

## 次の宮城県沖地震の震源断層の形状評価

宮城県沖地震については、「宮城県沖地震の長期評価」（地震調査委員会、平成12年11月27日；以下「長期評価結果」という。）が取りまとめられている。ここでは、長期評価結果を踏まえ、またこれまでの関連する調査研究成果等を参考にして、発生が懸念される次の宮城県沖地震の発生領域（特に震源域）及び想定される震源域の形態（以下これらを総称して「震源断層の形状」という。）について全体像を次のように評価（以下「形状評価」という。）した。検討に際しては、強震動評価での利用を念頭においた。

### 1 震源断層の形状

形状評価の検討の対象の範囲は、長期評価結果で目安として示した地震の発生領域を含む図1に示す範囲である。また、長期評価結果では、陸寄りの海域に想定される震源域（以下「陸寄りの震源域」という。）だけが破壊する（ずれる）ことによって発生する地震の場合（以下「単独の場合」という。）と、陸寄りの震源域及び日本海溝寄りに想定される震源域が連動して発生する地震の場合（以下「連動した場合」という。）とがあるとした。

単独の場合の震源域は、近年の微小地震活動の分布、海底下構造調査、1978年及び1936年の地震の断層モデル（特にアスペリティ分布<sup>1</sup>）等から総合的に判断して、領域A1又は領域A2のどちらかとなると考えられる（図2）。但し、どちらとなるかは判断できない。

連動した場合の震源域は、近年の微小地震活動の分布、1793年の地震の断層モデル等から総合的に判断して、領域A（A1とA2を合わせた領域）の範囲内及び領域Bとなると考えられる（図2）。

その他の項目も含めて形状評価の結果は表1に整理した。

### 2 今後に向けて

震源域が単独の場合、領域A1又は領域A2のどちらとなるかについて、それぞれの可能性の大きさの検討が必要である。

---

<sup>1</sup> 「アスペリティ」とは、通常は強く固着していて、ある時に急激にずれて（すべって）地震波を出す領域のうち、周囲に比べ特にすべり量が大きい領域のことである。なお、「アスペリティ」という用語については、各種定義があるが、この報告書では、震源断層面の不均質性を表す1つの概念モデルである「アスペリティモデル」（Lay *et al.*, 1982）を踏まえた定義を用いた。

表 1 次の宮城県沖地震の震源断層の形状

項目	特性	根拠
地震の発生領域の目安	図 2	地震の発生領域（特に震源域）及び震源域の形態は、単独の場合は、1978 年及び 1936 年の地震のアスペリティの位置（〔11〕,〔12〕）を基に、各種断層モデル等を参考にして判断。また、連動の場合は海溝寄りの地震の断層モデル等を参考に判断。
震源域の形態(単独の場合・連動した場合とも同様)	東北地方が乗っている陸のプレート(以下「陸側のプレート」という。)と太平洋プレートの境界面(低角逆断層型) 図 2、図 3-1、図 3-2	
震源域(断層面の分布) 単独の場合	図 2 の A1 及び A2 を含む範囲になる可能性が高いと考えられ、震源域は A1 又は A2 のどちらかとなると考えられる。但し、どちらとなるかは判断できない。 深さは、西端は約 60km、東端は約 20km。	断層面の分布は、単独の場合 M7.5 前後及び連動した場合 M8.0 前後(長期評価結果)及びアスペリティ分布（〔11〕,〔12〕）を踏まえ、断層面積とマグニチュードの間の関係式 $\text{Log } S = M - 4.0$ (〔10〕) を用いて設定。
連動した場合	図 2 に示した A1、A2 及び B を含む範囲になる可能性が高いと考えられ、震源域は A の範囲内及び B となると考えられる。 東端の深さは約 10km。	断層面の分布のうち、プレート境界面の深さは、海底下構造調査の成果(図 3-1,図 3-2;〔3〕,〔4〕,〔5〕,〔6〕,〔1〕)等を踏まえて推定。
地震時における平均的なずれの向き	約 N115°E±10°(陸側のプレートに対する太平洋プレートに対するずれの向き)	太平洋プレートの陸側のプレートに対する相対運動方向（〔8〕,〔9〕）から推定。但し、宮城県沖付近のバックスリップモデル（〔7〕,〔2〕）も考慮。

