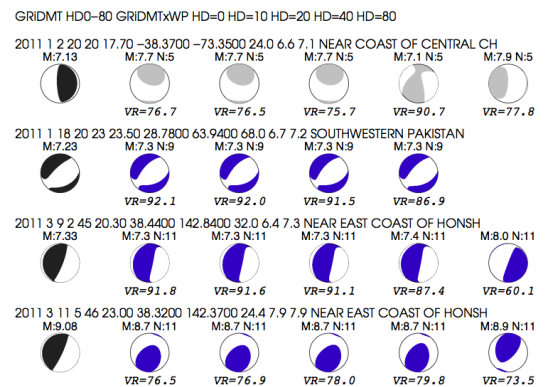


図4. 震源時間関数を変えたときのMT解.

図4には、震源時間関数を変えた際のGrId W-phase MT解の比較である。3/11の東北沖地震には、80secの震源時間関数をコンボリューションするのが最適であることがわかった。また、この震源時間関数をコンボリューションできる機能は、解析周波数を変えずにより巨大地震への対応ができることを示していると考えられる。図5と図6において、2011年東北地方太平洋沖地震の近地および遠地観測を使用した際のモーメントテンソル解の最適解像度を比較した。モーメントテンソル解の最適解は両者とも差がないが、F-net観測点のように観測点間隔が密な場合には理論波形と観測波形のマッチ度のイン

デックスであるバリエーション (VR) の高いところが集中することがわかった。

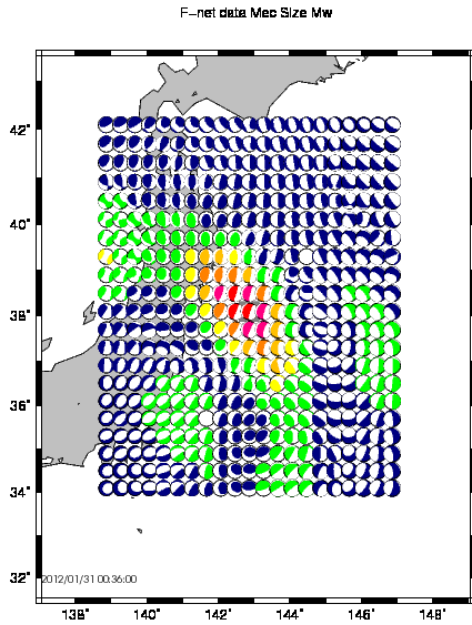


図 5. 2011 東北沖地震における F-net の観測点を使用した際の GRiD W-phase MT 解の空間分布。

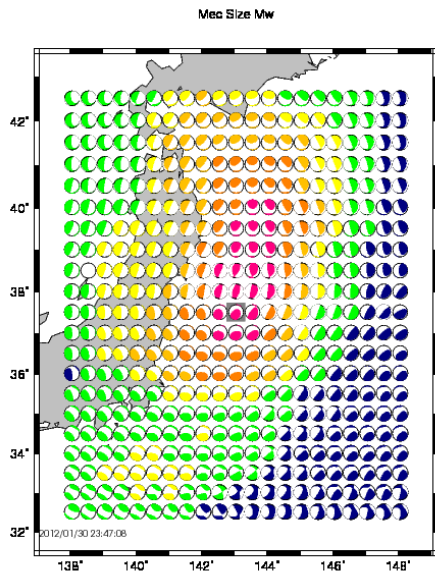


図 6. 2011 東北沖地震におけるグローバル観測点を使用した際の GRiD W-phase MT 解の空間分布。

⑤ トリガーシステムの構築

リアルタイムに GRiD W-phase MT システムを稼働させれば、リアルタイムで巨大地震および津波を生成するような地震の震源要素を決定できるが、モニター領域外の地震にお

いては、震源要素を決定できないので、取りこぼしがないようにイベントベースでのシステムも開発した。USGS のサイトから震源要素を pull 型のツールで走査し、更新がある場合にそのイベントに対する W-phase ソースインバージョンを行う。図 7 に決定された解の一部を示す。



図 7. トリガー型システムにより決定された MT 解。

このように本研究で開発されたリアルタイムシステムとトリガー型システムを稼働させることにより見逃しなく世界や日本で発生する巨大地震および津波を生成する地震の規模およびメカニズムを迅速かつ構成で決定できるシステム群が構築できた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

Tsuruoka, H., Kawakatsu, H., and T. Urabe, GRiD MT (Grid-based Realtime Determination of Moment Tensors) monitoring the long-period seismic wavefield, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 175 (2009) pp8-16.

Guilhem, A., D. Dreger, Tsuruoka, H., and Kawakatsu H. Moment tensors for rapid characterization of megathrust earthquakes: the example of the 2011 M9 Tohoku-oki, Japan earthquake, *Geophys. J. Int.*, in press, 2012.

[学会発表] (計 4 件)

Tsuruoka, H. et al., Realtime source inversion using W-phase and GRiD MT for regional tsunami early warning, AGU2009, San-francisco, USA.

Hiroshi Tsuruoka, L. Rivera, H. Kawakatsu, Time reversal source imaging and GRiD MT monitoring with W-phase, 2010 SSA Annual Meeting, 2010, Portland, USA

Hiroshi Tsuruoka, L. Rivera, H. Kawakatsu, H. Kanamori, GRiD MT and recent updates, WPGM 2010, 2010, Taipei, Taiwan

Hiroshi Tsuruoka, L. Rivera, H. Kawakatsu, Feasibility test of GRiD MT with W-phase monitoring in Japan, 日本地震学会2010年度秋季大会, 2010, 広島国際会議場 (広島)

[その他]

ホームページ等

http://wwweic.eri.u-tokyo.ac.jp/GRiD_MT/

<http://wwweic.eri.u-tokyo.ac.jp/WPHASE/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鶴岡 弘 (TSURUOKA HIROSHI)
東京大学・地震研究所・准教授
研究者番号：10280562

(2) 研究分担者

川勝 均 (KAWAKATU HITOSHI)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号：60242153

(3) 連携研究者

Luis Rivera (LUIS RIVERA)
ストラスブール大学(フランス)・教授
研究者番号：なし