12－14　第188回地震予知連絡会重点検討課題「プレート境界すべり現象に関する今後のモニタリング戦略」概要
Summary of the special discussion for strategy of monitoring for interplate slipping phenomena

東京大学地震研究所　小原一成
Kazushige Obara, Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

１．はじめに

プレート境界では，アスペリティにおける地震性の高速すべりと非地震性の準静的すべりの２種類のすべり現象だけでなく，その中間的性質を有するスロー地震が発生する．スロー地震には，異なる特徴的時間を有する複数のすべり現象が含まれており，プレート境界における摩擦パラメータなどの違いを反映していると考えられる．このようなプレート境界における多様なすべり現象を数値シミュレーションで再現できれば，プレート境界の摩擦パラメータなどの情報を得ることが可能になるとともに，シミュレーションによって大地震発生前にプレート境界すべり現象の変化が予測される場合には，これらの現象を的確にモニタリングすることが，地震発生予測の精度向上において大変重要である．そのためには，これらの現象を把握するための観測・データ処理を含めたモニタリング手法をさらに高度化する必要である．同時に，これらの現象が発生している背景としての地下構造を理解することは，的確なモニタリングおよびシミュレーションにおいても重要であるとともに，地下構造の変化そのものも常時モニタリングすべき重要な項目である．

これまで，プレート境界すべり現象に関しては，モニタリングの現状と検出されている現象の特徴，シミュレーションによる現象の再現と限界，モニタリング検出能力に関する内容を中心に計３回，重要検討課題として取り上げ，情報交換や議論を行ってきた．今回は，一連の議論の最終回として，予知連に与えられた「モニタリング結果を中心とした情報交換を行い，モニタリング手法の高度化を検討する場」として役割を果たすべく，今後のモニタリング手法高度化に向けた議論を行った．

２．議論の概要

今回の議論については，以下の３項目を目標とした．

１）モニタリング最新結果に基づき，プレート間すべり現象に関する最新の知見を理解し，今後のモニタリングやシミュレーション高度化に対する方向性を得る．

２）プレート間すべり現象と現象発生の場としての地下構造との関わり合いを理解する．

３）プレート間すべり現象および地下構造の時間変化に関するモニタリングの現状と今後の高度化に向けた戦略について議論する．

そのため，上記目標に従って以下に示す３部構成で議論を進めた．

・第１部では，深部低周波微動に関する最新の知見を報告する．
・第２部では，現象発生の背景としての地下構造に関する最新の研究結果を取り上げる．
・第３部では，今後のモニタリング手法高度化への取り組みについて議論する．

２－１．深部低周波微動に関する最新の知見

プレート境界すべり現象として最深部で捉えられる深部低周波微動源の推定には従来よりエンベロープ相関法が用いられてきたが，最近，二つのアプローチにより手法改良がなされ，微動活動に関する新たな特徴が明らかになった.

２－１－１．深部低周波微動の深さ依存性

東京大学地震研究所の小原より，エンベロープ相関に振幅情報を加えて決定された微動源に対してさらに１時間単位でクラスタリング処理を行い，重心位置を求めるという手法に基づく結果について報告があり，四国西部や紀伊半島北部では，微動源が浅部側と深部側の２列に集中すること，微動活動は明瞭な深さ依存性を有し，浅部に比べ深部側では短時間で終了する小規模な活動が集中し，再来間隔も短くなることが示された．このことは，狭い微動発生領域の中でも，深さとともにプレート境界の固着の強度が変化することを示している.

２－１－２．深部微動の線状構造・継続時間・移動様式・潮汐応答

東京大学の井出哲氏から，エンベロープ相関に含まれる outlier の影響を軽減するロバスト推定法に基づき，背弧側に向かって深くなるプレート境界と調和的な分布が得られたことが報告された．また，継続時間は場所により顕著に異なり，この違いが移動様式の違いをもたらし，微動域の周縁部に継続時間の短い微動がほとんど移動せず散発的に同じ場所で発生し，潮汐による応力変化にコントロールされていることが示された．微動分布には幾筋かの線状構造がみられ，過去に沈み込んだ海山の軌跡を示していると考えられる.

２－２．プレート境界滑り現象に関わるプレート境界付近の地下構造に関する最新の研究

プレート境界の浅部から深部に発生するすべり現象と地下構造，特に地震学的構造と電磁気学的構造との関わり合いについて，以下の４つのレクチャーが行われた.

２－２－１．茨城県沖におけるアスペリティと地下構造

東京大学地震研究所の望月公廣氏に，プレート形状と大地震のアスペリティとの関係について解説していただいた．海域における自然地震観測および反射法等の構造探査に基づき，茨城県沖では沈み込んだ海山そのものがアスペリティになるのではなく，M7 地震の震源域が海山よりプレート境界深部側に広がること，同様の関係は南米沖でも見られ，また三陸沖でもプレート境界形状が震源域がアスペリティ領域を規定することが示された.

２－２－２．房総沖 SSE と底付作用

防災科学技術研究所の木村尚紀氏に，房総沖におけるプレート境界すべり現象とプレート境界付近の構造・地学的解釈について解説していただいた．海域における反射法地震探査，自然地震による変換波解析及び相似地震解析に基づき，沈み込みフィリピン海プレートの最上部に低速度層が存在し，相似地震がその低速度層の下面で発生していることから，その場所ではプレート最上部が剥がれる底付作用が生じており，SSE はプレート境界が遷移する領域に対応することが示された.

