



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	十勝沖の地震活動 : 1952年十勝沖地震以降51年間の地震活動の特徴
Author(s)	高橋, 浩晃; 笠原, 稔
Citation	地震. 2輯, 56(4), 393-403 https://doi.org/10.4294/zisin1948.56.4_393
Issue Date	2004-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/57964
Type	journal article
File Information	Zisin_56_393-.pdf



十勝沖の地震活動

——1952年十勝沖地震以降51年間の地震活動の特徴——

北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センター* 高橋浩晃・笠原 稔

Seismic Activity off Tokachi Region, Southeastern Hokkaido, Japan

—The Features for 51 Years since the 1952 Tokachi-Oki Earthquake—

Hiroaki TAKAHASHI and Minoru KASAHARA

Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University,
N10W8, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-0810, Japan

(Received October 16, 2003; Accepted January 27, 2004)

We investigate seismic activity off Tokachi region, southeastern Hokkaido, Japan, where the Pacific plate is subducting beneath the overriding plate, by analyzing hypocenter catalogues produced at Hokkaido University and Japan Meteorological Agency. The time-space distribution of the earthquakes clearly shows a decline in seismic activity in the focal region of the Tokachi-oki earthquake of 4 March 1952 ($M8.2$) from the early 1990's to the present. Remarkable low seismic activity on the focal region of the 1952 earthquake indicates strong plate coupling. It also implies full stress accumulation generated through relative plate motion without energy release either by seismic or aseismic events after the 1952 event. A simple integration of relative displacement between the two plates after the latest event is approximated at 4.2 m. This value equals the mean slip of 4 m resulting from the 1952 earthquake. These facts point to a possible occurrence of the next great earthquake with $M \geq 8$ in the near future.

Key words: Tokachi-oki, seismicity, seismic quiescence, low seismic activity

§1. はじめに

北海道東部太平洋沿岸の千島海溝では、太平洋プレートが陸側プレートの下に約 8.2 cm/yr の速度で沈み込んでおり [DeMets *et al.* (1994)], それに伴う地震活動が極めて活発な地域である。特に十勝沖と呼ばれる十勝支庁・釧路支庁の沖合では、過去に巨大地震が繰り返し発生してきた。最近では1952年に $M8.2$ の十勝沖地震が発生し、死者28名をはじめ北海道全域に地震動や津波による被害を及ぼした。

北海道では、その歴史的背景から文書記録による古地震の調査が過去200年程度までしか遡れないため、たとえば南海・東南海地域のように史料により1000年以上にわたって地震活動を追跡することができない。現在までの史料で確認できる十勝沖付近で発生した $M8$ 級の地震は1843年 ($M8.0$), 1952年 ($M8.2$) の2回である。

政府の地震調査委員会(2003)は、過去の地震活動データから十勝沖での将来の $M8.1$ 前後の地震発生確率を今後30年以内で60%程度、今後50年以内では80-90%と算定した。これは、今後50年以内にほぼ確実に十勝沖で大地震が発生することを示しており、それに対する研究観測・防災体制を早急に整える必要がある。本論文では、北海道大学や気象庁が行ってきた地震観測データに基づいて、十勝沖地震の想定震源域での地震活動の特徴を明らかにする。なお、本論文で示す M は気象庁マグニチュードを指す。

§2. 1952年十勝沖地震震源域での地震活動

十勝沖では、1952年3月4日に $M8.2$ の大地震が発生して特に北海道東部に著しい被害を及ぼした。この地震に関しては、笠原(1975)やAida(1978)によって断層モデルの検討が行われており、沈み込む太平洋プレートと陸側プレートの境界に発生した典型的なプレート境

* 〒060-0810 札幌市北区北10条西8丁目

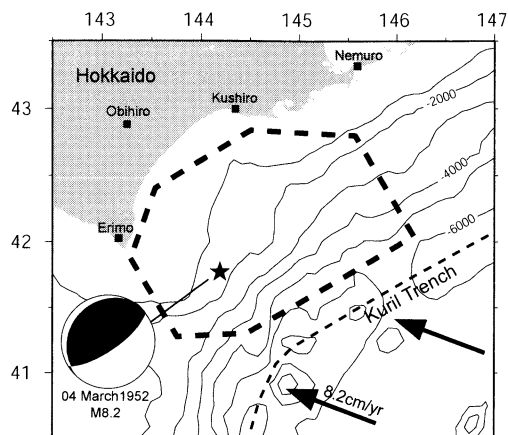


Fig. 1. Map showing the epicenter, focal mechanism from Kasahara (1975), and focal region of the Tokachi-oki earthquake of 4 March 1952 ($M8.2$) (the polygon in broken line). Arrows indicate the relative plate motion between the Pacific and North American plates. Contour lines and closed squares indicate the sea depth in meters and urban cities in eastern Hokkaido, respectively.

界型地震であったと考えられている (Fig. 1). 最近, Hirata *et al.* (2003) は津波波形データを用いた逆解析法により 10 区分した断層面におけるすべり量分布を推定している. それによると, 震源域は笠原 (1975) よりも東側に伸びていたらしい. また, 関谷・他 (1974) や鈴木 (1976) による本震余震の震源再決定の結果も, 震源域が北緯 42 度東経 146 度付近まで延びていたことを示している. これらの結果を考慮して, 本論文では 1952 年十勝沖地震の震源域を Fig. 1 のように設定した. 以下では, この震源域周辺での 1952 年以降の地震活動に関して調査する.

2.1 気象庁震源カタログによる地震活動

はじめに, 1952 年までさかのぼれる気象庁の震源カタログを用いて 1952 年十勝沖地震震源域内の地震活動を見ていく. 北海道南方沖の 1952 年以降 2003 年 8 月までのすべての震央分布を Fig. 2a に示す. また, 本論文で設定した 1952 年十勝沖地震震源域内部の 1952 年以降のすべての震源を用いた MT 図を示した (Fig. 2b). 震源が求まっている M の下限が徐々に低下してきており, 地震観測網の拡充と共に地震検知能力の向上が図られていることがわかる.

Fig. 2b からは, $M5$ 以上の地震に関しては 1952 年から検知能力があると考えられるので, 地震活動度の変化を見るために Fig. 1 の震源域内の $M5$ 以上の地震数の

積算グラフを示した (Fig. 3), 1952 年十勝沖地震の余震活動以降, ほぼ一定の割合で地震が発生してきていたが, 1990 年頃から傾きが緩やかになっており地震活動度が低下していることがわかる.

