

## 石巻・仙台平野における 869 年貞観津波の数値シミュレーション

### Numerical simulation of the AD 869 Jogan tsunami in Ishinomaki and Sendai plains

佐竹健治<sup>1</sup>・行谷佑一<sup>2</sup>・山木 滋<sup>3</sup>

Kenji Satake<sup>1</sup>, Yuichi Namegaya<sup>2</sup> and Shigeru Yamaki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 活断層研究センター 及び 東京大学地震研究所 (Active Fault Research Center and Earthquake Research Institute, University of Tokyo, satake@eri.u-tokyo.ac.jp)

<sup>2</sup> 活断層研究センター (Active Fault Research Center, GSJ/AIST)

<sup>3</sup> シーマス (Seamus)

**Abstract:** The AD 869 Jogan earthquake, off Miyagi prefecture along the Japan Trench, produced unusually large tsunami, according to a historical document and tsunami deposits. The document reports that about 1,000 people were drowned from the tsunami in Sendai plain, indicating much larger tsunami than the 1896 or 1933 Sanriku tsunamis. In Ishinomaki plain, the 869 tsunami deposits extend more than 3 km from the estimated coast line, which is about 1-1.5 km inland of the present coast. In Sendai plain, the deposits extend about 1-3 km from the estimated coast, or about 1 km more from the present coast. We computed tsunami inundation in both plains from several types of tsunami source models such as outer-rise normal fault (similar to the 1933 Sanriku tsunami), tsunami earthquake (similar the 1896 Sanriku tsunami), interplate earthquakes with variable fault depth, width, length and slip amounts, and an active fault in Sendai bay. Comparison of the computed inundation areas with the distribution of tsunami deposits indicates that only an interplate earthquake source with 100 km width and more than 7 m slip ( $M_w=8.4$ ) can reproduce the observed distribution of tsunami deposits in the two plains.

**キーワード:** 貞観津波, 石巻平野, 仙台平野, 津波堆積物, 津波シミュレーション

**Keywords:** Jogan tsunami, Ishinomaki plain, Sendai plain, tsunami deposit, tsunami simulation

#### 1. はじめに

貞観十一年五月廿六日(ユリウス暦 869 年 7 月 9 日)の貞観津波については、『日本三代実録』に、以下のように記されている。

陸奥國地大震動、流光如晝隱映、頃之、人民叫呼、伏不能起、或屋仆壓死、或地裂埋殮、馬牛駭奔、或相昇踏、城墉倉庫、門櫓墻壁、頽落顛覆、不知其數、海口哮吼、聲似雷霆、驚濤涌潮、沍洄漲長、忽至城下、去海數十百里、浩々不弁其涯涘、原野道路、忽為滄溟、乘船不遑、登山難及、溺死者千許、資産苗稼、殆無子遺焉、...

(大日本地震史料第 1 卷, 「古代・中世」地震・噴火史料データベース (石橋・他, 2008) による。なお、上記の記述は Imamura (1934) によって英訳され Sawai *et al.* (2008) に引用されている)。

陸奥国で大震動があり、建物の倒壊や地割れによって人間や牛馬などに多くの被害がでた。また、雷のような音とともに津波が発生し、城下に至り、数千里が海のようになり、溺死者千人が出たという。ここでの城とは、一般には仙台市北方の多賀城と考えられているが、仙台市南方の岩沼とする説もある(渡

邊, 1998)。また、渡邊 (2000; 2001) は、宮城県気仙沼市, 多賀城市, 仙台市, 名取市, 岩沼市, 福島県新地町, 相馬市, いわき市, 茨城県北茨城市, 高萩市, 東海村, ひたちなか市, 大洗町, 大洋村 (現在, 銚田市) において、貞観地震・津波に関連するとされる伝承を収集して検討している (第 1 図)。

三陸沿岸に大きな被害をもたらした 1896 年明治三陸地震 (犠牲者約 22,000 名) や 1933 年昭和三陸地震 (犠牲者約 3,000 名) は、牡鹿半島や仙台平野では高さ数 m 以下であった (たとえば渡邊, 1998) ことから、貞観津波は、これらの三陸津波よりも大きな影響を仙台平野に与えたと考えられる。貞観津波の波源は仙台湾内 (羽鳥, 1998), 海溝から陸側斜面 (菅原・他, 2001; Minoura *et al.*, 2001), 茨城沖から宮城沖の海溝付近 (渡邊, 2000) などに想定されてきた。

本研究では、貞観津波を起こした地震の規模やメカニズムを推定するため、日本海溝沿いにおける様々なタイプの断層モデルからの仙台平野と石巻平野における津波浸水シミュレーションを実施し、すでに調査されている津波堆積物の分布と比較した。

## 2. 貞観津波の堆積物

貞観津波による堆積物は阿部・他 (1990) や Minoura and Nakaya (1991) によって発見されていたが、最近産総研によって実施された調査 (澤井・他, 2006; 2007; 2008; 宍倉・他, 2007; Sawai *et al.*, 2008) により、石巻平野及び仙台平野における津波堆積物の分布および海岸線の位置が明らかとなった。それらによれば、貞観津波当時の海岸線は、仙台平野では現在よりも約 1 km 内陸に、石巻平野では 1~1.5 km 内陸にあった。貞観津波による堆積物は、両平野に分布する十和田 a 火山灰 (915 年) の直下に認定され、浸水距離は仙台平野では当時の海岸線から 1~3 km、石巻平野では 3 km 以上であった。また、貞観津波の下部にも数枚の津波堆積物が発見され、その繰り返し間隔は 600~1300 年程度と推定されている (Minoura and Nakaya, 1991; 澤井ほか, 2008)。

本研究では津波堆積物が貞観津波によるものである可能性をランク A および B に分けた。石巻平野における津波堆積物 (宍倉・他, 2007) については、十和田 a 火山灰とともに観察される砂層は貞観津波である可能性が高いので A とした。火山灰は認められなかったが砂層が 3 枚あり最上層が貞観津波に対応する可能性がある場合や、火山灰はあるが津波砂層の直上の泥炭の年代と逆転が起きている場合などはランクを B とした。仙台平野における津波堆積物については、澤井・他 (2007; 2008) が貞観津波による堆積物と認定した砂層 (S2, N1, W3, Y2, YS2) に関してはランク A、明確に認定はされていないものの火山灰がありさらに比較的そのすぐ下に津波砂層がある場合にはランク B とした。なお、津波堆積物の位置までは貞観津波が確実に浸水したと考えられるが、実際にはこれよりもさらに奥まで浸水した可能性もある。

## 3. 断層モデル

貞観津波を発生させた地震の断層モデルとして、昭和三陸地震と同様な海溝外側のプレート内正断層地震、明治三陸地震と同様な津波地震、プレート間地震、さらに仙台湾内の断層による地震を検討した。

プレート内正断層地震については、走向は日本海溝に平行な  $202^\circ$  とし、傾斜角  $45^\circ$  で西に傾く断層面を仮定した。断層の長さ 200 km、幅 50 km、上端が日本海溝のやや東側の海底 (深さ 0 km、以下深さはすべて海底からの値) に位置し、すべり量は 5 m である (モデル 1)。

津波地震については、走向はやはり  $202^\circ$  で、沈み込む太平洋プレートに沿って、傾斜角  $18^\circ$  の逆断層、断層の長さは 200 km、幅は 50 km (深さは海底から 15 km まで)、すべり量は 5 m とした (モデル 2)。津波地震は、付加体の下部など、ふだんの地震活動の低いところがすべることによって発生するとされて

いる。

プレート間地震については、プレート境界の深さ 15~50 km 程度の地震発生帯における断層運動と考えられていることから、走向を  $202^\circ$  とし、地震活動 (第 1 図) に対応するように傾斜角を  $18^\circ$ 、断層上端の深さを 15 km, 31 km の二通り、断層の幅を 50 km, 100 km の二通りとした (モデル 3~6)。これらのモデルについては、断層の長さは 200 km、すべり量は 5 m とした。この他、断層の長さを 300 km としたもの (モデル 7)、断層の長さを 100 km、すべり量を 10 m としたもの (モデル 8)、さらに、断層の長さ 200 km、幅 100 km、深さ 15 km ですべり量を 7 m と変化させたもの (モデル 10) も試した。モデル 1~8, 10 については、断層付近の剛性率を  $4 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$  と仮定すると、地震モーメントは  $2 \sim 6 \times 10^{21} \text{ Nm}$ 、モーメントマグニチュードは  $M_w=8.1 \sim 8.4$  程度である。仙台湾内の断層については、嵯峨溪逆断層群に沿って長さ 40 km、幅 20 km、傾斜角  $45^\circ$ 、すべり量 5 m の逆断層を仮定した (モデル 9)。剛性率を  $3 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$  とすると、地震モーメントは  $1 \times 10^{20} \text{ Nm}$ 、モーメントマグニチュードは 7.3 となる。

これらの断層の位置を第 1 図に、パラメーターを第 1 表に、海底地殻変動の断面図を第 2 図に示す。

## 4. 津波シミュレーション

断層モデルによる海底・海岸の地殻上下変動を、Mansinha and Smylie (1971) の式で計算して、津波発生の初期条件とした。津波の伝播は、基本的には非線形長波 (浅水理論) で、移流項・海底摩擦項を含む運動方程式と連続の式を有限差分法で解いた。底面摩擦はマニングの粗度係数を  $0.03 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$  とし表現した。ただし、外海においては、線形長波の式を解いた。計算による水位は、東京湾平均海面 (T.P.) からの値である。シミュレーションの基本方程式や詳細については、佐竹・他 (2003) を参照されたい。

差分の格子間隔は外海では 2,025 m (この範囲のみ線形計算) で、海岸に近づくにつれ、675 m, 225 m, 75 m, 25 m と段階的に細かくした (第 3 図)。仙台・石巻両平野への遡上計算には、最小の 25 m 格子を用いた。計算時間間隔は差分法の安定条件を満たすよう 0.5 秒として、地震発生から 3 時間の津波伝播を計算した。

海底地形データは、日本水路協会から公開されているデジタル水深データ (日本近海 1000 m メッシュ海底地形データ、沿岸の海の基本図) から、直交座標に変換して利用した。陸上の地形データは、国土地理院から公開されている 50 m メッシュから作成した。仙台・石巻平野については、沿岸海域土地条件図の 1 m 等高線を用いて現況の標高データを作成した。次に明治時代の迅速図と米軍の空中写真を基に、仙台空港 (仙台平野) や自衛隊基地 (石巻平野) 建

