

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18740282

研究課題名（和文）測地データによる千島海溝沿いプレート境界域でのすべり収支の推定

研究課題名（英文）Estimation of the cumulative slip amount on the plate boundary along the Chishima (Kuril) trench using geodetic data

研究代表者

西村 卓也（NISHIMURA TAKUYA）

国土地理院（地理地殻活動研究センター）・地殻変動研究室・主任研究官

研究者番号：90370808

研究成果の概要：地殻変動データに基づく千島海溝沿いに発生したプレート境界型地震の解析により、1952年と2003年の十勝沖地震は、ほぼ同じ領域を破壊し、1973年根室半島沖地震の破壊域とは50km以上の未破壊域があることがわかった。この領域では、1999年から2003年十勝沖地震発生以前の地殻変動データから推定されたプレート間の固着強度も、根室半島沖地震、十勝沖地震の震源域と比較して小さく、この領域のみを破壊する大地震は発生しないことが示唆される。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,300,000	0	1,300,000
2007年度	700,000	0	700,000
2008年度	600,000	0	600,000
年度			
年度			
総計	2,600,000	0	2,600,000

研究分野：測地学

科研費の分科・細目：地球惑星科学、固体地球物理学

キーワード：地震、固体地球物理学、測地測量、千島海溝、地殻変動

1. 研究開始当初の背景

(1) 北海道の太平洋側の千島海溝では、太平洋プレートが沈み込んでおり、陸側のプレートの境界域では、2003年十勝沖地震に代表されるようなM(マグニチュード)8級の巨大地震が繰り返し発生している。

(2) 地震時に大きくすべる領域（アスペリティ）は、地震の繰り返し周期程度の時間では変化せず、プレート境界域には大小のアスペリティが多数存在していて、ある地震で破壊されるアスペリティの組み合わせは、場合によって異なるという学説（いわゆる、アスペリティモデル）が提唱されている。2003年十

勝沖地震は、1952年十勝沖地震と震源域の大半が重なっており、同一のアスペリティを破壊したと考えられていたが、釧路沖の海溝軸付近の領域が破壊されたかどうかは、地震波形データと津波波形データを用いた推定結果により結果が異なっていた。

(3) 釧路沖の領域が1952年の地震で破壊したのかどうか、そして、同領域が1952年の地震以降2003年の地震以前までに応力を蓄積していたのかどうかについて研究することは、アスペリティモデルの検証となると同時に、千島海溝南部プレート境界域のすべり特性の空間分布を知る上で大変重要である。そ

のためには、地震時すべりや非地震性のゆっくりすべり（スロースリップイベント）を含めたすべりの収支を推定することができる唯一のデータである地殻変動データを用いた研究が必要であった。しかし、最近の GPS 連続観測データを用いてプレート間相互作用を推定する研究は、既に試みられているが、GPS 観測開始以前の北海道東部の測地測量（三角、三辺、水準測量等）による地殻変動データを用いた研究は、非常に少ない状況であった。

2. 研究の目的

(1) 20 世紀以降の地殻変動データを用いて、千島海溝南部のプレート境界域に発生したプレート間地震(1952 年十勝沖地震, 1973 年根室半島沖地震, 2003 年十勝沖地震)のすべり分布及び最近 100 年間のすべり収支の空間分布を明らかにし、地震毎のすべり域の違いの考察や地震学的手法から得られているアスペリティ分布との比較により、この地域のすべり特性の空間分布を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、まず、北海道東部における明治以降の地殻変動データの整理を行った。水準測量、三角・三辺測量データは、国土地理院の地殻活動観測データ総合解析システム(データベース)に収録されているものを用い、2 回の観測量の差を取って、地殻変動量を計算した。また、三角測量と三辺測量のように、水平位置を計るための測量であっても、観測量が異なる測量については、網平均処理を行うことにより水平位置の変化を求めた。また、潮位データについては、Kato and Tsumura(1980)の方法で処理された後の上下変動に変換されたデータを収集した。さらに、従来の研究ではほとんど用いられていない厚岸湾で 1971 年から 1993 年までに数年に 1 度のペースで行われていた辺長測量のデータを入手し、整理を行った。