次に, 震源域内の地震活動の時空間変化を Fig. 4a に示す. 大局的な変化を見るために, 深さの誤差が大きい地震があることを考慮して 80 km より浅い $M6$ 以上の地震について海溝軸に平行に投影した. 期間は, 1952 年 3 月から 2003 年 8 月までである. 1960 年代前半までは 1952 年十勝沖地震の余震と考えられる活動が震源域内に認められるが, その後 2003 年 8 月までの活動は総じて低調であり, 1989 年 1 月 23 日の $M6.0$ の地震を最後にこの 15 年間は $M6$ を超えるような地震は発生していない. より詳細な時空間変化を見るために $M5$ 以上の地震の時空間分布も Fig. 4b に示したが, 点線で示したラインの内側では 1990 年以降地震が発生しておらず, 第二種地震空白域を形成していることがわかる.

2.2 北海道大学震源カタログによる微小地震活動

次に, この地域の微小地震活動について調べてみる. 北海道大学では, 1976 年に地震予知観測地域センターが整備されて微小地震カタログが作成されるようになった. Fig. 5a には, 北海道大学のルーチン処理で北海道南方沖に震源が決められた 1976 年から 2003 年 8 月までのすべての地震の震央分布を示した. この図では, 海溝軸に近い部分での震源の深さ方向の誤差が大きいことを考慮して 80 km 以浅の地震とした. このため, 海溝軸付近の地震で実際の深さよりも深く震源が求められているような地震も含んでいる.

この図によると, 浦河沖や青森県東方沖では微小地震活動が活発であるが, それに比べて, えりも岬南東沖よりも東側の十勝沖地震の震源域では明らかに微小地震活動が低調であることがわかる. 特に, 海溝軸から陸側に向かって 120 km にわたる領域 (Fig. 5a での矩形領域) での地震活動度が顕著に低い. この場所は, 海溝軸に近いことからプレート境界面の摩擦係数が小さく, 定常すべりが卓越するために微小地震活動が低くなっていることも考えられる. しかし, Hirata *et al.* (2003) による 1952 年十勝沖地震の津波波形を用いた解析結果では, この場所で 1–7 m のすべり量が推定されていて結果として津波を大きく励起している. したがって, 定常的な非地震性すべりによってのみ応力を解放する場所ではないと考えられる.

Fig. 5b は, 深さを 40 km 以浅としてプレート境界面付近の地震活動が見えやすいようにしたものであるが, より顕著に十勝沖での地震活動の低調さが現れている. 特に, 図中に囲った部分での地震活動が低い. この特徴

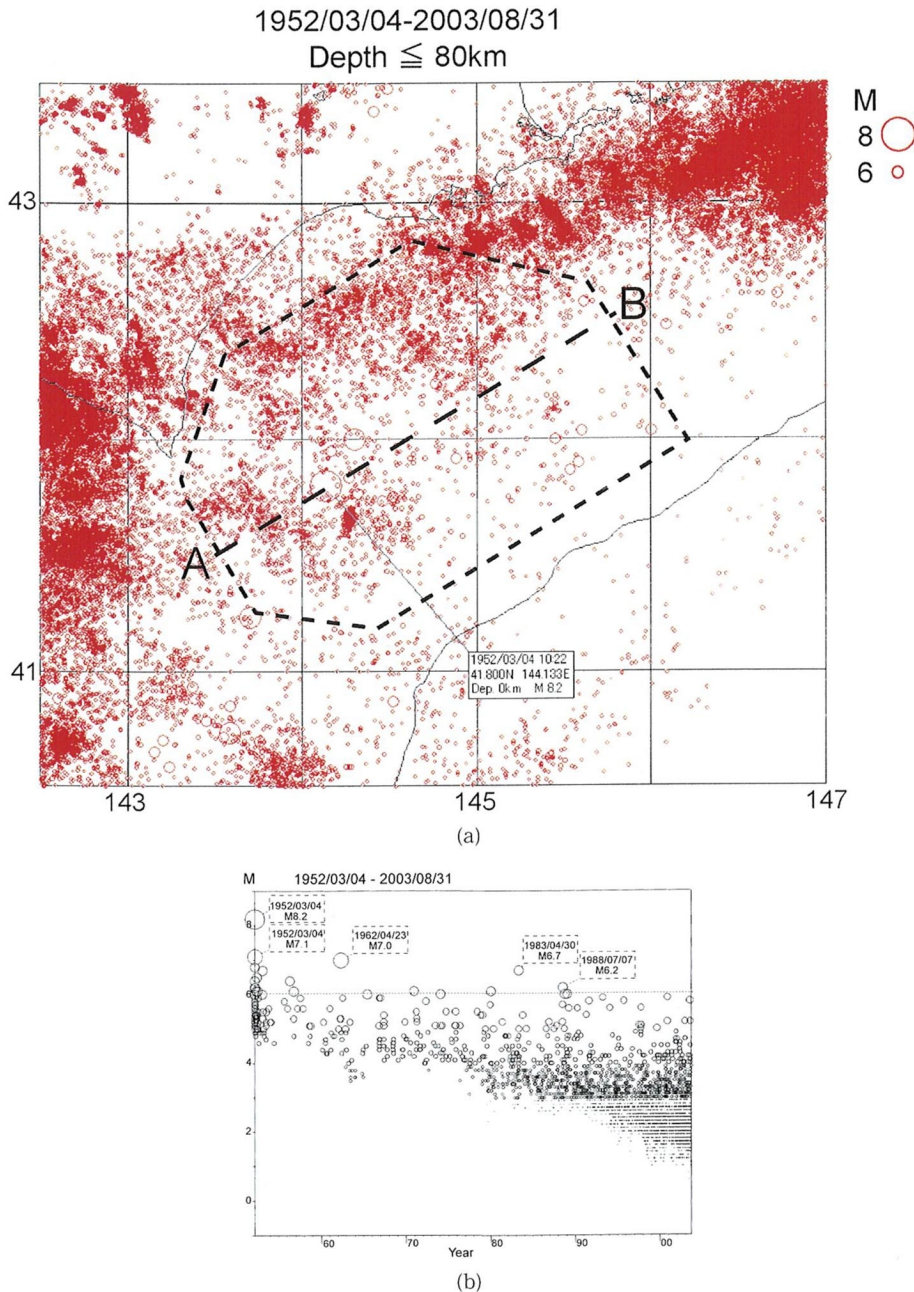


Fig. 2. (a) Epicenter map in southern Hokkaido based on the Japan Meteorological Agency (JMA) catalogue. Earthquakes with depth ≤ 80 km during the period from March 4, 1952 to August 31, 2003 are shown. The polygon area indicates the focal region of the 1952 earthquake. (b) Magnitude-time distribution of earthquakes occurring in the focal region of the 1952 earthquake.