設前の浜堤を再現し、さらに、貞観当時の海岸線沿いに浜堤を設定して、貞観当時の地形を再現した。なお、現在の地形を参考にして、浜堤の標高は 2.5 m、堤間湿地は標高 1 m とした。遡上計算に用いた石巻平野と、仙台平野の地形データを第 4 図に示す。

## 5. 結果

各モデルによる海底地殻変動（初期水位）の分布を第 5 図に示す。プレート内の正断層（モデル 1）では、沖合の初期水位は沈降域が卓越する。仙台湾内の活断層（モデル 9）では、断層周辺の狭い範囲が隆起・沈降する。津波地震やプレート間地震による初期水位は、沖（東）側で大きく隆起、陸（西）側で小さく沈降というパターンを示す。断層面が深さ 31 km 以深まで伸びるとき（モデル 4~8, 10）は、沈降域が陸地まで達し、海岸は地震時に多少沈降する。

これらの初期水位から計算した津波の最大水位分布を第 6 図に示す。断層の走向と直交する方向で水位が大きくなる指向性が顕著に表れ、いずれの場合も仙台湾周辺で水位が最大となる。断層長さが 300 km の場合は、仙台湾のみならず、福島県沿岸まで水位が高くなる。

石巻平野と仙台平野における最大浸水深（地盤上の津波高）と津波堆積物分布を比較したものを、それぞれ第 7, 8 図に示す。また、石巻平野における 3 測線上での浸水深と津波堆積物の位置との比較を第 9a 図に、仙台平野における 5 測線上での比較を第 9b, c 図に示す。さらに、これらの測線上でのシミュレーションによる浸水距離と最大浸水地点での標高を津波堆積物の位置（海岸からの距離、標高）と比較したものを第 10, 11 図、第 2, 3 表にまとめた。

浸水域はモデルによって大きく異なる。プレート内正断層の場合は、石巻・仙台平野ともにほとんど浸水しない。津波地震の場合は、石巻平野ではほとんど浸水せず、仙台平野で 1~2 km 浸水するが津波堆積物の分布を再現する程ではない。また、仙台湾内の断層についても、両平野ともほとんど浸水しない。

プレート間地震について、石巻・仙台平野とも、断層幅が 100 km の方が、断層幅 50 km よりも浸水域は大きい。断層の幅が同じであれば、断層の深さが浅い（15 km）方が深い（31 km）方よりもやや浸水距離が長い、その差はわずかである（第 10b 図）。断層の長さが 300 km になると、同じ幅（50 km）で長さが 200 km の時に比べて石巻平野での浸水域はやや広がるが、仙台平野ではほとんど変わらない。

石巻平野では、A1 測線、Y 測線の内陸部の標高がやや高く、津波堆積物が発見されたところ（SR 測線周辺）まで浸水するのは、断層のすべり量が 10 m（モデル 8）あるいは 7 m（モデル 10）の場合のみである。

これらの場合は、仙台平野での浸水距離も長く、津波堆積物の分布をほぼ再現できている。

石巻・仙台両平野における浸水距離や標高の比（シミュレーション/堆積物）を比較した（第 2, 3 表）。この比較には、ランク A, B を問わず、もっとも内陸側の津波堆積物の位置（海岸線からの距離と標高）を用いた。上記の 2 モデル（モデル 8 と 10）の幾何平均が最も大きく 0.99（距離の比）あるいは 1.04, 1.09（標高比）と 1 に近い値を示すこと、それらの標準偏差も小さいことから、これらのモデルが適切であることは定量的にも示される。

以上から、石巻・仙台平野での津波堆積物分布を説明するには、プレート間モデルで断層幅は 100 km、すべり量は 7 m 以上の場合がよいと結論される。

## 6. まとめ

貞観津波による石巻平野と仙台平野における津波堆積物の分布といくつかの断層モデルからのシミュレーション結果とを比較した。プレート内正断層、津波地震、仙台湾内の断層によるモデルでは両平野の津波堆積物の分布を再現することはできない。プレート間地震で幅が 100 km、すべりが 7 m 以上の場合には、浸水域が大きくなり、津波堆積物の分布をほぼ完全に再現できた。

本研究では、断層の長さは 3 例を除いて 200 km と固定したが、断層の南北方向の広がり（長さ）を調べるためには、仙台湾より北の岩手県あるいは南の福島県や茨城県での調査が必要である。

**謝辞** 本研究は、東北大学から産総研活断層研究センターに委託された、文部科学省「宮城県沖地震重点調査観測」の一環として実施された。海溝型地震履歴研究チームの岡村行信チーム長、宍倉正展博士、澤井祐紀博士には、石巻平野・仙台平野における津波堆積物調査結果や地形調査データを提供して頂いたほか、貞観津波地震当時の地形や仙台湾内の活断層に関する情報を頂き、さらに本原稿についても有益な助言を頂いた。査読者である建築研究所の藤井雄士郎博士には、原稿の細部にまでわたって有益な助言を頂いた。

## 文 献

- 阿部 壽・菅野喜貞・千釜 章 (1990) 仙台平野における貞観 11 年 (869 年) 三陸津波の痕跡高の推定, 地震, 43, 513-525.
- 羽鳥徳太郎 (1998) 貞観 11 年 (869 年) 宮城多賀城津波の推定波源域, 月刊海洋号外, 15, 167-171.
- Imamura, A. (1934) Past tsunamis of the Sanriku coast. Japanese J. Astronomy Geophysics, 11, 79-93.

- 石橋克彦・古代・中世地震史料データベース化研究グループ (2008) 「地震・噴火史料データベース (古代・中世編)」のインターネット公開, 日本地球惑星科学連合大会.
- Mansinha, L. and Smylie, D. E. (1971) The displacement fields of inclined faults, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 61, 1433-1440.
- Minoura, K. and Nakaya, S. (1991) Traces of tsunami preserved in inter-tidal lacustrine and marsh deposits: some examples from northeast Japan, *J. Geology*, 99, 265-287.
- Minoura, K., Imamura, F., Sugawara, D., Kono, Y. and Iwashita, T. (2001) The 869 Jogan tsunami deposit and recurrence interval of large-scale tsunami on the Pacific coast of northeast Japan, *J. Natural Disaster Sci.*, 23, 83-88.
- 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, 3, 315-362.
- 澤井祐紀・岡村行信・宍倉正展・松浦旅人・Than Tin Aung・小松原純子・藤井雄士郎 (2006) 仙台平野の堆積物に記録された歴史時代の巨大津波—1611年慶長津波と869年貞観津波の浸水域—, *地質ニュース*, 624, 36-41.
- 澤井祐紀・宍倉正展・岡村行信・高田圭太・松浦旅人・Than Tin Aung・小松原純子・藤井雄士郎・藤原 治・佐竹健治・鎌滝孝信・佐藤伸枝 (2007) ハンディージオスライサーを用いた宮城県仙台平野 (仙台市・名取市・岩沼市・亘理町・山元町) における古津波痕跡調査, 活断層・古地震研究報告, No. 7, 47-80.
- 澤井祐紀・宍倉正展・小松原純子 (2008) ハンドコアラーを用いた宮城県仙台平野 (仙台市・名取市・岩沼市・亘理町・山元町) における古津波痕跡調査, 活断層・古地震研究報告, No. 8, 17-70.
- Sawai, Y., Fujii, Y., Fujiwara, O., Kamataki, T., Komatsubara, J., Okamura, Y., Satake, K. and Shishikura, M. (2008) Marine incursions of the past 1500 years and evidence of tsunamis at Suijin-numa, a coastal lake facing the Japan Trench, *The Holocene*, 18, 517-528.
- 宍倉正展・澤井祐紀・岡村行信・小松原純子・Than Tin Aung・石山達也・藤原 治・藤野滋弘 (2007) 石巻平野における津波堆積物の分布と年代, 活断層・古地震研究報告, No. 7, 31-46.
- 菅原大助, 箕浦幸治, 今村文彦 (2001) 西暦869年貞観津波による堆積作用とその数値復元, *津波工学研究報告*, 18, 1-10.
- 渡辺偉夫 (1998) 日本被害津波総覧【第2版】, 東京大学出版会, 238 pp.
- 渡邊偉夫 (1998) 869 (貞観11)年の地震・津波の実態と推定される津波の波源域, *歴史地震*, 14, 83-99.
- 渡邊偉夫 (2000) 貞観十一年 (869年) 地震・津波と推定される津波の波源域 (総括), *歴史地震*, 16, 59-77.
- 渡邊偉夫 (2001) 伝承から地震・津波の実態をどこまで解明できるか—貞観十一年 (869年) の地震・津波を例として—, *歴史地震*, 17, 130-146.

(受付:2008年8月31日, 受理:2008年10月18日)

第 1 表. 本研究で検討する貞観津波の断層モデル.

Table 1. Parameters of fault models examined in this study.

モデル Model	断層タイプ Fault type	断層 deg N	位置 deg E	深さ depth km	長さ length km	幅 width km	走向 strike deg	傾斜角 dip deg	すべり角 Rake deg	すべり量 slip m	地震モーメント Mo Nm Mw	
1	Normal Fault	37.91	144.36	0	200	50	202	45	-90	5	$2 \times 10^{21}$	8.1
2	Tsunami Eq.	38.06	143.91	0	200	50	202	18	90	5	$2 \times 10^{21}$	8.1
3	d15W50	38.24	143.41	15	200	50	202	18	90	5	$2 \times 10^{21}$	8.1
4	d31W50	38.41	142.91	31	200	50	202	18	90	5	$2 \times 10^{21}$	8.1
5	d15W100	38.24	143.41	15	200	100	202	18	90	5	$4 \times 10^{21}$	8.3
6	d31W100	38.41	142.91	31	200	100	202	18	90	5	$4 \times 10^{21}$	8.3
7	d31L300	38.41	142.91	31	300	50	202	18	90	5	$3 \times 10^{21}$	8.3
8	d31L100u10	38.00	142.68	31	100	100	202	18	90	10	$4 \times 10^{21}$	8.3
9	Sendai Bay Fault	38.30	141.20	1	40	20	160	45	90	5	$1.2 \times 10^{20}$	7.3
10	d15W100u7	38.24	143.41	15	200	100	202	18	90	7	$5.6 \times 10^{21}$	8.4

断層位置は断層面上端の北東端の緯度・経度・深さ. 地震モーメントの計算には, モデル 9 以外は剛性率  $4 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ , モデル 9 については  $3 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$  を仮定した.

