

17世紀に北海道東部で発生した異常な津波の波源モデル(その2)

Source models of the unusual tsunami in the 17th century in eastern Hokkaido: part 2

佐竹健治¹・七山 太²・山木 滋³

Kenji Satake¹, Futoshi Nanayama² and Shigeru Yamaki³

¹ 活断層研究センター (Active Fault Research Center, GSJ/AIST, kenji.satake@aist.go.jp)

² 地質情報研究部門 (Institute of Geology and Geoinformation, GSJ/AIST, nanayama-f@aist.go.jp)

³ 有限会社 シーマス (Seamus Co., Ltd., yamaki@kc4.so-net.ne.jp)

Abstract: Tsunami simulations were performed from several fault models of earthquakes along the Kuril trench, in addition to those reported last year (Satake *et al.*, 2003). The 2003 Tokachi-oki earthquake (M 8.0), which occurred after the submission of the last year's report, did not leave any tsunami deposits that would be preserved in coastal geology. Two sources with the same slip but different location (nearshore and offshore) and depth are compared to examine the effects on tsunami generation. While the 2003 earthquake source was located nearshore, an offshore and shallower fault would cause larger tsunami heights along the coast. For the 17th century tsunami, previous model with uniform 5 m slip could not completely reproduce the tsunami inundation limits estimated from the distribution of tsunami deposits on the Tokachi coast. In addition, the computed coastal heights from the model were smaller than those reported (>10 m) by Hirakawa *et al.* (2005). If the slip on the fault is increased to 10 m at least on the Tokachi part of the source, both the tsunami inundation and coastal heights become larger and consistent with the observations. While such a model is preferred for tsunami hazard assessments in Hokkaido, the model predicts tsunami heights larger than 3 m along the Sanriku coast, but no tsunami damage has been documented in the existing historical documents.

キーワード: 津波, 津波堆積物, 古地震, 北海道, 千島海溝

Keywords: tsunami, tsunami deposit, paleoseismology, Hokkaido, Kuril trench

1. はじめに

北海道東部の太平洋岸における古地震調査から明らかになった17世紀の異常に大きな津波を再現するために、佐竹ほか(2003, 以下では前報と呼ぶ)は14個の断層モデルについて津波の数値シミュレーションを行った。断層の幅によってアルマゲドン地震・プレート間地震・津波地震の3つのタイプを想定し、断層の長さについては、単独セグメント・複数セグメントを考慮したほか、断層の走向やすべり量も変化させた。これらの断層モデルから北海道沿岸および三陸沿岸における津波の高さを計算し、歴史記録と比較した。さらに北海道東部沿岸の湿原での浸水域を計算し、津波堆積物の分布と比較した。

北海道太平洋岸5ヶ所の湿原(南部沼, 霧多布湿原, 床潭沼, 馬主来沼, 生花苗沼)においては、17世紀の火山灰(Ta-a, Ko-c2; 古川ほか, 1997)と10世紀頃の火山灰(B-Tm)との間に2枚の砂層(上からTs3, Ts4と呼ぶ)が発見され、海岸から数kmまで追跡された(七山ほか, 2000, 2001, 2002, 2003,

Nanayama *et al.*, 2003)。17世紀の火山灰の上位にも2枚の津波砂層(上からTs1, Ts2と呼ぶ)が発見されているが、これらの分布は海岸付近に限られている。火山灰との層序関係から、Ts3は17世紀, Ts4はおよそ13世紀頃の津波による堆積物と考えられた。また、Ts3とTs4の海岸からの到達距離は、霧多布付近を境に、根室側ではTs4が相対的に大きく、十勝側ではTs3が相対的に大きい(七山ほか, 2002)。

前報では、沿岸の湿原における計算浸水域と津波堆積物の分布域の比較および三陸沿岸での計算波高と歴史記録との比較から、複数セグメントにおけるプレート間地震が17世紀の津波を最もよく説明できると結論した。ただし、前報でも述べたように、このモデルでは、十勝における17世紀の津波堆積物(Ts3)の浸水域を完全に再現できていなかった。また、十勝海岸における津波の高さは6m程度と計算されたが、平川ほか(2000, 2005)は10mを超える遡上を推定しており、これを再現できていない。

一方、前報の投稿後に2003年十勝沖地震(M 8.0)が発生したが、この地震による津波は陸上にはほと

んど遡上せず、海岸の地層に保存されるような堆積物を残さなかった (Tanioka *et al.*, 2004 など). 2003 年の十勝沖地震と 17 世紀の津波波源とは何が異なるのであろうか?

本研究ではこれらの問題点を解決するために、補足的な津波シミュレーションを行なった. まず、2003 年の十勝沖地震の津波高さ (Tanioka *et al.*, 2004) を説明する津波波源を検討し、17 世紀の津波との相違点を探った. 次に、17 世紀の津波について、十勝沿岸の湿原 (馬主来沼, 生花苗沼) における津波堆積物の分布域 (七山ほか, 2001, 2003) ならびに沿岸での高さ (平川ほか, 2000, 2005) を説明できる断層モデルを検討した.

2. 断層モデルと津波シミュレーション

2.1 断層モデル

2003 年十勝沖地震と 17 世紀の津波とを比較するため、海岸からの距離を変えた 2 つの断層モデルを検討した. また、17 世紀の津波について、前報で採用したプレート間地震連動モデルのすべり量を変更した 2 通りのモデルを検討した. 第 1 図に断層の位置を、第 1 表に断層パラメーターを示す.

(1) 十勝沖地震のモデル

十勝沖地震のモデルとして、沿岸モデル (T-NS : 深さ 34–68 km)、沖合モデル (T-OS : 深さ 17–51 km) の 2 つを検討した. 断層面上のすべり量は 5 m とした. 断層面周辺の剛性率を 4×10^{10} N/m² とすると、両方のモデルともに地震モーメントは 2×10^{21} Nm (モーメントマグニチュード Mw 8.1) となる (第 1 表).

断層面の傾斜角は、Yamanaka and Kikuchi (2003) による 2003 年十勝沖地震のメカニズム解に従って 20° とした. 地震活動の深さや反射法地震探査によれば、プレート境界面の傾斜角は、深さによって変化するほか、十勝側と根室側とでも異なり、深さ 15 km 程度までは 10° 以下、15–35 km 程度では 15° 程度、それ以深については、十勝側では 20–30°、根室側では 40–50° 程度である (Nakanishi *et al.*, 2004; Katsumata *et al.*, 2003). 気象庁による 2003 年十勝沖地震の震源の深さは 45 km とされており、仮定した断層面よりもやや深い.

(2) 17 世紀の津波モデル

前報では、断層の幅によってアルマゲドン地震 (断層の幅 250 km, 200 km)、プレート間地震 (幅 100 km, 150 km)、津波地震 (50 km) の 3 つのタイプを想定した. 断層の長さについては、単独セグメント (200 km)、複数セグメント (300 km, 400 km) の 3 通りを想定した. その結果、深さ 17–51 km (断層の幅 100 km)、長さ 300 km の断層面で、すべりが

一様に 5 m であるモデル (17–51 モデル; 本稿では TN5 モデルと呼ぶ) を最適モデルとして採用した.

本稿では、十勝側の 100 km のみ、すべりを 10 m にしたもの (T10N5 モデル) と全体のすべりを 10 m にしたもの (TN10 モデル) を検討した. 断層面周辺の剛性率を 4×10^{10} N/m² とすると、地震モーメントおよびモーメントマグニチュード Mw はそれぞれ、 6×10^{21} Nm (Mw 8.5)、 8×10^{21} Nm (Mw 8.5)、 12×10^{21} Nm (Mw 8.7) となる (第 1 表).

2.2 地殻変動

これらの断層パラメーターから、Mansinha and Smylie (1971) の方法により、地表における地殻変動 (上下変位) を計算した. その平面分布と断面を第 2 図、第 4 図に示す.