は気象庁震源カタログ (Fig. 2a) でも確認できる。この領域では、プレート間が強く固着しているために地震活動度が低くなっている可能性が考えられる。

2.3 3次元的に見た地震活動

十勝沖地震の震源域は海底下であり、地震観測点が設置されていなかったために地震の深さ方向の震源決定精度は陸域で発生する地震に比べ低い状態が続いていた。

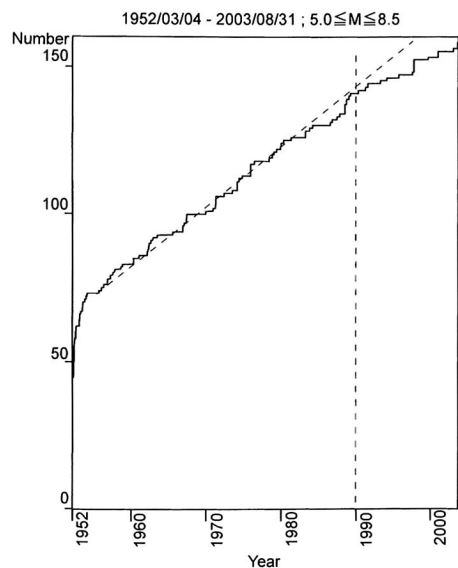


Fig. 3. Cumulative number of earthquakes with $M \geq 5.0$ in the focal region of the 1952 earthquake shown in Fig. 2.

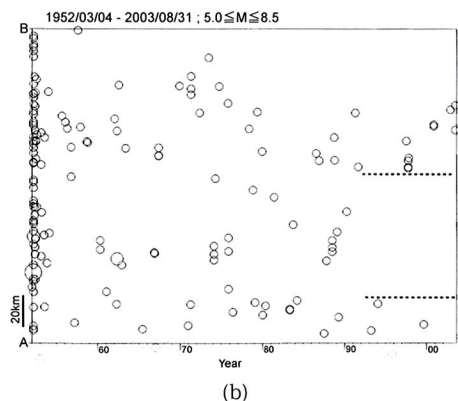
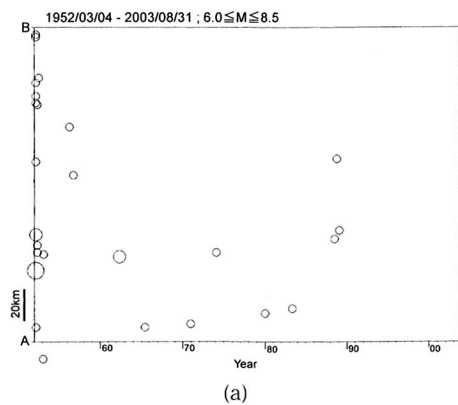


Fig. 4. (a) Space-time distribution of the earthquakes in the focal region of the 1952 earthquake shown in Fig. 2 with $M \geq 6.0$. (b) Same as (a) but with $M \geq 5.0$.

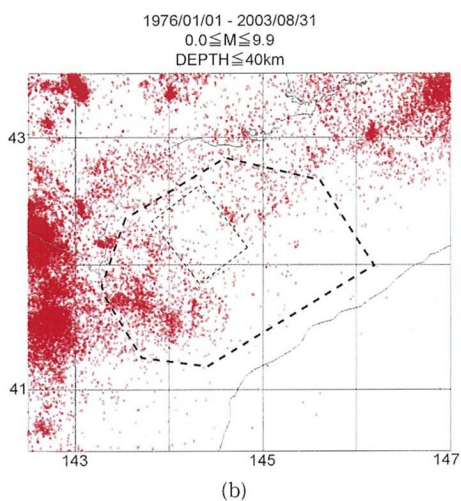
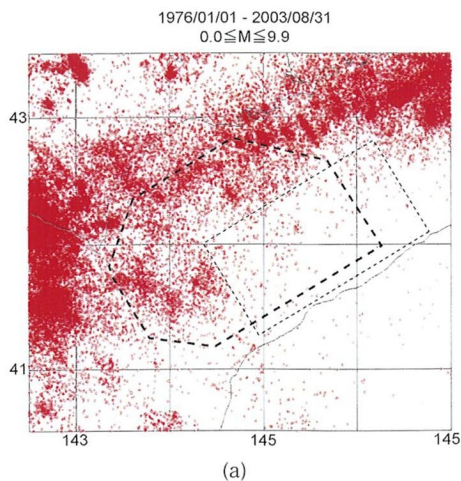


Fig. 5. (a) Epicenter map off southern Hokkaido based on the Hokkaido University catalogue for events with depth ≤ 80 km during the period from January 1976 to August 2003. The polygon indicates the focal region of the 1952 earthquake. The rectangle shows the region where seismic activity has been low. (b) Same as (a) but with depth ≤ 40 km.

1996年10月以降は北海道大学と札幌管区気象台の間で地震波形のリアルタイム交換が開始されたため、それ以前と比べて震源決定精度の大幅な向上が図られたが、海域での深さ成分の決定に関してはなお問題が残されていた。しかし、1999年に海洋科学技術センターが釧路沖にケーブル式の海底地震計を3台設置し〔たとえば、Hirata *et al.* (2002)〕、2000年春以降その地震波形データが北海道大学および気象庁にリアルタイムで分岐されるようになったため、十勝沖で発生する地震の深さ成分

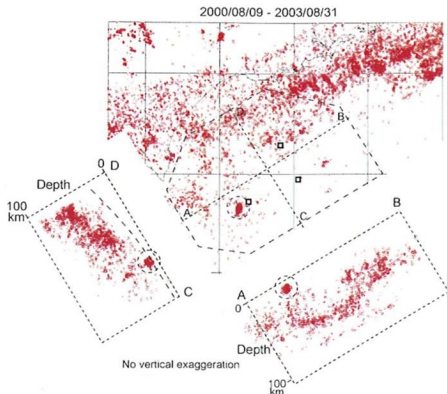


Fig. 6. Hypocenter distribution in the focal region of the 1952 earthquake based on the JMA catalogue during the period from August 9, 2000 to August 31, 2003 is shown. Plate interface is depicted by a broken line [Iwasaki *et al.* (1989)]. Permanent ocean bottom seismological stations operated by Japan Marine Science and Technology Center are indicated by open squares.

