

(1) 平成26年度終了特別研究課題 終了時評価【審議】

ひずみ集中帯の地殻変動特性に関する研究

○委員長 それでは、議事に移らせていただきます。

まず議題(1)のひずみ集中帯の地殻変動特性に関する研究について、地理院から説明をいただき、その後で分科会から評価をいただいて、その後委員の方々から意見をいただきたいと思います。では、地理院からよろしくをお願いします。

○発表者 本日はよろしくお願ひいたします。

では、資料1-3のパワーポイントの資料に沿って説明させていただきたいと思います。

まず、本日評価を受けます研究課題はひずみ集中帯の地殻変動特性に関する研究で、スライド2をごらんください。

研究期間は平成22年4月から本年度3月までの5年間で実施しております。予算規模としましては5年間の総額で4500万ほどになっております。

スライド3、まず研究背景に関して簡単に説明させていただきます。

皆さん、御存じのとおり、我が国は地震の多発地域に位置しております。中でも内陸地震は震源域近傍で甚大な被害を伴いますけれども、その発生メカニズムは十分理解されていないという背景があります。一方で、国土地理院を初めとしてGNSS連続観測網が整備されて、日本列島の地殻変動は瞬時に明らかになるようになってきました。その中で、日本列島の変形が一様ではなくて、変形速度が大きいひずみ集中帯と呼ばれる変動帯が存在することが提唱されてきました。その中でも新潟から神戸にかけてひずみが集中する場所は新潟-神戸ひずみ集中帯と呼ばれていまして、周りに比べて変形速度が大きいのは一緒ですけれども、近年ですと、2004年新潟県中越地震ですとか、2007年新潟中越沖地震等の内陸地震の多発地域と一致しておりまして、内陸地震の発生とひずみ集中帯の関連性が指摘されてきております。

ひずみ集中帯に関する観測は本研究が初めてではなくて、真ん中に書いていますとおり、新潟-神戸集中帯に位置する、古くは糸魚川-静岡構造線で平成14年度から平成21年度まで、また、大学のひずみ集中帯の観測プロジェクトとして、新潟県南西部において平成20年度から24年度まで観測が行われていました。本研究は平成22年度から26年度まで、新潟-神戸ひずみ集中帯の内陸域では一番北側に位置する新潟県中部において観測を実施してきました。

もうちょっと背景を言いますと、内陸地震の発生メカニズムを理解して、将来の発生予測につなげていくためには、ひずみ集中帯において重点的な観測や研究が必要だと考えられています。既存の観測網では、断層への応力集中過程を解明するために必要なひずみ集中帯内部の詳細地殻変動分布の空間密度が不足ということを受けまして、稠密な地殻変動観測とデータに基づく変形機構の解明が待たれている状況にありました。

続いてスライド4になります。そのような背景を受けまして、本研究の目的は、ひずみ集中帯における活断層の長期評価及び内陸地震の長期予測の高度化に貢献することを目的としました。その中で目標として、ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生メカニズムの理解に資するため、1番目として、ひずみ集中帯内部の詳細地殻変動分布、ここでは新潟県中部の解明と、2番目として、地殻変動の特徴的なパターンを生み出す地下の変形過程の解明を目標と挙げました。

これは当初の目標、目的だったのですけれども、平成23年3月11日に東北地方太平洋沖地震という巨大地震の発生を受けまして、本研究もかなりの影響を受けるということで、平成23年度第2回研究評価委員会において、以下の2点に関して報告をさせていただきました。

報告内容としては、研究開発の修正事項として、1つ目は詳細地殻変動の分布の把握ということで、当初の研究を提案した時点では、観測される地殻変動は短縮変形だったのですが、東北沖地震の発生を受けて伸張変形が卓越し、短縮変形を観測することが難しくなったということがあり、短縮から伸張変形、伸張変形の詳細分布を明らかにすることに修正いたしました。

2番目として変形過程のモデリングです。定常的な地殻変動としての短縮変形を観測することが難しくなったのですけれども、東北沖地震以前に得られていた地殻変動からモデル化をすることに加えて、もう1つ、巨大地震が発生しましたので、その地震の地殻変動分布を再現するようなモデリングを追加することに修正いたしました。

スライド5、研究開発の内容ですけれども、大きく2つのことを行いました。1つ目は稠密地殻変動観測による詳細地殻変動の解明で、1番目、GNSS繰り返し観測、2番目、SAR干渉解析、3番目、水準測量データ解析の3つを行いました。大きく2つ目は地殻変形過程のモデリングで、1つ目は短縮変形のモデル化、2つ目は地殻構造の不均質性の影響評価の2つを行いました。

スライド6、成果の概要です。研究開発の内容は、地殻変動の解明と地殻変形過程のモ

デリングと大きく2つに分けて概要を説明します。

まず詳細地殻変動の解明です。当初申し上げたとおり、東北沖地震の影響はかなり大きくて、成果の解明に関しても、東北沖地震発生前、東北沖地震発生時、東北沖地震発生後の3つのパターンを比較したいと思います。