第 2 表. 貞観津波の 10 個のモデルから計算した浸水距離 (km) と最奥の津波堆積物の位置との比較.

Table 2. Inundation distances (in km) along profiles computed for ten models of the Jogan tsunami, compared with the location of the most inland tsunami deposits.

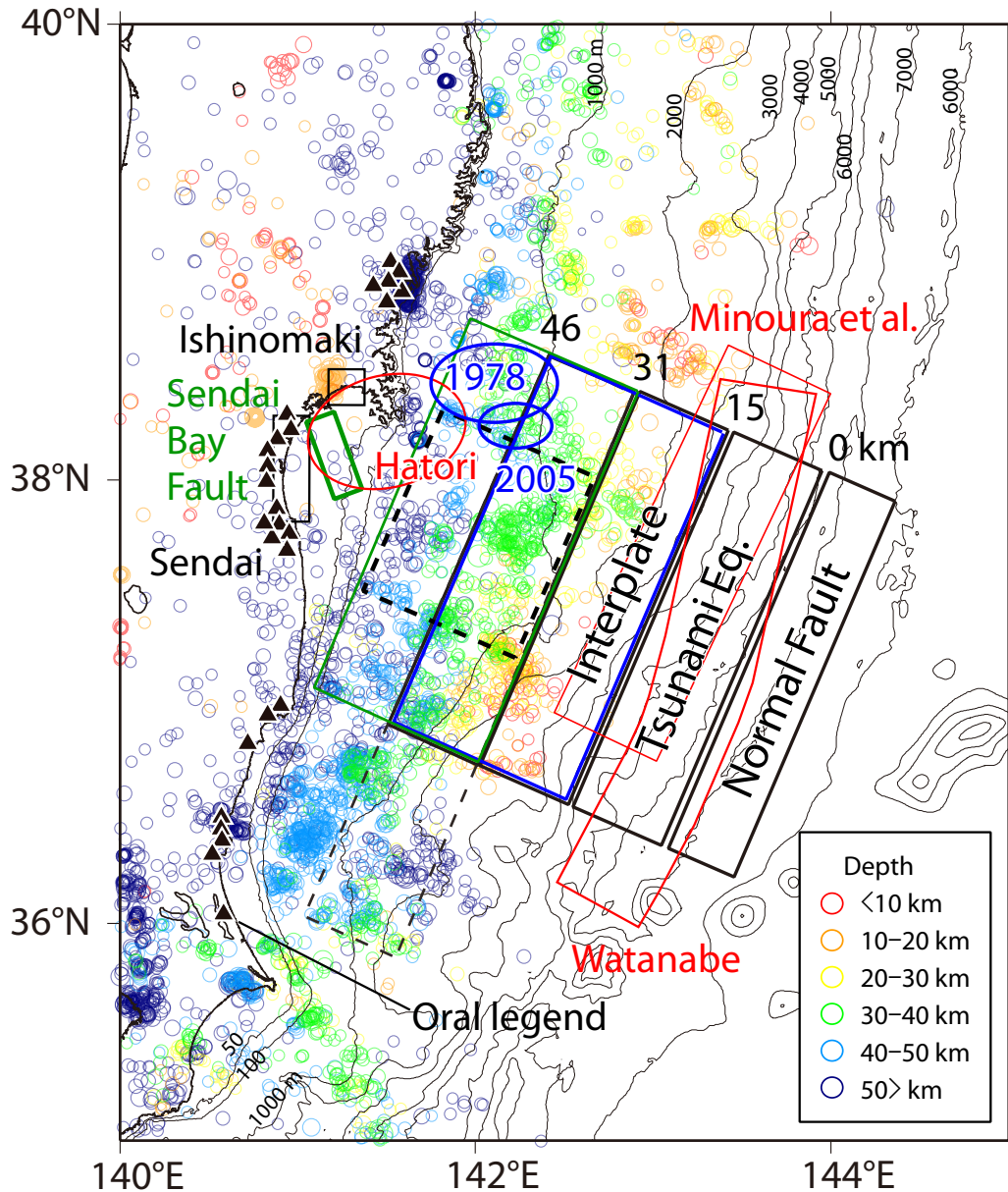
	Tsunami deposit	Model 1 Normal Fault	Model 2 Tsunami Eq.	Model 3 d15W50	Model 4 d31W50	Model 5 d15W100	Model 6 d31W100	Model 7 d31L300	Model 8 d31L100u10	Model 9 Sendai Bay Fault	Model 10 d15W100u7
Ishinomaki											
	WA	1.5	0.1	0.1	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	0.1	1.6
	A1	3.4	0.0	0.0	2.2	2.3	2.3	2.3	3.5	0.0	3.1
	Y	3.2	0.0	0.0	1.4	1.4	1.7	1.8	1.4	2.9	2.8
Sendai											
	a	3.0	0.0	1.0	1.8	1.4	2.0	2.0	1.4	3.1	3.1
	b	3.8	0.0	1.0	2.2	1.3	2.8	2.8	1.3	3.4	3.3
	c	4.2	0.0	1.1	3.3	3.1	3.3	3.3	3.1	3.8	4.1
	d	3.5	0.2	1.7	2.1	2.0	2.9	3.1	2.0	1.7	3.5
	e	2.5	0.0	1.4	1.7	1.4	2.3	2.3	1.4	2.8	2.9
Distance ratio (Sim./Dep.)	Average	0.01	0.24	0.58	0.51	0.77	0.78	0.60	<b>0.99</b>	0.12	<b>0.99</b>
	Std. Dev.	0.02	0.21	0.13	0.14	0.17	0.16	0.23	<b>0.08</b>	0.19	<b>0.09</b>

The lowest two lines indicate averages and standard deviations of distance ratio (simulated inundation distance /furthest tsunami deposit from coast). Both rank A and B deposits are included in the calculations. The averages and standard deviations shown in bold are the preferred models.

第3表. 貞観津波の10個のモデルから計算した津波の遡上高さ (m) と最奥の津波堆積物の標高 (m) との比較.  
 Table 3. The water heights (in meters) along profiles computed for ten models of the Jogan tsunami, compared with the altitudes (in meters) of the most inland tsunami deposits.

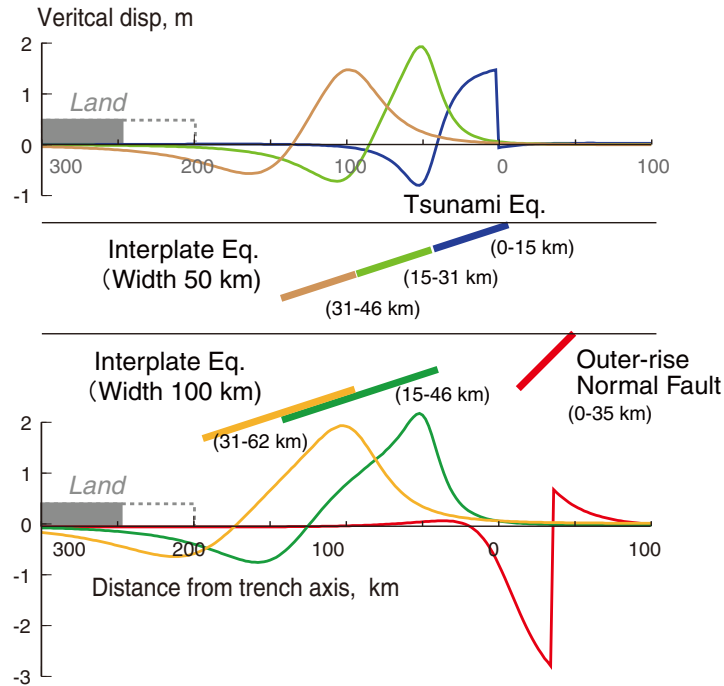
	Tsunami deposit	Model 1 Normal Fault	Model 2 Tsunami Eq.	Model 3 d15W50	Model 4 d31W50	Model 5 d15W100	Model 6 d31W100	Model 7 d31L300	Model 8 d31L100u10	Model 9 Sendai Bay Fault	Model 10 d15W100u7	
Ishinomaki												
	WA	1.9	1.7	2.0	2.2	2.2	2.4	2.0	2.1	2.7	2.4	3.6
	A1	1.7	1.8	2.1	0.7	0.8	1.1	1.2	1.0	1.9	1.6	1.7
	Y	2.6	1.8	2.1	2.1	1.9	2.4	2.4	2.1	2.5	1.4	2.5
Sendai												
	a	2.0	2.0	1.1	1.6	1.4	1.7	1.7	1.3	2.4	2.2	2.4
	b	3.3	2.2	1.1	1.5	1.3	1.6	1.7	1.3	2.5	2.2	2.5
	c	2.5	1.8	0.9	1.2	1.0	1.3	1.4	1.0	2.0	2.0	2.1
	d	3.0	1.0	1.1	1.9	2.0	2.3	2.5	2.0	3.5	1.3	3.2
	e	3.9	1.7	2.1	3.0	2.7	3.1	3.0	2.7	4.0	2.0	4.1
Height ratio	Average	0.72	0.65	0.68	0.64	0.78	0.78	0.66	<b>1.04</b>	0.78	<b>1.09</b>	
(Sim./Dep.)	Std. Dev.	0.26	0.35	0.23	0.25	0.23	0.17	0.22	<b>0.21</b>	0.29	<b>0.34</b>	

The lowest two lines indicate averages and standard deviations of height ratio (simulated inundation height / altitude of the most inland tsunami deposit). Both rank A and B deposits are included in the calculations. The averages and standard deviations shown in bold are the preferred models.



