

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

駿河 - 南海トラフ周辺における多項目統合モニタリング

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(1) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化

ウ．東海・東南海・南海地域

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-1) 地震発生先行過程

ア．観測データによる先行現象の評価

3. 新たな観測技術の開発

(1) 海底における観測技術の開発と高度化

ア．海底地殻変動観測技術

(3) 観測技術の継続的高度化

ア．地下状態モニタリング技術

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究課題では、駿河-南海トラフでのプレートの収束速度やカップリング状態のモニタリングを行うために、以下のモニタリングに関する研究を行う。

1) 海底地殻変動観測によるモニタリング

海底地殻変動の観測結果を用い、駿河-南海トラフにおける詳細な変位速度場を明らかにする。

2) 伊豆諸島における非弾性変形モニタリング

キャンペーン GPS 観測により銭洲海嶺周辺におけるプレート収束速度を実測し、その他伊豆諸島の GEONET の結果を総合し、伊豆半島周辺の変形が駿河-南海トラフでのプレート収束速度に与える影響を評価する。

3) アクロスによるプレート境界面のモニタリング

プレート境界からの反射波の検出とその時間変動のモニタリングのため、データ蓄積と解析を進めつつ、深部低周波微動など比較的短期間で繰り返す現象を対象として実証実験の事例を積み重ねる。

4) 地殻変動連続観測・地中ガス・地震観測による固着-滑りのモニタリング

和歌山県新宮・静岡県春野・静岡県菊川に設置された深部ボアホールひずみ計記録は大変 SN 比が高く、低周波微動にともなう短期的スローリップを捉えている。それらの高感度のひずみ計を用いたモニタリング技術の高度化を行う。また、静岡県春野の深部ボアホールにおけるガスのモニタリン

グを継続し、深部低周波地震等との関連の解明を進める。さらに、愛知県の鳳来に設置した地震計アレイは、ノイズ等の環境も良好であるので、このアレイによる低周波地震のモニタリング技術の高度化を行う。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

5か年で、以下の観測研究を進める。本研究では、駿河・南海トラフの研究を進めている東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・高知大学と、毎年1 - 2回の研究会を開催し、連携しながら進める。

1) 海底地殻変動観測によるモニタリング

駿河湾内及び熊野灘に設置した海底局について毎年3回程度繰り返し観測を実施することにより得られたデータを用いて、プレート固着状態の解明を進め、後半の年度では固着状態のモデル化を試みる。

2) 伊豆諸島における非弾性変形モニタリング

銭州におけるGPSキャンペーン観測を毎年1回実施する。その観測結果と伊豆半島周辺のGEONETのデータを用いて、伊豆半島周辺のマイクロプレートの分布などの非弾性変形の解明を進める。

3) アクロスによるプレート境界面のモニタリング

プレート境界からの反射波の検出とその時間変動のモニタリングの研究を進める。長期モニタリング実証試験には、地震計アレイによるオフライン連続観測、及び、大学、Hi-netなど既存の定常地震観測網による連続地震観測を用い、連続地震波形データの収録・解析を行うシステムを構築する。震源は、豊橋の名古屋大学三河観測所の震源装置の他、気象研究所と協力し静岡県森町の震源を用いる。さらに、JAEAの東濃地科学センターの震源の信号を用いる。

愛知県鳳来における地震計アレイは5年間維持し、3か所の震源からの記録を取得すると共に、アレイ近傍の地形・地殻構造の特性を考慮し、地形・構造がアレイ特性に与える影響を評価する。東濃地科学センターの震源の長期モニタリングを進めるほか、気象研森町の震源からの記録の解析を進める。

三河観測所の震源については、震源近傍からの観測を順次進め、震源周辺の構造特性を解明し、遠地への震動伝達特性の解明を進める。

4) 地殻変動連続観測・地中ガス・地震観測による固着-滑りのモニタリング

和歌山県新宮・静岡県春野・静岡県菊川に設置された深部ボアホールひずみ計による観測を5年間継続する。それらの深部ボアホールひずみ計や地中ガス等の解析を進め、低周波地震・微動とゆっくり滑りとの関係の解明を進める。