スライド7ですけれども、まず東北沖地震発生前です。東北沖地震発生前、新潟県中部で観測される地殻変動の特徴は、1つは短縮ひずみ、もう1つは沈降が進行しているというものです。図7-1はGNSS観測による成果ですけれども、そこから短縮ひずみと沈降が進行していることが言えます。2つ目として、図7-1はGNSS観測ですけれども、右側の図7-2はSAR干渉解析による上下変動場、図7-3は水準測量データ解析による上下変動場です。水準測量、SAR干渉解析に加えまして、GNSS観測と3つの観測手法から沈降を検出しまして、最低でも20年間は継続することがわかりました。

もう1点、図7-1、GNSS観測からわかったこととしまして、太平洋側、図の右側のほうでは、短縮ひずみの減少もしくは伸張に転ずる変化を検出したのですけれども、図の真ん中あたり、越後平野内では短縮ひずみに変化がないことから、太平洋プレートのプレート間固着の変化の影響を内陸の越後平野周辺では受けていないことがわかりました。

続きましてスライド8ですけれども、今度は東北沖地震発生時の変動です。東北沖地震発生時の変動としましては、伸張ひずみと隆起という特徴があります。越後平野周辺では5ppmを超える伸張ひずみが検出されました。また、この中からわかった重要なこととしましては、観測された伸張ひずみは、均質媒質を仮定して計算される伸張ひずみよりも越後平野周辺は大きいことがわかりました。

スライド9に行きまして、東北沖地震発生後になるのですが、発生後の特徴としましては、伸張ひずみと沈降が挙げられます。伸張ひずみは、東北沖地震の余効変動によって伸張ひずみが卓越していると考えられるのですけれども、1点重要な成果としては、越後平野周辺での伸張ひずみは、周りの伸張ひずみよりも若干小さい点、もう1点、顕著な沈降が見られる点がわかりました。

スライド10、以上、地殻変動（新潟県中部）のまとめとしまして、地震発生前、発生時、発生後とありますけれども、繰り返しになりますが、発生前は、越後平野周辺では、周辺に比べて短縮が大きい、そして沈降が見られる、東北沖地震発生時は、周囲に比べて伸張が大きい、そして隆起が見られる、最後に東北沖地震後は、周囲に比べて伸張が小さい、そして沈降が見られるという特徴が得られました。

これらの観測から示唆される解釈と示唆される変形過程は、まず地震発生前ですけれども、ここで得られた重要な成果としましては、越後平野周辺のひずみ速度は、太平洋プレートのプレート間の変化の影響を受けていないことが示唆されまして、これはひずみ集中帯の成因は、外力による弾性変形ではなく非弾性変形を示唆することが得られました。これらは、次に述べます短縮変形のモデル化に一部成功しております。

2つ目は東北沖地震発生時です。東北沖地震の弾性変形に加えて、越後平野周辺の不均質構造を仮定することで、周りよりも伸張が大きいのをあらわすことに成功しております。

3つ目、東北沖地震後です。東北沖地震の余効変動によって広域的には伸張場が広がっているのですが、越後平野周辺だけなぜひずみの伸張が小さいかは、東北沖地震発生前に進行していた短縮変形が、東北沖地震が発生してもそのまま継続しているということで、つまり、伸びに加えて短縮が進行していると考え、周りよりもひずみの伸張が小さいと考えることができるかと思えます。

スライド11になりますけれども、成果の2番目で短縮変形のモデル化です。Model 1とModel 2とありますけれども、ここでわかったことは、断層の深部形状、Model 1とModel 2で断層の深部の形状が違うのですが、深部形状というのは、地表の地殻変動に影響があること、また、ひずみ集中帯の特徴的な変動である短縮のみを再現する場合には、さまざまなモデルで再現可能であること、最後、沈降を再現するには、弾性媒質だけではなくて、粘弾性媒質を考慮しなければいけないことがわかりました。

次にスライド12になりますけれども、短縮変形のモデル化でもう1つ行っております。初めにひずみ集中帯と内陸地震の発生に関係があるかもしれないということで、つまり、ひずみ集中帯の周辺では、過去に内陸地震が発生しているのですけれども、ここで考えたのは、過去に発生した内陸大地震の粘弾性変形によるひずみが今のひずみ場に効いているのではないかということで、その可能性を探るために数値計算を行いました。検討した地震は、越後平野周辺で発生した、右側に書いてあります4つの地震です。結論から言えば、左側は観測値ですけれども、ひずみ集中帯におけるひずみ速度は0.1~0.2ppm/yrですが、過去の内陸大地震の粘性緩和による変形のひずみ速度は、大きくても0.1 ppm/yrにも満たない計算結果が得られまして、過去の大地震の粘弾性変形がひずみ集中帯の主成因と考えることは難しいことがわかりました。

成果の最後、スライド13になります。東北沖地震時の地殻変動のモデル計算で、地殻構造の不均質構造を考慮することで、越後平野周辺で地震時の東西ひずみ分布において、周

辺部より2倍程度大きくなりまして、観測データの特徴を再現することに成功しました。

以上が成果の概要になりますけれども、スライド14は当初目標の達成度です。今概要で述べましたとおり、ひずみ集中帯の詳細地殻変動分布及び地殻変動の特徴的パターンを生み出す地下の変形過程の解明、いずれに関しても目標を達成したと考えております。