(2) GPS データについては、国土地理院でルーチン的に基線解析されている日座標値データを用い、1999 年 4 月から 2003 年 3 月までの平均速度を推定した。この期間は、2003 年十勝沖地震の発生前であり、顕著な地震も発生していないことから、この期間の平均速度を地震間の平均速度と仮定した。一般に測地測量においては、測量の繰り返し間隔が数年から数十年となっており、地震前後の差を取るにより得られる地殻変動データは、地震時地殻変動だけでなく、地震間の地殻変動を含むことになる。そこで、本研究では GPS データによる地震間平均速度を観測データから差し引くことによって、補正を行った。特に、1952 年十勝沖地震前後の測量の間隔は最長 62 年にわたるため、地震間の補正は重

要である。

(3) 地震間の補正をした大地震を含む地殻変動データを用い、太平洋プレートの沈み込みプレート境界の形状を矩形断層で近似して、インバージョンによるすべり分布の推定を行った。解析した地震は、プレート間地震であることが知られているので、太平洋プレートの収束方向と反対方向(北から時計回りに 125°)にすべり角を固定し、すべり量をパラメータとしてインバージョンを行った。インバージョンの拘束条件として、すべり分布が滑らかであるという条件とモデル領域の端ですべり量が 0 になるという条件を用い、拘束の強さは ABIC 最小となるように最適化した。対象とした地震と用いたデータは、1952 年十勝沖地震 ($M_{\text{JMA}}8.1$)については三角測量、水準測量データ、1973 年根室半島沖地震 ($M_{\text{JMA}}7.4$)については三角・三辺測量データ、水準測量データ、辺長測量データ、潮位データ、2003 年十勝沖地震 ($M_{\text{JMA}}8.0$)では GPS データ、2004 年釧路沖の地震 ($M_{\text{JMA}}7.1$ と $M_{\text{JMA}}6.9$)では GPS データである。1973 年根室半島沖地震と 2003 年十勝沖地震については、余効変動データから余効すべり分布の推定も試みた。さらに、地震間の補正を行った地殻変動データから、スロースリップイベントなどの非定常すべりの有無を調べるために、顕著な地震が発生していない期間においてプレート間すべり分布の推定を行った。

(4) 次に、地殻変動データの補正にも用いた GPS による地震間の平均速度データから、プレート間の固着強度を推定した。プレート間の固着に伴う地殻変動の計算には、プレート境界での仮想的な正断層すべり(すべり欠損と呼ぶ)によって表されるというバックスリップモデル (Savage, 1983)を用いた。北海道東部の太平洋側は、火山フロントと日高山脈を境界としたブロック運動(千島前弧スリバー)をしていることが提唱されている。そのため、プレート間の固着の推定の際に、前弧スリバーのブロック運動を同時推定した。

(5) このようにして求められた地震時すべり分布、地震間固着強度を、地震学的に求められている地震のすべり分布(例えば、山中、2006)と比較し、この地域のプレート間すべりの考察を行った。また、約 100 年分のプレート間すべり欠損と、地震などによるプレート間すべりの収支を計算した。

4. 研究成果

(1) 図 1 から 3 は、それぞれ 1952 年十勝沖地震、1973 年根室半島沖地震、2003 年十勝沖地震のすべり分布の推定結果を示したものである。それぞれの地震モーメントは、剛性率 40GPa を仮定して、 $1.84 \times 10^{21} \text{ N}\cdot\text{m}$ ($M_w 8.1$)、 $1.14 \times 10^{21} \text{ N}\cdot\text{m}$ ($M_w 8.0$)、 $1.95 \times 10^{21} \text{ N}\cdot\text{m}$ ($M_w 8.1$)と推定された。1952 年と 1973 年の地震