愛知県鳳来における地震計アレイ観測は5年間観測を継続し、上記のアクロスの信号以外に、深部低周波地震の分布や震源の詳細について解析を進める。

(7) 計画期間中(平成21年度~25年度)の成果の概要：

1) 海底地殻変動によるモニタリングについては、平成24年度から、別の課題(1710)へ統合した。平成21年度から23年度については、駿河湾および熊野灘において実施している海底地殻変動観測により得られたデータを用いてプレート固着状態の解明を進めた。とくに2009年8月11日に発生した駿河湾の地震後に緊急観測を実施した。駿河湾においては、駿河トラフを挟んだ両側が少なくとも、年間10mmの速度で収縮していることがわかった。また熊野灘については、熊野海盆下で顕著なカップリングの空間変化がないことが明らかになった。

2) 伊豆諸島における非弾性変形モニタリングについては、銭州岩礁におけるGPSキャンペーン観測を年に1回実施予定であったが、海況の悪化により5か年のうち平成23年度と24年度は実施できなかった。

平成25年度には8月5日に観測を実施した。以前に観測されたデータについても再解析を行った(図1)。神津島には、GEONETの連続観測点が2点あり、キャンペーン観測点であるKOZUとGEONET連続観測点である93058との測位結果の比較を行った(図1左)。これらの観測点は、約700mしか離れておらず、KOZUの結果と93058の結果がよく一致していることがわかる。また、KOZUを基準

として推定した，銭洲岩礁（ZEN1，ZEN2）での測位結果の時系列を図1右に示したが，2004年以降2010年まで，同じ変動傾向が見られる．

図2に，2011年東北地震の地震時と地震後の変動を含む変位ベクトルを示した．期間は，銭洲岩礁での観測日に相当する，2010年8月25日より2013年8月4日（2.94年）までとし，それぞれの観測日を跨ぐ1週間分のF3解より平均値を求め，それらの平均値の差をとることで変位ベクトルを求めた．さらに，Sella et al. (2002)のオイラーベクトルを用いて，ITRF97に対するアムールプレート（AM）の変位速度の2.94年分の変位の累積量を計算し，先の変位ベクトルより差し引くことで，AM準拠の変位ベクトルとしている．この期間中，神津島・銭洲岩礁では，約14mm程度の変位が検出され，2011年東北地震によって，AMに対して，神津島では約8.4cm，銭洲岩礁では約10.6cm変位したことが明らかとなった．また，変位方向は，伊豆諸島の島々の変位方向と類似していることが示された．

図3にAM準拠の速度場（黒および赤矢印）を示した．また，Nishimura (2011)に示されたフィリピン海プレート（PH）とIMPの境界を橙色の破線で示した．新島と神津島の間にIMPの境界が存在することは，以前の研究からも示唆されていた．そこで，伊豆半島および伊豆諸島の変位速度がPHの剛体運動で近似できると仮定して，Sella et al. (2002)のオイラーベクトルより計算される，AMプレートに対するPHの剛体運動（水色太矢印）を図示すると，IMPのプレート境界西側に位置する伊豆半島から銭洲岩礁までの領域での観測値が，剛体運動と比べて西向きであることが示された．観測値とモデル値のずれを定量的に調べると，IMP境界西部の領域でPH-AMの剛体運動よりも 17.5 ± 6.6 °西向き（最大値は31.9°西向き），IMP境界東部の領域でPH-AMの剛体運動よりも 6.8 ± 6.8 °北向き（最大値は北向き）であることがわかった．この結果より，IMP境界東部の領域では，PH-AMの剛体運動に近い変位速度であることが示された．また，IMP境界西部に位置する伊豆半島・銭洲岩礁は，PH-AMの剛体運動ではなく，PHとは独立した剛体の変位速度を有していることが示された．観測値の速度成分および速度の方位角の経度・緯度方向の変化についても調べた（図3下・右）．経度方向の速度成分と速度の方位角には，顕著な変化が見られ，概ね東経139.25°から東経139.75°あたりで，大きく変化している．これは，神津島と新島の境界にほぼ一致する．一方，経度方向には顕著な変化は見られなかった．

