

5. 平成 15 年（2003 年）十勝沖地震（2003 年 9 月 26 日，M8.0）

谷岡 勇市郎（北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センター）

1. はじめに

2003 年 9 月 26 日に発生した十勝沖地震 (M_{JMA} 8.0) は地震調査推進本部の発表した「千島海沿いの地震活動の長期評価について」においてその発生が想定されていた地震であると考えられ、その発生確率は 2003 年 1 月 1 日から 30 年以内で 60% 程度であった。地震発生直後から全国の大学及び関連研究機関と協力し様々な緊急観測が実施された。まず、北海道大学・東京大学地震研究所・名古屋大学・京都大学防災研究所・九州大学が連携し GEONET 観測網を補間する緊急 GPS 観測網が展開され、地震後の余効変動がとらえられた¹⁾。さらに、北海道大学・東北大学・秋田大学・東京大学地震研究所・産業技術総合研究所・海洋研究開発機構・気象庁が連携し津波波高・遡上高及び津波被害調査が実施された²⁾。最後に、北海道大学・東京大学地震研究所・東北大学・九州大学・気象庁・海洋研究開発機構が連携し、のべ 47 台の海底地震計による海底地震観測が実施され、詳細な余震分布が推定された^{3) 4)}。

地震直後の北海道での誘発地震活動は特徴的で、十勝岳から屈斜路カルデラにいたる火山フロントで浅発地震活動が活発化した。地震による被害は、苫小牧での石油タンクの火災が甚大で 44 時間にわたって燃え続けた。死者 1 人、行方不明者 1 人はいずれも津波によってさらわれた釣り人であった。その他、建物・道路・橋脚の強震動による被害は多くあったものの、耐震設計された建物被害は軽微なものに留まった。最大震度は 6 弱であった。

本報告では、まず、震源過程と余震分布について述べ、その後、地震前の前兆変動、地震後の余効変動、誘発地震活動についてまとめる。さらに 1952 年十勝沖地震との比較を行い、最後に強震動及び津波による被害についてまとめることとする。

2. 震源過程と余震分布

この地震の震源過程は地震発生直後から様々なデータを用いて推定された。Yamanaka and Kikuchi (2003)⁵⁾ は遠地実体波を用いてすべり量分布を推定 (図 1)、Yagi (2004)⁶⁾ は遠地実体波及び強震動波形 (K-NET) を用いてすべり量分布を推定 (図 2)、Honda et al. (2004)⁷⁾ は強震動波形 (K-NET 及び KIK-net) を用いてすべり量分布を推定している (図 3)。Miyagaki et al. (2004a)⁸⁾ は 1-Hz の GPS データを地震波形として用い、すべり量分布を推定した。Ozawa et al. (2004)⁹⁾ や Miura et al. (2004)¹⁰⁾ は GPS 地殻変動データ (GEONET) を用いてすべり量分布を推定している (図 4)。Koketsu et al. (2004)

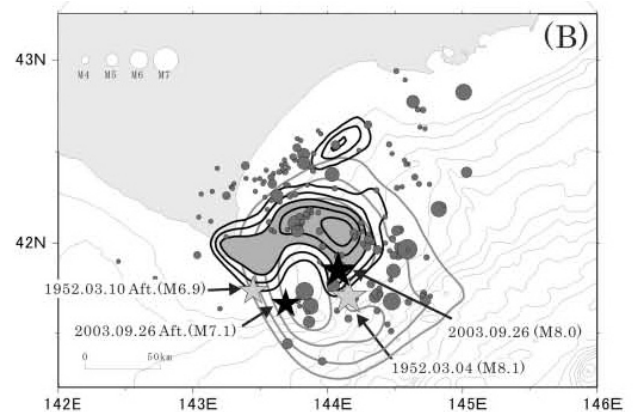


図 1 Yamanaka and Kikuchi (2003)⁵⁾ の Fig.1 より 2003 年十勝沖地震のすべり量分布 (黒コンター, 1m 間隔) と 1952 年十勝沖地震のすべり量分布 (灰色コンター, 1m から始まり 0.3m 間隔) との比較。