については、数年間の余効すべりによるモーメント解放量も含んだ結果となっている。2003年の十勝沖地震については、地震後10日間の平均座標を用いているので、含まれる余効すべりは数日分である。2003年十勝沖地震については、地震後3年間の余効変動から余効すべり分布の推定も行った(図4)。

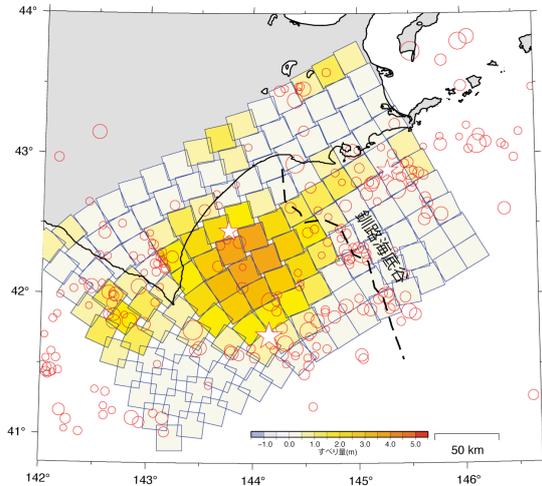


図1 1952年十勝沖地震のすべり分布

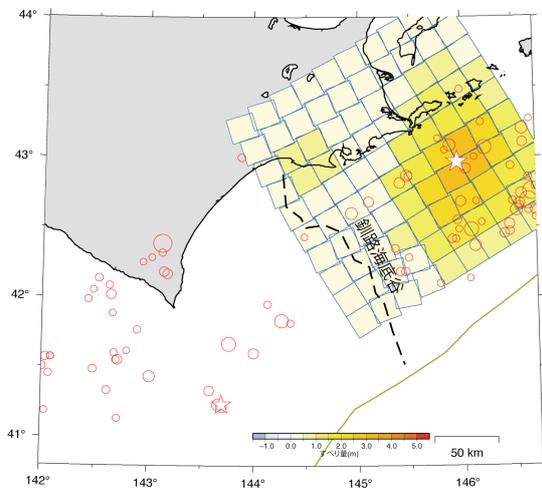


図2 1973年根室半島沖地震のすべり分布

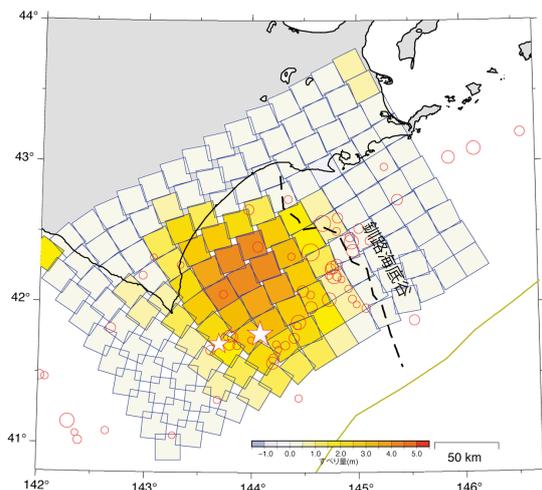


図3 2003年十勝沖地震のすべり分布

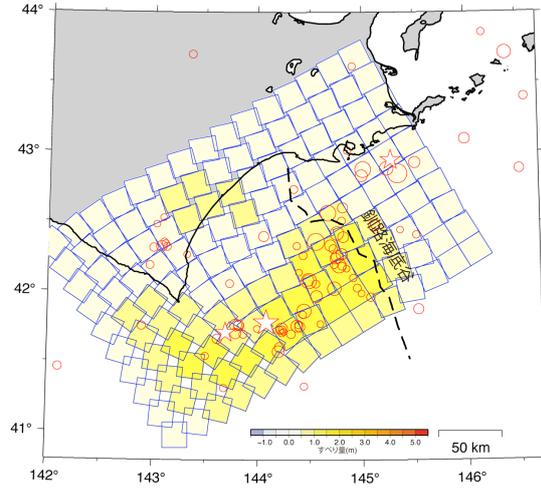


図4 2003年十勝沖地震に伴う余効すべり分布

(2) 1952年と2003年の十勝沖地震のすべり分布を比較すると、両者ともすべりが一番大きい領域は震央の北側(N42.2° E144° 付近)にあり、よく似た分布をしている。両者とも主な領域は、釧路海底谷の西側にあり、余震がすべりの大きな領域を縁取るようなパターンが見られる。しかし、1952年の地震では、釧路海底谷よりも東側の海岸線のやや南に1-2mのすべりが推定されたが、2003年の地震ではそのようなパターンは見られない。ただし、1952年の地震の解析に用いた地殻変動データの一部は、1961年に発生したM7.2とM6.9の地殻変動を含むので、この領域のすべりは、これらの地震に伴うものかもしれない。1952年と2003年の地震モーメントは、1952年の地震の方がやや小さいと推定されたが、1952年のモーメントが余効すべりを含むことや、気象庁マグニチュードは1952年の地震の方が大きいことを考慮すると、過小評価している可能性が高い。2003年の地震の余効すべり(図4)は、主に本震破壊域より海溝側で起こっており、解放されたモーメントは、 $1.17 \times 10^{21} \text{ N}\cdot\text{m}$ (M_w 8.0)となる。1952年のすべり分布(図1)では、海溝側のすべりは小さくなっているが、用いた地殻変動データのうち比較的沖合のすべりに対して感度を持つ三角測量データの精度が劣るため、インバージョンに用いた拘束条件によって、この領域のすべりが過小評価されている可能性が高い。

