

# 地震波で地下の時間変動を監視する

○吉田康宏、勝間田明男、岩切一宏、吉川澄夫(地震火山研究部)  
國友孝洋(静岡大学)、熊澤峰夫(名古屋大学)

## 1. はじめに

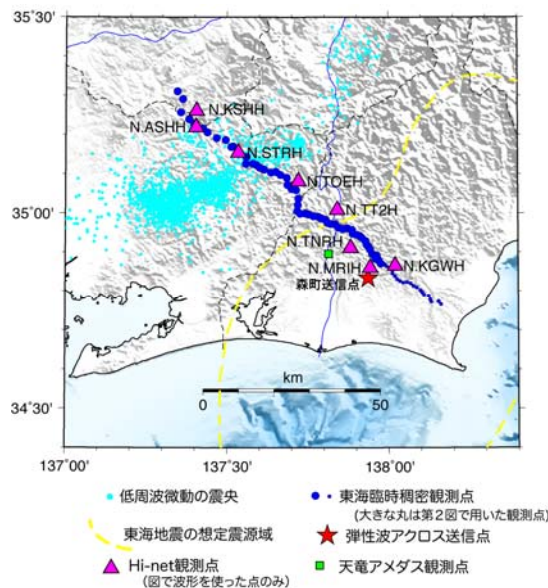
東海地震想定震源域では、地震予知のための観測・監視体制が気象庁と関係機関によって整備されている。最近の研究成果により、地震の前兆現象が起こるメカニズムとして「前兆すべり(プレスリップ)モデル」が有力と考えられている。このモデルでは、地震発生に先立ちプレート境界の固着域の周縁部が剥がれプレートが滑り始めるとされている。この前兆すべりに伴う地下の歪み変化を地表付近に設置した歪計やGPSなどの地殻変動観測機器で捕らえることは地震予知の重要な手段となっている。一方、岩石実験の研究より、岩石の境界で滑りが発生し始める時には境界を通過する弾性波の振幅や走時が変化することがわかってきた。これは断層面を通過あるいは反射してきた弾性波の監視を行えば、巨大地震の発生に先立ち前兆すべりに伴って地震波の振幅や走時の変化が起こることが期待されることを示している。そこで、実際に精密制御震源装置を東海地震想定震源域に設置して地震波の時間変化を解析するシステムを構築した。

## 2. 地殻活動監視システム

### 2.1. 地殻活動監視システムの概要

精密制御震源装置を含む地殻活動監視システムをアクロス(ACROSS: Accurately Controlled Routinely Operated Signal System)と呼んでいる。このシステムは周波数と位相が精密に制御された弾性波を連続的に送信して、それを観測することにより地下構造の変化を監視することを目指して作られたものである。東海地震の想定震源域直上におくことで地表の地震観測点でプレート境界からの反射波を効率よくとることができる。そこで、静岡大学、名古屋大学の協力の下、東海地震の前兆すべりのほかプレート境界で発生するすべりに伴う走時変化を解析するため、静岡県森町に震源装置を2006年3月に設置した(第1図)。震源装置は偏心おもりをモーターで回転させることにより、まわりの岩盤に遠心力を伝えることにより地震波を発生させる機構になっている。モーター回転の加減速を標準時計(GPS時計)に同期させることにより、周波数と位相を精密に制御した信号を長期間にわたって送信することができる。微弱な信号でも長期間足し合わせる(スタッキング)ことにより、高い信号雑音比(SN比)を得ることがで

き、長期にわたる地殻構造の変化についての解析を行うことが可能となった。



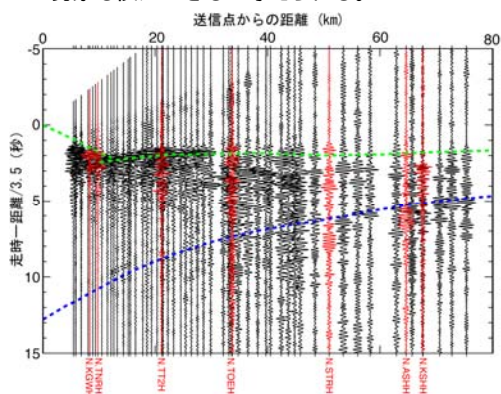
第1図: 森町送信点と東海臨時稠密地震観測の観測点。

森町の送信点では現在周波数3.5~7.5HzのFM信号を連続送信している。解析は以下の手順で行う。①気象庁本庁に伝送されている定常地震観測点の地震波形記録のスタッキングをして信号・雑音比(SN比)を良くする。②地震波形記録の値と、精密にわかっているおもりの加振力の信号出力の値を用いて伝達関数を求める。このようにして求めた伝達関数は約3ヶ月のスタッキングを行うことにより、送信点から100km離れた地震観測点でもP波、S波などの波群が雑音レベルの振幅よりも大きくなり、アクロスが東海地方の広範囲にわたる解析に使えることがわかった。