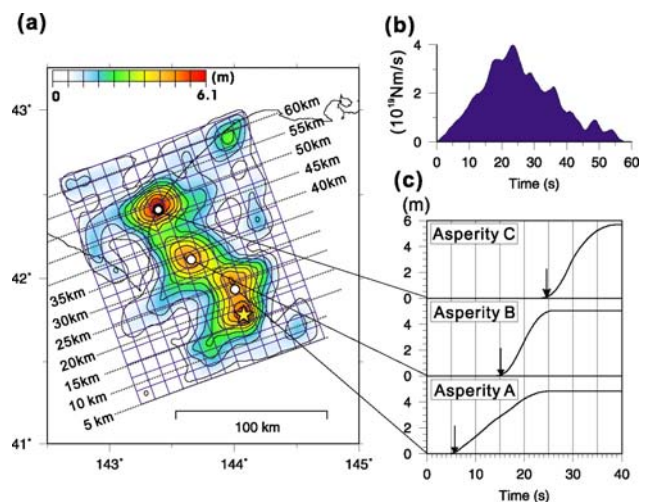


図 2 Yagi (2004)⁶⁾ の Fig.5. より 2003 年十勝沖地震のすべり量分布、震源時間関数、それぞれの位置でのすべり関数。

¹¹⁾は遠地実体波・強震動波形・GPS 地殻変動データを総合的に説明できるすべり量分布を推定した (図 5)。

Tanioka et al. (2004)¹²⁾ や谷岡・他 (2004)¹³⁾ は日本太平洋沿岸の検潮所や海底津波計で観測された津波波形を用いてすべり量分布を推定した (図 6)。本震の震源から北側 (陸寄り) に大きく滑った場所があることはすべての解析結果で共通であり、どのデータを使用しても同様の結果が得られたと言える。しかし、詳しく見ると違いがある、特に Yagi (2004)⁶⁾ や Honda et al. (2004)⁷⁾ など強震動波形を用いた結果は大きくすべった場所は 2 箇所以上あるのに対し、遠地震震波形や GPS 地殻変動

や津波波形を用いた結果は大きくすべった場所はほぼ 1 箇所に集中しているような結果となっている。違いはそれぞれのデータの分解能の違いによると考えることもできるが、短周期地震波のエネルギー放出過程と長周期のそれとは違うことを意味するのかもしれない。

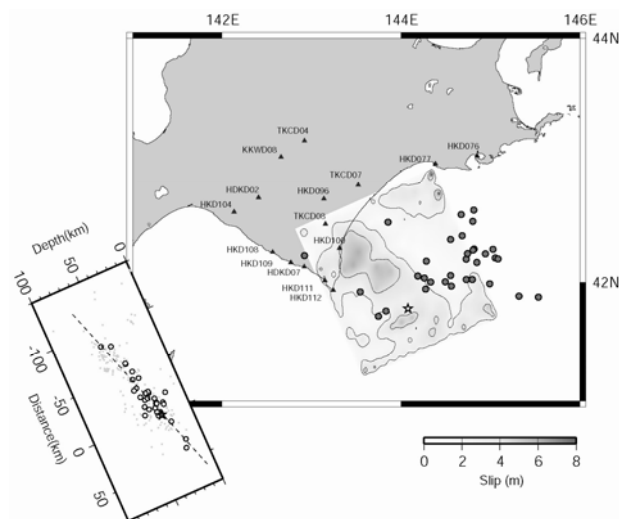


図3 Honda et al. (2004) ⁷⁾ の Fig.10. より
2003 年十勝沖地震のすべり量分布と余震分布

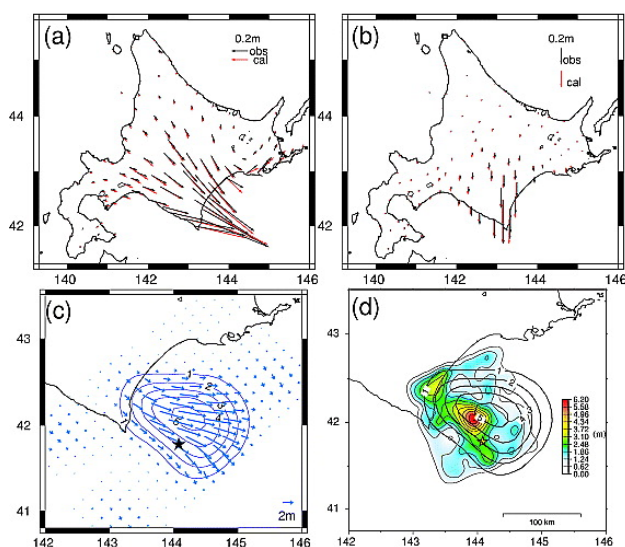


図4 Miura et al. (2004) ¹⁰⁾ の Fig.2 より
(a) GPS 水平変動データと計算結果の比較. (b) GPS 鉛直変動データと計算結果の比較. (c) 2003 年十勝沖地震の地震時すべり量分布. (d) Yagi et al. (2004) ⁶⁾ によって得られたすべり量分布との比較.