伊豆半島から銭洲岩礁までの領域が，1つの剛体であると仮定して，速度ベクトルよりIMP-AMのオイラーベクトル（139.86°E，37.93°N，6.00 deg/Ma）を推定した．観測値と剛体運動の残差のR.M.Sは3.7 mm/yrであった．さらに，剛体ブロック内の変形に関して，以下のような計算を行った．GEONETの南伊豆（93086）観測点はZENのほぼ真北に位置する．推定されたIMP-AMの剛体運動との差から，93086とZENでは南北方向に4.1 mm/yrの短縮が推定され，両観測点間（73.9 km）で 5.6×10^{-8} /yrのひずみ速度に相当する．

3）東海地域におけるアクロスを用いたモニタリングについては以下の成果があった．5年間の研究期間中、愛知県豊橋市の名古屋大学三河観測所に設置したアクロス震源の連続運転に努めた．また平成24年度からは岐阜県土岐市の東濃鉦山に設置されている震源を名古屋大学に移管し，継続して連続運転を行った．この間，豊橋アクロス震源では，震源基礎の改良工事，震源装置の部材の破損や制御機器の老朽化による故障への対応を行った．震源関数の推定手法および浅部の環境変化による擾乱を除去するため，豊橋アクロス震源の近傍，深度10mの地点にボアホール型3成分加速度計を2ヶ所設置し，オンラインでデータを取得してモニターを行っている．

アクロス信号の受信にも用いるため，愛知県内の2ヶ所（新城市鳳来および豊田市下山）において地震計アレイ観測を実施した．これらの連続地震記録から，一部周波数帯域が重複している東海地域の3ヶ所（土岐，森町，豊橋）のアクロス震源からの信号を周波数領域で分離できること，分離した信号がそれぞれの震源の方向から到来していることが確認でき，アレイ観測の有効性が示された．

東海地域に設置したアクロスのモニタリングのため，連続地震波形データの自動処理システムを構築した．中部・東海地方の約100点のHi-net及び名古屋大学の定常地震観測点の記録を日々自動処理している．

アクロスの信号の解析に関して平成25年度には次のことが明らかになった．

三河観測所の震源からの信号のうち 2009 年から 2011 年の間のデータを用い、震源と観測点間の伝達関数における走時の変化率を計算した。走時の変化率を震源からの距離毎にプロットすると、西・北西・北方向の観測点で、0.06~0.08ms/yr/km 程度の走時の減少（速度増加）が観測された。速度比にして約 0.02%/yr の増加（3.5km/s の S 波速度を仮定）である（図 4）。

北西方向で速度が増加一方で、南東方向では速度変動の傾向が見られない。フィリピン海プレートの沈み込みに伴うテクトニックな応力の高まりによる異方性をもった変化である可能性がある。

一方、アクロスの受信に用いる Hi-net 観測点について、毎日のセンサーチェック信号を用いて Hi-net の収録装置のサンプリング・クロックの精度と安定性についての評価を行った。その結果、収録装置のサンプリングは GPS と周波数同期して安定しているが、最終的に出力されるデータの出力タイミングは、GPS 時刻に対して ms オーダーの不確実性をもっていることが明らかになった。これはデジタルが再起動する際にデータのサンプリング時刻が GPS 時刻に対してステップ状にずれるためである。この影響を補正することにより、サンプリング・クロックが原因のステップ状の走時変化は解消され、ms 以下の年周変化と大地震に伴うステップ状の走時変化がより明瞭に認識できるようになった。