十勝沖地震について、沿岸モデル (T-NS) では最大隆起量は海底で 1.6 m、最大沈降量は海岸線付近で 0.4 m となる. 沖合 (T-OS) モデルでは断層の位置が浅いため、最大隆起量、沈降量はそれぞれ 2.0 m, 0.5 m と大きくなるが、断層が海岸から遠いため、海岸線付近の沈降量は小さくなる.

17 世紀の津波についてのモデルでは、すべりが 5 m (TN5 モデル) の時は、最大隆起量・沈降量はそれぞれ 2.0 m, 0.6 m となる. すべり量が倍の 10 m になる (TN10 モデル) と、最大隆起・沈降量もそれぞれ 4.0 m, 1.2 m と倍になる.

2.3 津波数値シミュレーション

津波シミュレーションの方法は前報と同じである. すなわち、主に水深 200 m 以浅の浅海で、津波の振幅が水深に対して無視できない場合には、非線形長波の式 (浅水理論) を用いた. 水深 200 m 以深では、線形化した運動方程式・連続の式を用いた. 近地津波では、最初の数波で水位が最大となる場合が多いことから、地震発生後 3 時間の再現とした.

北海道と三陸沿岸では 225 m 格子を用いて津波の高さを計算し、津波堆積物の分布が詳しく調べられている 5ヶ所の湿原 (根室市南部沼, 浜中町霧多布湿原, 厚岸町床潭沼, 音別町馬主来沼, 大樹町生花苗沼の周辺) では最小 25 m の格子を用いて津波の陸上への遡上を計算した.

計算の条件 (初期条件・沖合・沿岸の境界条件) については前報に詳細に述べられている. 津波の計算時間間隔は、差分法の安定条件を満たすよう、0.5 秒とした.

3. 2003 年十勝沖地震と断層の位置

2003 年十勝沖地震の沿岸・沖合モデルから計算した沿岸における津波の到達時間 (地震発生時から、第 1 波押し波による水位が 10 cm 上昇するまでの時間) と最大津波高を第 3 図に示す. えりも岬～釧路

の十勝沿岸では、沿岸モデルだと地震発生後 10~15 分程度で第 1 波が到達するが、沖合モデルだと第 1 波の到達は 20~30 分程度である。一方、津波の高さは沿岸モデルだと 2~3 m であるが、沖合モデルだと 3~4 m となる。

2003 年十勝沖地震の沿岸での遡上高 (Tanioka *et al.*, 2004) は十勝沿岸で 2~4 m であり、沿岸モデルでほぼ説明できる。沖合モデルでは、観測値よりも大きくなりすぎる。

余震分布 (気象庁)、地震波解析 (Yamanaka and Kikuchi, 2003)、津波波形解析からも、2003 年の震源域は沿岸モデルとほぼ一致することが示されている。

2003 年十勝沖地震津波の十勝海岸での遡上高が比較的小さかったのは、震源域が海岸に近かったためと考えられる。一方、17 世紀の津波は、その波源がやや沖合に位置していたとすると、津波が大きかったことが説明できる。

4. 17 世紀の津波モデルと断層面上のすべり量

4.1 北海道沿岸の波高

17 世紀の津波波源モデルからの沿岸における第 1 波 (押し波) 到達時間と津波の高さを第 5 図に示す。図には、平川ほか (2005) によって推定されている沿岸における津波高さの最大値も示した。十勝海岸の旭浜~厚内では 10 m 以上 (最大は 18 m) の津波高さが推定されている。また、根室でも 10 m、4 m の津波高が推定されている。

前報で採用した 5 m すべり (TN5) モデルでは、十勝・根室海岸での高さは 4~6 m 程度であった。計算で用いた格子間隔 (225 m) を考慮すれば、局所的に 2 倍程度の高さにはなり得るが、十勝海岸での 10~18 m 程度の津波高を説明するのは困難である。十勝側の断層面上のすべり量を 10 m にすると (T10N5 および TN10 モデル)、沿岸での津波高も 10 m 程度になり、局所的に 2 倍程度になりうることを考慮すれば、平川ほか (2005) の推定値をほぼ再現できると判断される。

4.2 音別町馬主来沼における浸水域

音別町馬主来沼では Ts3 は海岸から約 3.7 km、標高約 3 m まで達しているが、その他の津波堆積物 Ts2, Ts4 は海岸から 0.3 km に限られる (七山ほか, 2001; Nanayama *et al.*, 2003; 第 6 図)。

TN5 モデルでは、海岸から約 2.4 km 浸水するが、Ts3 の遡上を完全に再現するためには、十勝側 (あるいは全体の) すべりを大きくする必要がある (第 6, 7 図)。すべり量を 7 m にすると海岸から 3 km 程度まで浸水するが、それでも Ts3 を再現できていない (前報)。十勝側のすべりを 10 m にする (T10N5 モデル) と、浸水距離が 4 km となり、Ts3 の分布を再現できた。

4.3 大樹町生花苗沼における浸水域

大樹町生花苗沼では、Ts3 は海岸から 4 km 以上、標高 4~5 m まで確認されている (七山ほか, 2002; Nanayama *et al.*, 2003; 第 6, 7 図)。2 本の測線に沿って、Ts3, Ts4 の到達距離を測ると、北側の測線では、海岸からそれぞれ 3.0 km, 0.7 km まで、南側の測線沿いではそれぞれ 4.4 km, 1.0 km まで追跡される。

5 m すべり (TN5) モデルによる測線に沿っての浸水距離は、北側の測線で 1.4 km、南側の測線では 2.3 km と、Ts4 の浸水距離よりも長い、Ts3 よりはかなり短い。

すべり量を 7 m にすると北側・南側でそれぞれ 2.2 km, 3.2 km まで浸水するが、それでも Ts3 の分布に比べてやや狭かった (前報)。十勝側のすべりを 10 m にしたところ、浸水距離は 2.5 km, 4.0 km となり、さらに浸水範囲が広がって (第 6 図)、Ts3 の分布をほぼ説明することができた。

5. モデルの比較

5.1 北海道沿岸での浸水距離と津波高さの比較

湿原における遡上計算を行った 5ヶ所の 7 測線について、地形と計算最高水位の断面図、および最も内陸にある津波堆積物の位置を第 7 図に示す。これらの測線における津波堆積物とシミュレーションによる浸水距離と遡上高の比較を第 2 表と第 8 図にまとめた。Ts3, Ts4 の浸水距離については、シミュレーション結果との比をとって平均したのもも表に掲げた。基本的には平均値が 1 に近いほど、また標準偏差が小さいほど、津波堆積物の分布を再現できるモデルだと言える。

第 8 図の上の図は、津波遡上先端の高さと堆積物の地表標高を比較したものである。堆積物は実際の砂層の存在する高さではなく、現在の地表面の標高を示している。すべり量 5 m の TN5 モデルでは、特に生花苗沼での津波堆積物の標高について、Ts3, Ts4 とともに説明できなかった。十勝側ですべり量を 10 m にすると (T10N5 または TN10 モデル)、生花苗沼と床潭沼の Ts3 の標高は再現できていないが、それ以外の津波堆積物の標高はほぼ再現できている。

第 8 図の下図は、すべり量を変えた 3 つのモデルについて、浸水距離を堆積物 (Ts3, Ts4) と比較したものである。17 世紀の津波堆積物である Ts3 の浸水距離について、床潭沼以東では 5 m すべり (TN5 または T10N5) モデルでほぼ再現できるが、十勝海岸の馬主来沼・生花苗沼ではすべり量を 10 m にして (T10N5 または TN10 モデル) 初めてほぼ再現できる。

5.2 三陸における沿岸波高

三陸沿岸での津波の高さを第 9 図に示す。

図には、1611 年慶長三陸津波および 1677 年青森県東方沖津波による津波の高さの推定値 (羽鳥,

1975) も示した. 17 世紀に三陸沖で発生したこれらの津波は被害をもたらした, それが記録されている.