引用文献

- 〔1〕伊藤亜妃・日野亮太・西野実・藤本博巳・三浦誠一・小平秀一・長谷見晶子(2002):エアガン人工地震探査による東北日本前弧域の地殻深部構造,地震 2,(印刷中)。
- 〔2〕Ito, T., S. Yoshioka and S. Miyazaki(2000): Interplate coupling in northeast Japan deduced from inversion analysis of GPS data, Earth and Planetary Science Letters, 176, 117-130.
- 〔3〕三浦誠一・高橋成実・仲西理子・小平秀一・金田義行(2001a):日本海溝前弧域(宮城沖)における地震学的探査-KY9905 航海-, JAMSTEC 深海研究,18,145-156,(海洋科学技術センター)。
- 〔4〕三浦誠一・仲西理子・小平秀一・高橋成実・鶴 哲郎・金田義行(2001b):日本海溝宮城沖前弧域の地震波速度構造(2),日本地震学会 2001 年秋季大会,P048。
- 〔5〕Miura, S., A. Nakanishi, N. Takahashi, S. Kodaira, T. Tsuru, A. Ito, R. Hino and Y. Kaneda (2001): Seismic velocity structure of Japan Trench off Miyagi fore arc region, Northeastern Japan using airgun-OBS data, EOS Trans. AGU, Fall meeting suppl., 82, F1150.
- 〔6〕Miura et al.(2002):準備中。
- 〔7〕Nishimura, T., S. Miura, K. Tachibana, K. Hashimoto, T. Sato, S. Hori, E. Murakami, T. Kono, K. Nida, M. Mishina, T. Hirasawa and S. Miyazaki (2000): Distribution of seismic coupling on the subducting plate boundary in northeastern Japan inferred from GPS observations, Tectonophysics, 323, 217-238.Ito et al.(2000)
- 〔8〕瀬野徹三(1993):日本付近のプレート運動と地震,科学,63,11,711-719。
- 〔9〕Seno, T., T. Sakurai and S. Stein, (1996): Can the Okhotsk plate be discriminated from the North American plate?, J. Geophys. Res., 101, No.B5, 11305-11315.
- 〔10〕宇津徳治(2001):「地震学」. 共立出版, 376pp.
- 〔11〕山中佳子・菊地正幸(2001):東北地方のアスペリティマップ,東京大学地震研究所広報,34,2-4。
- 〔12〕Yamanaka, Y. and M. Kikuchi (2002):準備中。

## 説明

### 1 宮城県沖の地震の震源断層の形状に関するこれまでの主な調査研究

過去宮城県沖に発生した地震の震源モデルに関わる調査研究としては、海溝寄りに発生した1793年の地震及び1897年8月の地震に関して、相田(1977)がある。陸寄りに発生した1978年の地震に関して、瀬野(1979)、相田(1978)、Seno *et al.*(1980)、及びIida & Hakuno(1984)がある。また、1978年の地震を含む東北地方太平洋側で発生した主な地震についての地震記象を用いたアスペリティ分布の研究として、山中・菊地(2001)及びYamanaka & Kikuchi(2002)がある。さらに、当該地域の津波の波源域の研究として、羽鳥(1975, 1987)がある。

東北日本付近の太平洋プレートの沈み込みに関連したバックスリップモデルの研究としては、測地データを用いたEl-Fiky & Kato(1999)、並びにGPSデータを用いた伊藤他(1999)、Ito *et al.*(2000)、西村他(1999)及びNishimura *et al.*(2000)がある。

東北日本の日本海溝周辺の海底下構造については、三浦他(2001a,b)、Miura *et al.*(2001,2002)、鶴他(2001)、伊藤他(2002)等がある。また、太平洋プレートの沈み込みに関連して発生する微小地震の震源分布の研究等としては、Umino *et al.*(1995)、Kosuga *et al.*(1996)、Hino *et al.*(1996)、Igarashi *et al.*(2001)等がある。

なお、地震調査委員会は、「宮城県沖地震の長期評価」(地震調査委員会,2000;以下「長期評価結果」という。)を公表したが、その中では、宮城県沖地震の系列の同定に係わる調査研究を挙げている。

### 2 震源断層の形状に関する評価の説明

宮城県沖地震の震源域の形態については、長期評価結果を踏まえた。発生領域(特に震源域)については、長期評価結果に示された目安を参照した上で、近年の微小地震活動の分布等に基づくプレートの境界面の推定に関する研究成果、当該地域の速度構造についての研究成果、過去の宮城県沖地震の断層モデルの研究、及びバックスリップ<sup>1</sup>モデルの研究成果を利用して総合的に評価した。

東北地方が乗っている陸のプレート(以下「陸側のプレート」という。)と太平洋プレートとの境界面の位置は、1997年10月以降に発生した微小地震の震源分布等(図3-1,図3-2;Umino *et al.*,1995、Kosuga *et al.*,1996、Hino *et al.*,1996、Igarashi *et al.*,2001)及び海底下構造調査の解析結果(図7-1,図7-2,図7-3;三浦他,2001a,b,Miura *et al.*,2001,2002、伊藤他,2002)に基づき判断した。これらを踏まえると、プレート境界面は、日本海溝から西方100km程度(深さ約20km)までは5~8°の傾斜角となっており、そこからさらに西方100km付近まで徐々に急になり、領域A1(図2)の東端付近では約20度の傾斜となっていると考えられ、そのさらに西側では、深さ約60km以深で約30°の傾斜角