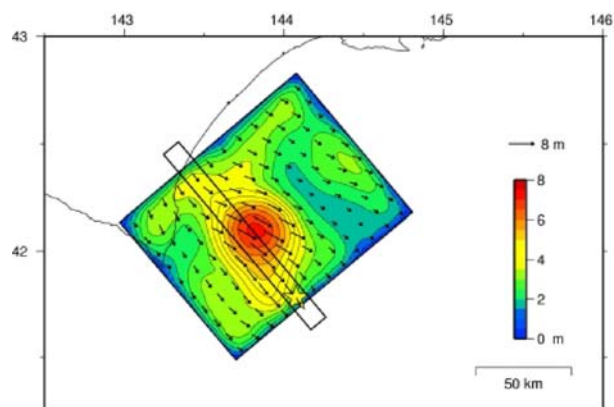


図5 Koketsu et al. (2004) ¹¹⁾ の Fig.8. より
2003 年十勝沖地震のすべり量分布

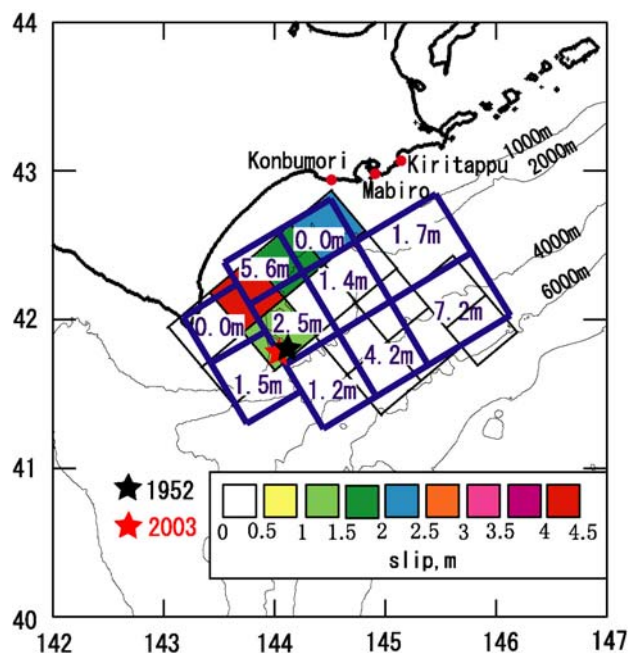


図6 Tanioka et al. (2004) ¹²⁾ の Fig.4. より
津波波形から推定された 2003 年十勝沖地震のすべり量分布 (色付き長方形) と Hirata et al. (2003) ²²⁾ によって推定された 1952 年十勝沖地震のすべり量分布 (数字入りの青長方形) の比較

次に詳細な余震分布は、大学 (北海道大学・東京大学地震研究所・東北大学・九州大学) 及び関係機関 (気象庁・海洋研究開発機構) が連携し、のべ 47 台の海底地震計による調査によって決定された ^{3) 4)} (図 7). 多くの余震はプレート境界面に沿って発生しており、本震がプレート境界型地震であったことを示す。しかし、余震はプレート境界だけで発生しているのではなく、上盤側プレート内部でも発生していることが分かった。さらに、余震は震源域全体で発生しているのではなく、ある程度固まって発生していることが分かる (図 7). Yamanaka and Kikuchi (2003) ⁵⁾ によって推定されたすべり量分布と比較すると大きくすべった場所での余震活動は比較的低調

であることも分かった。

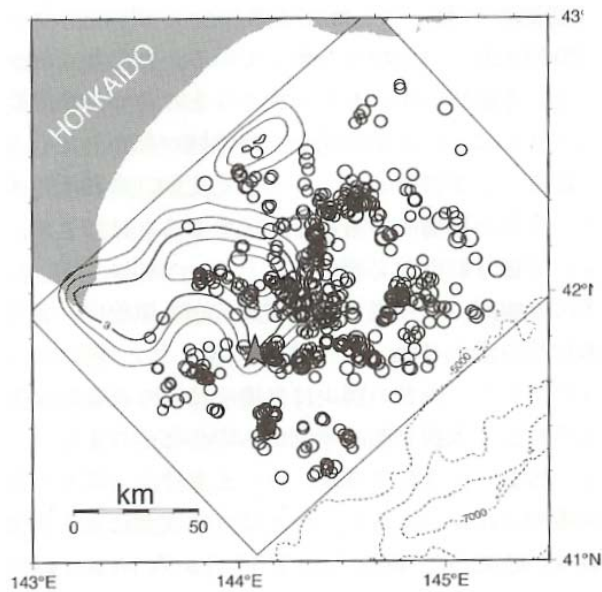


図7 山田・他 (2005)⁴⁾の Fig. 4. より

海底地震観測により決定された余震分布と
Yamanaka and Kikuchi (2003)⁵⁾によって推定された
2003 年十勝沖地震のすべり量分布との比較

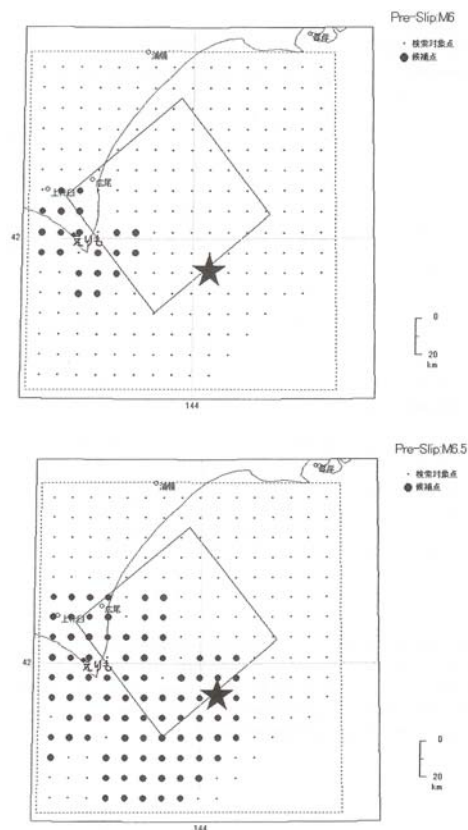


図8 気象庁 (2004)¹⁴⁾の第1図及び第2図より

- (上) M6 の前兆すべりがえりもで検知できる場所●
- (下) M6.5 の前兆すべりがえりもで検知できる場所●

3. 地震前の前兆変動

北海道大学では十勝沖地震の前兆地殻変動をとらえるべく、えりも観測所にて横坑式歪観測及び傾斜観測を実施してきた (第1部第3章 1.1「北海道大学大学院理学研究院」を参照)。しかし2003年十勝沖地震の前兆地殻変動を捕らえることはできなかった。同観測所のノイズレベルを 3×10^{-8} 程度と仮定すると、Mw6.0 程度の前兆すべりが震源付近で発生していたとしても、観測できないことが明らかになった¹⁴⁾。つまり、前兆すべりは Mw6.0 程度以下であったと考えられる (図8)。