すべり量が 5 m の TN5 モデルでは, 三陸沿岸の津波の高さはほぼ 2 m 程度で, 3 m を超える場所はない. 十勝側のすべり量を 10 m にする (T10N5) と, 八戸～宮古間で 3～5 m 程度になる. また, 大槌, 釜石, 吉浜湾, 越喜来など, 江戸時代の被害記録が残っている場所でも 3～4 m となる.

6. 17 世紀の津波とハザードマップの波源モデル

17 世紀の津波のモデルとして, TN5 モデルと T10N5 モデルは一長一短がある. TN5 モデルは釧路以東の津波痕跡や三陸で被害記録がないことを説明できるが, 十勝沿岸での津波を完全には説明できない. T10N5 モデルは十勝沿岸における津波を説明できるが三陸沿岸で被害記録がないことを説明するのが難しい.

これらのモデルからの沿岸への津波の到達時間(第 5 図)は, T-OS モデルと同じで, 十勝沿岸で 20～30 分ほどである. 断層面が沖合にあるため, 津波の波高は大きくなるが, 到達時間は遅くなる.

沿岸における到達時間と津波の高さは, 自治体などが津波ハザードマップを作成する際に重要な情報を提供する. この際, 最悪のシナリオを想定するならば, 到達時刻については沿岸モデル(地震発生後 10 分程度), 水位については T10N5 モデル(最高水位約 10 m) という選択肢もあり得よう.

7. まとめ

2003 年十勝沖地震について, 沿岸・沖合の二つの単純なモデルを検討した. 沿岸近くの断層モデルが, 他の地震学的観測・解析データや津波の遡上高を説明できることがわかった. シミュレーションによる津波高は, 沖合モデルの方が大きくなることから, 17 世紀の津波波源は 2003 年よりも沖合にあったことが示唆される.

17 世紀の津波波源モデルについて, 前報で採用した 17-51 モデル (TN5 モデル, すべり量 5 m) のすべり量を変えて, 十勝沿岸における津波高と湿原における浸水域を計算した. これらを津波堆積物から推定された高さ(平川ほか, 2000, 2005), 十勝沿岸の湿原における津波堆積物の分布(七山ほか, 2001, 2002)と比較した. 十勝側における断層面上のすべり量を 10 m にすると, 津波堆積物をうまく再現できることがわかった. ただし, このモデルだと三陸沿岸における津波高が 3 m を超えてしまい, 津波被害の記録がないことを説明するのが難しい.

北海道における津波堆積物を説明するモデルとしては, T10 N5 モデルが適当であるものの, 三陸における被害記録がないこととの整合性など, 総合的には課題が残る.

謝辞 北海道大学大学院地球環境科学研究科の平川一臣教授には, 十勝および根室沿岸における 17 世紀の津波高さの推定値を, 論文公表前に提供していただきました. 記して感謝します.

文 献

- 古川竜太・吉本充弘・山縣耕太郎・和田恵治・宇井忠英 (1997) 北海道駒ヶ岳火山は 1694 年に噴火したか?—北海道における 17～18 世紀の噴火年代の再検討—. 火山, **42**, 269-279.
- 羽鳥徳太郎 (1975) 三陸沖歴史津波の規模と推定波源域. 東京大学地震研究所彙報, **50**, 397-414.
- 平川一臣・中村有吾・越後智雄 (2000) 十勝地方太平洋岸の巨大古津波. 月刊地球号外, No. 31, 92-98.
- 平川一臣・中村有吾・西村裕一 (2005) 北海道太平洋岸の完新世巨大津波: 2003 十勝沖地震津波との比較を含めて. 月刊地球号外, No. 49, 印刷中.
- Katsumata, K., Wada, N. and Kasahara, M. (2003) Newly imaged shape of the deep seismic zone within the subducting Pacific plate beneath the Hokkaido corner, Japan-Kurile arc-arc junction, *J. Geophys. Res.*, **108** (B12), 2565, doi:10.1029/2002JB002175.
- Mansinha, L. and Smylie, D. E. (1971) The displacement fields of inclined faults. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **61**, 1433-1440.
- Nakanishi, A., Smith, A.J., Miura, S., Tsuru, T., Kodaira, S., Obana, K., Takahashi, N., Cummins, P.R. and Kaneda, Y. (2004) Structural factors controlling the coseismic rupture zone of the 1873 Nemuro-oki earthquake, the southern Kuril Trench seismogenic zone. *J. Geophys. Res.*, **109**, B05305, doi: 10.129/2003JB002574.
- 七山 太・佐竹健治・下川浩一・古川竜太・重野聖之 (2000) イベント堆積物を用いた千島海溝沿岸域の津波の遡上規模と再来間隔の検討. 地質調査所速報, No.EQ/00/2 (平成 11 年度活断層・古地震研究調査概要報告書), 1-17.
- 七山 太・重野聖之・牧野彰人・佐竹健治・古川竜太 (2001) イベント堆積物を用いた千島海溝沿岸域における津波の遡上規模の評価—根室長節湖, 床潭沼. 馬主来沼. キナシベツ湿原および湧洞沼における研究例. 活断層・古地震研究報告, No. 1, 251-272.
- 七山 太・重野聖之・三浦健一郎・牧野彰人・古川竜太・佐竹健治・斎藤健一・嵯峨山積・中川充 (2002) イベント堆積物を用いた千島海溝沿岸域における先史～歴史津波の遡上規模の評価—十勝海岸地域の調査結果と根釧海岸地域との広域比較—. 活断層・古地震研究報告, No. 2, 209-222.

- 七山 太・重野聖之・添田雄二・古川竜太・岡橋久世・齋藤健一・横山芳春・佐竹健治・中川 充 (2003) 北海道東部, 十勝海岸南部地域における 17 世紀の津波痕跡とその遡上規模の評価. 活断層・古地震研究報告, No. 3, 297-314.
- Nanayama, F., Satake, K., Furukawa, R., Shimokawa, K., Atwater, B.F., Shigeno, K. and Yamaki, S. (2003) Unusually large earthquakes inferred from tsunami deposits along the Kuril trench. *Nature*, **424**, 660-663.
- 佐竹健治・七山 太・山木 滋 (2003) 17 世紀に北海道東部で発生した異常な津波の波源モデル 活断層・古地震研究報告, No. 3, 315-362.
- Tanioka, Y., Nishimura, Y., Hirakawa, K., Imamura, F., Abe, I., Abe, Y., Shindou, K. Matsutomi, H., Takahashi, T., Imai, K., Harada, K., Namegaya, Y., Hasegawa, Y., Hayashi, Y., Nanayama, F., Kamataki, T., Kawata, Y., Fukasawa, Y., Koshimura, S., Hada, Y., Azumai, Y., Hirata, K., Kamikawa, A., Yoshikawa, A., Shiga, T., Kobayashi, M. and Masaka, S. (2004) Tsunami run-up heights of the 2003 Tokachi-oki earthquake, *Earth Planets Space*, **56**, 359-365.
- Yamanaka, K. and Kikuchi, M. (2003) Source processes of the Tokachi-oki earthquake on September 26, 2003 inferred from teleseismic body waves, *Earth Planets Space*, **55**, e21-e24.