の震源決定精度が飛躍的に向上した [一柳・他 (2003)]. これにより、この付近で求められた詳細な構造モデル [Iwasaki *et al.* (1989)] と震源を比較して、地震発生場所の詳細な議論を行うことが可能になってきている。

Fig. 6 には、釧路沖海底地震計データを含めた震源決定が開始された 2000 年 8 月 9 日から 2003 年 8 月 31 日までの約 3 年間の気象庁震源データによる十勝沖での 100 km 以浅の震源分布を示した。Iwasaki *et al.* (1989) によるプレート境界面も同時に示してある。十勝沖ではプレート境界面での地震活動が極めて低い一方、それに比べるとプレート内部では地震活動度が高いことがわかる。2001 年 10 月 27 日から始まった北緯 41.65 度東経 144.25 度付近の活動 (Fig. 6 の円内) は、プレート境界面付近で発生したこの地域としては珍しい活動であった [一柳・他 (2003), 一柳・他 (2004)]. Takahashi and Hirata (2003) でも、十勝沖を含む北海道東部の太平洋沿岸ではプレート境界面での地震活動がプレート内部に比べて低調な状態にあることが指摘されており、これは近年の十勝沖での地震活動の特徴と考えられる。このような地震活動の傾向は、プレート境界面での固着状態が強いことを示唆しているものと考えられ、この地域でのプレート相対運動による応力が高い割合で蓄積されつづけていることを示すものと考えられる [Takahashi and Hirata (2003)].

2.4 クラスター状の地震活動

1952 年十勝沖地震震源域の地震活動についてももう少し詳しく見ていく。Fig. 7 には 1952 年十勝沖地震の余震活動がほぼ収まったと考えられる 1954 年 1 月以降の気象庁震源カタログによる $M3$ 以上の地震の震央分布を示す。前述のとおり、十勝沖地震の想定震源域内部での地震活動は極めて低い状態にあるが、ところどころクラスター状に地震が集中している場所がいくつか見受けられる。ここでは、これらの領域の地震活動についてその特徴をまとめてみた。

2.4.1 A 領域

1952 年十勝沖地震の震源のすぐ南東にあたる場所であり、1954 年以降に $M5.5$ 以上の地震が 4 回発生している。これらの地震の気象庁による深さは 40 km から 64 km であるが、pP 相の情報を用いて深さを決めている International Seismological Center (2001) (以下、ISC) の値だと深さ 16–26 km に求まっている。また、遠地実体波波形を用いた 1966 年 11 月 12 日の地震 ($M5.9$) の深さは 18 km であった [Miyamura and Sasatani (1986)]. したがって、これらの地震の深さは 20 km 付近であったと考えるのが妥当であろう。また、Miyamura and Sasatani (1986) や Harvard CMT によるこの付近の地震のメカニズム解は、プレートの沈み込む方向にスリップベクトルをもつ低角逆断層を示している。この付近のプレート境界面は深さ 20 km 付近に推定されており [Iwasaki *et al.* (1989)], 地震の深さとメカニズム解から、これら活動はプレート境界面付近で発生していた可能性が高い。この場所では、§ 2.3 で述べたように、2001 年 10 月 27 日から 2002 年 5 月にかけてプレート境界面付近で $M4.7$ を最大とする地震活動が

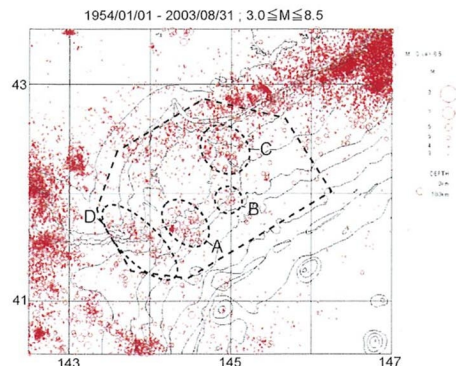


Fig. 7. Epicenter map with $M \geq 3$ during the period from January 1954 to August 2003. Earthquake groups are enclosed by dotted circles. The polygon shows the focal region of the 1952 earthquake.

あった。

2.4.2 B 領域

ここでは、1954 年以降に M 5.5 以上の地震が 2 回発生している。このうち、1997 年 10 月 9 日 (M 5.8) の地震について、気象庁は深さを 41 km としているが ISC (2001) では 16 km であった。Harvard CMT によると、この地震のメカニズム解は沈み込み方向にスリップベクトルをもつ低角逆断層であり、プレート境界面での活動であった可能性が高い。

2.4.3 C 領域

ここでは、1954 年以降に M 5.5 以上の地震が 5 回発生している。2000 年 11 月 14 日 (M 6.0) と 2003 年 7 月 3 日 (M 5.8) の地震の Harvard CMT による結果では、これらの地震のメカニズムは沈み込み方向にスリップベクトルをもつ低角逆断層型である。2003 年 7 月の M 5.8 の地震の本震余震についてケーブル式海底地震計データを含めた震源決定を行った結果、深さは 30–40 km 付近に求められた。この付近のプレート境界の深さは 20 km 付近であるため [Iwasaki *et al.* (1989)], 2003 年 7 月の活動はプレート内部のものであった可能性が高い。

2.4.4 D 領域

1952 年十勝沖地震の震源域の西縁にあたる地域で、1954 年以降 M 5.5 以上の地震が 11 回発生している。また、微小地震の活動度も高い (Fig. 5a)。Miyamura and Sasatani (1986) によると、この付近の地震のメカニズム解は沈み込み方向にスリップベクトルをもつ低角逆断層型である。Harvard CMT によるメカニズム解は、1980 年代までには横ずれあるいは正断層型のものもあるが、近年の地震は沈み込み方向にスリップベクトルをもつ低角逆断層型となっている。また、それらの地震の ISC (2001) による深さは、この付近のプレート境界面にあたる 25 km から 35 km 付近に求まっている。したがって、これらの地震はプレート境界付近で発生していたと考えられる。

§ 3. 1952 年十勝沖地震と 1968 年十勝沖地震の震源域の間のサイズミック・ギャップ

千島海溝沿いのプレート境界型地震は、お互いの震源域が重ならないようにして発生していることが知られている [たとえば、宇津 (1999)]。これは、同じアスペリティが繰り返し破壊するとする固有地震モデルに基づいており、1973 年根室半島沖地震はこの考え方に基いて指摘された第一種地震空白域で発生した [宇津 (1968)]。そこで、1952 年以降に十勝沖周辺で発生した M 7.3 以上の地震の本震の震源域を調べてみた (Fig. 8)。