スライド15に移りまして、成果活用の見込みです。本研究で得られた重要な知見は2点ありまして、内陸の越後平野周辺のひずみ速度は、太平洋プレートのプレート間固着の変化の影響を受けていないこと、もう1点、東北沖地震後、余効変動が卓越しているのですが、越後平野周辺では、その外力に惑わされることなく、短縮変形が進行している可能性を見出しました。これら2つの知見は、本研究で行った新潟県中部、越後平野周辺だけではなくて、新潟-神戸ひずみ集中帯に属するほかの地域、例えば新潟県南西部ですとか長野県周辺、また、奥羽脊梁のひずみ集中帯での地殻変動の解釈や変形過程の解釈にも1つの補助になるかと思っております。それらの他地域との比較を通して、ひずみ集中帯の変形過程の解明、また、内陸へのひずみ蓄積過程の解明に応用しまして、これらの成果は内陸地震発生の長期予測の高度化、活断層の長期予測の高度化へつながっていくものと考えております。

スライド16ですけれども、達成度の分析です。有効性の観点からの分析ですけれども、観測から得られた新たな知見や、また、その観測を説明する解釈、モデルの提示をすることによって、これらはひずみ集中帯の変形機構及び内陸へのひずみ蓄積過程の解明をする上で有効な成果であったと考えております。

次に、効率性の観点からの分析です。東北沖地震を受けて、研究開発方法の的確な修正、また観測においては、院内関係部署との連携・協力をすることによって、効率的に研究が実施できたと考えております。

最後、スライド17、残された新たな研究開発の方向性です。1つ目は東北沖地震の余効変動に関してです。地震発生前の定常的な地殻変動速度を1桁以上上回る速度で、逆向きですけれども、進行しております。今後、この東西伸張の変形がどのように推移するのか、将来的に地震発生前の東西圧縮の変形に戻るのか、このような疑問の回答を得るために、観測を継続することによって、これまでに例のない変形過程がより詳細に明らかになることが期待されます。

2つ目として、先ほど成果の活用のところで述べましたけれども、新潟-神戸ひずみ集中帯に属する地域は、越後平野周辺だけでなく、東北沖地震の余効変動の影響が及んでい

る地域として、新潟県南西部ですとか長野県周辺、また、新潟―神戸ひずみ集中帯とは別のひずみ集中帯と考えられている奥羽脊梁のひずみ集中帯の地殻変動分布の挙動との比較が重要だと思っております。

最後に、それらいろいろな地域の地殻変動分布がわかったら、その変形過程のモデル化をすることで、新たな知見が得られることも期待されると考えております。

説明は以上になります。

○委員長 どうもありがとうございました。

それでは、分科会の意見を伺いたいと思います。お願いします。

○委員 資料1－4をごらんください。

成果の概要につきましては、国土地理院から今説明があったとおりですけれども、概略申しますと、越後平野周辺部においては、東北地方太平洋沖地震以前は、東西方向に短縮ひずみが生じておりましたが、この地域は、東北地方太平洋沖地震発生の際には大きな伸びのひずみが発生しました。また、地震後の余効変動では、周りは伸びているのだけれども、その伸びが小さいことがわかりました。また、この地域では、地震のときはちょっと隆起しましたけれども、沈降がずっと続いていることもわかりました。こういうようなことが今回の研究でわかったということです。

さらに、これらの変動、それぞれのモデルはつくられているのですが、全体的に統一的に説明するモデルはなかなか難しく、粘弾性媒質を考慮した不均質な地殻構造を考える必要があるということで、まだ完全に説明できるようなモデル作成までには至っていないということです。

当初目標の達成度ですが、研究の途中で東北地方太平洋沖地震が発生し、異なった応力場におけるひずみ集中帯の詳細地殻変動の解明につきまして非常に興味深い結果が得られました。ただ、これは非常に複雑な結果が得られて、このパターンを全体統一的に説明するモデル作成は難しく、必ずしもそこは解明されたとは言えないと考えます。

成果公表状況は、査読付き論文が1本ですけれども、それは日本地震学会の論文賞を受賞している質の高い研究論文であります。そのほか学会発表とか院内の報告書では数多くなされております。

成果活用の見込みですが、今回は新潟のひずみ集中帯での観測及びそのモデル化ですけれども、これは日本全体の内陸部のひずみ蓄積、あるいは内陸地震発生の過程を考える上で非常に重要な成果ですので、今後のこういう内陸部の地震の長期予知などに活用が見込

まれます。

達成度の分析ですけれども、東北地方太平洋沖地震の発生によりまして、当初の予想とは異なった状況になりまして、観測結果も非常に異なった結果になった。だから、逆に非常に興味深い結果が得られた。新たな知見が得られました。

ただ、残された課題と新たな研究開発の方向としまして、観測結果としまして、今言いましたように、とても興味深いものが得られているのですけれども、ただ、それ全体をうまく説明するモデルはなかなか難しく、まだ成功しているとはちょっと言えない状況です。したがって、1つはモデルをつくるのをさらに頑張っていたきたいことと、もう1つ、東北地方太平洋沖地震発生から4年たちましたけれども、この後どういうふうに変形が変わっていくのかは非常に興味深いことなので、この研究が終わったからということ、ここで終わるのではなくて、観測をきちんと続けていただきたいということです。