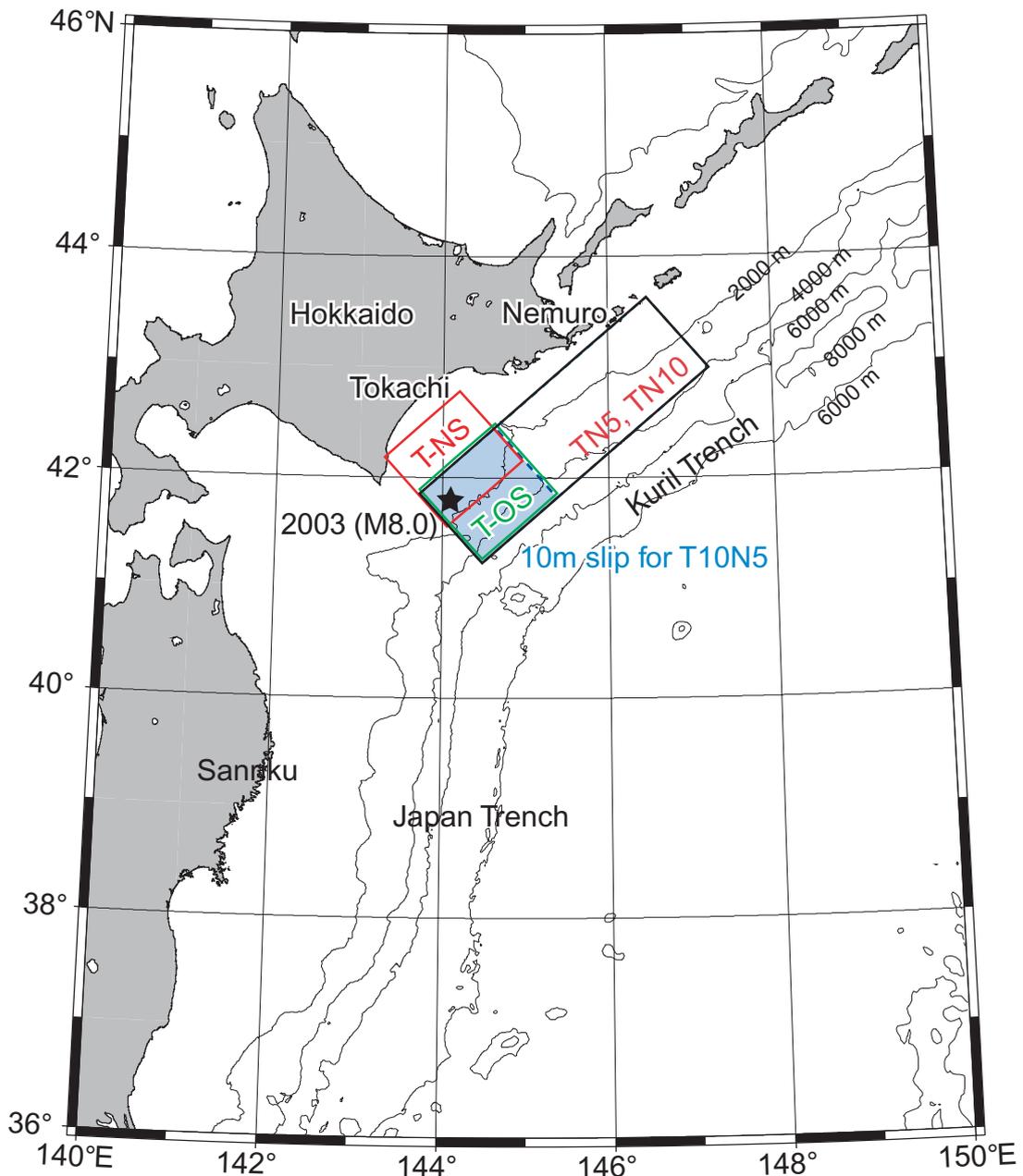
(受付 : 2004 年 8 月 3 日, 受理 : 2004 年 9 月 13 日)

第1表. 本報告で検討した波源モデルの断層パラメーター.
Table 1. Fault parameters of source models examined in this study.

モデル	Name	L	u	W	strike	dip	rake	depth	lat	lon	Mo	Mw
		km	m	km	deg	deg	deg	km	deg N	deg E	Nm	
十勝沿岸	T-NS	100	5	100	228	20	90	34	42.1374	145.0037	2.0×10^{21}	8.1
十勝沖合	T-OS	100	5	100	228	20	90	17	42.9881	147.2244	2.0×10^{21}	8.1
全体すべり 5 m	TN5	300	5	100	228	20	90	17	42.9881	147.2244	6.0×10^{21}	8.5
十勝すべり 10 m	T10N5	200	5	100	228	20	90	17	42.9881	147.2244	8.0×10^{21}	8.5
		100	10	100	228	20	90	17	41.8203	145.3784		
全体すべり 10 m	TN10	300	10	100	228	20	90	17	42.9881	147.2244	1.2×10^{21}	8.7

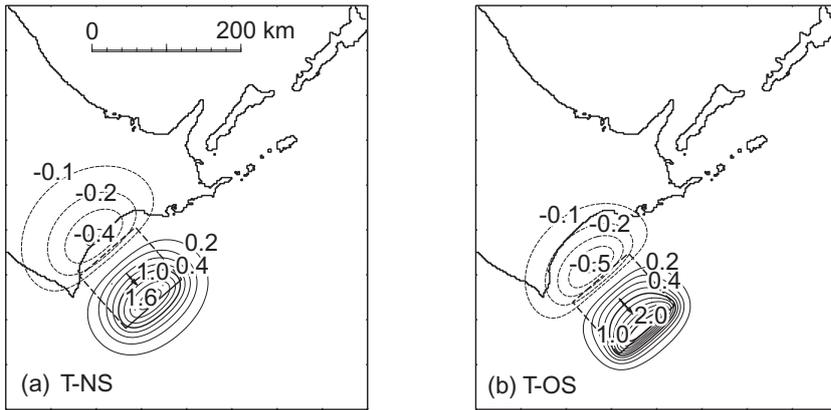
第2表. 17世紀の津波モデルから計算した浸水距離・遡上先端での高さ と津波堆積物との比較.
Table 2. Inundation distance and water heights computed from the 17th century source models and comparison with the tsunami deposits.

調査地域	津波堆積物の汀線からの距離 (km)		シミュレーションによる遡上距離 (km)			津波堆積物の標高 (m)		シミュレーションによる遡上高 (m)		
	Ts3	Ts4	TN5	T10N5	TN10	Ts3	Ts4	TN5	T10N5	TN10
南部沼	2.3	2.3	2.0	2.0	2.4	7.1	7.1	5.2	5.3	10.3
霧多布 (MG)	3.2	3.3	3.3	3.3	3.5	1.1	1.6	1.7	2.0	3.3
霧多布 (A)	2.6	3.2	2.8	2.8	3.4	2.4	2.8	1.8	2.0	2.7
床潭沼	1.6	1.5	1.3	1.4	1.5	17.3	10.7	6.7	9.7	14.0
馬主来沼	3.7	0.3	2.4	4.0	4.2	2.1	3.0	2.0	3.6	5.4
生花苗 (北)	3.0	0.7	1.4	2.5	2.6	5.5	3.4	0.8	2.6	3.5
生花苗 (南)	4.4	1.0	2.3	4.0	4.6	4.4	2.0	0.7	2.4	2.8
Ts3 の距離比 (計算/実測)	平均		0.78	0.95	1.06	標高比 (計算/実測)	平均	0.68	0.96	1.48
	標準偏差		0.23	0.09	0.13		標準偏差	0.52	0.56	0.97
Ts4 の距離比 (計算/実測)	平均		2.24	3.42	3.68	標高比 (計算/実測)	平均	0.62	0.97	1.44
	標準偏差		2.44	4.19	4.38		標準偏差	0.28	0.24	0.41