(3) 1973年根室半島沖地震のすべり域(図2)は、釧路海底谷より50km以上東側にあり、1952年と2003年十勝沖地震のすべり域とは明瞭なギャップがある。すべりが一番大きい領域は、震央付近にある。この地震の気象庁マグニチュードは7.4であるが、本研究で推定されたモーメントマグニチュードは8.0であり、余効すべりを含むとしてもかなり大きい。しかし、地震波形や地殻変動データに基づく先行研究からも M_w 7.8-7.9と推定されており、根室半島沖地震は十勝沖地震に匹敵する大きさであったと言える。なお、

Shimazaki (1974) 等の先行研究と比較すると、本研究のすべり域は、根室半島直下のプレート境界深部まで広がっているが、これは本研究の結果が余効すべりを含むためと思われる。地震直後と地震から 1-3 年後に行われた水準測量による上下変動から余効すべり分布を推定すると、本震すべり域の北側と西側での余効すべりが起こっていたことがわかった。地震時すべりの大きな領域（アスペリティ）の周辺域で余効すべりが主に発生するという一般的な事例と同じような傾向を持つと考えられる。余効すべりの推定モーメントは、 $6.66 \times 10^{19} \text{ N} \cdot \text{m}$ (M_w 7.1) と推定されたが、沖合のすべりに対して分解能を持たない上下変動データのみから推定しているため、実際はこれより大きいと考えられる。

(4) 2004 年に発生した釧路沖の地震のすべり域は、根室半島沖地震のすべりの大きな領域の北西端に推定された。この領域が、1973 年の地震で破壊されたかどうかは、推定誤差を考慮すると結論づけることはできないが、1973 年の地震時・余効すべりがこの領域より北西側には広がっていないことを考えると、1973 年の地震時には滑らずバリアーとして働いたと推測することができる。また、この地震のすべり域は、根室半島沖地震と十勝沖地震のすべり域のギャップに比べてはるかに小さく、ギャップを埋めるような地震では無いことが明らかになった。

(4) 大きな地震が発生していない 1983-93 年、1995-97 年、1997-99 年の各期間のすべり分布の推定においては、1995-97 年に根室半島周辺域で 20cm を超えるすべりが推定されたが、他の期間では顕著なすべりは推定されなかった。