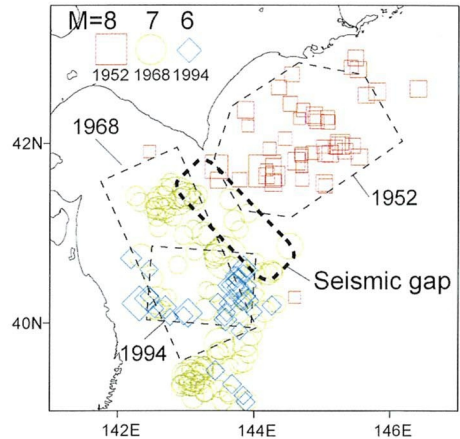


Fig. 8. Focal regions of the Tokachi-oki earthquake of 4 March 1952 (M 8.2), the Tokachi-oki earthquake of 16 May 1968 (M 7.9), and the 1994 Sanriku-Haruka-oki earthquake of 28 December 1994 (M 7.6) are indicated by thin broken lines. Seismic gap indicated by thick broken line is recognized off southern Erimo cape. Open squares, circles and diamonds indicate the aftershocks with $M \geq 5$ for a month just after the mainshock of 1952, 1968 and 1994 earthquakes, respectively.

1952 年十勝沖地震は本論文の Fig. 1 を用い、1968 年十勝沖地震は永井・他 (2001)、1973 年根室半島沖地震は Shimazaki (1974)、1994 年三陸はるか沖地震は永井・他 (2001) と Tanioka *et al.* (1996) を参考にした。同時に、気象庁震源カタログにあるそれぞれの地震の本震後 1 カ月間の M 5 以上の余震を示してある。

1952 年十勝沖と 1968 年十勝沖・1994 年三陸はるか沖地震の震源域の間にあたる千島海溝と日本海溝の接合部、えりも岬南方沖に、50 km × 100 km 程のいずれの地震でも破壊されなかった領域 (サイズミック・ギャップ) があることがわかる。この領域では、1943 年に M 7.1、1971 年に M 7.0 の地震が発生している。いずれの地震も津波が観測されて波源域が求められているが [羽鳥 (1972), 羽鳥 (1974), 谷岡 (2004)], このサイズミック・ギャップをすべて埋めつくすほどのサイズではなかった。特に、1971 年の地震はプレート内部の深さ 56 km で発生した正断層型の地震であり [Miyamura and Sasatani (1986)], プレート相対運動を直接解消するような地震ではない。また、Hatori (1969) によると 1968 年十勝沖地震の最大余震 (M 7.5) の津波波源域がこの領域の北半分にかかっており、この領域がすべての可能性を示している。一方、気象庁による最大余震の余

震分布は、Hatori (1969) が示した波源域よりも 60 km ほど北西側の領域に集中している。当時の震源決定精度の問題もあるが、余震分布からはここで示したサイスミック・ギャップが震源域になった可能性は低いと考えられる。

北海道大学の微小地震カタログによる 1976 年から 2003 年 7 月までの震央分布からも、この地域では微小地震活動が定常的に低いことがわかる (Fig. 5a)。北海道大学の地震観測網が、この付近での地震検知能力が特に低いということではなく、この低調な地震活動はこの場所での特徴と考えられる。一方、この場所の沈み込み方向の延長部にあたる浦河沖では、沈み込んだ太平洋プレートと陸側プレートの境界付近 (深さ 50–60 km 前後) での地震活動が極めて活発であり、1991 年浦河沖地震 ($M6.4$) のような $M6$ クラスの地震も数多く発生している。

§ 4. 考 察

4.1 非地震性すべりが発生していた可能性

プレート境界面での地震活動は、プレート相対運動により蓄積した応力の解放を示していると考えられる。しかしながら、十勝沖では地震活動度が極めて低く、地震による応力の解放がほとんど行われていない可能性が高い。

ところで、沈み込み帯での歪の解消方法の一つとして、地震帯域の波を出さないゆっくりした断層運動が生じるいわゆるスローイベントが起こっていることが最近の研究から明らかになってきている [たとえば, Ozawa *et al.* (2002)]。仮に、十勝沖でスローイベントが発生していれば、それに対応した地殻変動が観測されているはずである。そこで、Fig. 9 に北海道の太平洋沿岸にある国土地理院 GPS 連続観測点の 1996 年から 2003 年までの基線長変化を示した。これらの基線の方法は、プレート境界での変動が検出されやすいように太平洋プレートの沈み込み方向とほぼ同じ方位にとってある。いずれの観測点においても、基線長の短縮レートは一定であり、この期間にスローイベントの発生を示唆するような基線長変化率の変動は見受けられない。また, Mazzotti *et al.* (2000), Ito *et al.* (2000), Nishimura *et al.* (2001), Suwa *et al.* (2003) などの GPS データを用いたバックスリップの推定結果も、1996 年以降この地域のプレート間の固着強度が一定して強いことを示している。このように十勝沖では、少なくとも 1996 年以降はスローイベントが発生していないと考えられる。

4.2 定常的な地震活動の特徴とその解釈

十勝沖での地震活動の特徴は、次のようにまとめるこ

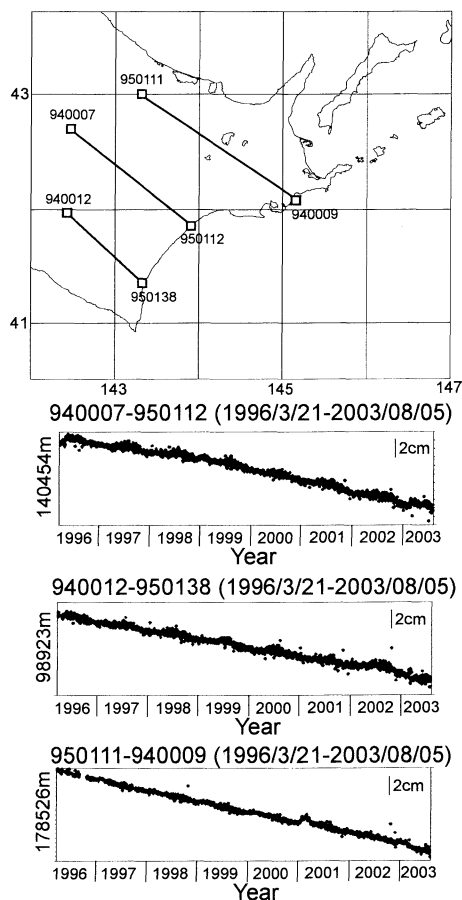


Fig. 9. Time series of daily baseline lengths between GPS stations from March 1996 to August 2003. All baselines are almost parallel to the relative plate motion direction.