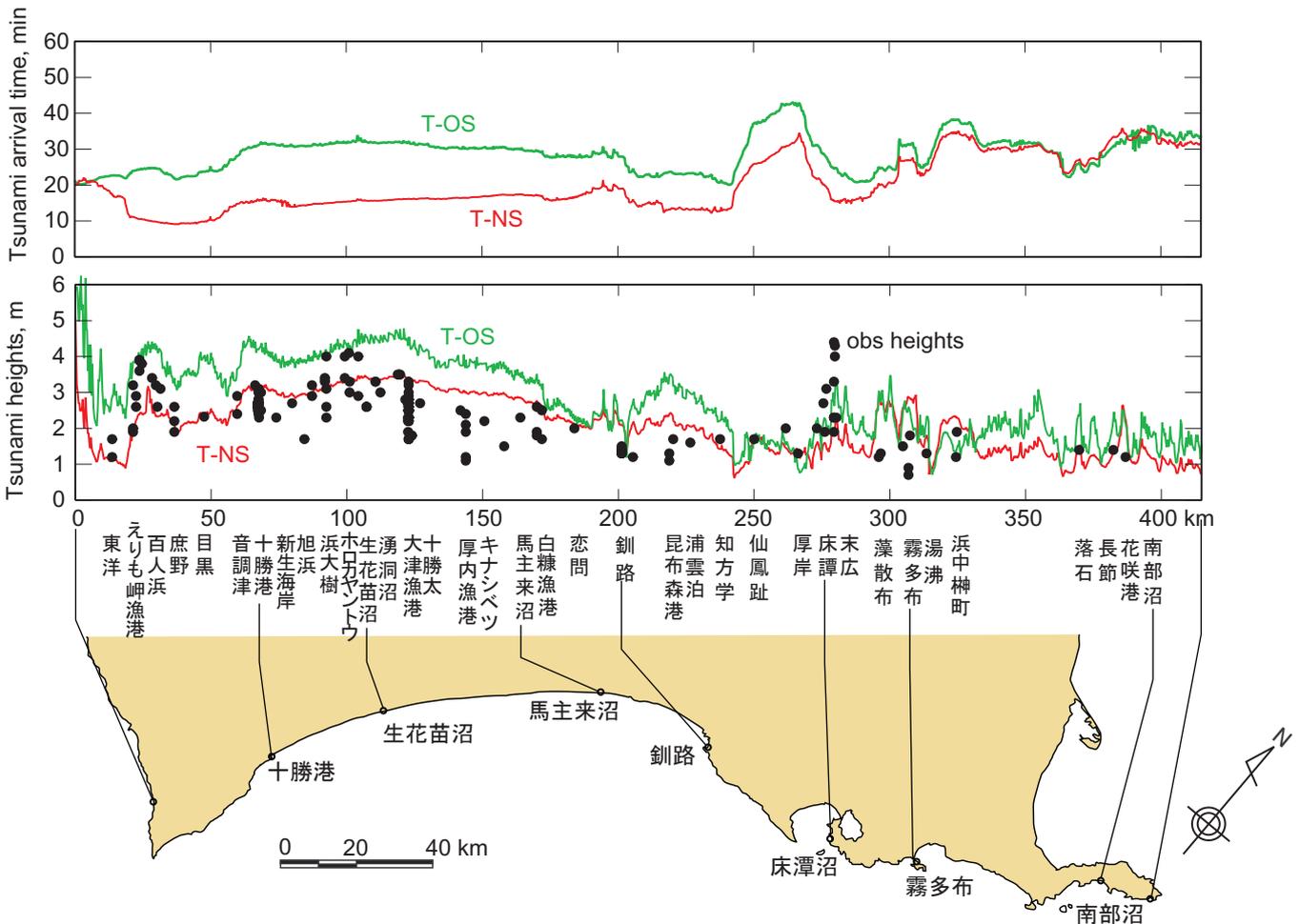
第1図. 断層モデルの位置図. 十勝沖地震のモデルとして, 沿岸 T-NS (深さ34-68 km) と沖合 T-OS (深さ17-51 km) の二つを, 17世紀の津波のモデルとしては, 深さ17-51 kmで, 全体のすべり量を5 m としたもの (TN5), 10 mとしたもの (TN10), 十勝側 (2003年の沖合に対応) のみを10 m 他は5 mとしたもの (T10N5) を検討した. 黒い星印は2003年十勝沖地震 (M 8.0) の震央.

Fig. 1. Location of fault models. For the Tokachi-oki earthquake, nearshore fault T-NS (red, depth range 34-68 km) and offshore fault T-OS (green: depth range 17-51 km) are considered. For the 17th century tsunami, the depth range is fixed at 17-51 km, but slips are varied as 5 m (TN5), 10 m (TN10), and 10 m on Tokachi side (offshore) but 5 m elsewhere (T5N10). The black star is the epicenter of the 2003 Tokachi-oki earthquake (M 8.0).



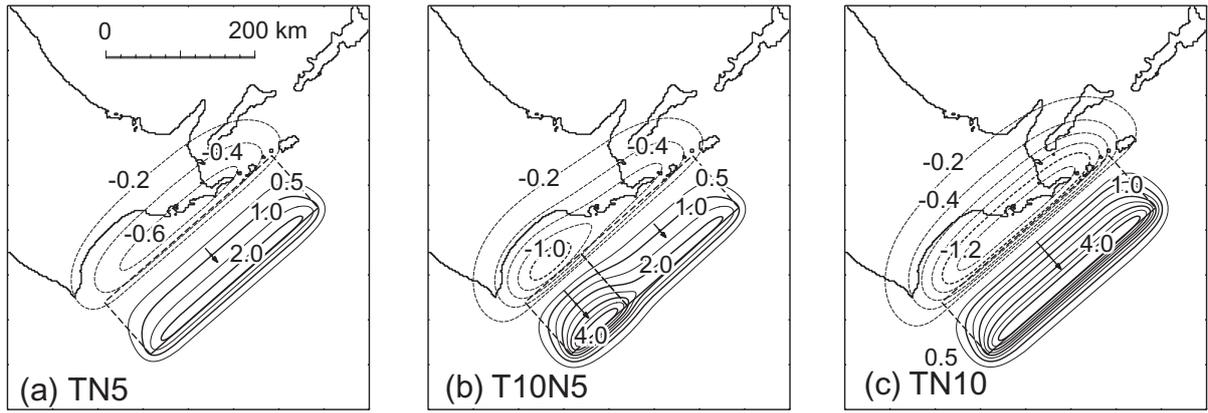
第2図. 断層モデルによる地殻変動. (a)十勝沖沿岸モデルT-NS (深さ34-68 km) の平面図, (b)十勝沖沖合モデル T-OS (深さ17-51 km) の平面図. コンターの実線は隆起 (0.2 m 間隔) を, 破線は沈降 (0.1 m 間隔) を示す.

Fig. 2. Crustal deformation pattern of two Tokachi-oki fault models. (a) Nearshore (34-68 km) model T-NS, (b) offshore (17-51 km) model T-OS. Solid contours indicate uplift (0.2 m interval), whereas dashed one (0.1 m interval) subsidence.



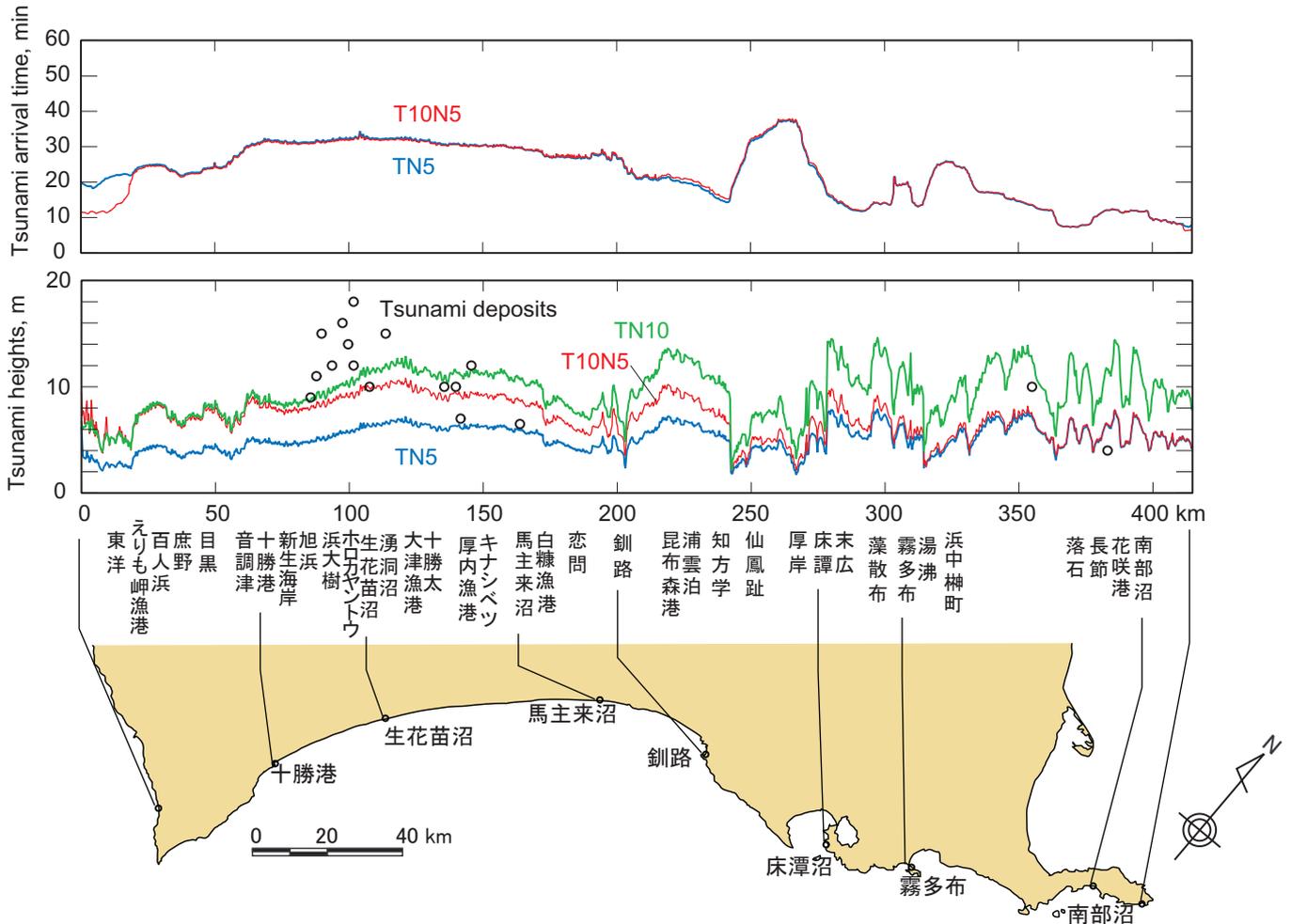
第3図. 十勝沖の沿岸 (T-NS) と沖合 (T-OS) の2モデルから計算した北海道太平洋沿岸における第1波 (押し波) の到達時刻と津波の高さ. 黒丸は2003年十勝沖地震津波の遡上高 (Tanioka *et al.*, 2004) .

Fig. 3. Tsunami arrival times and heights along the Hokkaido coast computed from two (nearshore and offshore) models (T-NS and T-OS) of Tokachi-oki earthquake. Solid circles indicate tsunami heights measured by Tanioka *et al.* (2004).



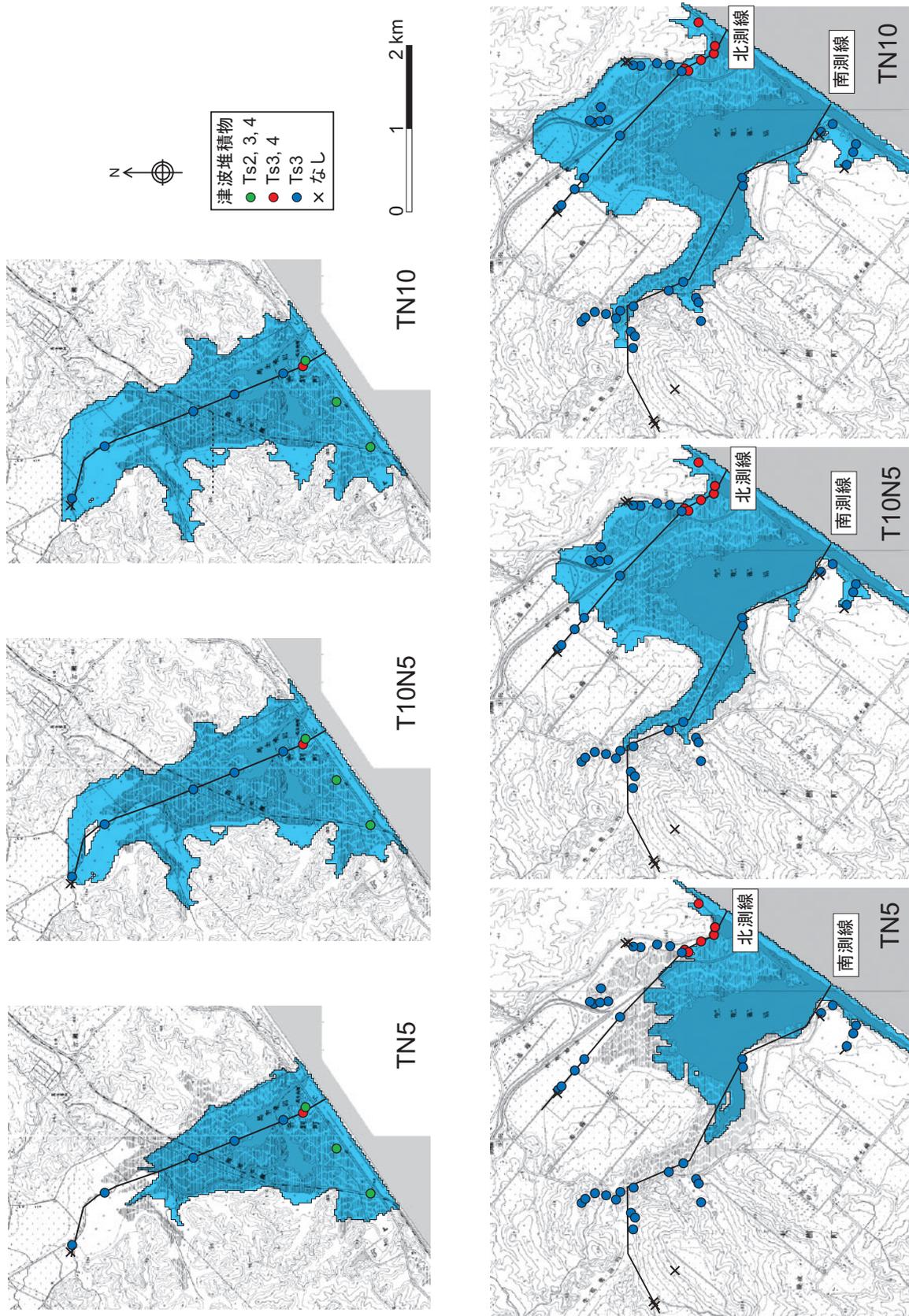
第4図. 十勝・根室沖の断層モデルによる地殻変動. (a)TN5モデル(全体のすべりが5 m), (b)T10N5モデル(十勝側のすべり10 mで他は5 m), (c)TN10モデル(全体のすべり10 m). コンターは実線は隆起(0.5 m間隔)を, 破線は沈降(0.2 m間隔)を示す.