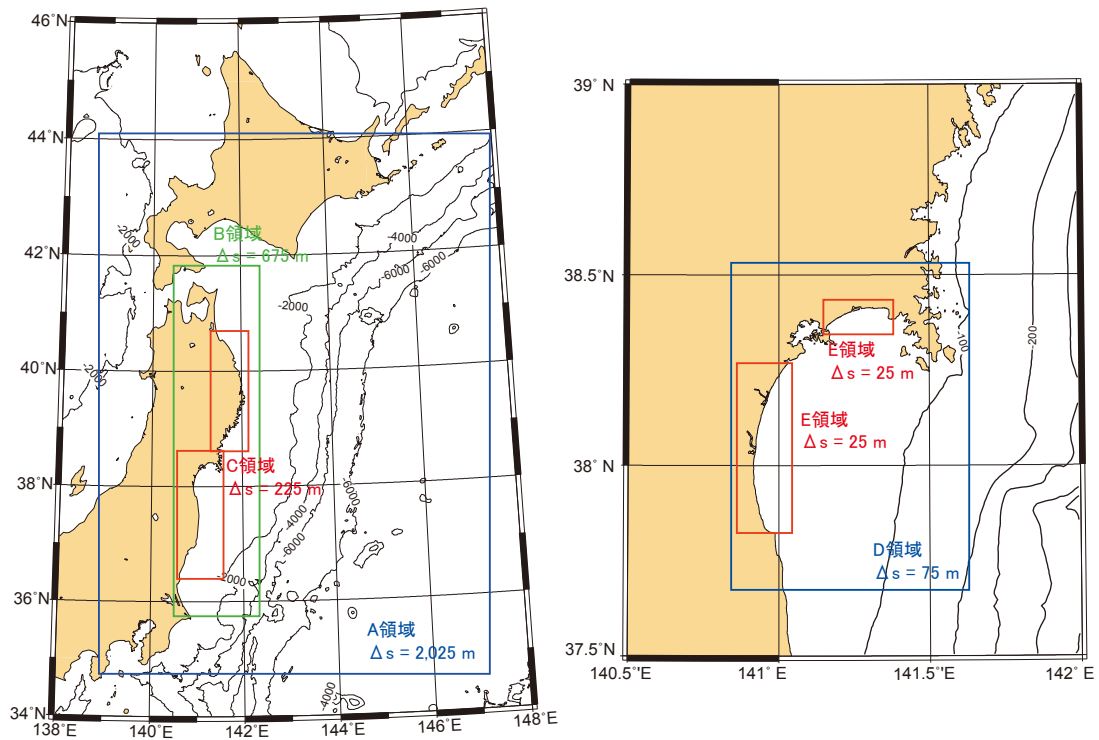
第 1 図. 貞観津波の断層モデル. 本研究で検討するのは, 正断層モデル, 津波地震モデル, 断層幅 50 km のプレート間地震モデル (黒実線) のほか, プレート間地震の断層の長さを 300 km, 100 km に変えたもの (黒破線), 幅を 100 km に変えたもの (青, 緑) 及び仙台湾の活断層 (深緑). これらのほか, 羽鳥 (1998), Minoura *et al.* (2001), 渡邊 (2000) による推定波源域, 1978 年, 2005 年の宮城県沖地震の震源域も示す. カラーの小丸はこの地域の地震活動 (1997 年 10 月~2007 年 3 月; 気象庁一元化震源による) を示す. 各断層の上に書かれた数字 (0 km, 15, 31, および 41) は断層上端の深さを示す. 三角印は貞観地震・津波によるものと推定される伝承が残る場所を示す (渡邊, 2000).

Fig. 1. Fault models of the Jogan tsunami. The fault models tested in this study are the normal fault, tsunami earthquake and interplate earthquake models (widths: 50 km) (shown by black solid lines), interplate models with different fault length (shown by black dashed lines), with different fault widths (green and blue lines), and an active fault in Sendai Bay (dark green). In addition, those proposed by Hatori (1998), Watanabe (2000) and Minoura *et al.* (2001) are shown. The source areas of 1978 and 2005 Miyagi-oki earthquakes are also shown. Color circles indicate seismicity in this region between October 1997 and March 2007, according to Japan Meteorological Agency data. Numerals beside the faults (0 km, 15, 31, and 46) indicate upper depth of the faults. Triangles show locations where oral legends of the 869 Jogan earthquake and tsunami were reported (Watanabe, 2000).



第2図. プレート内正断層, 津波地震, プレート間地震モデルによる断層と海底の上下変動の断面. 灰色の矩形は仙台湾奥の陸地の位置を表し, 灰点線は牡鹿半島における陸地の位置を表す.

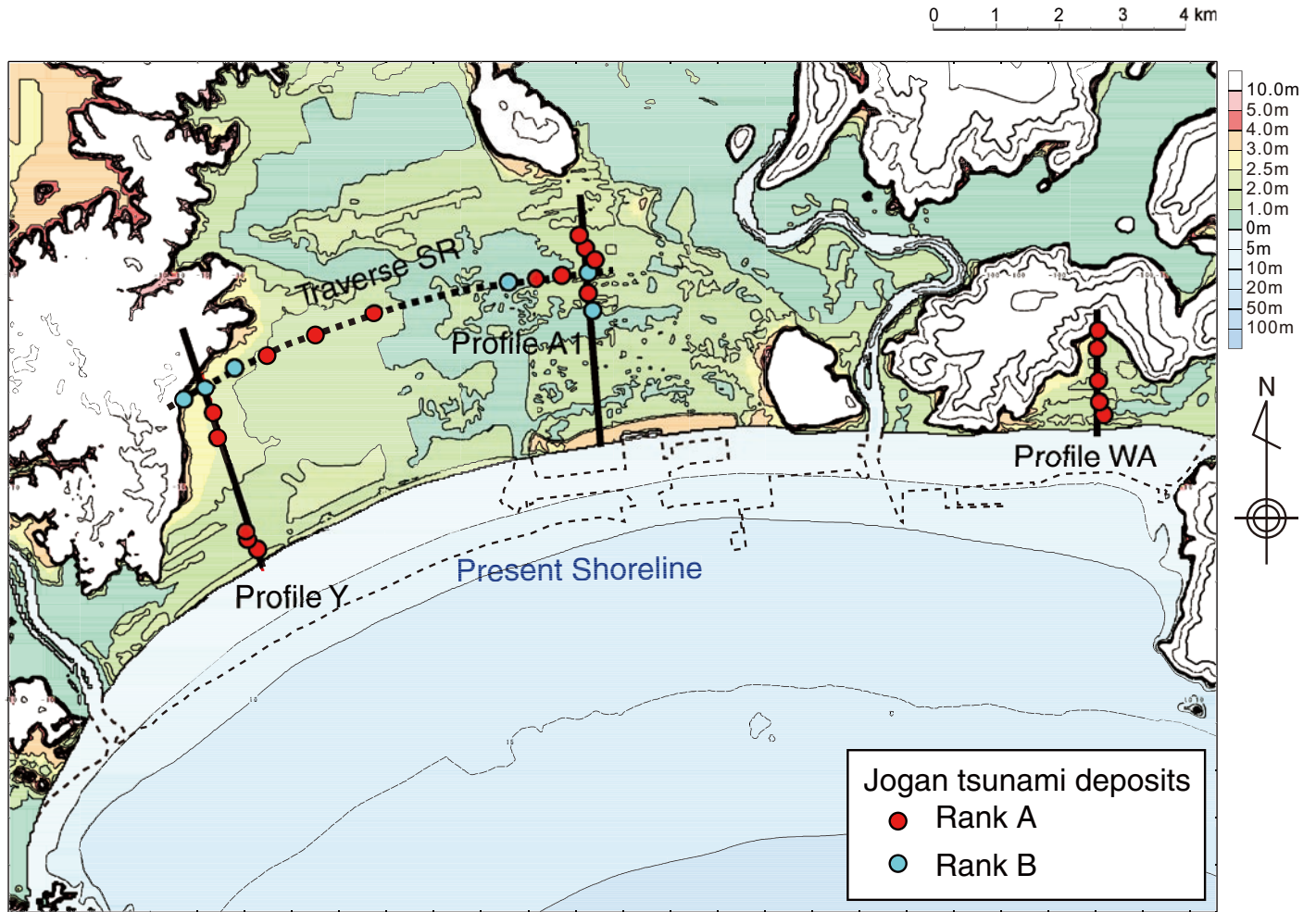
Fig. 2. Vertical seafloor deformation due to outer-rise normal fault, tsunami earthquake and interplate earthquakes with different fault width and depth. Gray rectangles and broken lines indicate location of land on the head of Sendai bay and Ojika Peninsula, respectively.



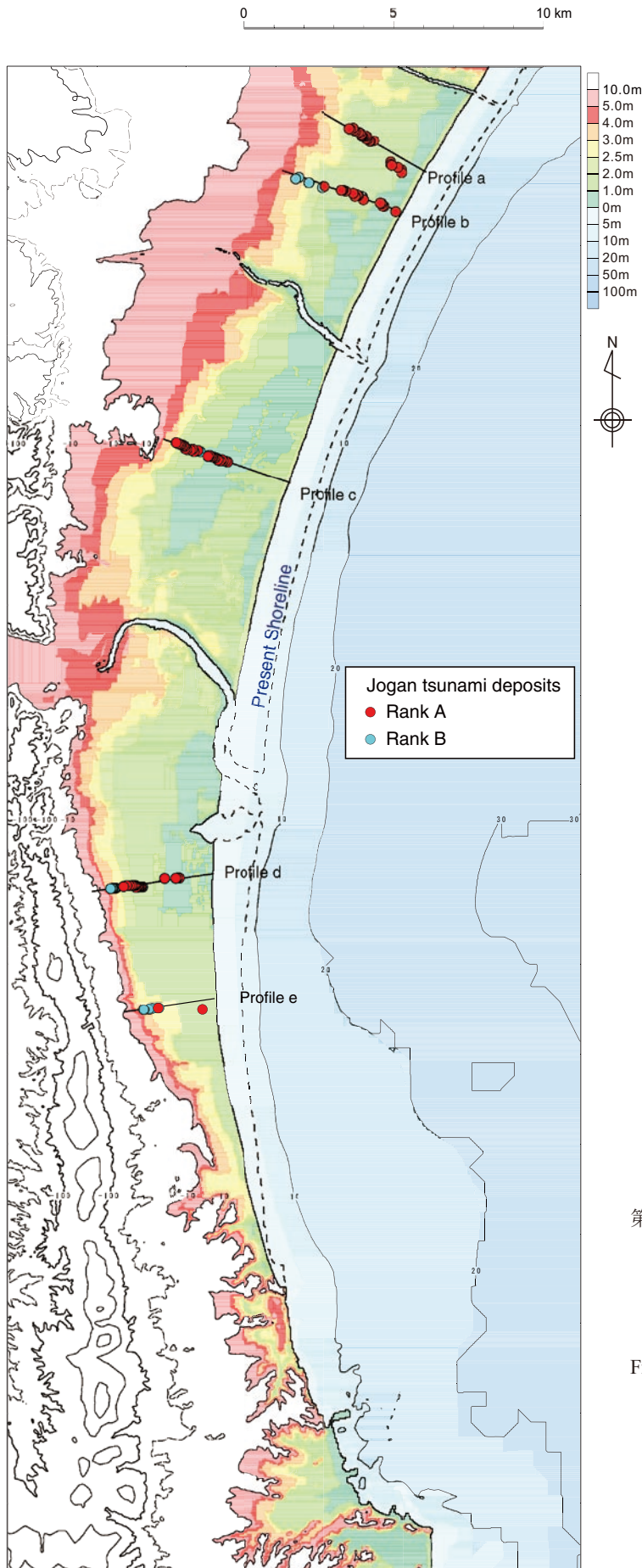
第3図. 津波シミュレーションの範囲. 計算格子は2,025 m, 675 m, 225 m, 75 m, 25 m と段階的に細かくした.