4) 地殻変動連続観測・地中ガス・地震観測による固着-滑りのモニタリング

東海地域で発生している深部低周波微動の発生メカニズムを探るため、2008 年 10 月より愛知県新城市鳳来で、2012 年 8 月より

愛知県豊田市稲武で 3 成分地震計アレイ連続観測を行っている。この期間、活発な活動は概ね年に 1 - 2 回あり、それぞれ低周波微動のアレイ解析を行った。気象庁や防災科技研等によるとこの時期は伊勢湾周辺で低周波微動が発生しており、それが徐々に東に移動していった時期である。アレイ解析でもまさにその方向から連続的に波群が来ていることがわかる。またスローネスも徐々に変化していることが確認された。他の時期の活動についても同様の解析を行った結果、気象庁や防災科技研、広島大で得られている微動の震央と思われる方向から波群がやってきていることを確認した。

横抗及びボアホールによる地殻変動連続観測を継続し、顕著な変動が見られた場合および顕著な現象があった場合には地震予知連絡会に報告した。

静岡県の春野観測点においては、地下水溶存学の解析を進め、水素・メタン・ヘリウム・アルゴンの成分の時間変化を調べ、観測孔掘削以降の成分変化の原因と春野での地下ガスの組成を推定し論文としてまとめた。しかし観測装置の老朽化のため、平成 23 年度を限りに観測を終了した。

(8) 平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
國友孝洋 Hi-net データによる走時変化計測の高精度化。地震 印刷中

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

名古屋大学環境学研究科 山岡耕春・鷲谷威・渡辺俊樹・田所敬一・川邊岩夫

他機関との共同研究の有無：有

東濃地震科学研究所・静岡大学・高知大学と連携して進める。

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：環境学研究科附属地震火山研究センター

電話：052-789-3046

e-mail：

URL：http://www.seis.nagoya-u.ac.jp

(11) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山岡耕春

所属：名古屋大学環境学研究科附属地震火山研究センター

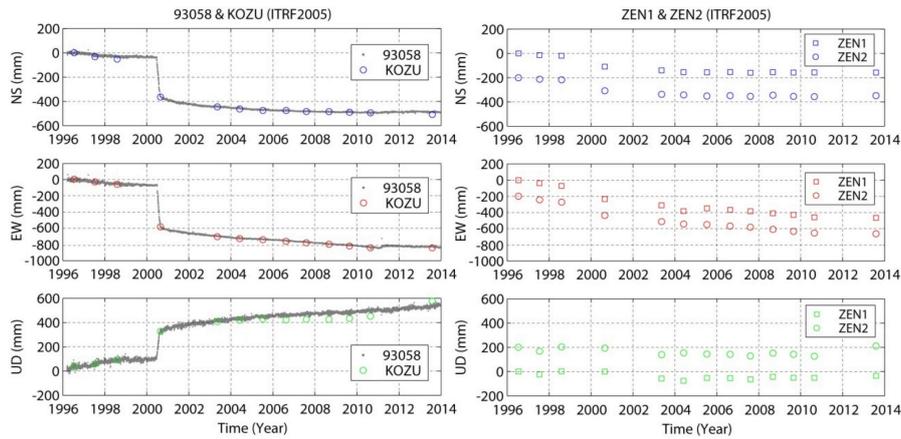


図1 神津島および銭洲岩礁での測位結果の時系列 (ITRF2005 座標系)

93058 は国土地理院の GEONET による連続観測結果，KOZU・ZEN1・ZEN2 はキャンペーン観測結果．各成分とともに，1996 年の観測初日を基準とし，基準からの変位を示す．解析は，Bernese (Ver. 5.2) を使用し，KOZU の座標値を GEONET の 93058 と 93086 の F3 解に強く拘束 (1 mm) して求め，さらに，得られた KOZU の座標値を強く拘束 (1 mm) して ZEN1 と ZEN2 の座標値を求めている．GPS 衛星軌道情報は，IGS の精密暦を使用した．

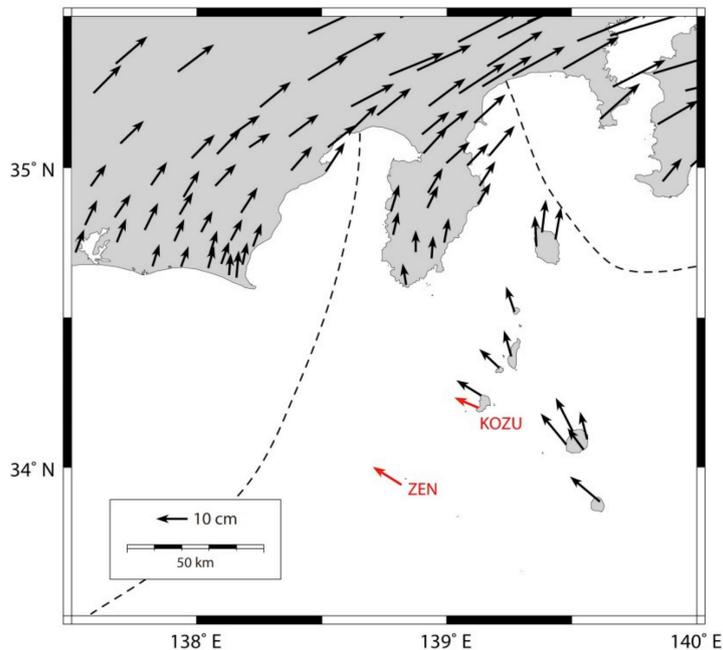


図2 2011 年東北地方太平洋沖地震の地震時と地震後の変動を含む変位ベクトル (アムールプレート (AM) 準拠) 期間は，2010 年 8 月 25 日より 2013 年 8 月 4 日 (2.94 年) までとした．この期間中に，ITRF2005 座標系より推定された各観測点の変位から，Sella et al. (2002) のオイラーベクトルで予測される AM-ITRF97 の変位を差し引いた．連続観測点による結果を黒矢印で，キャンペーン観測点による結果を赤矢印で示した．ZEN は ZEN2 (図 1) の変位ベクトルを示す．

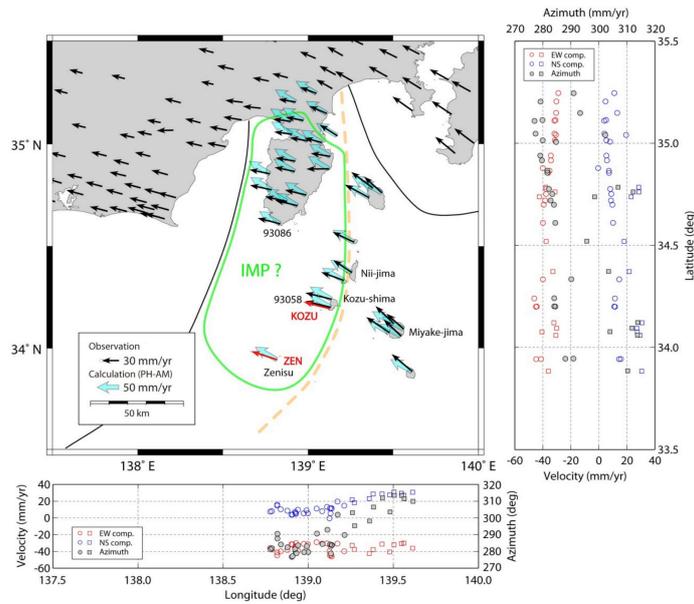


図3 AM準拠の速度場とPH-AMの剛体運動。

変位速度の推定期間は、2004年5月31日より2010年8月25日。ZENはZEN2の変位速度(図1参照)を示した。黒・赤矢印でAMに対する変位速度を、Sella et al. (2002)のオイラーベクトルより計算される、PH-AMの剛体運動を水色太矢印で示した。橙色の破線は、Nishimura (2011)によって示されたPHとIMPの境界を示す。緑線で囲んだ領域をIMPと仮定し、その領域内の20観測点の速度ベクトルを用いてIMP-AMの剛体運動を推定した。観測値の速度成分および速度の方位角の経度・緯度方向の変化については、伊豆半島および伊豆諸島の観測点データを用いた。それぞれ、赤・青・灰色の丸は、IMP境界より西部に位置する観測点データを、赤・青・灰色の四角は、IMP境界より東部に位置する観測点データであることを示す。

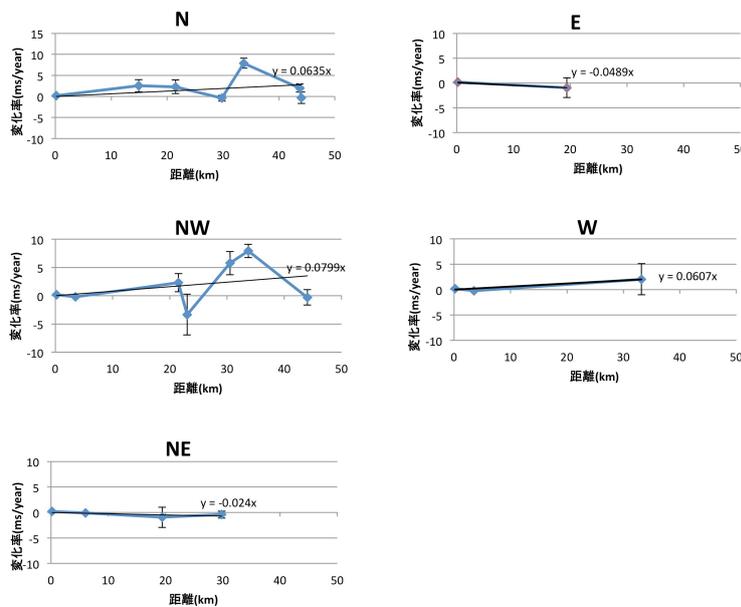


図4 名古屋大学三河観測所(愛知県豊橋市)の震源からみた方向別の走時変化率の距離依存性

三河観測所と周辺のHi-net観測点との間の走時変化率を距離の関数としてプロットしたもの。遠距離になるほど変化率が大きくなり、また距離依存性は北西ほど大きい。これは北西方向の主応力増加を示唆している。

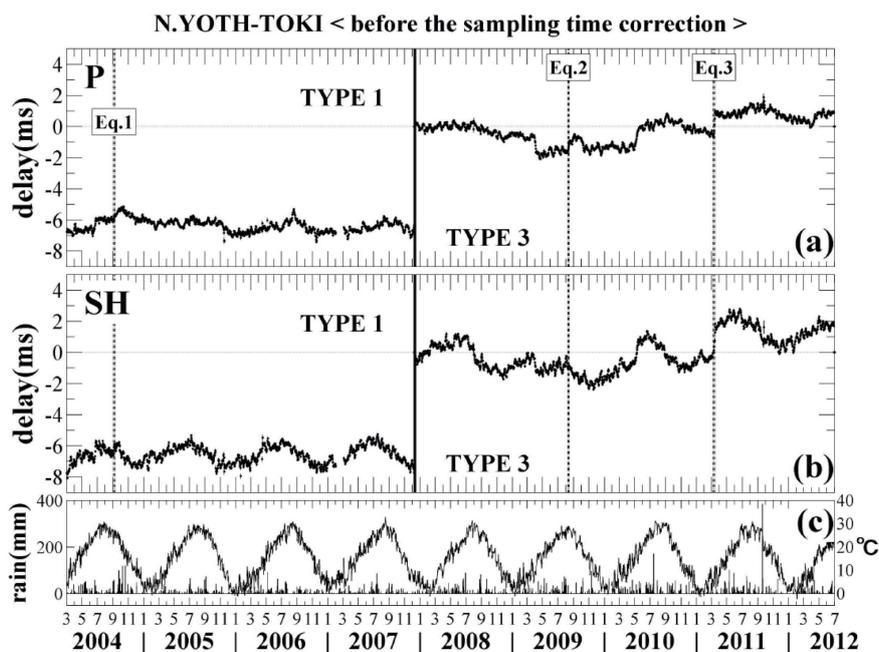


図5 岐阜県土岐市の震源と Hi-net 八百津の間の伝達関数の走時時間変化

上から順に、P波の走時変化、SH波の走時変化、気温変動、日別降雨量。縦波線は周辺で発生した地震（2004.9.5 紀伊半島沖の地震 (M7.1,7.4)、2009.8.11 駿河湾の地震 (M6.5)、2011.3.11 東北地方太平洋沖地震 (M9.0)）。縦実線はテレメータ装置が交換された時期 (2007.12.13)。