Fig. 4. Crustal deformation pattern of three Tokachi-Nemuro-oki fault models. (a) TN5 model in which the slip is uniformly 5 m, (b) T10N5 model in which the slip is 10 m in Tokachi and 5 m elsewhere, and (c) TN10 model, in which the slip is uniformly 10 m. Solid contours indicate uplift (0.5 m interval), whereas dashed one (0.2 m interval) subsidence.

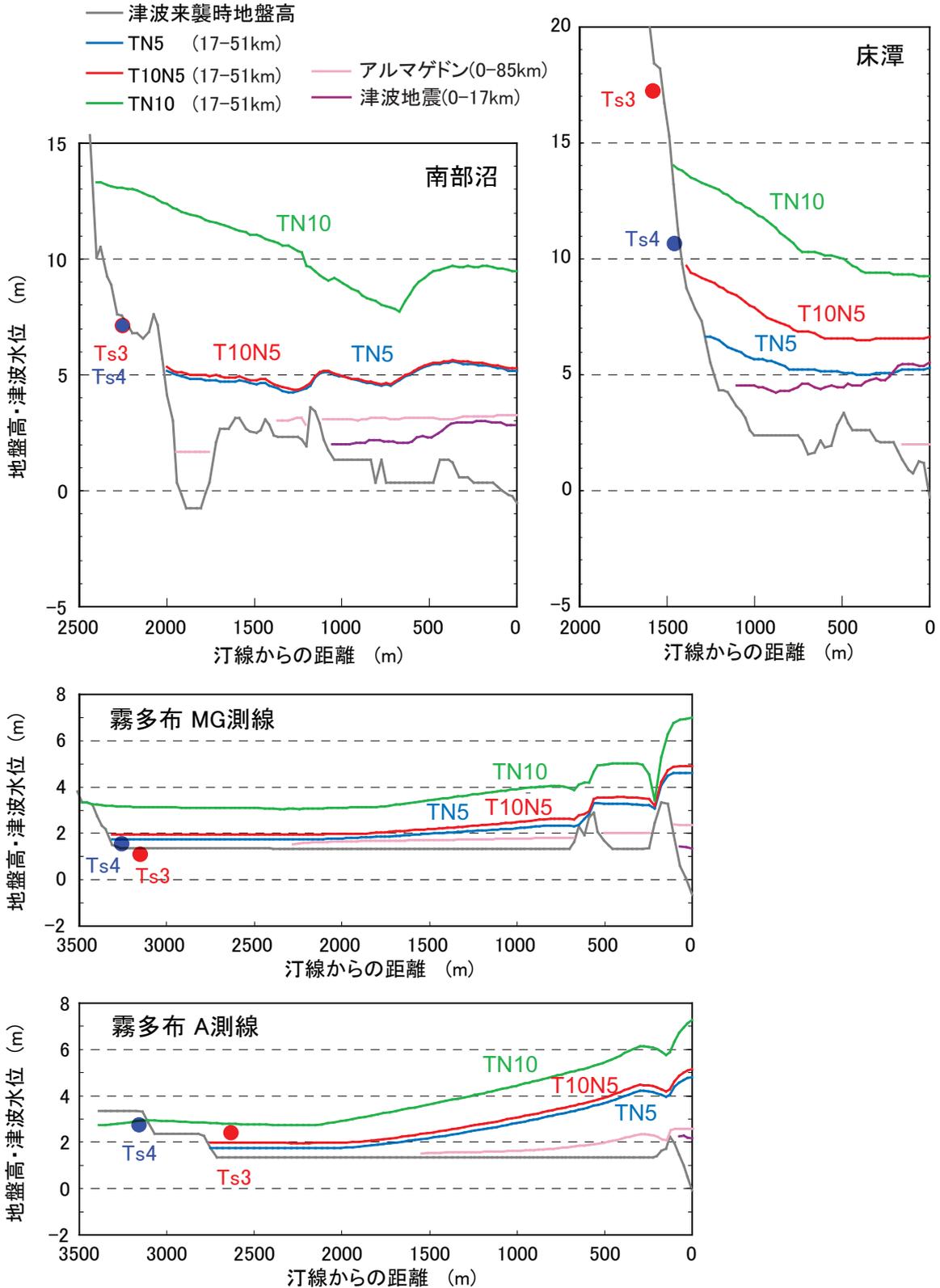


第5図. 十勝・根室沖の3モデル(TN5: 全体すべり5 m, T10N5: 十勝側のみ10 m, TN10: 全体すべり10 m)から計算した北海道太平洋沿岸における第1波(押し波)の到達時刻と津波の高さ. 白丸は津波堆積物から推定された17世紀の巨大津波の高さ(平川ほか, 2005).

Fig. 5. Tsunami arrival times and heights along the Hokkaido coast computed from three models TN5, T10N5, TN10 of Tokachi-Nemuro-oki earthquake with different slip amounts (5 m, 10 m on Tokachi, and 10 m). Open circles indicate 17th century tsunami heights estimated from tsunami deposits (Hirakawa *et al.*, 2005).

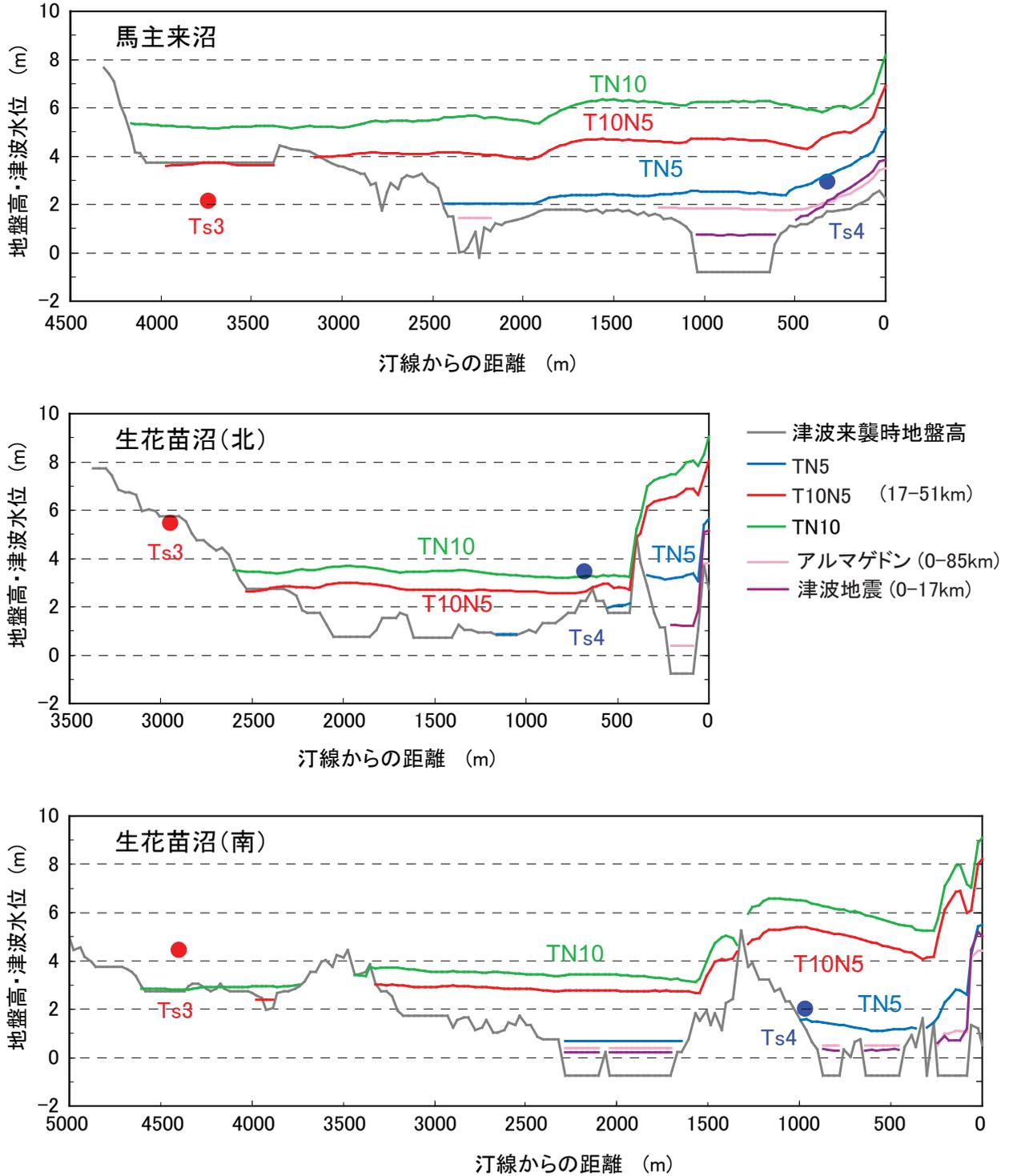


第6図. 音別町馬主来沼および大樹町生花苗沼における津波堆積物の分布と計算浸水域の比較.
 Fig. 6. Tsunami deposits and computed inundation areas around Pashukuru-numa and Oikamanai-numa.