Fig. 3. Computational areas for tsunami numerical simulation. Grid sizes are 2,025 m, 675 m, 225 m, 75 m, and 25 m; smaller grids are used near coasts.



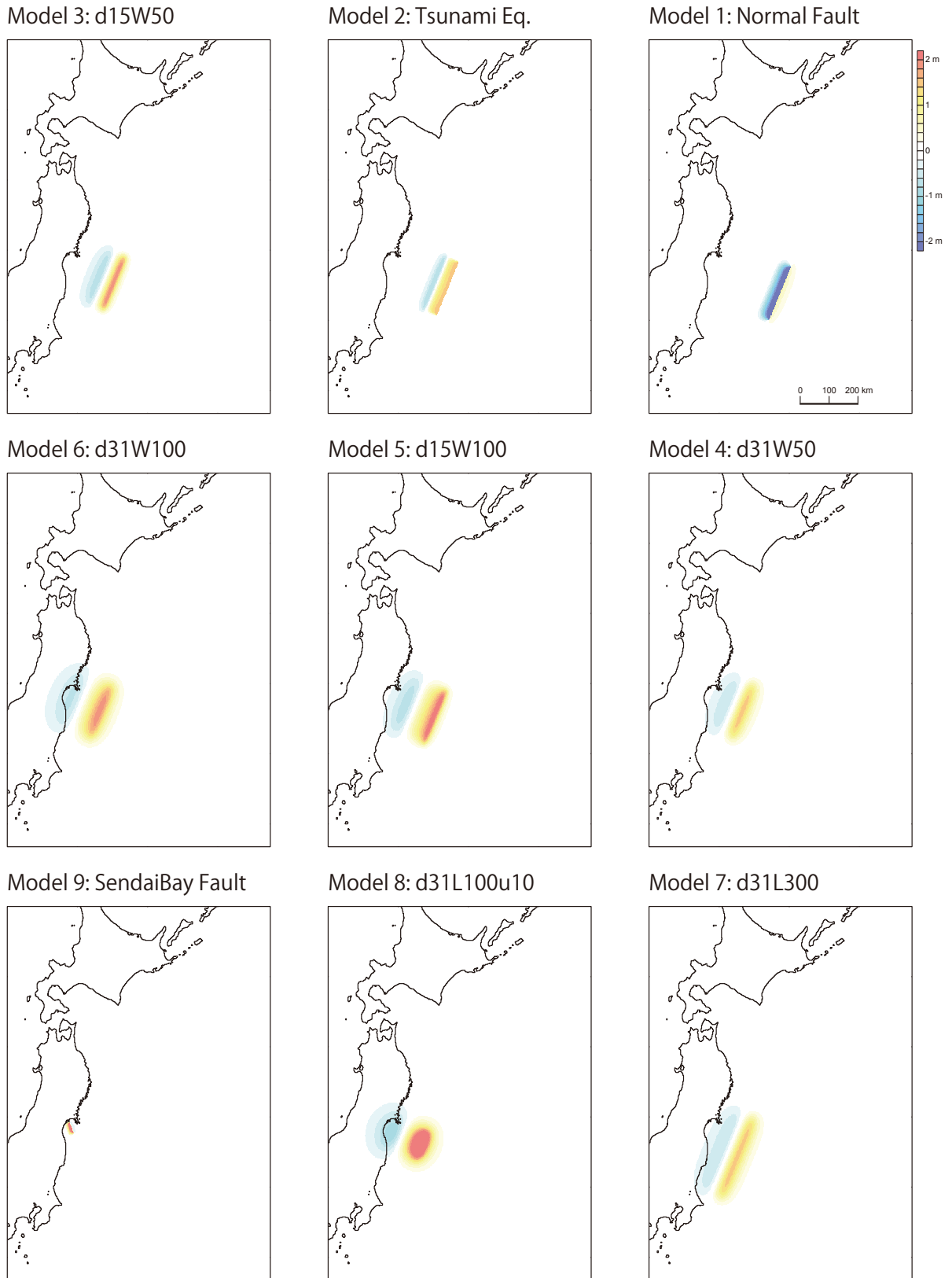


第 4a 図. 石巻平野の貞観当時の推定地形 (格子間隔 25 m). 津波堆積物が見つかった位置 (宍倉・他, 2007) ならびに津波シミュレーションと堆積物の比較を行う 3 測線の位置も示す. 津波堆積物は貞観津波である可能性の高低によりランクを A, B に分けた.  
 Fig. 4a. Estimated topography of Ishinomaki plain at the time of AD 869 Jogan tsunami. This area is gridded into 25 m interval for inundation modeling. Locations of the tsunami deposits (Shishikura *et al.*, 2007) and three profiles on which simulation results are compared with the deposits are shown. Ranks A and B refer to probability of the Jogan tsunami deposits.



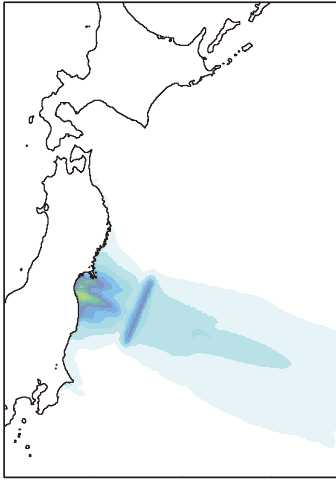
第4b図. 仙台平野の貞観当時の推定地形(格子間隔25m). 津波堆積物が見つかった位置(澤井・他, 2007; 2008)ならびに津波シミュレーションと堆積物の比較を行う5測線の位置も示す. 津波堆積物は貞観津波である可能性の高低によりランクA, Bに分けた.

Fig. 4b. Estimated topography around Sendai plain at the time of AD 869 Jogan tsunami. This area is gridded into 25 m interval for inundation modeling. Locations of the tsunami deposits (Sawai *et al.*, 2007; 2008) and five profiles on which simulation results are compared with the deposits are shown. Ranks A and B refer to probability of the Jogan tsunami deposits.

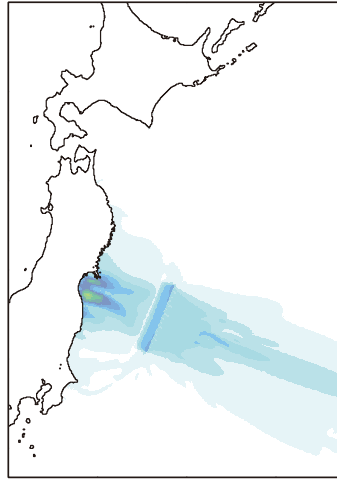


第 5 図. モデル 1~9 による初期水位分布. モデル 10 はモデル 5 の結果を 7/5 倍したもので省略した.  
 Fig. 5. Initial sea surface displacements for models 1-9. Model 10 is not shown because its pattern is the same as that of d15W100 (model 5).

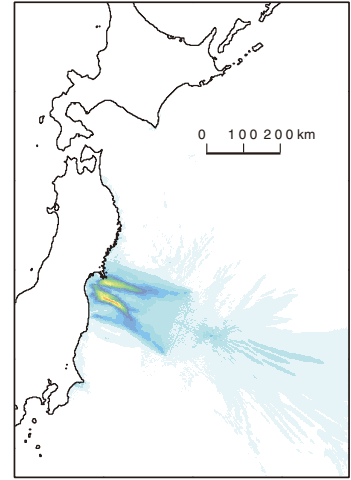
Model 3: d15W50



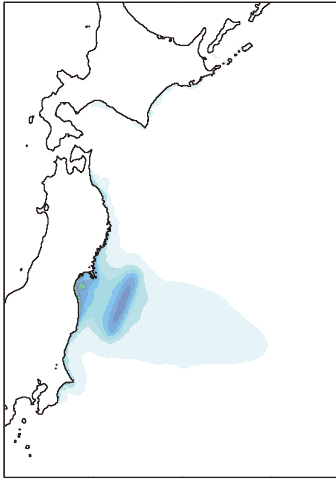
Model 2: Tsunami Eq.