地震発生前から指摘されていたように、2003年十勝沖地震前の十勝沖での地震活動は定常的に低調であった。その中でも1990年以降は顕著に地震活動が低下していることが高橋・笠原 (2004)¹⁵⁾によって以前より指摘されていた (図9)。

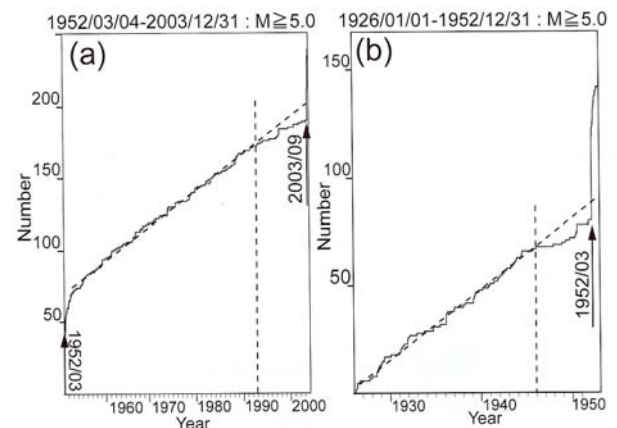


図9 高橋・笠原 (2004)¹⁵⁾の Fig. 5 より

十勝沖震源域での地震回数積算図。

- (a) 1952年3月から2003年9月までの期間
- (b) 1926年1月から1952年3月までの期間

4. 地震後の余効変動

大学連合 (北海道大学・東京大学地震研究所・名古屋大学・京都大学防災研究所・九州大学) は十勝沖地震後の余効変動を観測するため、GEONETを補間する緊急GPS観測網を展開した¹⁾。地震後1ヶ月間の観測の結果、地震時破壊域よりも深部側への余効すべりの広がりは少ないことを示した。Ozawa et al. (2004)⁹⁾は定常GPS観測網 (GEONET) データを用いて、地震発生直後 (2003年9月26日) から、2004年3月6日までの余効変動の時間推移を推定した (図10)。その結果、余効変動は地震時破壊域を囲むようにすべりが大きくなり、トータルで Mw7.8 相当に達したと推定した。Baba et al. (2006)¹⁶⁾ は GEONET データに加え、震源域近傍に設置されていた海底圧力計で記録された海底上下変動をデータとして用い地震後1年間の余効変動量を推定した (図11)。やはり余

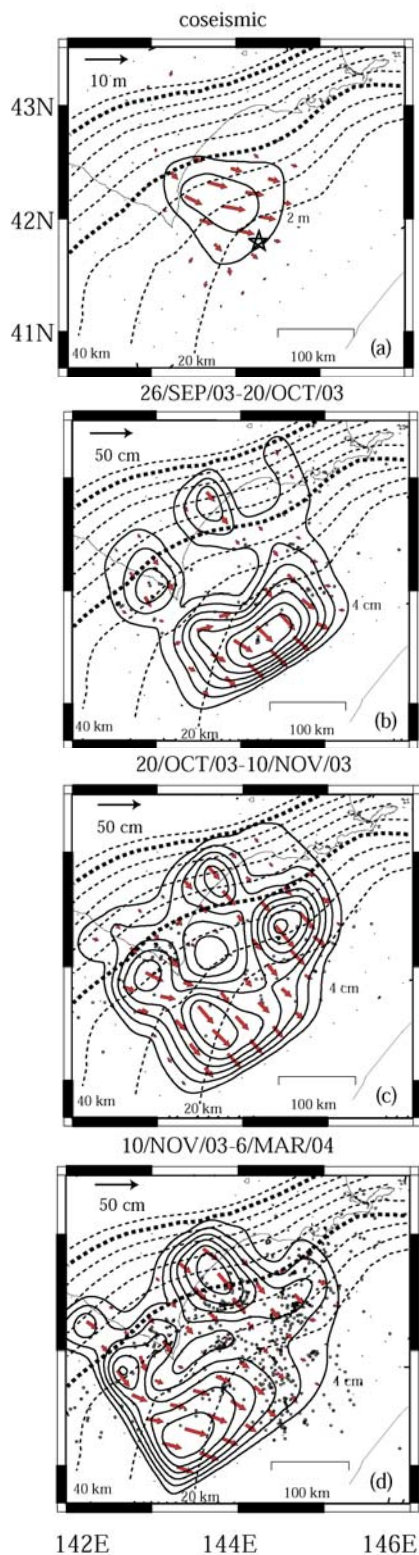


図10 Ozawa et al. (2004)⁹⁾のFig.6より
上から2003年十勝沖地震時すべり量分布, 地震後
約1ヶ月間の余効変動分布, 10月20日から11月
10日の余効変動分布, 最後は11月10日から翌年
3月6日までの余効変動分布