総合評価としましては、特にデータに関しては非常にすばらしいデータが得られたと考えられますが、解釈がなかなか難しいということで、十分目標を達成できたとするにはちょっとまだきついかないということで、2にさせていただきました。今言ったとおりで、非常に興味深い結果が得られましたので、ぜひ観測を続けるとともに、モデル化に今後も努力していただきたいということです。

○委員長 どうもありがとうございました。

それでは、委員の方の意見あるいは質問を受けたいと思いますので、よろしくお願ひします。

○委員 当初想定した状況に比べて、大震災があったので、かなり違う結果が得られたということだと思います。私は大学時代、自動制御なんていうのをちょっとやっていたのですが、通常システムの内部を分析するときには、外側から一種の強制的な力を加える。例えばインパルス応答であるとかステップ応答とか、そういった信号を与えて、それでデータを見ると、そのシステムの特徴が非常によくわかることを経験しているのですけれども、これはそういったモデルに相当するのではないかという気がします。ですから、ひずみ集中帯というある局所的なモデルに対して、大きなインパクトが加わったわけなので、そのときのダイナミックなデータを見ていくと、その状態はむしろよくわかることになったと思います。

そういう意味では、前にも粘弾性みたいなお話があったときに、弾性と粘性みたいなそういう組成変形と組み合わせると、モデルは複雑化するけれども、結果的に測定値と合

うようなモデルをつくり得るわけなので、そういったことを質問した覚えがあります。そういった観点では、そういうインパクトがあったおかげで、むしろモデルが解明しやすくなったのではないかという気がします。そういった観点で、かなり新しい知見があったと考えてよろしいのでしょうか。

○発表者 先生が今おっしゃられた、外部からの大きな力が加わることによって内部が見えるというのは、まさに東北沖地震でもそのとおりで、ただ、東北沖地震が発生した直後1年ぐらいは、多分研究者の皆さんもそうなると考えていました。今までよくわからなかったことが一気にわかるのではないかと思っていたのですけれども、今4年ぐらいたっています、2年、3年とたっていくうちに、ちょっと違った様子も見えてきたところです。

発生によって大きくわかった点、具体的に言いますと、スライド8の地震時という意味で、それは瞬間的な応答があったのですけれども、そこから1点わかったことは、東北沖地震で一番大きいというのは、今までになく変動が大きかったことです。例えば、観測の精度が今までと変わらないと考えると、変動のシグナルのほうが大きいので、ノイズレベルが変わらないとすると、今までに比べると、シグナルが大きい変動が得られたので、今まで見えなかった細かい変動も地震時において見えるようになりました。それが多分今まで地震のモデル化に際しては、均質媒質を仮定していて、それで問題なく説明できていたのですけれども、今回の東北沖地震に関しては、均質媒質でもある程度は説明できるのですが、細かいところを見ると、観測から考えて有意な違いが出るのです。そこで各地方の不均質を考えなければいけないということがわかりました。

それが1点で、それは地震時の瞬間的な応答ですけれども、東北沖地震発生後、今4年弱たっていますが、例えばスライド9の左側の図、(a)、(b)、(c)とありますが、(a)は地震発生直後から一番近い約1年で、その次が1年後から2年後、次が2年後から3年後となっており、その中でも時間変化が見られています。

1番目の(a)ですと、黒の丸で囲ったところと黒の点線で囲ったところがありますが、黒の丸のほうが伸張ひずみが大きくて、右側の点線のほうが若干小さいのですが、それが2年後、(b)のところになると逆転するのです。黒の丸のほうが伸張ひずみが小さくて、点線のほうがまだ大きい。3番目になると、その比は若干小さくなるのですけれども、左側の黒のほうがひずみ速度が小さくて、右側の点線のほうが大きいのです。つまり、(a)の期間は余効変動が大きく、余効変動によって新潟県のひずみが大きくなるのは数値計算で確かめているのですけれども、東北沖地震の余効変動だけを考えると、(a)、(b)、(c)とい



う時間変化は説明できなくて、余効変動によって大きく引き伸ばされているのですが、もともとひずみが集中していたところは、ひずみの集中を起こすメカニズムは、外力に作用されず、ずっと加わっているのではないかという考え方が新たに得られたと。

もう1点大事な点は、今回の東北沖地震の発生前からちょっとわかっていたことですが、ひずみ集中の成因は東西圧縮ですが、その東西圧縮がどこから来るかというのがよくわかっていなくて、太平洋プレートが東から沈み込んでいるものですから、その影響で東西に圧縮されてひずみが集中しているのではないかと考えていたのです。今回の東北沖地震の発生と、発生前からちょっとわかっていたことですが、それから考えると、太平洋プレートの押しといいますか、プレート間の固着の影響は、越後平野周辺のひずみの集中にほとんど影響を与えないことがわかりました。それが重要な点です。

○委員 ありがとうございます。ですから、従来ともまた違う結果が得られたのはまた新たな知見で、ですから、それを包含したモデルをつくっていくことが今後のゴールになっていくと思います。ですから、そういった意味では、地震の直後並びにさらに長期的に観測した結果、より具体的なモデル化ができるようになったと考えていいと思うので、そういったことを成果としても盛り込むほうが一般に聞く人にはわかりやすいのではないかという気がします。だから、そういったことをちょっとつけ加えたほうがよろしいのではないかなという気がします。