(5) 次に、1999-2003 年の地震間の GPS 平均速度データから推定されたプレート間固着分布 (図 5) から、固着の強さを表すすべり欠損速度の大きな領域が十勝沖と根室沖の 2 箇所が存在することがわかった。これらの領域は、それぞれ十勝沖地震と根室半島沖地震のアスペリティに対応している。その間の釧路海底谷付近では、すべり欠損速度のやや小さな場所があり、前述のギャップに相当している。十勝沖と根室沖のすべり欠損速度の最大値は 10cm 以上であり、プレートの相対速度 (約 8cm) を超えているため、物理的には不合理な結果となった。これは、地殻変動の計算に半無限弾性体を仮定した事や、プレートの定常すべりによる経年的な変動を無視するというモデルの単純化に原因があると考えられるが、相対的な固着パターンは信頼できると考えられる。

(6) 以上の結果を積算して、20 世紀初頭からの約 100 年間のすべり収支を考察すると、モデル領域の大部分ですべり欠損が累積していることになる。しかし、推定されたプレ-

間固着分布は、モデル誤差によって過大評価されている可能性が高い。十勝沖地震のアスペリティ付近では 1952 年と 2003 年の地震によってすべり収支がほぼ 0 になっていると考えて、地震間のすべり欠損速度を割り引いて考えると、海岸線より南側のプレート境界浅部においては、すべり収支が顕著に大きな場所はないと考えられる。また、海岸線より北側のプレート境界深部においては、地震間に有意なすべり欠損速度が推定されている (図 5)。この領域では、大地震のアスペリティは存在せず、約 100 年間のすべりとしては、十勝沖地震の余効すべりが見られる程度であるため、すべり欠損が数 m に達している。この領域のすべり欠損が今後どうなっていくのか、観測を続けて明らかにする必要がある。

17 世紀に発生したという十勝沖・根室沖の連動型巨大地震では、地震後にプレート境界深部において余効すべりが発生したと推定されており (Sawai et al., 2004)、本研究で推定されたすべり欠損も巨大地震の余効すべりとして解消される可能性がある。

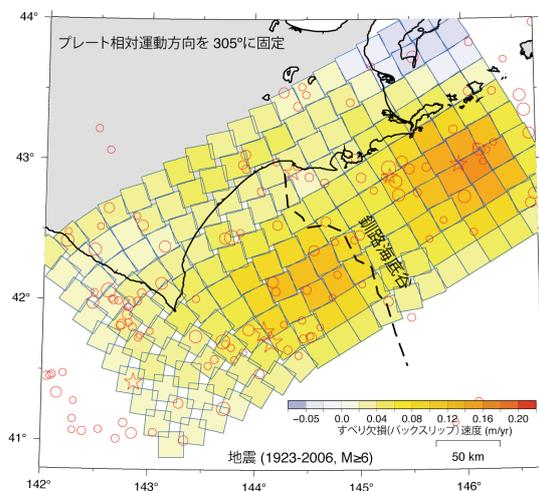


図 5 1999-2003 年の平均的なプレート間固着強度の分布

(7) 本研究で推定された地震時すべり分布は、地震波などを用いた先行研究で求められたすべり分布と比較すると、全体的にすべり領域が広く、特に北 (陸) 側まですべり領域が伸びている傾向がある。これは、地殻変動に基づく本研究では、空間分解能が地震波を用いた研究に比べて劣っていることと、余効すべりを含めた地震時すべりが推定されるためであると考えられる。海岸線付近においては、水準測量により高精度な上下変動が得られており、この付近に推定されたすべりは信頼度が高い。よって、十勝沖地震や根室半島沖地震では、プレート境界浅部で地震時すべりがおこり、プレート境界深部の海岸線から内陸域にかけて余効すべり起こったと一般的に考えることが出来る。