効変動は地震時破壊域を囲むように発生していた事が明らかになった。さらに Miyazaki et al. (2004)¹⁷⁾は地震発生直後から1ヶ月間のGEONETデータを用いて余効変動のすべり速度を推定し(図12), その結果から地震時破壊域の周辺の余効変動域は安定すべり域(速度強化摩擦域)である可能性を示した。

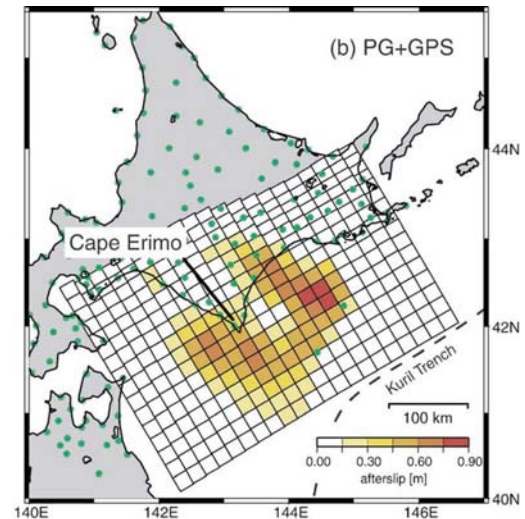


図11 Baba et al. (2006)¹⁶⁾のFig.6より
2003年十勝沖地震後1年間の余効変動分布

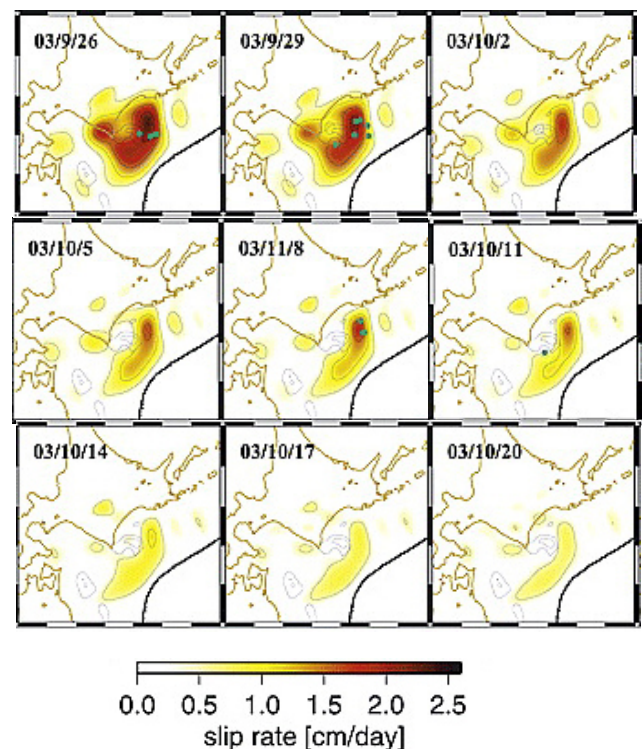


図12 Miyazaki et al. (2004)¹⁷⁾のFig.3.より
2003年十勝沖地震後の余効変動すべり速度分布
の時系列(3日ごと)

5. 誘発地震活動

2003 年十勝沖地震の発生直後から、震源域の北約 100km にあたる十勝岳から雌阿寒岳を通り屈斜路カルデラに至る北海道東部内陸部の火山フロントに沿った領域（図 13）で、地震活動が活発化したことが示された^{18) 19)}。反対に、十勝沖地震の発生により定常的な地震活動が停止した場所もあった。上田・高橋（2005）²⁰⁾は GEONET 観測網の十勝沖地震時水平変位データから歪を計算し、その結果から右横ずれ断層に対する ΔCFS を計算し、地震活動の活発化した地域は ΔCFS が増加した領域に対応することを示した。十勝沖地震による ΔCFS の増加が火山フロントでの誘発地震活動の原因である可能性が示された。