とができる。1) 1952 年十勝沖地震の震源域内に、周辺に比べて地震活動が低い領域が存在する。2) 1952 年十勝沖地震の震源域では、プレート内部に比べてプレート境界面での地震活動が低い。3) $M5$ 以上の地震活動を見ると 1990 年ころから空白域が形成されているように見える。4) ところどころにクラスター状の活動域がある。これらの特徴について考察する。

十勝沖の定常的に地震活動が低い領域は、普段は強く固着しているが地震時に大きくすべる領域 (アスペリティ) である可能性が高い。山中・菊地 (2002) による強震記録の解析による 1952 年十勝沖地震のアスペリティは、まさにこの地震活動が低い領域と一致する。一方, Hirata *et al.* (2003) による津波波形を用いた結果では、より海溝側に近い領域でのすべり量が大きくなっている。これは、断層面の深い部分では地震波を強く励起し

たが、海溝軸よりの部分ではすべり量は大きかったもののほとんど短周期の地震波を励起しなかったことを示している。これは、プレート境界面の摩擦特性や構成物質が深さ方向に変化しているためと考えられる [たとえば、笠原・他 (2003)]。

アスペリティと考えられる領域で 1990 年以降地震活動が低下し第二種空白域が形成されていることは、固着がより強くなっていることを反映しているものと考えられる。宇津 (1968, 1972) は、この領域では 1952 年十勝沖地震の 20 年間に前年から地震活動度が著しく低かったと指摘している。本谷 (2000) も宇津 (1968, 1972) 以降に改定された気象庁の震源カタログを用いてこの領域の地震活動を調べているが、その結果でも本震の 7 年前の 1945 年くらいから第二種空白域が現れていたことを確認している。今回の空白域が出現してから 2003 年時点ですでに 10 年以上が経過しているため、十勝沖はすでに次の大地震に向けた直前過程に入っていることも考えられる。

1952 年の地震の 58 時間前には本震のすぐ近く (Fig. 7 の A 領域) で $M5.9$ の前震が発生している。この場所では、1989 年の $M6.0$ の地震以降、 $M5$ を超えるような地震は発生していない。したがって、今後この場所で地震活動の変化があった場合には注意する必要がある。

4.3 次の十勝沖地震の規模

十勝沖でのプレート間相対速度は、北海道が北米プレート上にあるとすれば 8.2 cm/yr である [DeMets *et al.* (1994)]。したがって、単純に前回の地震 (1952 年) からこの相対運動がすべて蓄積されているとすると 2003 年で 4.2 m となる。1952 年十勝沖地震の平均すべり量は 4 m であった [笠原 (1975)]。したがって、前回の地震以降に蓄積されたエネルギーは、応力の解放がないと考えた場合には 1952 年十勝沖地震に相当する。定常的な地震活動が低調なことやスローイベントが発生していた可能性が低いことなどは、地震や他の方法によって解放された応力の割合が全体からみると極めて小さい可能性を示している。したがって、十勝沖では前回の地震 ($M8.2$) に相当するエネルギーがすでに蓄えられていると考える必要がある。

ところで、最近の津波堆積物の調査から、この地域では 400–600 年に 1 回程度の間隔で十勝沖と根室沖が連動するような巨大地震が発生していたことが明らかになりつつある [平川・他 (2000), Nanayama *et al.* (2003)]。この巨大地震によって、十勝・釧路・根室の各支庁沿岸では津波が 3 km 以上内陸に浸水した場所もある。1973 年には、1952 年十勝沖地震の東側で根室半島沖地震 ($M7.4$) が発生したが、この地震での平均すべり

量は 2 m 以下と小さく [Shimazaki (1974), 多田 (1974)]、それまでに蓄積されたエネルギーを完全に解放するほどの規模ではなかった。したがって、根室沖では前回の地震の際に残ったエネルギーに加えてそれ以降のプレート相対運動によるエネルギーが蓄積されていると考えられる。現在のところ、十勝沖と根室沖が同時あるいは短時間のうちに連動して発生する可能性はわからないが、古津波調査からその繰返し性が明らかにされたこと、前回のイベントからすでに 350 年が経過しており繰返し周期に時間的に近づいていることから [平川・他 (2000), Nanayama *et al.* (2003)]、十勝・根室沖が連動して動く可能性に関しても十分考慮して、特に津波対策を十分考慮した防災計画を立てる必要がある。

4.4 1952 年十勝沖地震と 1968 年十勝沖地震の震源域間のサイスミック・ギャップにおける地震発生の可能性

1952 年十勝沖地震と 1968 年十勝沖地震の震源域間に認められるサイスミック・ギャップが地震を起こす能力をもっているのか、あるいは定常的に非地震性すべりが卓越する地域なのかは現在のデータからは判断できない。この領域のプレート沈み込み方向にあたる北海道南部の太平洋沿岸までの距離は 300 km 以上あり、他の地域よりも 100 km 以上も離れている。このため、プレート沈み込みによる地殻変動は減衰してしまい、プレート間固着状況を GPS 観測データから推定することは難しい。したがって、相似地震の発生状況や [Igarashi *et al.* (2003), Uchida *et al.* (2003)]、プレート境界面の反射強度を調べるなど [Fujie *et al.* (2002)]、地震学的手法によってプレート間固着状況の調査を行う必要がある。

この地域は、千島海溝と日本海溝の接合部にあたり沈み込むスラブが大きく変形しているために他の地域とは地震発生様式が違っている可能性もある [Kanamori (1971), Sasatani (1976), 清水・前田 (1980), Moriya (1986)]。青木 (2002) は、スラブの沈み込み角度の違いによるプレート境界面へかかる応力の違いを調べ、沈み込み角度が小さいほど地震が発生しにくくなる可能性を示している。この場所では沈み込むスラブが尾根状に変形しているため沈み込み角度が周辺よりも低角になっており [Sasatani (1976), Miyamachi *et al.* (1994), Hasegawa *et al.* (1994)]、隣接地域との地震活動様式の違いはこのようなスラブの形状に起因するものである可能性がある。

現在まで行われてきた 1952 年および 1968 年十勝沖地震の断層モデルに関する研究では、このサイスミック・ギャップにまで広がるような断層を想定した解析は行われていない。これは、これらの地震の余震域がこの