○委員 ありがとうございます。こういうふうな非常に高精度の観測があると、わからないことが質・量的に見えてくると非常におもしろいです。こういうふうなのは模型をつくって子供にでもすると、「本当に、いや、そういうことですよ」と、なるほどとなります。でも、逆に言うと、これはある種当たり前ということもあるんですね。こういうふうに太平洋プレートが押し込んでいて、これで最初は収縮して行って、一気に解放されるから伸びる、伸張になるという割と理屈のものですから。では、意外性は何なのということはさっきおっしゃったのですけれども、このデータだけでは意外性、あるいは不均質性はわからないと思うので、ほかのデータをつけ加えて、例えば重力とかそういうふうな観測データとあわせてやらないと、さらにこういうふうな不均質性まで解明することはできないと思います。

もう1つは、では、将来どうなるのだろう。これは時間タームでどう考えるのかということで、東北沖地震が1000年単位で起きてくるとすれば、では、次の将来のときに向かって、また同じこういう圧縮、伸縮をもう一度繰り返すのだろうと思います。では、その周

期は、長周期と短周期といろいろあると思うので、どこまで時間のモデル、シミュレーションできるのか、また大きな課題だと思うのですけれども、いかがでしょうか。

○発表者 数値シミュレーションで言えば、時間は関係なくて、コンピューター上でできます。数値シミュレーションの正しいか正しくないかの根拠は、観測がなければいけないこととして、観測を継続する意義は、多分皆さんお認めいただいているのですけれども、それをどれぐらい観測すればわかるかというのは、私どもにもわかりません。1つのキーとしては、今回、東北沖地震はM9クラスと言われているのですけれども、M9クラスの過去に知られている地震は、測地観測があるところでは、1960年のチリ地震と1964年のアラスカ地震というのがあります。その両地震とも地震発生から50年近くたっているのですけれども、50年たっても巨大地震の影響はまだ続いていて、それが観測として捉えられていて、さらにそれを説明するようなモデルの提示もされています。ですから、それはこのひずみ集中帯とはちょっと関係ないのですけれども、ただ、ひずみ集中帯の挙動を考えていく上では、東北沖地震の余効変動をきちんとモデル化して、その影響を差し引いた上で、ひずみ集中帯に何が残るかを見ていかなければいけないのかなと考えています。

○委員長 今のとか、あるいはさきの質問とちょっと関係するのですが、これを見て、ヒンジラインというのは御承知だと思います。四国の室戸岬が地震時にポーンと上がって、平常時には下がっている。それが私なんかの考えだと、地震の間隔100年ぐらいの間そういう形になる。それがこのひずみ集中帯のところで現象的には起こっています。今回わかっているのは水平移動があつたと。南海地震のときには、水準測量ですから上下変動しかわからなかったのです。当初私なんかだと、ヒンジラインはもっと太平洋側に起こっているのではないかと思っていたのだけれども、規模が大きいので、内陸側のところまでヒンジライン的な現象が起こっているのかなという感じがしたのです。このデータだと、断面が奥羽山脈ぐらいまでしかとられていませんが、もっとずっと太平洋沖というか、宮城のほうまでとったときにどういうふうな変動で、このところのヒンジライン的な性格がどういうふうに位置づけられるかは、どんなふうに考えているのかということ。

そういう意味では、先ほども指摘された、当たり前のことではないですか的なそういう感じを受けました。だから、それをどういうふうに位置づけるかによって、ああ、こんな大規模な動きがあったときには、こんな内陸までそういうような動きがあったとかという位置づけがあると、「ああ、新発見」みたいな感じがするのです。

○発表者 先生が今おっしゃったヒンジラインというのは、私の考えでは、地震が発生したときに、隆起するところと沈降するところがあらわれてくると思っています。その隆起と沈降の境目のことを我々ヒンジラインと呼んでいるかと思うのですけれども、先生のイメージもそれでよろしいでしょうか。

○委員長 これは有名で、室戸岬のところは、ふだん沈んでいるのだけれども、ちょうど高知からほとんど東西に延びる部分が沈降域になるのですが、今までの経験だと、南海地震しか観測時のところしかないですが、そのとききゅっと2メートル近く。その後100年ぐらい沈んでいても、結局、隆起部分が大きいので、地形としては隆起して海岸段丘がたくさんできます。ただ、それよりも内陸の四国山地との境目ぐらいには、地震時に沈降してしまって、地震の間には隆起するのだけれども、結果としては隆起量のほうが小さいので、そのところでヒンジラインという形で起こる。それは室戸岬からずっと静岡のところまで続いています。

それが私のヒンジラインですが、そういう意味で、このところもふだんの動きと地震時の動きがある意味で逆になっていますということですので、今後動きがもとに戻っていくだろうと考えられるのです。そのヒンジラインに相当する部分がもっと太平洋側にあると思っていたのだけれども、今回の観測で、新潟みたいにずっと内陸まで起こっているということでは、地震が大きかったので、その影響が内陸まであるのかなと。その場合に東北全体の断面を描いたときに、どんなふうにヒンジライン的な現象が起こっているかみたいなことが位置づけられていないから、この部分がどういうふうな性格のものなのか明瞭に出ていないということです。静岡の久能山のところであればヒンジラインと、地形学のほうではそういうふうな言い方をしているのです。久能山のところが、きゅっと太平洋側が隆起して、静岡市自身のほうが沈んでいますね。あれは地震のたびにこういうふうに動いている。