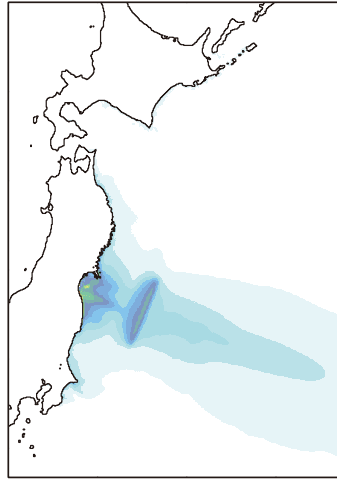
Model 1: Normal Fault



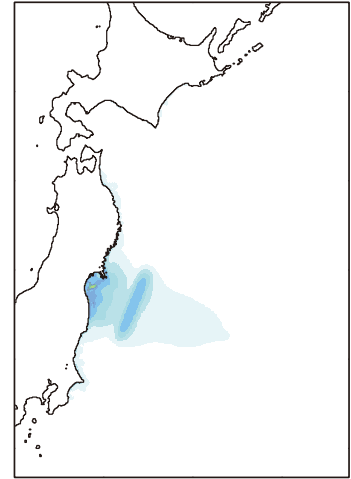
Model 6: d31W100



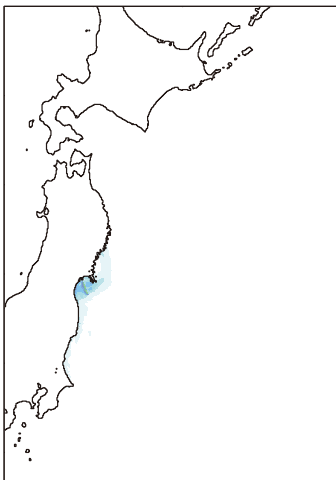
Model 5: d15W100



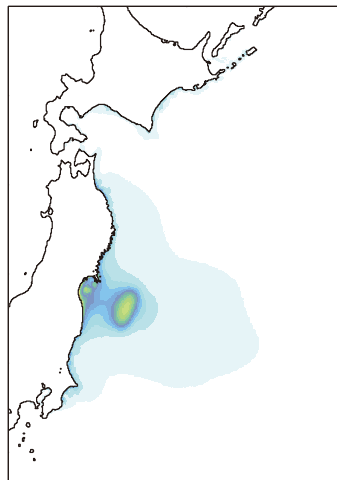
Model 4: d31W50



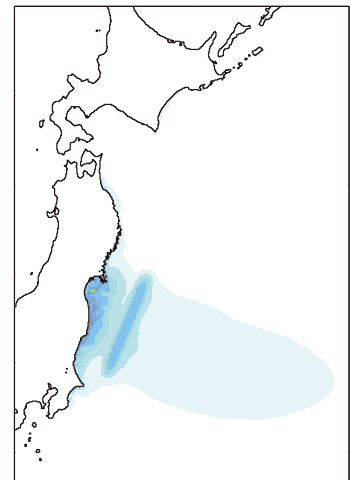
Model 9: SendaiBay Fault



Model 8: d31L100u10

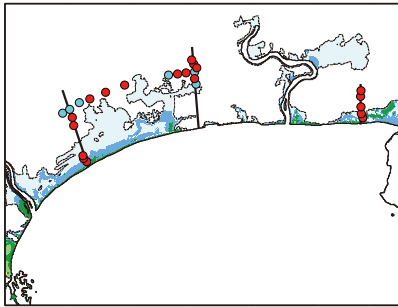


Model 7: d31L300

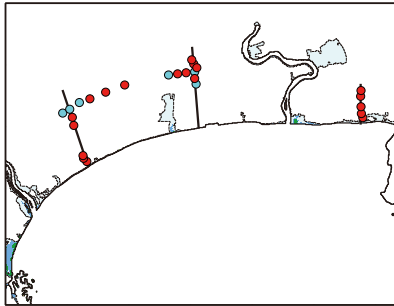


第 6 図. モデル 1~9 による最大水位分布. モデル 10 はモデル 5 の計算結果をほぼ 7/5 倍したもののなので省略した.  
Fig. 6. Maximum sea surface displacements for models 1-9. Model 10 is not shown because its pattern is almost same as that of d15W100 (model 5).

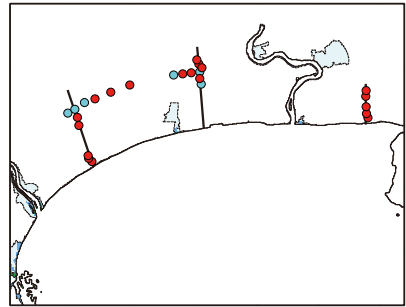
Model 3: d15W50



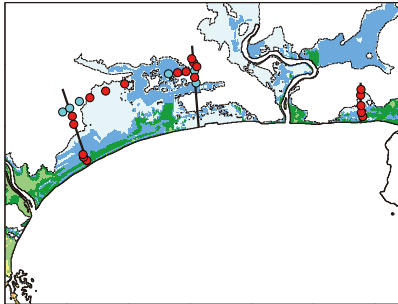
Model 2: Tsunami Eq.