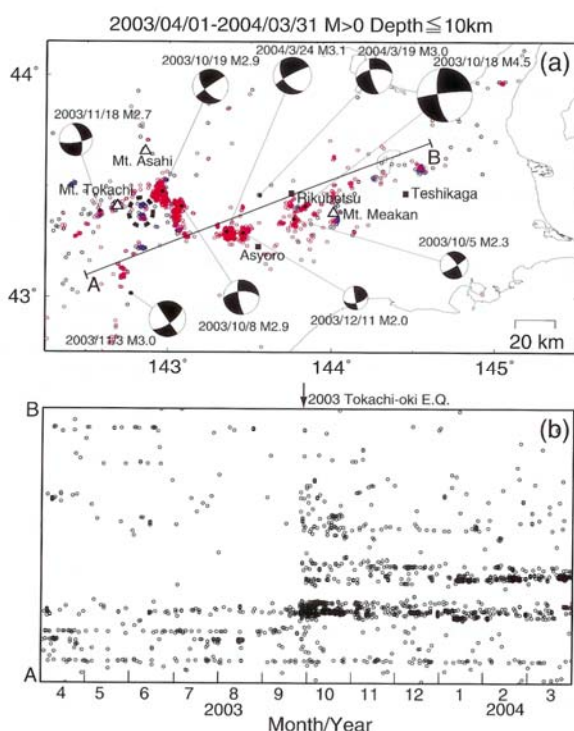


図 13 上田・高橋（2005）²⁰⁾の Fig.1 より

十勝岳から雌阿寒岳を通り屈斜路カルデラに至る北海道東部内陸部の火山フロントに沿った領域での、2003 年十勝沖地震前後の微小地震の時系列

6. 1952 年十勝沖地震との比較

まず、Yamanaka and Kikuchi（2003）⁵⁾は 1952 年のすべり量分布を根室と釧路の強震波形より推定した（図 1）。しかし S 波の到着と同時に振り切れているため、破壊過程の後半部分が推定できていない可能性があるとして指摘している。少なくとも解析できた部分のすべり量分布は 2003 年十勝沖地震のすべり量分布と重なっており、2003 年十勝沖地震が 1952 年十勝沖地震の繰り返し地震であることが示された。Hamada et al.（2004）²¹⁾は 1952 年

十勝沖地震の余震分布の再決定を行った。その結果、再決定前に厚岸沖に決定されていた多くの震源が釧路海底谷あたりまで西に移動し、2003 年十勝沖地震の余震分布よりも大きく東に広がっているとされていた 1952 年の余震分布が 2003 年の余震分布と同程度の広がりとなった（図 14）。さらに 1952 年十勝沖地震の震度分布も 2003 年十勝沖地震のそれと同程度であることも示された（図 15）。

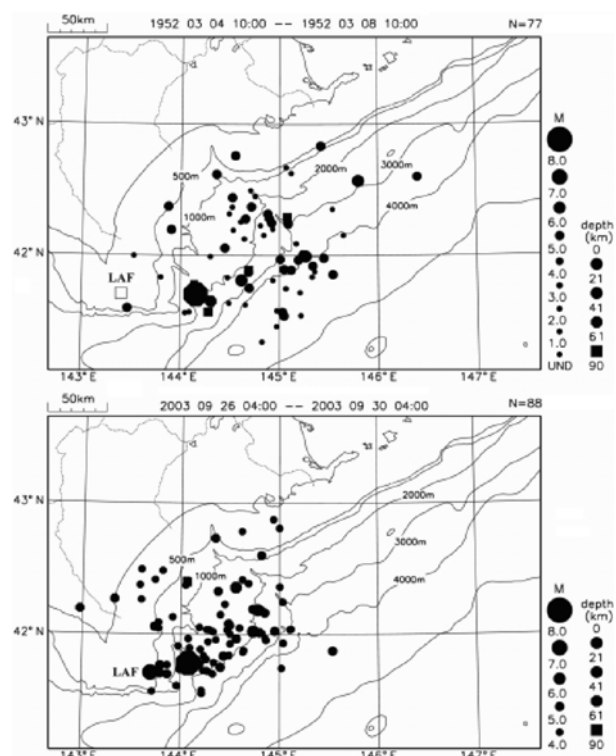


図 14 Hamada et al.（2004）²¹⁾の Fig.6 より

（上）再決定した 1952 年十勝沖地震の余震分布。

（下）2003 年十勝沖地震の余震分布

しかし、津波の解析結果は 1952 年十勝沖地震と 2003 年十勝沖地震の震源過程に違いがあることを示している。Tanioka et al.（2004）²⁾は 2003 年十勝沖地震で発生した津波の遡上高分布と 1952 年の津波の遡上高分布を比較し、1952 年の津波遡上高は厚岸から霧多布にかけて明らかに大きいことを示した（図 16）。さらに津波波形解析によって推定された 1952 年十勝沖地震のすべり量分布²²⁾の広がりには 2003 年十勝沖地震のそれよりも明らかに東に広いものだった（図 6）。Satake et al.（2006）²³⁾は 1952 年十勝沖地震のすべり量分布の再解析を行い、2003 年十勝沖地震ではすべらなかつた厚岸沖のプレート境界で 1952 年ではすべりがあったことを再確認した。1952 年十勝沖地震による津波の励起過程は明らかに 2003 年のそれとは違っていた。