○発表者 太平洋側のほうの変動も見えますと、1点我々の常識というか、ちょっと勘違いというか、今回の地震によってちょっと違ったのは、今おっしゃったとおり、南海トラフのほうでは、地震間に高知の室戸岬ですとか御前崎が沈降していて、おっしゃるとおり、地震のときに隆起するのは有名で皆さんも御存じですけれども、東北に関してちょっと違うところです。地震間に沈降していて、地震時にもなぜか沈降するのです。

○委員長 この間のデータでね、海岸沿いが。だから、もう少し海側に隆起があるのかなと、それは観測できないからあれですが、そういう感じを持っていたのですが。

○発表者 そのとおりで、今は海底地殻変動というものがありまして、海底が隆起したのも観測で捉えられています。隆起と沈降の境目は、今回の東北沖地震ですと、地震間に牡鹿半島が沈降しているので、地震のときに隆起するだろうと考えていたのですけれども、今回の地震のときには、もっと海側のほうで隆起と沈降の境目があったことがわかっています。

○委員長 それは四国でも、襟裳岬のほうがちよっと異常な変な動きをするでしょう。室戸岬とは違う動きをするところです。だから、大ざっぱに言うと、東北の全体の断面図を描いたときに、ここの位置がどういうふうな位置づけで、あの大地震によってどのような動きをしたかという位置づけがないと、新発見だとか何とかということですが、その位置づけがはっきりしない。

今回よくわかったのは、水平移動は南海地震のころは捉えられていないから、多分南海地震のときも水平移動で室戸岬が太平洋側に行って、裏側のところが沈んでいる可能性があって、今はもう回復方向にいていますね。そのようなことと類似しているのではないかみたいな感じを受けているので、先ほど指摘があったように、何となく当たり前で、大規模だからここまで及んでいるのかなという感じを受けたということです。

もう1つ、ここのところは、これもよく承知だと思いますが、ユーラシアプレートと北米プレートの境目が通っていると言われていたところですが、それとの関係は一言も触れていないというか、説明がなかったのですけれども、どんな感じで受けとめていますか。

○発表者 先生がおっしゃったユーラシアプレートと北米プレートの境界という説はかなり前からありまして、最近ですと、ちょっとプレート名が変わってアムールプレートと北米プレートというのがあります。アムールプレートというのは、ユーラシアプレートから分離して東に動いているのではないかとされています。最近の研究では、アムールプレートと北米プレートのプレート境界が日本海東縁に通っているのではないかとするのは、学説としてかなり有力になってきております。ただ、それを観測によって直接捉えた報告はなく、グローバルなプレート運動モデルからそういうものが指摘されています。

あと、日本海東縁のプレート境界だと仮定して、収束速度はどれぐらいかと思積もられているかといいますと、太平洋プレートは西向きに動いているのは皆さん御存じで、それが10cm/yrぐらいです。それに対して日本海東縁がプレート境界だと考えると、アムールプレートが東に動く速度は、新潟ですとかそのあたりだと、大体5mmから1cm、だから、東側の太平洋プレートに対して10分の1になっているところです。しかも、日本海東縁は、

おっしゃるとおり、日本海は海でして、新潟のあたりでちょうど陸のところに行くのですが、それを5mmとか1cmを分離して捉えるのはかなり難しいのかなと考えております。

○委員長 いや、そういうことではなくて、量的な問題はあるのですが、太平洋プレートの固着は関係ありませんと。基本的には、このところは収縮の状況がずっと続いていますという表現をしましたね。だから、それ自身はどういうふうに位置づけられて、それとプレートバウンダリーとの関係はどういうふうに捉えているかで、モデルをつくるときの違いが出てくるような気がします。大ざっぱに言うと、Model 1、2のうちの1のほうがプレートと関連づけて考えられているのかなみたいなことがあるのですけれども、そういうのを意識していないから、それと関連づけられたモデルになっていないような気もする。だから、そのあたりをどういうふうに位置づけていくのかなということで、モデル化の仕方が違ってくるのではないかという感じがします。

○発表者 一応そこは、現状ではまだわからないということで、1つ言えるのは、今申し上げましたとおり、太平洋プレートからの西向きの方、いわゆる東から力はなくて、ただ、短縮変形があるということで、東からの力がないとすると、西からの力しか残らなくなるのですけれども、西からの力が何かと考えると、いろいろな可能性があるのですが、その1つの可能性は、今おっしゃられた日本海東縁にプレート境界があって、アムールプレートが東に動いている影響を暗に示唆してこのモデルを作成しているんです。

○委員長 モデルのどちらですか。

○発表者 具体的に沈み込みのプレートみたいなものは仮定していませんが、プレートが東に動くという力を仮定して、その力によって、ここですと2つモデルがあるのですが、Model 1ですと、水平に矢印が2つ描いてあるのですけれども、それを駆動する力が東から動くアムールプレートの力によってここが駆動されて、ひずみが集中すると考えています。