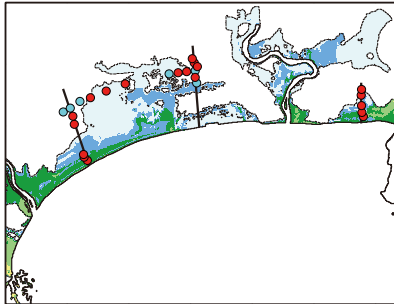
Model 1: Normal Fault



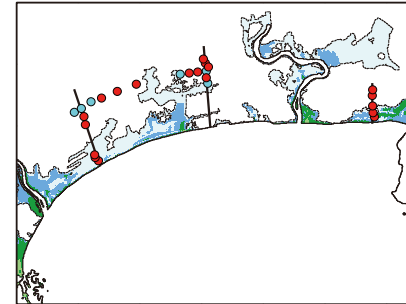
Model 6: d31W100



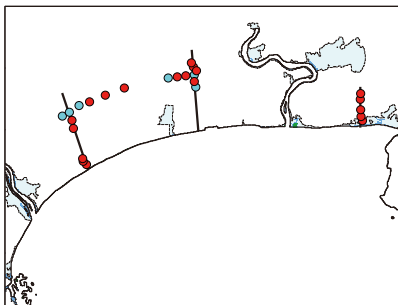
Model 5: d15W100



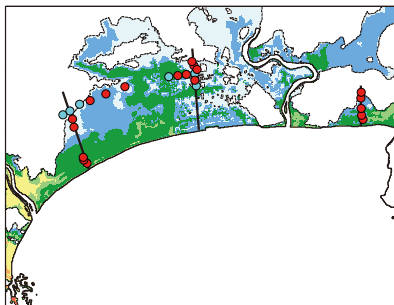
Model 4: d31W50



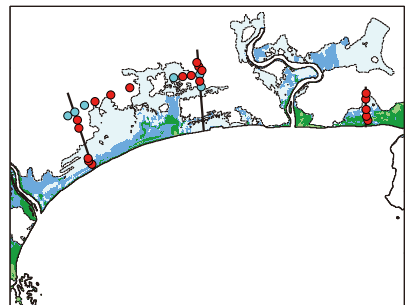
Model 9: Sendai Bay Fault



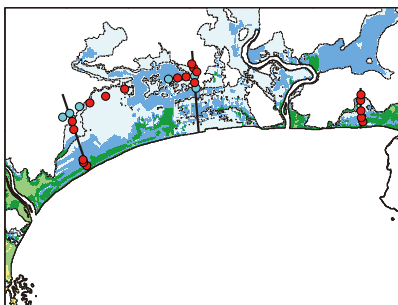
Model 8: d31L100u10



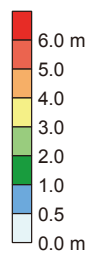
Model 7: d31L300



Model 10: d15W100u7

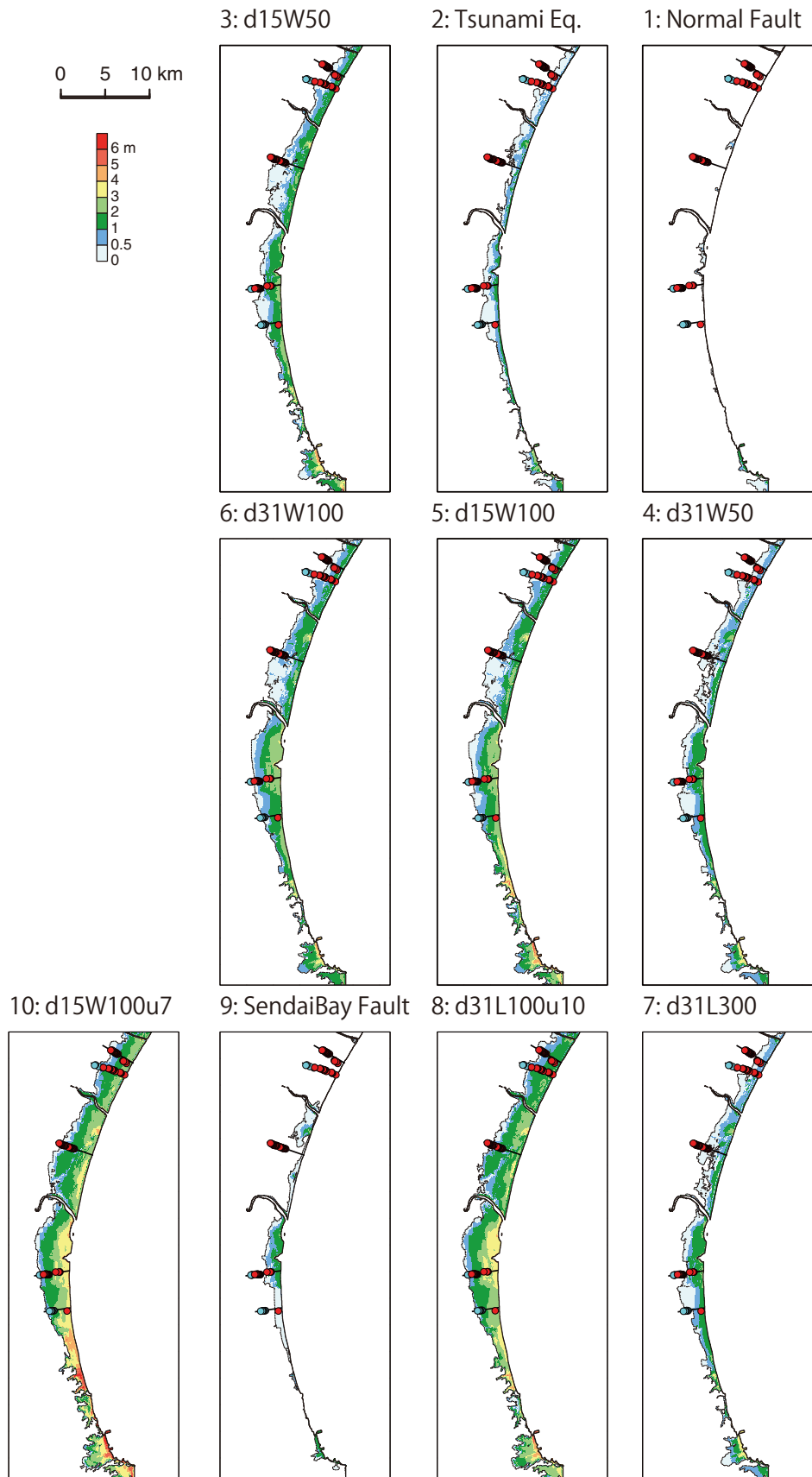


0 5 10 km

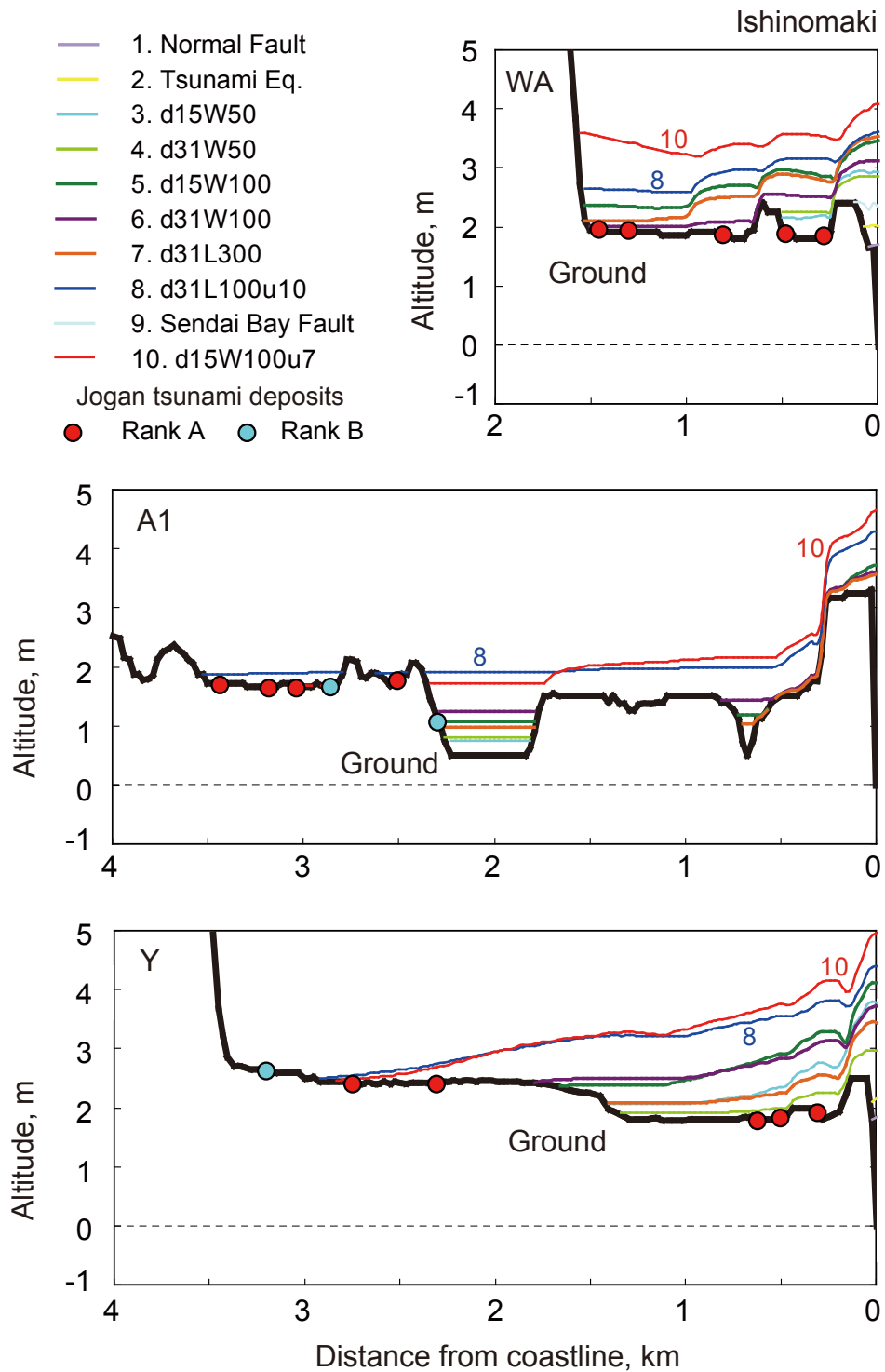


第 7 図. モデル 1~10 による石巻平野の最大浸水深と津波堆積物の分布 (記号は第 4a 図と同じ).

Fig. 7. Maximum flow depth computed for models 1-10 and distribution of tsunami deposits (red or blue circles; see Fig. 4a) in the Ishinomaki plain.

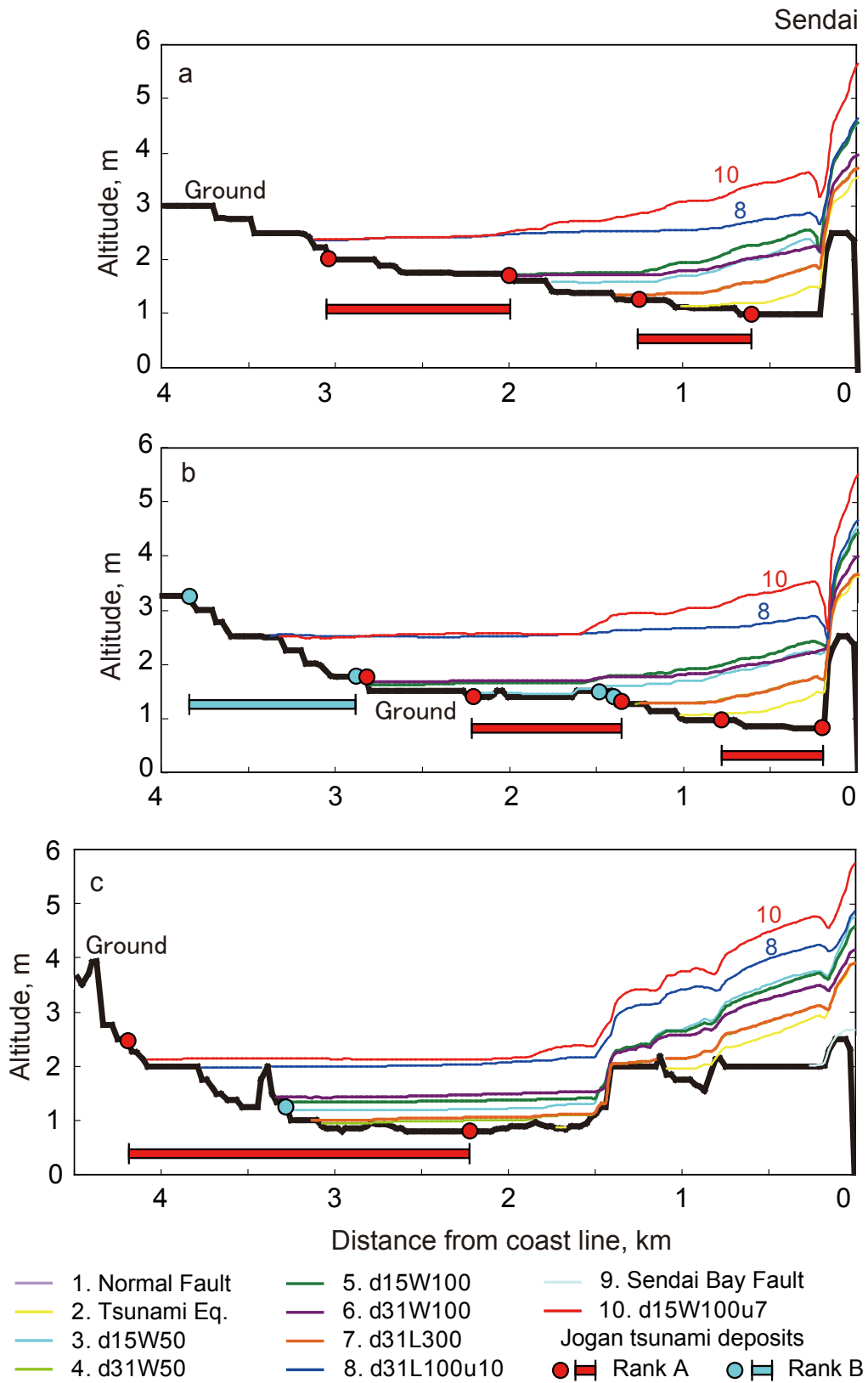


第 8 図. モデル 1~10 による仙台平野の最大浸水深と津波堆積物の分布 (記号は第 4b 図と同じ).  
 Fig. 8. Maximum flow depths computed for models 1-10 and distribution of tsunami deposits (red or blue circles; see Fig. 4b) in the Sendai plain.



第 9a 図. 石巻平野の 3 測線沿いの地形・津波水位断面図. 津波堆積物の分布 (第 4a 図, 宍倉・他, 2007) も示す.

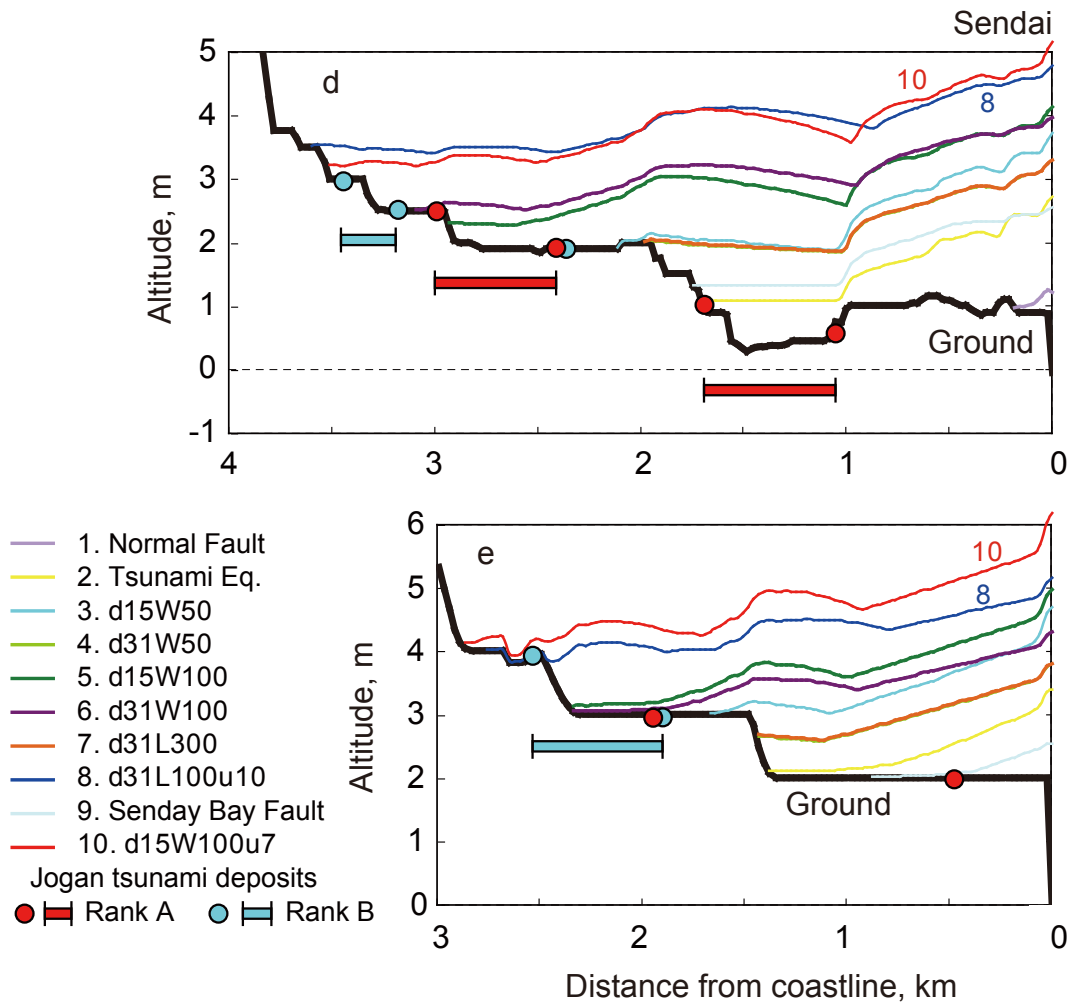
Fig. 9a. Profiles of topography and maximum water surface along three profiles in the Ishinomaki plain. Distribution of tsunami deposit (Fig. 4a, Shishikura *et al.*, 2007) are also shown.