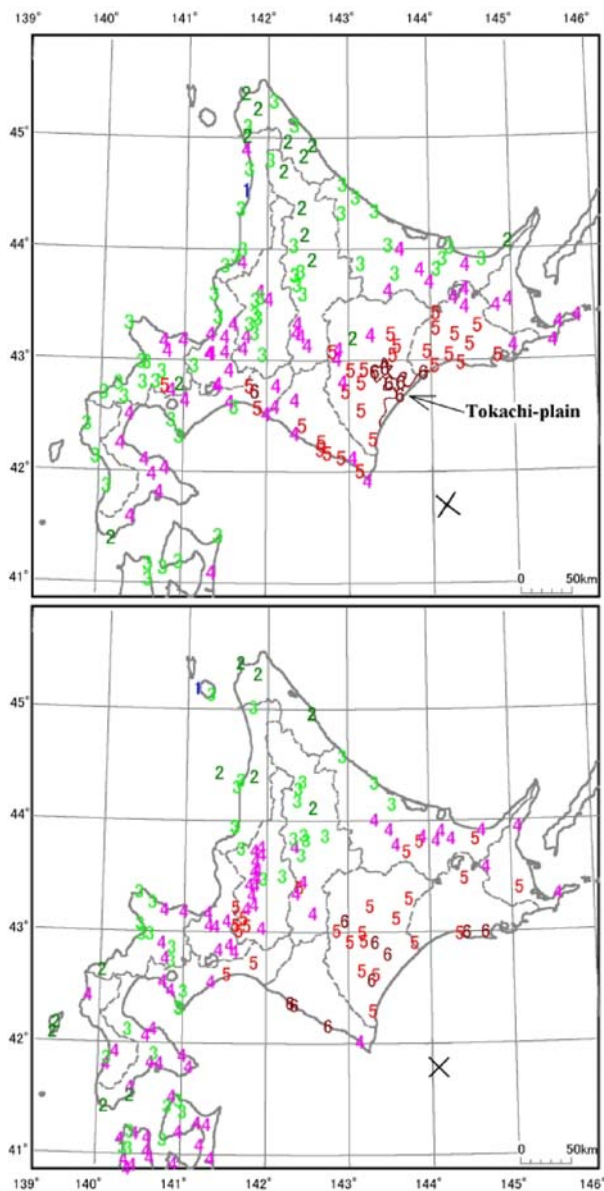


図15 Hamada et al. (2004) ²¹⁾ のFig.7より
 (上) 1952年十勝沖地震の震度分布
 (下) 2003年十勝沖地震の震度分布

7. 強震動及び津波による被害

強震動による被害は、苫小牧での石油タンクの火災が甚大で44時間にわたって燃え続けたものもある。苫小牧では特定石油タンクのうち58%にあたる170基がなんらかの被害を受けた。原因は勇払平野内の厚い堆積層(2-3km程度になる)により励起された長周期地震動(周期数秒から十数秒)が特定石油タンクのスロッシング(液面揺動)を発生させたこととされた²⁴⁾。鏡味(2005)²⁵⁾によると建物被害は浦河町・静内町・豊頃町で多く、全壊116棟、半壊368棟であり、人的被害は死者1名、行方不明者1名、負傷者842名となっている。死者1人、行方不明者1人はいずれも津波によってさらわれた釣り人であった。岡田(2005)²⁶⁾によると、道路及び橋脚は十勝・

釧路を中心に大きな被害を受けたが、多くは液状化に伴う地盤変状に伴う変形および亀裂という軽微なものに止まったとしている。

津波の最大遡上高はえりも町百人浜で4mに達し、襟裳岬から十勝川河口の大津漁港までの十勝沿岸で3-4mと高く、北海道東部沿岸や日高沿岸では1-2mであった(末広では局所的に4mに達した)(図16)。十勝港(広尾)や大津漁港(十勝川河口)では浸水による被害が発生した。さらには釧路川を津波が遡上し、貯木場から木材が流れ出した等の被害もあったが、いずれも軽微なものに止まった²⁷⁾。

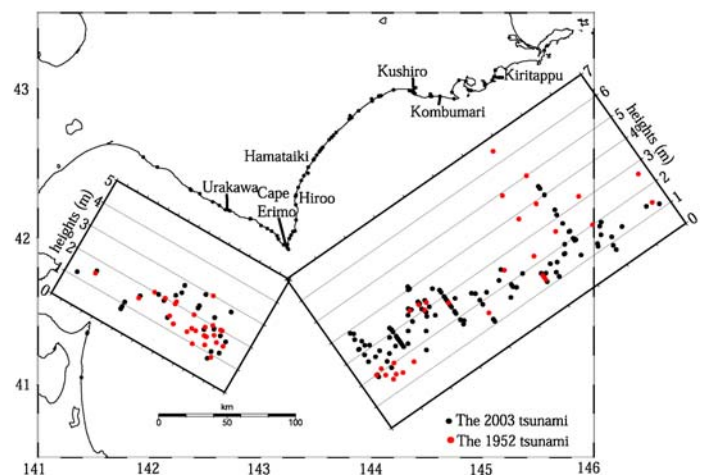


図16 Tanioka et al. (2004) ²⁾ のFig.7.より
 2003年十勝沖地震の津波遡上高(●)と1952年
 十勝沖地震の津波遡上高(●)の比較

参考文献

- 1) Takahashi, H., et al., 2004. GPS observation of the first month of postseismic crustal deformation associated with the 2003 Tokachi-oki earthquake (M_{JMA} 8.0) off southeastern Hokkaido, Japan. *Earth Planets Space*, **56**, 377-382.
- 2) Tanioka, Y., et al., 2004. Tsunami run-up heights of the 2003 Tokachi-oki earthquake. *Earth Planets Space*, **56**, 359-366.
- 3) Shinohara, et al., 2004. Aftershock observation of the 2003 Tokachi-oki earthquake by using dense ocean bottom seismometer network. *Earth Planets Space*, **56**, 295-300.
- 4) 山田知朗・他, 2005. 稠密海底地震観測による2003年十勝沖地震の余震分布. *地震*, **57**, 281-290.
- 5) Yamanaka, K. and M. Kikuchi, 2003. Source processes of the Tokachi-oki earthquake on September 26, 2003, inferred from teleseismic body waves. *Earth Planets*

Space, **55**, e21-e24.

- 6) Yagi, Y., 2004. Source rupture process of the 2003 Tokachi-oki earthquake determined by joint inversion of teleseismic body wave and strong motion data. *Earth Planets Space*, **56**, 311-316.
- 7) Honda, R., S. Aoi, N. Morikawa, H. Sekiguchi, T. Kunugi, and H. Fujiwara, 2004. Dround motion and rupture process of the 2003 Tokachi-oki earthquake obtained from nstrong motion data of K-NET and KiK-NET. *Earth Planets Space*, **56**, 317-322.
- 8) Miyazaki, S., K. M. Larson, K. Choi, K. Hikima, P. Bodin, J. Haase, G. Emore, and A. Yamagiwa, 2004. Modeling the rupture process of the 2003 September 25 Tokachi-oki (Hokkaido) earthquake using 1-Hz GPS data. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L21603, doi:10.1029/2004GL021457.
- 9) Ozawa, S., M. Kaidzu, M. Murakami, T. Imakiire, and Y. Hatanaka, 2004. Coseismic and postseismic crustal deformation after the Mw 8 Tokachi-oki earthquake in Japan. *Earth Planets Space*, **56**, 675-680.
- 10) Miura, S., Y. Suwa, A. Hasegawa, and T. Nishimura, 2004. The 2003 M8.0 Tokachi-oki earthquake – How much has the great event paid back slip debts?. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L05613, doi:10.1029/2003GL019021.
- 11) Koketsu, K., K. Hikima, S. Miyazaki, and S. Ide, 2004. Joint inversion of strong motion data for the source process of the 2003 Tokachi-oki, Hokkaido, earthquake. *Earth Planets Space*, **56**, 329-334.
- 12) Tanioka, Y., K. Hirata, R. Hino, and T. Kanazawa, 2004. Slip distribution of the 2003 Tokachi-oki earthquake estimated from tsunami wavefrom inversion. *Earth Planets Space*, **56**, 367-372.
- 13) 谷岡勇市郎・平田賢治・日野亮太・金沢敏彦, 2004. 津波波形から推定した詳細な 2003 年十勝沖地震のすべり量分布. 地震 2, **57**, 75-82.
- 14) 気象庁, 平成 15 年十勝沖地震の前兆すべりの検知可能性. 地震予知連会報, **71**, 122-123, 2004.
- 15) 高橋浩晃・笠原稔, 2004. 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. 地震 2, **56**, 393-404.
- 16) Baba, T., K. Hirata, T. Hori, and H. Sakaguchi, 2006. Offshore geodetic data conductive to the estimation of the afterslip distribution following the 2003 Tokachi-oki earthquake. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **241**, 281-292,
- 17) Miyazaki, S., P. Segall, J. Fukuda, T. Kato, 2004. Space time distribution of afterslip following the 2003 Tokachi-oki earthquake: Implications for variations in fault zone frictional properties. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L06623, doi:10.1029/2003GL019410,
- 18) 杉田裕志・横田崇, 2005. 「平成 15 年 (2003 年) 十勝沖地震」と震源域およびその周辺域の地震活動について. 地震 2, **57**, 305-314.
- 19) 高橋浩晃・笠原稔, 2004. 2003 年十勝沖地震－1952 年十勝沖地震からの地震活動・前震・本震・余震および誘発地震. 地震 2, **57**, 115-130.
- 20) 上田満治・高橋浩晃, 2005. 2003 年十勝沖地震による北海道東部火山フロントに沿った誘発地震活動と静的応力変化との関連性. 地震 2, **58**, 115-120.
- 21) Hamada, N., and Y. Suzuki, 2004. Re-examination of aftershocks of the 1952 Tokachi-oki earthquake and a comparison with those of the 2003 Tokachi-oki earthquake. *Earth Planets Space*, **56**, 341-346.
- 22) Hirata, K., E. L. 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(B4)**, 2196, doi:10.1029/2002JB001976.
- 23) Satake, K., K. Hirata, S. Yamaki, and Y. Tanioka, 2006. Re-estimation of tsunami source of the 1952 Tokachi-oki earthquake. *Earth Planets Space*, **58**, 535-542.
- 24) 畑山健・座間信作・西晴樹・山田實・廣川幹浩・井上涼介, 2004. 2003 年十勝沖地震による周期数秒から十数秒の長周期地震動と石油タンクの被害. 地震 2, **57**, 83-104.
- 25) 鏡味洋史, 2005. 1952 年と 2003 年の十勝沖地震の被害分布. 月刊地球, 号外 **49**, 182-188.
- 26) 岡田成幸, 2005. 2003 年十勝沖地震－地震による土木・建物被害の特徴－. 月刊地球, 号外 **49**, 189-196.
- 27) 谷岡勇市郎・他, 2004. 2003 年十勝沖地震津波調査報告. 津波工学研究報告, **21(2)**, 1-237.