場所までは及んでいないためだと考えられる。1994年三陸はるか沖地震の際には地震時のすべり量が大きい場所では余震活動が低調であったことが知られており[Hino *et al.* (2000)], 余震活動が低調であったからといって地震時の断層すべりがなかったと判断することはできない。したがって、このサイスミック・ギャップが1952年あるいは1968年の十勝沖地震で動いた可能性についても調査する必要がある。

§ 5. 結 論

十勝沖の1952年十勝沖地震($M 8.2$)以降の地震活動の特徴について調査した。その結果、震源域内では極めて地震活動が低調であり、特にプレート境界面での地震活動度が著しく低いことがわかった。これは、この領域が普段は強く固着していて地震時に大きくすべる、いわゆるアスぺリティである可能性を示すものである。また、 $M 5$ 以上の地震の時空間分布から1990年頃以降に第二種空白域が形成されていることが明らかになった。十勝沖では、非地震性すべりなどによる応力解放が起こっている可能性は低く、前回の地震からの経過時間を考慮すると、2003年時点で前回の地震と同じ規模の $M 8$ 級の地震に相当するエネルギーが蓄えられている可能性がある。十勝沖と根室沖が連動して活動して巨大津波を発生させる可能性を含めて、次の十勝沖地震に対応できるような防災対策や観測体勢の整備を早急に行う必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたって北海道大学理学研究科附属地震火山研究観測センターの本谷義信研究員との日頃の議論は大変有意義であった。同センターの地震カタログは岡山宗夫・高田昌秀・一柳昌義・山口照寛の各技官、石川春義研究支援推進員の維持管理する地震観測網データから作成されている。札幌管区気象台地震火山課との月例北海道地震活動検討会での議論は北海道周辺域での地震活動を検討するうえで有意義であった。査読者である高山博之氏、堀 高峰氏および編集委員の青木 元氏から頂いた適切なコメントにより本論文は大きく改善されました。本論文で用いた気象庁震源カタログは、気象庁が文部科学省と協力して北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、独立行政法人防災科学技術研究所、独立行政法人産業技術総合研究所、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所、横浜市および海洋科学技術センターから提供を受けたデータを処理した結果である。国土地理院の全国GPS連続観測網の座標データを使用

した。Harvard大学のCentroid Moment Tensor解(<http://www.seismology.harvard.edu>)を使用した。図の作成にはSEIS95[石川・中村(1997)], PAT-ME(中村, 1999)およびGMT[Wessel and Smith (1998)]を用いた。記して感謝の意を表します。

追 記

本論文をまさに執筆し終わった2003年9月26日に、2003年十勝沖地震($M 8.0$)が発生した。この地震は、本論で指摘した第二種地震空白域を主なすべり域としているようである。本論文が公表される前に地震が発生してしまったことは誠に残念であるが、2003年十勝沖地震に関する詳細な報告は続報で明らかにする所存である。

文 献

- Aida, I., 1978, Reliability of a tsunami source model derived from fault parameters, *J. Phys. Earth*, **26**, 57-73.
- 青木治三, 2002, 1944年東南海地震はなぜ浜名湖周辺で止まったのか?, 日本地震学会秋季大会講演予稿集, B47.
- DeMets, C., R. G. Gordon, D. F. Argus and S. Stein, 1994, Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimate of current plate motions, *Geophys. Res. Lett.*, **21**, 2191-2194.
- Fujie, G., J. Kasahara, R. Hino, T. Sato, M. Shinohara and K. Suyehiro, 2002, A significant relation between seismic activities and reflection intensities in the Japan Trench region, *Geophys. Res. Lett.*, **29**, doi: 10.129/2001GL013764.
- Hasegawa, A., S. Horiuchi and N. Umino, 1994, Seismic structure of the northeastern Japan convergent margin: A synthesis, *J. Geophys. Res.*, **99**, 22295-22311.
- Hatori, T., 1969, Dimensions and geographic distribution of tsunami sources near Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **47**, 185-214.
- 羽鳥徳太郎, 1972, 1971年8月2日襟裳岬沖と1972年2月29日八丈島沖の津波-波源域と津波初動方向の分布, 地震学会講演予稿集, 2, 117.
- 羽鳥徳太郎, 1974, 東北日本太平洋側における津波の波源, 地震2, **27**, 321-337.
- Hino, R., S. Ito, H. Shiobara, H. Shimamura, T. Sato, T. Kanazawa, J. Kasahara and A. Hasegawa, 2000, Aftershock distribution of the 1994 Sanriku-oki earthquake ($M_w 7.7$) revealed by ocean bottom seismographic observation, *J. Geophys. Res.*, **105**, 21697-21710.
- 平川一臣・中村有吾・越後智雄, 2000, 十勝地方太平洋沿岸地域の巨大古津波, 月刊地球号外, **31**, 92-98.
- Hirata, K., M. Aoyagi, H. Mikada, K. Kawaguchi, Y. Kaiho, R. Iwase, S. Morita, I. Fujisawa, H. Sugioka,