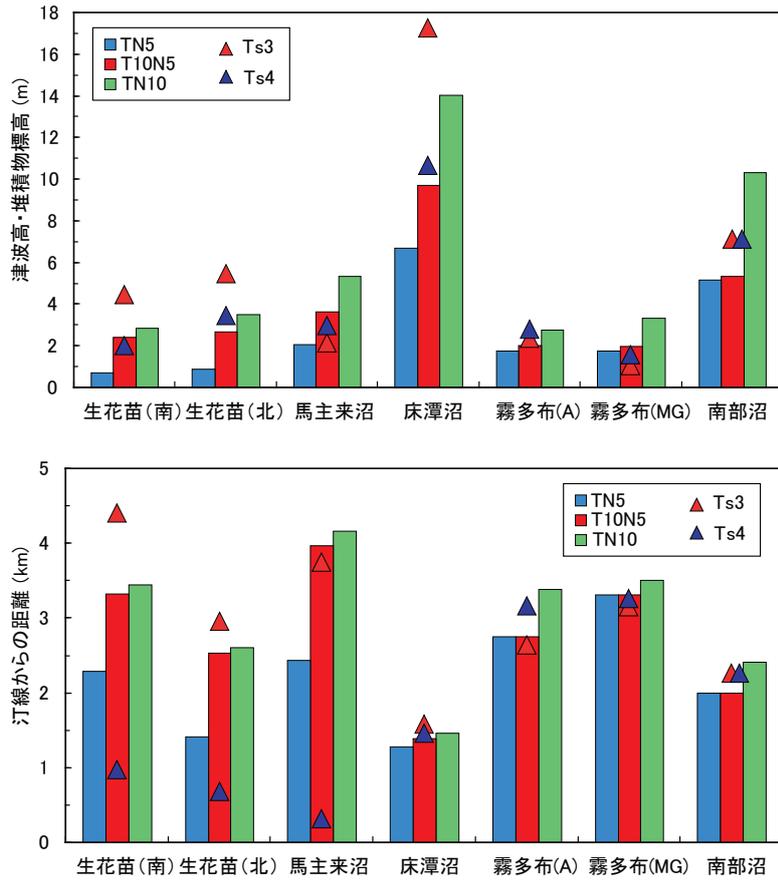
第7a図. 南部沼・床潭・霧多布（MG・A測線）における地形と水位断面図. 本研究の3モデルの他に、アルマゲドン地震、津波地震からの計算水位断面と、津波堆積物（Ts3, Ts4）の位置も示した. 地形断面は、TN5モデル（全体すべり5 m）による地殻変動の影響を考慮した. すべりが10 mの際は数十cm程度低くなる（第4図参照）.

Fig. 7a. Profiles along four lines (Nambu-numa, Tokotan, Kiritappu MG and A). Topography, computed water levels from three models as well as Armageddon and tsunami earthquake models, location of tsunami deposits (Ts3 and Ts4) are shown. Topography includes the coseismic crustal deformation computed from TN5 model (slip 5 m). For 10 m slip, ground level becomes lower by several tens of cm (see Fig. 4).



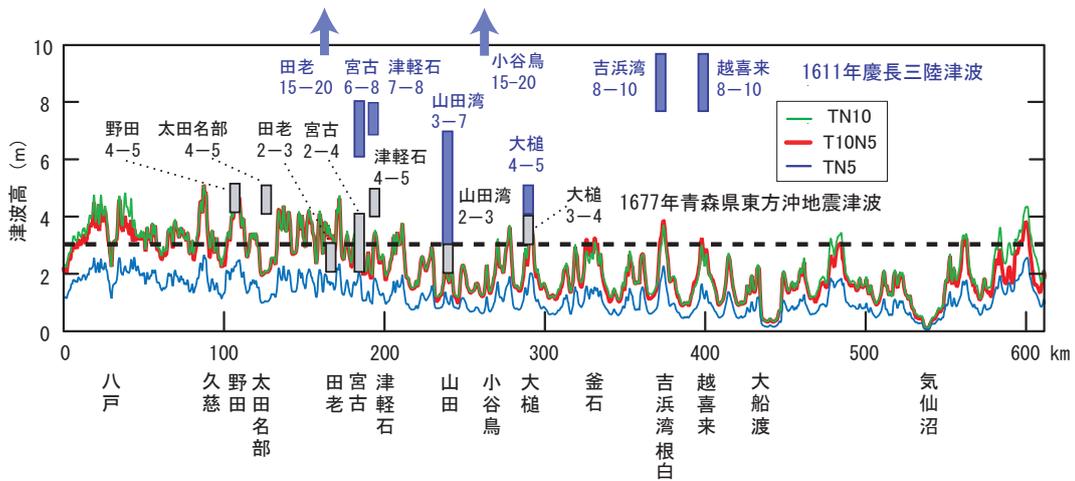
第7b図. 馬主来沼・生花苗沼(南・北測線)における地形と水位断面図. 本研究の3モデルの他に, アルマゲドン地震, 津波地震からの計算水位断面と, 津波堆積物(Ts3, Ts4)の位置も示した. 地形断面は, TN5モデル(全体すべり5 m)による地殻変動の影響を考慮した. すべりが10 mの際は数十cm程度低くなる(第4図参照).

Fig. 7b. Profiles along three lines (Pashukuru-numa, Oikamanai MG and A). Topography, computed water levels from three models as well as Armageddon and tsunami earthquake models, location of tsunami deposits (Ts3 and Ts4) are shown. Topography includes the coseismic crustal deformation computed from TN5 model (slip 5 m). For 10 m slip, ground level becomes lower by several tens of cm (see Fig. 4).



第8図. 5地域7測線における津波堆積物 (Ts3, Ts4) の現地盤高 (上) と海岸からの到達距離 (下) をシミュレーションによる浸水先端の津波高・浸水距離と比較した。

Fig. 8. Elevation (upper figure) and maximum distance from coast line (lower figure) of tsunami deposits (Ts3 and Ts4) are compared with computed water heights and inundation distance of tsunami simulation. Blue is for a model with 5 m slip (17-51), red is for a model with 10 m slip on Tokachi and 5 m elsewhere, green is a model with 10 m slip.



第9図. 三陸沿岸における津波の高さ。3つのモデルから計算した波高と、1611年慶長三陸津波・1677年青森県東方沖津波 (羽鳥, 1975) の津波の高さを比較。破線は3 m (歴史記録に残る限界と考えられる) を示す。

Fig. 9. Tsunami heights along the Sanriku coast. Curves are those computed from three models. Blue and gray bars indicate the estimated for the 1611 and 1677 tsunamis (Hatori, 1975). The dashed line indicates 3 m, which would be the detection limit of historical documents.