(8) 本研究によって得られた 1952 年と 2003 年の十勝沖地震がほぼ同じ領域を破壊したという結果は、地殻変動に基づく結果として

は初めて得られたものであり、地震学的な研究結果とは矛盾しないが、津波から推定されているような 1952 年の地震の震源域が東側まで延びていたという研究結果とは矛盾が生じる。地殻変動観測による沖合のすべりの空間分解能は乏しいが、少なくとも釧路海底谷より東側で十勝沖のアスペリティ以上の大きなすべりが生じたことは、地殻変動が許容しない。十勝沖地震と根室沖地震のギャップにおいては、地震間のプレート間固着強度も比較的弱く、単独で M8 級の地震となるようなアスペリティは存在しないと考えられる。

(9)本研究で得られた成果は、海溝型地震の繰り返しとプレート間カップリングを统一的に説明するために近年提唱されているアスペリティ理論を補強する重要な結果である。世界的に見ても、M8 級の大地震が繰り返し発生し、その地殻変動が近代的な測量で捉えられている場所はない。本研究では、1952 年、1973 年、2003 年の千島海溝南部で発生したプレート間地震を、同じプレート境界形状モデルを用いて、定量的にすべり分布を比較した初めての結果である。根室沖のプレート境界域では、地震調査研究推進本部による大地震の長期評価により、M7.9 の地震が今後 30 年間に起こる確率が 40%であると見積もられており、我が国の中でも地震が切迫している地域として知られている。このような領域で、過去の地震のすべり分布と現在のプレート間固着を推定した本研究は、長期評価の高度化にも貢献すると考えられる。

(10)本研究で用いた明治以降の近代測地測量結果と最近の GPS 観測結果を組み合わせた地殻変動の解析手法は、最近 100 年間の地殻変動データが蓄積された国内の他の地域にも適用可能である。今後は、1968 年と 1994 年に大地震が発生している東北地方北部においての研究を行っていく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ①西村卓也、測地データによる 1952 年十勝沖地震の断層モデル、月刊地球、28、441-447、2006、査読無し
- ②平田賢治・佐竹賢治・山木滋・谷岡勇市郎・山中佳子・西村卓也、目撃証言報告に基づく 1952 年十勝沖地震の津波波源の北東縁の検討、地震 2、60、21-41、2007、査読有り

[学会発表] (計 6 件)

- ①Takuya Nishimura、Interplate coupling and slip distribution of the megathrust

earthquakes along the southernmost part of the Kuril Trench for a hundred years, American Geophysical Union 2008 Fall Meeting、2008/12/19、アメリカ合衆国サンフランシスコ市

- ②Takuya Nishimura、Interplate coupling and slip distribution of the megathrust earthquakes along the southernmost part of the Kuril Trench for a hundred years, Asia Oceania Geoscience Meeting 2008、2008/6/18、大韓民国釜山市
- ③西村卓也、1973 年根室半島沖地震に伴う地殻変動の再検討とプレート間相互作用の推定、日本測地学会第 108 回講演会、2007/11/7、和歌山県那智勝浦町
- ④Takuya Nishimura、Geodetic constraint on slip distribution of three megathrust earthquakes along the Kuril trench northern Japan, International Union of Geodesy and Geophysics 2007、2007/7/10、イタリア共和国ペルージャ市
- ⑤西村卓也、測地データによる 1973 年根室半島沖地震のすべり分布、日本地震学会 2006 年度秋季大会、2006/10/31、愛知県名古屋市
- ⑥Takuya Nishimura、Comparison of slip distribution of the 1952 and 2003 Tokachi-oki earthquakes estimated from the geodetic data, 2006 Western Pacific Geophysics Meeting、2006/7/26、中華人民共和国北京市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西村 卓也 (NISHIMURA TAKUYA)

国土地理院 (地理地殻活動研究センター)・地殻変動研究室・主任研究官

研究者番号：90370808

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし