

( 1 ) 実施機関名：

東北大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

アスペリティの特性解明に向けた観測研究

( 3 ) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

( 2 ) 地震・火山噴火に至る準備過程

( 2-1 ) 地震準備過程

ア．アスペリティの実体

( 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

( 2 ) 地震・火山噴火に至る準備過程

( 2-1 ) 地震準備過程

イ．非地震性滑りの時空間変化とアスペリティの相互作用

( 5 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

プレート境界における滑り現象の多様性の原因が摩擦特性の空間変化にあると仮定し、滑り現象の発生位置とプレート境界周辺の地震学的構造を詳細に明らかにすることにより、摩擦特性を特徴付ける地下構造パラメータを特定することが、本計画の 5 か年の到達目標である。

( 6 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度においては、これまでに北海道・東北日本の前弧域において実施された海底地震観測データをコンパイルし、広域にわたるプレート境界面の形状や地震波速度の空間分布を明らかにするとともに、相似地震などの特徴的な地震に特に着目して、震源分布の高精度推定を行う。さらに、北大理・東大震研などと共同して、長期海底微小地震観測を実施し、微小地震の発震機構解に基づく応力状態の推定を行う。また、海洋研究開発機構と共同して、東南海地震震源の海溝側縁辺域において人工地震探査を実施し、固着域浅部限界付近が示す地震学的構造の特徴の解明を試みる。それとともに、プレート境界型地震の発生様式が東北日本弧と類似する日向灘での海底地震観測を実施し、プレート境界地震発生域の応力状態について、東北日本弧との相違点・共通点の解明をめざす。一方で、陸上観測網で得られるデータを用いたプレート間滑り量分布の推定における推定精度向上を目指して、相似地震のスケーリング則の高度化ならびに GPS データを用いた滑り量逆解析手法の高度化を進める。

平成 22 年度においては、北海道・東北日本弧の地震波速度構造・プレート境界面の形状・プレート境界地震震源分布、ならびにプレート間滑り分布の高精度推定を継続して実施し、プレート間固着・滑り状態と地下構造や地震活動の空間的な不均質との対応関係の解明を進める。長期海底微小地震観測を継続して実施して、宮城県沖、釧路・根室沖の海域における応力状態の推定精度の向上を図る。また、従来の人工地震探査データの解析から東北日本および西南日本のプレート境界面近傍の S 波速度構造の推定を試みる。

平成 23～25 年度には、平成 22 年度までの観測研究を継続して実施し、プレート間滑り分布と、地下構造不均質ならびにプレート内応力場の空間変化との対応を明らかにし、固着域の推定精度の向上を図る。また、プレート境界面における多様な滑りイベントの震源位置の高精度推定を進め、上記の結果とあわせることにより、プレート間滑り特性を支配する要因の特定を目指す。

( 7 ) 計画期間中(平成 21 年度～25 年度)の成果の概要：

1 ) 地震波速度構造とプレート間固着状態との対応関係

・東北日本 - 千島弧会合部のプレート境界上盤側は、深さ約 60 km に至るまで  $V_p$  が 7 km/s 程度の低速度物質で占められており、隣接する 2003 年あるいは 1968 年の十勝沖地震の震源域の上盤側が、ほぼ無水のかんらん岩で構成されたマントルと解釈される  $V_p$  が 8 km/s を超える物質で占められているのと明瞭な対比がみられる。島弧会合部にみられるこの低速度物質を境界として、北海道側・東北日本側のそれぞれに存在する高速度領域が過去の M8 級の地震の破壊域の広がりと同じ一致を示すことから、プレート境界上盤側の不均質構造がプレート境界におけるカップリング強度に影響を与えていることが示唆される(平成 21 年度)。

・宮城県沖地震の震源域においては、プレート境界上盤側の高  $V_p/V_s$  領域と宮城県沖地震アスペリティとの空間的な相補性が明瞭に示された。この領域は、2011 年東北地方太平洋沖地震(以下、東北沖地震)でも破壊したが、その滑り量の変化もまた  $V_p/V_s$  構造と良い相関を示し、低  $V_p/V_s$  領域においてより大きな地震時滑りが発生している(平成 22, 23 年度)。

・東北沖地震の前震とその余震、ならびに本震の震源分布と、この地域の  $V_p$  構造とを比較すると、前震活動の中心がスラブ - 島弧地殻接触域に限られること、本震の破壊の開始点がプレート境界の上盤側の物質が島弧地殻からマントルウエッジに変化する地点におおむね一致することが明らかとなった。上盤側の P 波速度が極端に小さい、海溝軸から 30 km 程度の幅の領域では前震活動は見られないが、本震時に大きな滑りがあった。この領域では、本震発生後もプレート境界沿いの余震は発生していない(平成 23 年度)。

・陸上観測網で観測される P・S 波の他、depth phase の一種である sP 波の走時をあわせたトモグラフィ解析により、東北沖地震の震源域周辺では、明瞭な南北方向の構造不均質があることが示された。同地震による地震時滑りが大きかった宮城県沖を中心に高速度異常域が見られるのに対して、その南北の岩手県沖および福島県沖では低速度異常が卓越する(平成 23 年度)。

・日本海溝陸側の海溝軸ごく近傍で過去に実施した地震探査の結果を東北沖地震の地震時滑り分布と比較すると、海溝軸のすぐ内側のプレート境界上盤側に分布する低  $V_p$  プリズムの downdip 方向の幅が狭い領域の南北方向の広がり、東北沖地震時の大滑りの南北方向の広がりと同じ一致を示すことが明らかとなった(平成 25 年度、図 1)。

・1944 年東南海地震の震源域直上の付加帯深部の詳細な地震波速度構造を、海底掘削孔を用いた地震探査(VSP)により明らかにした。P 波速度の異方性からトラフ軸に直交する方向に最大水平主応力軸があること、同じ南海トラフ沿いの足摺沖領域と比べて  $V_p/V_s$  が顕著に小さいことが明らかになった。また、この領域での海底下深部の  $Q_p$  の推定に初めて成功し、造構性浸食が卓越する中米コスタリカ沖の前弧域に比べて顕著に地震波減衰が少ないことが示された(平成 22～25 年度)。

2 ) プレート境界面における滑りイベントの空間分布

・房総三重会合点周辺では、太平洋プレート上面で発生する低角断層型地震の滑り方向の違いから上盤側が北米プレートである領域とフィリピン海プレートである領域を区別することにより、南側から沈み込むフィリピン海プレートの先端の位置が推定できる。太平洋プレート上面で発生する小繰り返し地震活動の解析から推定したカップリング率は、このフィリピン海プレートの先端を境にして顕著に変化することから、プレート境界上盤側のプレートの違いが、プレート境界における固着状態に影響を及ぼすことが示された(平成 22 年度)。

・GPS 観測から得られる変位速度場の空間勾配に基づいて、東北日本におけるプレート間カップリングの空間変化の推定を試みた。変位速度の空間勾配は、プレート境界における固着状態に強く依存す

ることから、インバージョン解析に抛らずに測地観測からプレート間固着状態の時空間変化を推定する有効な指標となる。2002年以前の5年間では、過去にM8程度の大地震が発生した領域において海陸プレートが強く固着していることが示された。2003年十勝沖地震後には、プレート境界深部での固着が消失したために、北海道での変位速度勾配に変化が検出された(平成22年度)。

・小繰り返し地震の積算滑りから、東北沖地震前の地域・深さによる非地震性滑りの特徴の抽出を試みた。その結果、海溝近傍に大滑り域が存在し、陸に近い場所でも、比較的地震時滑りが大きかった東北日本前弧域中部では、プレート境界の深い場所(50-60km付近)まで滑りレートが小さいのに対し、その南北に隣接する領域では、深さ35km付近から深さとともに滑りレートが大きくなる傾向が見られた。滑りレートが深さとともに増大する範囲は、スラブ-マントルウェッジ接触域に相当する(平成24年度)。

・メカニズム解が既知の地震の波形記録をテンプレートとし、その波形の相似性から多くの地震の発震機構解のタイプを分類することを試みた。その結果、発震機構解が未決定だった多くの地震の分類ができるようになった。東北沖地震前のプレート境界型地震の分布密度を調べると、過去のM7クラスの地震や、東北沖地震の主滑り域では、プレート境界地震の発生密度が小さい傾向があり、プレート境界の小地震活動からプレート境界での固着域が推定できる可能性を示唆する(平成25年度、図2)。

### 3) 宮城県沖における応力場

・2005年宮城県沖地震の発生後にその震源域の周囲で発生した中小地震の発震機構解から、応力場の推定を行った。推定された最大主応力軸の方向は、太平洋プレートの沈み込む方向とほぼ平行で、陸側にわずかに傾斜する。この領域でのプレート境界面の傾斜角はスラブ-島弧地殻接触域と、スラブ-マントルウェッジ接触域とで顕著に異なるため、両地域の間で、最大主応力軸とプレート境界面がなす角度が異なる(平成22年度)。

### 4) プレート間滑り特性を支配する要因の特定

・千島海溝~日本海溝の沿いのプレート境界型地震の発生域における地震波速度構造の解明から、様々なスケールでの地震波速度の空間変化がプレート境界における固着-滑り特性の空間変化と相関を持つことが明らかとなった。

・マントルウェッジの $V_p/V_s$ の変化の原因は、マントルウェッジの含水化の程度が空間変化していることによると考えられ、 $V_p/V_s$ が高く含水率が高い地域では、その直下でのプレート境界における地震性滑りが抑制されている可能性がある。

・プレート境界地震発生域直上のマントルウェッジは陸域下のマントルと比べ高速であり、東北日本弧の海岸線付近に明瞭な速度急変帯が存在する。この急変帯は、マントルウェッジ内の二次対流の海溝側前線に対応し、それより海側のマントルは対流に関与しないために低温が保たれていると解釈される。さらに、二次対流が及ばないことが、上記のような含水率の空間的不均質が保存されやすい環境要因である可能性がある。

・東北沖地震の際に大きく滑った海溝軸近傍のプレート境界で、本震の前後ともに小地震の活動が見られないことは、そこで自発的な震源核形成が起こらないことを示唆する。

・東北沖地震の地震時滑りが大きかった領域が低速度プリズムの幅が小さい範囲に限定されることは、低速度プリズムに覆われたプレート境界では断層破壊の伝播が抑制されることを示唆する。地震時滑りが発生していることから、破壊面の拡大が抑制されるのは、この領域の断層面が滑り(速度)強化を示すからではなく、破壊エネルギーが大きいためと推測される。

## (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)：

東龍介・日野亮太・伊藤喜宏・望月公廣・高波鐵夫・篠原雅尚・村井芳夫・佐藤利典・植平賢司・金沢敏彦、陸側プレート前縁部構造不均質と海溝近傍の地震時すべり量の関係性、日本地震学会2013年秋季大会、横浜、神奈川県民ホール・産業貿易センター、2013年10月

Azuma, R., R. Hino, Y. Ito, K. Mochizuki, T. Takanami, M. Shinohara, Y. Murai, T. Sato, K. Uehira, T. Kanazawa, Heterogeneity of frontal structure of overriding plate controls co-seismic megathrust slip

distribution in trench axial zone, Japan Trench and other subduction zones, AGU 2013 Fall Meeting, San Francisco, Moscone Center, December 2013.

中村航・内田直希・松澤暢, テンプレートイベントを用いた小地震の断層タイプの推定～東北地方太平洋沖で発生する地震への適用～, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 千葉, 幕張メッセ, 2013 年 5 月.

中村航・内田直希・松澤暢, テンプレートイベントを用いた日本海溝・千島海溝沿いの小地震の断層タイプの分類と震源再決定, 日本地震学会 2013 年秋季大会, 横浜, 神奈川県民ホール, 2013 年 10 月.

Nakamura, W., N. Uchida, and T. Matsuzawa, Faulting type classification of small earthquakes using a template approach and their hypocenter relocation along the Japan and Kuril trenches, AGU 2013 Fall Meeting, San Francisco, Moscone Center, December, 2013.

Uchida, N., and T. Matsuzawa, Pre- and post-seismic slow slip surrounding the 2011 Tohoku-oki earthquake rupture, Earth Planet. Sci. Lett., 374, 81-91, doi:10.1016/j.epsl.2013.05.021, 2013.

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

日野亮太・藤本博巳・三浦哲・松澤暢・伊藤喜宏・内田直希・太田雄策他

他機関との共同研究の有無 : 有

北大理 ( 村井芳夫 , 3 名程度 ) , 東大震研 ( 篠原雅尚 , 5 名程度 ) , 千葉大理 ( 佐藤利典 , 2 名程度 ) ・  
九大理 ( 植平賢司 , 3 名程度 ) ・海洋研究開発機構 ( 小平秀一 , 5 名程度 )

( 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 : 東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

電話 : 022-225-1950

e-mail : zisin-yoti@aob.gp.tohoku.ac.jp

URL : <http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/>

( 11 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 日野亮太

所属 : 東北大学大学院理学研究科

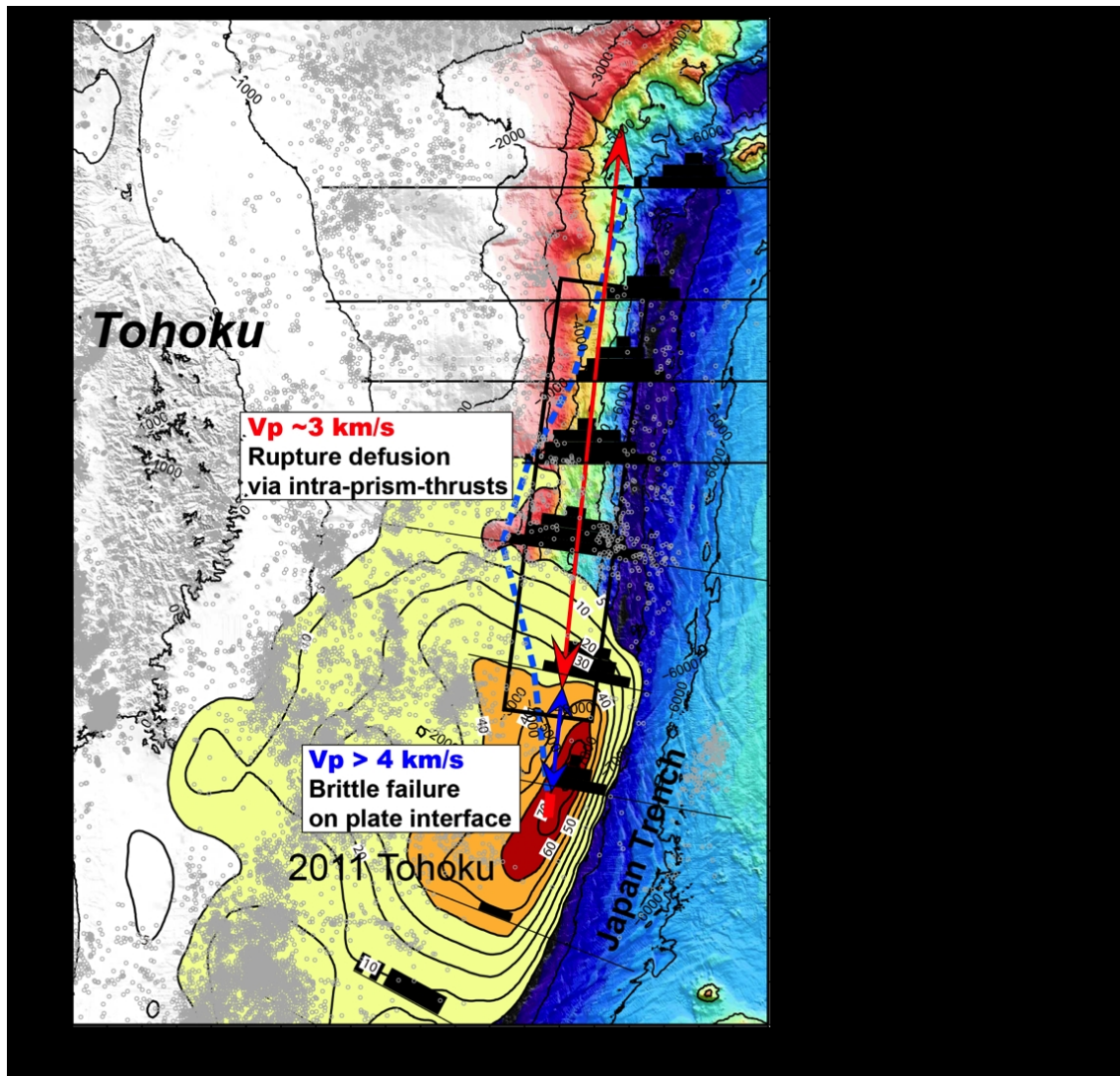


図1. 上盤側プレート内の  $V_p$  と低速度プリズムの分布および 2011 年東北沖地震時滑り量分布  
 低速度プリズムの分布は Tsuru et al. (2002) , 2011 年東北沖地震時滑り量分布は Iinuma et al. ( 2012 ) による .  
 灰色のプロットは 2002 年 6 月から 2008 年 8 月かけて発生した深さ 30 km 以浅の震央分布 ( 気象庁一元化震源 ) .

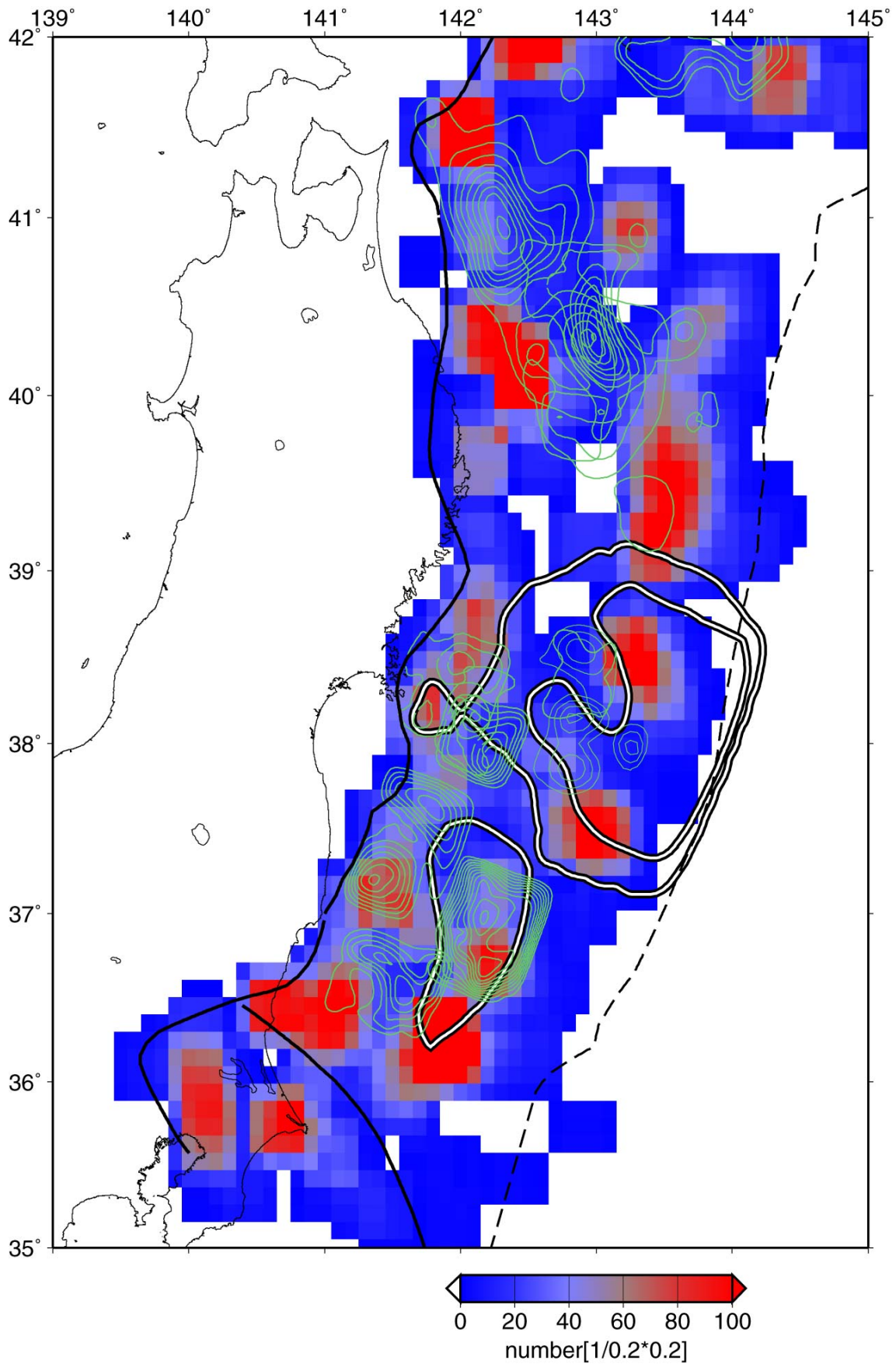


図2. 2000年1月～2011年3月11日14時45分までにおけるプレート境界地震密度  
 密度の単位は(個/ $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ )。コンターは1930年以降のM7以上の地震の滑り分布を表す(永井・他, 2001; Yamanaka and Kikuchi, 2003; 2004; Inuma et al., 2012)。東北地方沿岸の黒線はプレート境界地震発生域の西縁(Igarashi et al., 2001)、関東地方の沖合の黒線はフィリピン海プレートの北東限(Uchida et al., 2009)。