第9b図. 仙台平野の3測線沿いの地形・津波水位断面図. 津波堆積物の分布(第4b図, 澤井・他, 2007; 2008)も示す.

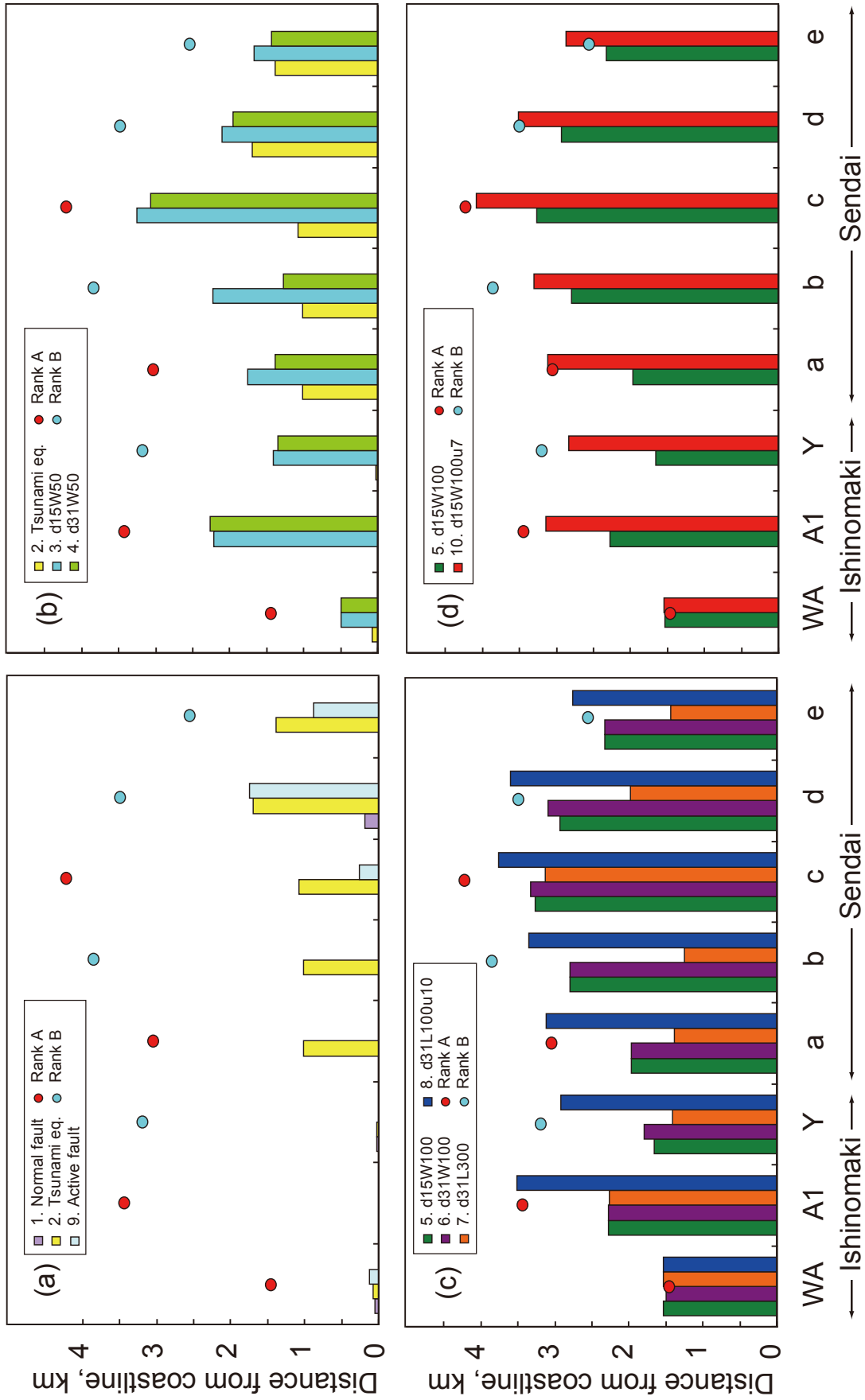
Fig. 9b. Profiles of topography and tsunami maximum water surface along three profiles in the Sendai plain. Distribution of tsunami deposit (Fig. 4b, Sawai *et al.*, 2007; 2008) are also shown.



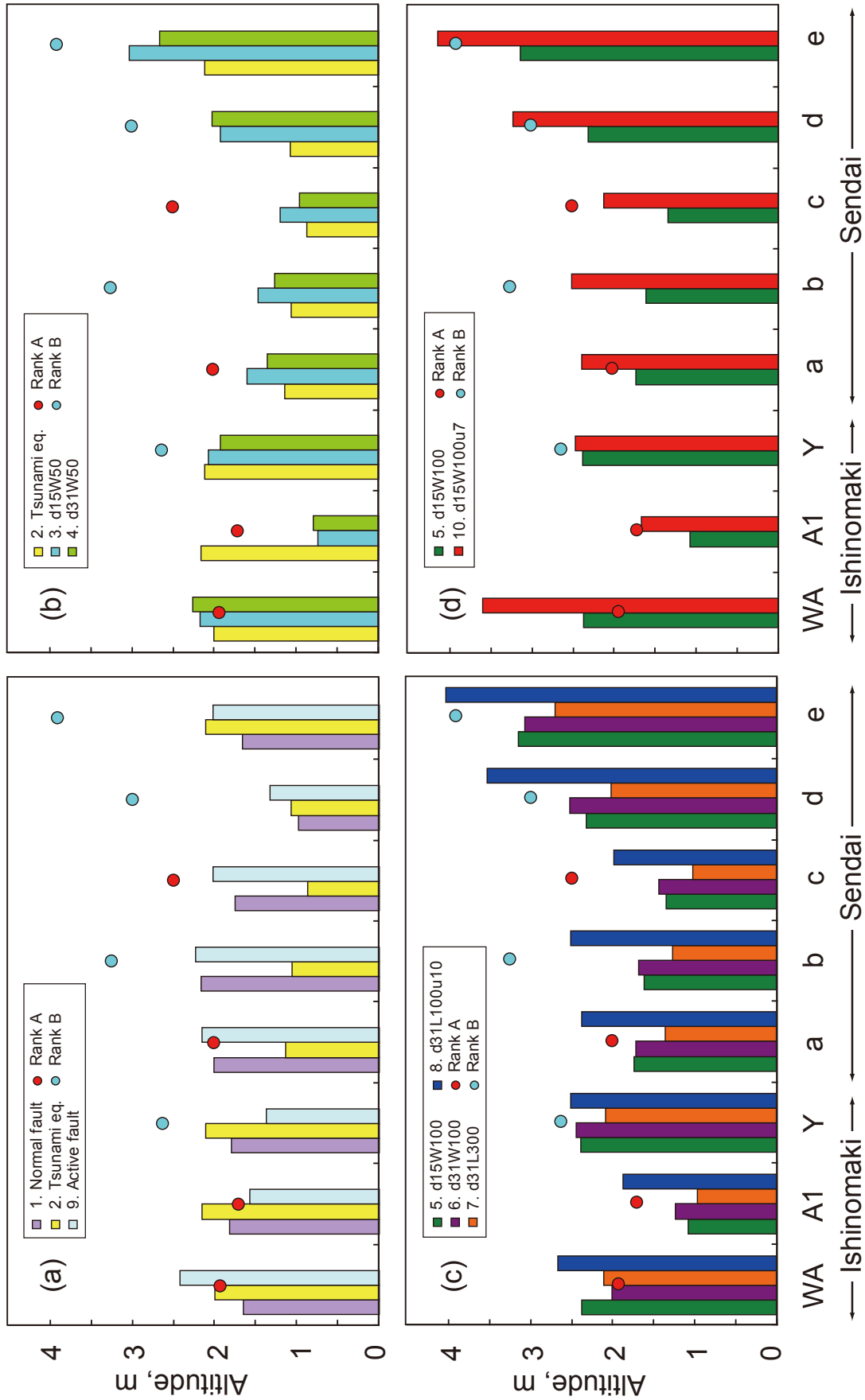


第 9c 図. 仙台平野の 2 測線沿いの地形・津波水位断面図. 津波堆積物の分布 (第 4b 図, 澤井・他, 2007; 2008) も示す.

Fig. 9c. Profiles of topography and tsunami maximum water surface along 2 files in the Sendai plain. Distribution of tsunami deposit (Fig. 4b, Sawai *et al.*, 2007; 2008) are also shown.



第10図 石巻・仙台平野の8 測線沿いの津波浸水距離と最奥の津波堆積物の位置との比較。  
 Fig. 10. Comparison of inundation distance and location of the most inland tsunami deposits along eight profiles in the Ishinomaki and Sendai plains.



第 11 図. 石巻・仙台平野の 8 測線沿いの津波高さとも最奥の津波堆積物の位置との比較.  
Fig. 11. Comparison of runup heights and location of the most inland tsunami deposits along eight profiles in the Ishinomaki and Sendai plains.