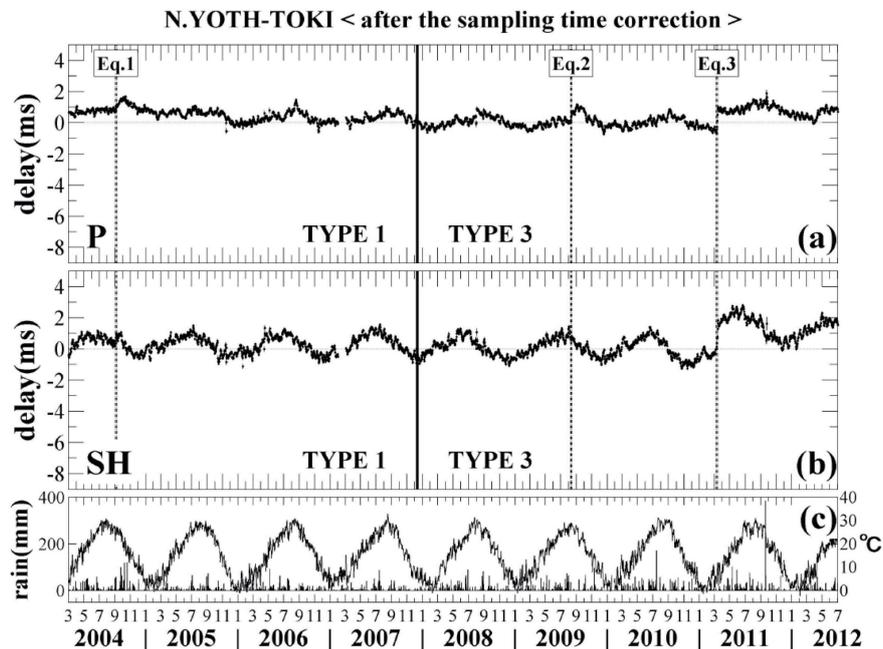


図6 レメータ刻時補正後の岐阜県土岐市の震源と Hi-net 八百津の間の伝達関数の走時時間変化
図の説明は図5と同じ

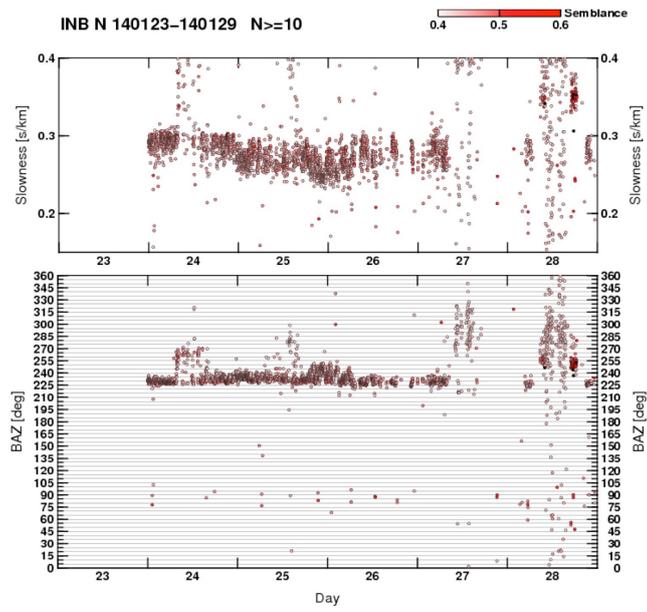


図7 深部低周波微動の地震計アレイ解析結果

愛知県豊田市稲武に設置した地震計アレイを用いて、2014年1月末の活動の到来方向(BAZ)とスローネスを示したものを、センプランス値の高い波群の到来方向とスローネスを赤い で示している。