２－２－３．東海における長期的 SSE・微動と地下構造

東京大学地震研究所の加藤愛太郎氏に，東海地域下のプレート形状・構造と SSE との関係につ

いて解説していただいた．稠密に展開された機動的地震観測に基づき，深部低周波微動（地震）がプレート境界で発生していること，沈み込む海洋地殻内では地震波速度が小さいとともに Vp/Vs が大きく，特に長期的 SSE が発生する直下では間隙圧が非常に高く，微動域ではやや小さくなることが示された．

２－２－４．プレート境界における電磁気学的地下構造探査

京都大学の後藤忠徳氏に，海溝付近から深部低周波微動域までの比抵抗構造について解説していただいた．海溝付近の分岐断層とプレート境界に挟まれた付加プリズムでは低比抵抗であるが，深さ 10km 以深のアスペリティ付近では高比抵抗となり，さらに深部の微動発生域付近ではその上方も含めて低比抵抗となることが示された．

２－３．今後のプレート境界滑り現象に関するモニタリングの取り組み

各機関で実施，あるいは検討されているモニタリング手法高度化への取り組みについて報告された．

２－３－１．気象庁気象研究所・名古屋大学

アクロスによるプレート境界状態変化検出の試みについて報告があった．現在の定常観測網で観測された記録を用いてアクロス装置から送信された信号を分離可能であり，さらに稠密な観測網を展開すればプレート境界反射波などの位相同定が可能となること，また，低周波微動の活動時期とプレート境界面からの反射波強度に対応関係が見られる可能性のあることが示された．

２－３－２．気象庁気象研究所

歪計による短期的 SSE の検知能力について報告があった．歪変化の検出限界は 5 nstrain 程度であり，さらに降水による影響が無い期間に，低周波地震が発生し，複数観測点で同期的変化が観測されることが短期的 SSE 検出に必須である，また，短期的 SSE の検出限界の規模は Mw5 前半であることが示された．

２－３－３．国土地理院

現在の GPS 観測点で，短期的 SSE が検出可能であるかどうかについて報告があった．F3 解による座標時系列に空間フィルターを適用し，ステップの有無でそれぞれ直線近似し AIC を比較した結果，微動発生時期に対応して，これまで知られている短期的 SSE に特徴的な変位パターンが認められ，GEONET でも短期的 SSE を検出できる可能性があることが示された．

２－３－４．防災科学技術研究所

Hi-net 高感度加速度計による傾斜データに基づく短期的 SSE の自動検出について，微動活動を参照せずに傾斜データのみから SSE の客観的な継続時間が推定でき，微動活動との比較が可能となり，今後，産総研ひずみ計データとの併合処理により，解析精度の向上が見込まれるとの報告があった．また，波形相関解析を用いた Hi-net 以前の超低周波地震検出の可能性，及び微動現象の正確な把握のためのアレイ観測の計画が報告された．

２－３－５．産業技術総合研究所

西南日本に整備された地下水等総合観測網の歪計データにより，短期的 SSE 検知能力が向上するとともに，防災科研 Hi-net による傾斜データを併合処理することにより，広範囲に検知能力が高まることが示された．また，鉛直地震計アレイを用いることによって，深部低周波微動の検知能力がエンベロープ相関法に比べ 10 倍程度向上すること，S 波振動方向解析によりメカニズム解が推定可能であることが示された．

３．まとめ

プレート境界には様々なすべり特性を有する現象が存在し，それらがプレート境界の形状や地震波速度，あるいは電磁気学的構造と密接な関係を有していることが分かった．プレート境界型の大地震が発生するアスペリティは，その海溝側の沈み込む海山とは棲み分けており，電磁気的探査でも，アスペリティより海溝側の付加体付近では比抵抗が小さく，いずれの結果も，アスペリティとその海溝側とでは水の分布が異なることを示している．さらに，固着域深部のプレート境界では SSE や深部低周波微動が発生しているが，房総沖ではプレート境界付近で底付作用が生じる遷移領域，西南日本の微動発生域では低比抵抗でかつ高 Vp/Vs の領域に対応し，やはり水の存在がこれらの現象に関係していることが考えられる．東海地域では長期的 SSE と微動が隣接し，下盤の海洋地殻内の間隙流体圧や上盤の構造の違いが影響する可能性がある．微動の活動様式はその発生域の中で必ずしも一様ではなく，深さとともに再来間隔が短くなること，及び活動域の中心部と周辺部では，継続時間や移動様式が異なることなどが明らかにされ，微動の線状配列は過去に沈み込んだ海山によることが示唆された．これらの結果は，微動発生様式とプレート境界付近の流体分布を含む不均質性の関連性を示すものであり，様々な構造探査によってイメージングされる可能性がある．

以上のプレート境界付近の構造の空間的変化のみならず，時間変化についても，アクロスのような能動的モニタリングによって検出される可能性があることが示され，今後の多点展開や精度向上への取り組みが期待される．また，微動活動に伴う短期的スロースリップイベントのモニタリングに関しては，地殻変動としての規模が小さいためこれまで国土地理院の GPS 観測網では検出できないとされていたが，F3 解に基づいた新しい解析手法により，検出可能性が初めて示された．さらに，従来からの気象庁ひずみ計，防災科研 Hi-net 高感度加速度計に，産総研地下水等総合観測網のひずみ計が加わり，既存データとの併合処理により短期的 SSE の検知能力の向上が期待されることが示された．また，鉛直アレイや水平稠密アレイは微動検出・震源決定に有効であるとともに，超低周波地震検出のための手法開発など，プレート間すべり現象のモニタリング精度向上に向けた取り組みが積極的に推進されており，今後さらに地下構造探査等によって得られる詳細な情報を加え，プレート境界で発生する現象のメカニズムがより明らかになるものと期待される．