### 2.2. 地震波群の識別

プレート境界付近を通った波であるかどうかを識別するには、観測された波群が地下のどの領域を通ってきたかを判定する必要がある。しかし、地震の定常観測点の観測点間隔は約20kmと広く、地震の波群を識別することが困難である。そこで2008年の4月から約5ヶ月間、東海地域において行われた臨時稠密地震観測(第1図)により得られたデータを用いた。臨時観測では間隔が約1kmと短くなっているため、隣接観測

点間で波群を追うことが可能になった。第2図に得られた波形を送信点からの距離順で並べた図を示す。勝間田(2008)の地震波速度構造を用いて計算した計算走時も同時に示す。定常観測点だけでは追うことが困難であったS波、あるいはフィリピン海プレート上面からの反射波と思われる波群が複数の観測点で観測されていることがわかる。今後はHi-netなどの定常観測点でプレート上面からの反射波と確認された波群の時間変化を解析していくことにより、いずれは固着の剥がれなどの現象も検知できると考えられる。



第2図: 東海稠密地震観測データを送信点からの距離順に並べた。直達S波及びフィリピン海プレート上面で反射されてきたS波の理論走時を各々緑と青の破線で示す。

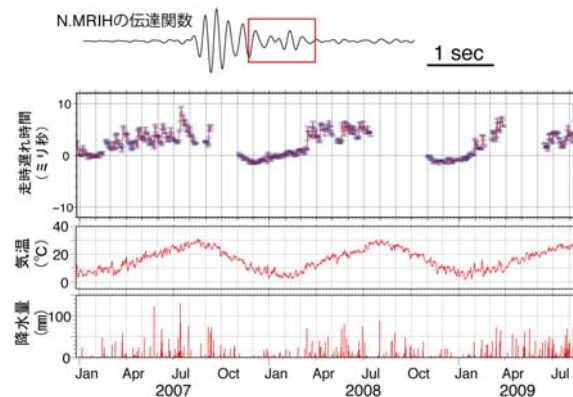
### 2. 3. 走時の時間変化を求め

送信点からの距離が一番近いHi-netの森観測点のデータを用いて各波群の走時の時間変化を求めた。第3図に後続相で基準となる時間からの走時の変化を示す。1ミリ秒の精度で変化が抽出されている。最初に到着する振幅の大きな波群についても同様な走時変化を示すが、変化の振幅は後続相のほうが大きい。変化は年周変化と鋸歯状の変化の2種類に分けられる。波群時間変化の要因を特定するため、観測点の近くにあるアメダス天竜観測点の気温、降水量の変化と比較した。年周変化は気温、鋸歯状変化は降水量と良い相関を示す。特に鋸の歯状変化は降水量と相関が非常に良く、降水量の影響を取り除くと、より深い地中の情報を抽出することが可能になることが期待される。また、駿河湾の地震が起きた際(2009年8月11日)、降水量の変化では説明できない走時の変化が起きており、非常に興味深い。

### 3. まとめ

精密制御震源装置を静岡県森町に設置し、地下の地震波の伝わり方の変化を観測している。おもりの回転が精密に制御されているという特性を生かして、長期間にわたる波形のスタッキングを行い、送信点からの距離100km以上まで波群が認識できることがわかった。

東海地域稠密地震観測のデータを用い、地震波速度の3次元不均質速度構造を仮定した走時と比較することにより、得られた各波群が地下のどの領域を通過した波であるかを



第3図: Hi-net森観測点における走時変化。上から順に解析に用いた時間窓、走時変化、天竜アメダス観測点における気温変化、降水量変化、を示す。

判定した。その結果、フィリピン海プレート上面からの反射波を確認することができた。今後、この波群を解析することでプレート境界付近の時間変化の情報を抽出することができるものと期待される。

また、Hi-netの森町観測点の波形データより、表層付近を伝わってきたS波後続相の時間変化を求め、気温や降水量などの気象要素と相関があることを見いだした。今後は気象要素を用い表層の影響を取り除くことによりプレート境界付近の変動を抽出し、変化の捕捉精度のさらなる向上を目指す。

### 謝辞

データ解析には(独)防災科学技術研究所のHi-netのデータ及び、東海臨時稠密地震観測のデータを用いた。記して感謝致します。東海臨時稠密地震観測は東京大学地震研究所を中心に行われ、観測点の維持・管理には加藤愛太郎、飯高隆(地震研)、生田領野(静岡大)、勝俣啓(北海道大)、岩崎貴哉、酒井慎一(地震研)、山岡耕春、渡辺俊樹、山崎文人(名古屋大)、津村紀子、野崎謙治、高橋福助(千葉大)、大久保慎人、鈴木貞臣(東濃地震科研)、平田直(地震研)の各氏及び、著者の吉田康宏、國友孝洋が参加した。

※本研究は、融合型経常研究「東海地震予知技術と南海トラフ沿いの地殻活動監視技術の高度化に関する研究(平成21年度～平成25年度)」として行われた。主任研究者: 勝間田明男、研究分担者: 吉田康宏、岩切一宏、小林昭夫、山本剛靖、前田憲二、青木重樹、弘瀬冬樹、木村一洋、大西星司(併)、小山卓三(併)(気象庁地震火山部)