- K. Mitsuzawa, K. Suyehiro, H. Kinoshita and N. Fujiwara, 2002, Real-Time Geophysical Measurements on the Deep Seafloor Using Submarine Cable in the Southern Kuril Subduction Zone, *IEEEJ. Ocean. Eng.*, **27**, 170-181.
- Hirata, K., E. Geist, K. Satake, Y. Tanioka and S. Yamaki, 2003, Slip distribution of the 1952 Tokachi-Oki earthquake ($M8.1$) along the Kuril Trench deduced from tsunami waveform inversion, *J. Geophys. Res.*, **108**, 2196, doi:10.1029/2002JB001976.
- 一柳昌義・高橋浩晃・本谷義信・笠原 稔・三ヶ田均・平田賢治・末廣 潔, 2003, 2001-2002年に発生した十勝沖の特異な地震活動, 北海道大学地球物理研究報告, **66**, 87-100.
- 一柳昌義・高橋浩晃・本谷義信・笠原 稔・平田賢治・三ヶ田 均, 2004, 北海道十勝沖で2001-2002年に発生した地震活動の陸海地震観測網による震源決定, 地震2, **56**, 529-536.
- Igarashi, T., T. Matsuzawa and A. Hasegawa, 2003, Repeating earthquakes and interplate aseismic slip in the northeastern Japan subduction zone, *J. Geophys. Res.*, **108**, 2249, doi: 10.1029/2002JB001920.
- International Seismological Centre, 2001, On-line Bulletin, <http://www.isc.ac.uk/Bull>, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom.
- 石川有三・中村浩二, 1997, SEIS-PC for Windows95, 地球惑星科学関連学会 1997 年合同大会予稿集, 78.
- Ito, T., S. Yoshioka and S. Miyazaki, 2000, Interplate coupling in northeast Japan deduced from inversion analysis of GPS data, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **176**, 117-130.
- Iwasaki, T., H. Shiobara, A. Nishizawa, T. Kanazawa, K. Suyehiro, N. Hirata, T. Urabe and H. Shimamura, 1989, A detailed subduction structure in the Kurile trench deduced from ocean bottom seismographic refraction studies, *Tectonophysics*, **165**, 315-336.
- Kanamori, H., 1971, Focal mechanism of the Tokachi-Oki earthquake of May 16, 1968: Contortion of the lithosphere at a junction of two trenches, *Tectonophysics*, **12**, 1-13.
- 笠原順三・鳥海光弘・川村雄行, 2003, 地震発生と水, 東京大学出版会, 392pp.
- 笠原 稔, 1975, 1952 年十勝沖地震の断層モデル, 地震学会講演予稿集, **2**, 90.
- Mazzotti, S., X. LePichon, P. Henry and S. Miyazaki, 2000, Full interseismic locking of the Nankai and Japan-west Kurile subduction zones: An analysis of uniform elastic strain accumulation in Japan constrained by permanent GPS, *J. Geophys. Res.*, **105**, 13159-13177.
- Miyamachi, H., M. Kasahara, S. Suzuki, K. Tanaka and A. Hasegawa, 1994, Seismic velocity structure in the crust and upper mantle beneath northern Japan, *J. Phys. Earth*, **42**, 269-301.
- Miyamura, J. and T. Sasatani, 1986, Accurate determination of source depths and focal mechanisms of shallow earthquakes occurring at the junction between the Kurile and the Japan trenches, *J. Fac. Sci., Hokkaido Univ.*, VII, **8**, 37-63.
- Moriya, T., 1986, Collision of forearcs and overlapped deep seismic zone in the transitional zone between the northern Honshu and Kurile arcs, *J. Phys. Earth*, **34**, Suppl., S175-S192.
- 本谷義信, 2000, 1952 年十勝沖地震と 1973 年根室半島沖地震の地震活動空白域の再検討, 北海道大学地球物理研究報告, **63**, 23-32.
- 永井理子・菊地正幸・山中佳子, 2001, 三陸沖における再来大地震の震源過程の比較研究—1968 年十勝沖地震と 1994 年三陸はるか沖地震の比較—, 地震2, **54**, 267-280.
- 中村浩二, 1999, GPS データ簡易表示プログラム (SEIS-GPS) の開発, 情報地質, **10**, 257-266.
- Nanayama, F., K. Satake, R. Furukawa, K. Shimokawa, B. F. Atwater, K. Shigeno and S. Yamaki, 2003, Unusually large earthquakes inferred from tsunami deposits along the Kuril trench, *Nature*, **424**, 660-663.
- Nishimura, T., S. Miyazaki, T. Sagiya, T. Tada, S. Miura, K. Tanaka and T. Hirasawa, 2001, Spatio-temporal distribution of interplate coupling east off northeastern Japan deduced from GPS observation, *Tohoku Geophys. J.*, **36**, 2, 254-256.
- Ozawa, S., M. Murakami, M. Kaidzu, T. Tada, T. Sagiya, Y. Hatanaka, H. Yairai and T. Nishimura, 2002, Detection and monitoring of ongoing aseismic slip in the Tokai region, central Japan, *Science*, **298**, 5595, 1009-1012.
- Sasatani, T., 1976, Mechanism of mantle earthquakes near the junction of the Kurile and the northern Honshu arcs, *J. Phys. Earth*, **24**, 341-354.
- 関谷 博・久本壮一・望月英志・小林悦夫・栗原隆治・徳永規一・岸尾政弘, 1974, 1973 年根室半島沖地震と北海道南方海域の巨大地震, 地震学会講演予稿集, **1**, 58.
- Shimazaki, K., 1974, Nemuro-Oki earthquake of June 17, 1973: A lithospheric rebound at the upper half of the interface, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **9**, 314-327.
- 清水信之・前田 亟, 1980, 上杵臼で観測される顕著な相の解析, 地震2, **33**, 141-155.
- Suwa, Y., S. Miura, A. Hasegawa, T. Sato and K. Tachibana, 2003, Inter-plate coupling beneath the NE Japan arc inferred from 3 dimensional crustal deformation, Abstract of IUGG 2003 General Assembly, JSG01/08P/D-002.
- 鈴木貞臣, 1976, 1952 年十勝沖地震の震源再決定とその周辺の大地震の余震域について, 地震学会講演予稿集, **1**, 13.
- 多田 堯, 1974, 根室半島沖地震による地殻変動と断層モデル, 地震2, **27**, 120-128.
- Takahashi, H. and K. Hirata, 2003, The 2000 Nemuro-Hanto-Oki earthquake, off eastern Hokkaido, Japan, and the high intraslab seismic activity in the southwestern Kuril Trench, *J. Geophys. Res.*,

- 108, 2178, doi10.1029/2002JB001813.
- Tanioka, Y., L. Ruff and K. Satake, 1996, The Sanriku-oki, Japan, earthquake of December 28, 1994 (M_w 7.7): Rupture of a different asperity from a previous earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 1465–1468.
- 谷岡勇市郎, 2004, 津波波形解析から推定される 1971 年 8 月 2 日十勝沖地震 (スラブ内地震) の断層モデルとその解釈, *地震* **2**, **56**, 405–411.
- Uchida, N., T. Matsuzawa and A. Hasegawa, 2003, Interplate quasi-static slip off Sanriku, NE Japan, estimated from repeating earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 1801, doi: 10.1029/2003GL017452.
- 宇津徳治, 1968, 北海道およびその周辺の地震活動, 北海道大学地球物理学研究報告, **20**, 51–76.
- 宇津徳治, 1972, 北海道周辺における大地震の活動と根室南方沖地震について, *地震予知連絡会会報*, **7**, 7–13.
- 宇津徳治, 1999, 地震活動総説, 東京大学出版会, 876 pp.
- Wessel, P. and W. H. F. Smith, 1998, New improved version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. AGU*, **79**, 579.
- 山中佳子・菊地正幸, 2002, アスペリティマップ—北海道編 (その 1) —, 日本地震学会 2002 年秋季大会講演予稿集, B52.
- 地震調査委員会, 2003, 千島海溝沿いの地震活動の長期評価, 29 pp.