○委員長 要するに、このプレートバウンダリーはもちろんまだなぞだらけというか、よくわかっていない。だから、こういう観測を通して明らかにしていくよりほかないですね。いろいろモデルを考えたって、実際に観測なしではあれなので、そういう意味では、むしろ積極的にというか、意識的にその辺、こういう観測事実を持っている部署が、そういう部分に対してコミットしていくことがむしろ大事ではないかと研究者の立場から考えましたということです。

○委員 その議論は測地分科会でもちょっとありまして、日本海東縁部で沈み込みが起きているのではないかということなので、まさにこれはその延長部なので、しかも新潟平野ですっと沈降が続いていると。どうも地盤沈下とかそういうことではなくて、もっとテクニクなことでも沈降が続いているということで、例えばここで沈み込みが始まりかけているとか、そういうような可能性もモデル化で考えていくようなことも必要ではないかという議論はちょっとありました。これは一筋縄ではいかないと思いますけれども、非常に重要な観測結果だと思いますので、これからいろいろな目から見ていただきたい。例えば今の話ですと、地質学分野の人があのあたりにプレート境界を入れるということで、その辺の研究を取り込むとか何かやっていただきたいなという気がします。

○委員 モデルは非常に複雑で、今すぐこれが一番というのは出ないと思います。今やられている観測のフィールドは新潟平野周辺という非常に限定されたものだけども、実際に解明しようとしているひずみ集中帯は、どっちかという非常に細長いものです。だから、モデルを考えるときに、新潟平野に特化した条件とひずみ集中帯というもっと広い範囲に共通した原因と分けて考えるべきではないかと思います。研究の趣旨から言うと、ひずみ集中帯という新潟から神戸までつながるものを統一的にできるモデルを、究極的にはそういうものを出したいということなので、もちろん今のデータは非常に詳細なデータで貴重ですが、その中に新潟平野にしかないような特化したローカルなものも当然含まれていると思うので、そこを切り分けるには、やはりほかの地域との比較研究が非常に大切ではないかと思います。

○委員長 今のことに関係すれば、この間長野で起こった地震、白馬のあれとか、あのあたりとこのひずみのあれは何か関係するのですか。

○発表者 それはスライド3をごらんいただきたいです。スライド3の左側に新潟－神戸ひずみ集中帯というのを大ざっぱに線で引いてあります。先日、11月22日だったかと思いますが、長野県北部の地震はまさにこの緑の幅の中で起こっておりまして、ひずみ集中帯の中で起きた地震なのかなと考えております。

○委員長 ちょうど糸静線とひずみ集中帯の重なった部分ということになるのですね。

○委員 非常に貴重な研究の成果、どうもありがとうございました。モデルというのは非常に複雑だと思いますけれども、少し長い時間かけてできたらつくっていただきたいなと思いました。

先ほどの御質問に関連してということで少しお伺いしたいなと思います。スライド15、

17で他地域との比較を非常に書かれておられますね。ここから何を目標されるのか、何を導き出されて、今までの研究成果と他地域との比較を踏まえて、さらにどこまで目指されているのかというのを教えていただけますでしょうか。

○発表者 それに答えるのはなかなか難しいのですけれども、そのヒントとしましては、先ほどコメントがありましたが、ひずみ集中帯といいますが、日本国内にも何カ所かあります。我々が取り組んでいる新潟－神戸ひずみ集中帯も新潟から神戸まで、新潟－神戸ひずみ集中帯は、北はどういうふうに伸びているかは、陸から離れてしまいますのでわからないのですけれども、我々が今ターゲットとしていたのは新潟県中部で、内陸で観測できる一番北側になります。先行研究によって、ひずみ集中帯の中でも、ひずみ集中帯は短縮変形が集中しているのですけれども、短縮変形が集中する幅がどれぐらいかというのを研究されている方もいまして、それが地域によって、例えば幅が、これは大ざっぱですが、100kmの幅で短縮変形を賄っている部分と、例えば30kmぐらいの幅で短縮変形を賄っている部分とがあります。つまり、同じ新潟－神戸ひずみ集中帯という言葉で一くりにしているのですけれども、その短縮変形メカニズムは、同じ集中帯でも場所によって違うのではないかという指摘がされています。

そこで、本研究では新潟県中部にだけ特化したのですけれども、残された課題として、ほかの集中帯での観測結果とその変形メカニズムがまた同じかどうか。同じなら簡単ですけれども、恐らく違うと思うのです。違うということは、また同じように短縮変形が帯状で続いているのに、なぜそれぞれが違うのか。さらに新潟－神戸ひずみ集中帯だけではなくて、日本列島はほかにも集中帯があって、例えば奥羽脊梁というのがありますけれども、そこは恐らくまた違うメカニズムではないか。それをつなげていって、例えば新潟県中部でわかった、ひずみが集中する変形機構が完全に理解できたと考えると、それによって内陸地震が発生することまで全部わかったとしても、ほかの長野県では、短縮変形機構がそれに適用できるかという、多分違うと思うのです。だから、その違いを生み出すメカニズムが何かというのが、また内陸地震の予測にはキーポイントになっていくのではないかと考えています。ちょっと何かまとまりがないのですけれども、済みません。

○委員 息の長い研究として進めていただけたらいいなとは思いますが、そのために今回の研究の意義があって、有用性があったのだと思うのです。それがお話をしたかったので御質問させていただきました。

○委員 貴重な研究、ありがとうございます。

私が伺いたいのは、ここでできてきた定量的な変形と越後平野の地下で観察されている第四紀後期の地層の変形の量とか、その量の比較、単なる比較ではなくて、それがどうあられるかということも含めてどんなお考えをお持ちか。これは長期間の変動を考える上で、地層の変形との関連性は明らかにしていけないと、さらに長い期間のことを考えることはできない、非常に重要だとは思いますが、その辺いかがでしょうか。

○発表者 その点はなかなか難しいのですが、まず私が1点考えているのは、測地観測と地質学的な比較をなさいとよく言われるのですが、私の個人的な考えとしては、測地観測はたかだか100年しかないのです。それに対して地質は、桁が2桁、3桁違って、万年、10万年、100万年なのです。地質で見ているものは、その区間の平均しか見ていないと思っています。それで測地学的観測と地質学的観測で定量的な違いが生まれるのは、そこらじゅう至るところであります。それが何でかという、大抵は地質学的なものは平均的なものを見ていて、測地学的なものは平均の中のフラクチュエーションみたいなものを見ているのではないと言われていまして、新潟県でも定量的な比較をやられたのかというのは、正直に答えますと、余りやっていません。ただ、背景としてある地質学的にどういうふうな短縮ですとか隆起、沈降がしているかは確認しているのですが、それと完全に整合するかという、整合する部分もあって、しない部分もあるということで、それに決着をつけるには至っていないのが正直なところです。

○委員 この2つを結びつけるのは、1つはモデルだとは思いますが、そのあたりも踏まえた上でのモデル作成を今後も進展させていっていただければ、大いに発展するのではないかと考えます。

○委員 皆さんの御意見とか聞いていて、これは結構いろいろ複雑で、中身が濃い話だということ非常に認識させられたのですが、内陸直下型の地震を予測しようというのが目的と考えてよろしいわけですね。

○発表者 最終的にはそのとおりです。

○委員 そういう意味では、それをかなり正確に予測できるようになるまでにいろいろなステップを経て、現状は、ですから、そういった意味ではまだまだゴールに対してはかなり遠いところであろうと。ですから、長期的とおっしゃっているのだと思うのですが、例えば最初からゴールまで10段階ぐらいに分けるとすると、今は何段階ぐらいとこれは言っているのでしょうか。

○発表者 それは研究者個人個人、コミュニティーごとにその考え方があられるのですけれど



も、私の個人的な感覚といたら何ですが、10段階が完全に解明できたと考えたら、まずは観測することが一番もとにあるのですね。観測としてはほぼできていると。5番目がどれぐらいかという、観測がほぼわかって、モデル機構が地域ごとに解明されるぐらいが5番目ぐらいかなと思うので、私の印象としては3番目か4番目ぐらいかなと思っています。今言った観測がわかって、モデル化ができたとしても、そこからちゃんとした地震の予測につなげるには、我々がわからないようなもう2つか3つぐらいステップがあると私は思っています。ですので、10段階で評価すると、内陸地震の予測に向けたステップとしては、3番目か4番目ぐらいなのかなという個人的な印象を持っています。

○委員 これは多分国民からすると、地震予知は重要であることはわかりきっている話ですけれども、それがどういう状況かというのが皆さん非常にわかっていないと思います。ですから、そういった意味で、5段階でも10段階でもいいのですけれども、何かそういった指標みたいなのを考えて、現在、この研究は何段階ぐらいにあるとか、何かそういったことを示せば、研究の中身についてのいろいろな評価とか、周知するような手法として非常に有効になるのではないかと思います。このテーマの話というよりは、むしろもっと大きな話ですけれども、何かそういった方面に結びつけるようなコメントみたいなものが欲しいような気がします。

○委員長 ほかにはどうでしょうか。

短縮が褶曲のような形で起こるのか、断層のような、要するに地震を起こすような形で起こるのかみたいなことはまだ触れられていないですね。ここのところの経過は、3・11の東北の地震によっていろいろな性格がわかりましたという段階だろうと思います。そういう意味では、先ほど指摘されているように、ひずみ帯そのものの性格みたいなのは、今後とももう少し詰めて研究していただくということになるのだろうと思います。

○委員 違う視点からのコメントをさせていただきます。

東北の大地震の時期に特別研究でひずみ研究をとりあげていて新たな知見を得られた、そういう意味での評価もあっていいように思います。

それと、特別研究と一般研究と考えたときに、特別研究を持って今回のようなことができたので、特に大地震の余効変動についてはなお継続的に、10年なのか、50年なのか、100年なのか、そういう長期的な観測が必要であることは再認識されて、これはもう一般研究で継続をされていく形になると思います。そういう形で、特別研究と一般研究を考えたとともに、今回はいい特別研究をされたなという印象を持ったというコメントです。

○委員長 それはそれで結構だと思います。

この種のたぐいは、地震間隔1000年だと1000年ぐらい続けていないと、一般的にはそのうち平衡状態になってくるのだらうと思うのですけれども、もう少し長期的に観測するような形で地理院のほうは努力していただきたいと思います。

では、御苦労さまでした。