---

<sup>1</sup> プレート境界で地震が発生してから次の地震が発生するまでは、沈み込む海のプレートと陸のプレートとの境界面は固着しているため、海のプレートの沈み込みの進行につれて陸のプレートは引きずり込まれ、内陸側に押される。このようにして生じる陸のプレート内の変形は、プレート境界面上に仮想的な正断層のずれを与えることで表すことができる(Savage,1983)。この仮想的なずれをバックスリップという。

となるように、徐々に急になっていると考えられる。

以下に単独の場合と連動した場合（評価本文参照）に分けて評価内容を説明する。

#### （１）単独の場合

地震の発生領域は、長期評価結果で単独の場合と評価した1835年、1861年、1897年2月、1936年、及び1978年の5つの陸寄りの地震によって生じた津波の波源域(図4；羽鳥, 1987)、並びに1793年、1897年8月の2つの海溝寄りの地震及び1978年の陸寄りの地震の断層モデル(図5-1)を参照し、1978年以降の地震活動の震源分布等に基づくプレート境界面に関する研究成果(図3-1, 図3-2)及びバックスリップモデル等(図6)を参考にして総合的に評価した。

#### （東端・西端）

西端は、次のように検討して評価した。

プレート境界の地震発生の陸側のプレートの厚さは60km程度である(例えば、瀬野, 1995)。従って、60kmより深いところでは太平洋プレート上面は、アセノスフェアと接することとなり、プレート境界の地震は発生しない。このため、断層面の西端は、太平洋プレート上面の深さが60kmのところと判断した。なお、プレート境界面上の地震発生域（不安定すべりをする領域）は、温度100～150 に相当する深さから、350～450 までであるとされている(Hyndman *et al.*, 1997)が、岩手・宮城県境付近では太平洋プレートの上面付近の温度は深さ60kmで約300 程度であり(Peacock & Wang, 1999)、上の判断と整合している。

東端は、1978年の地震の余震分布及び各種震源モデルを参照し、特に山中・菊地(2001)及びYamanaka & Kikuchi(2002)による1936年及び1978年の地震について推定されたアスペリティ分布(図5-2)を参考にし、プレート境界面の深さ約20kmの位置と判断した。

#### （北端・南端）

北端及び南端は、1978年の地震の余震分布及び各種震源モデルを参照し、特に山中・菊地(2001)及びYamanaka & Kikuchi(2002)による1936年及び1978年の地震について推定されたアスペリティ分布(図5-2)を参考にして、推定されているアスペリティを含む領域A1及び領域A2を含む範囲である可能性が高いと考えた。

一方、長期評価結果では、1936年の地震については、「この地震による津波の波源域は、1978年の地震による波源域の南側にずれて推定されているものの一部重なっており、震度分布を考慮して、宮城県沖地震の一つであると同定した。」としている。また、山中・菊地(2001)及びYamanaka & Kikuchi(2002)では、1978年の地震のアスペリティは領域A1内の東西に2ヶ所推定しており、1936年のアスペリティは領域A2内に1ヶ所推定している(図5-2)。海溝型地震では一般的に同じアスペリティを含んだ領域が繰り返し大地震の震源域になっているとの研究成果(山中・菊地, 2001；Yamanaka & Kikuchi, 2002)を踏まえ、次の地震の震源域は領域A1又は領域A2のどちらかとなると考えた。

このことから、次の宮城県沖地震の場合は、北側と南側のいずれの場合の発生も有り得ると考え、発生領域は図2に示すようにA1とA2の2ヶ所を想定した。但し、そのどちらとなるかを判断する材料は現在はない。

なお、領域A1の北端・南端及び領域A2の北端・南端・西端・東端の設定に用いたマグニチュードは、長期評価結果で単独の場合M7.5前後であるとしたことを踏まえた。長期評価結果では、1978年の地震はM7.4であり、1936年の地震はM7.5であるとしたが、Yamataka & Kikuchi(2002)によるモーメントマグニチュード<sup>2</sup>は前者については7.5、後者については7.4である。ここでは次の地震の断層面積(物理学的な規模に係わりが深い)の評価では、領域A1についてはM7.5を、領域A2についてはM7.4をそれぞれ用いた、

## (2) 連動した場合

連動した場合は、陸寄り及び日本海溝寄りに震源域がある。日本海溝寄りの震源域は、1793年の地震<sup>3</sup>及び1897年8月の地震<sup>4</sup>によって生じた津波の波源域(図4;羽鳥,1987)、並びにこれらの地震の断層モデル(図5-1;相田,1977)を参照し、1997年10月以降の微小地震の震源分布(図1)及びバックスリップモデル等(図6)を参考にして総合的に評価した。

### (北東端)

北東端は、1793年の地震及び1897年8月の地震の震源モデル(図2;相田,1977)の北東端、並びに1896年の明治三陸地震の震源モデル(図2;Tanioka & Satake,1996)を参考にして判断した。

### (南端等)

南端は、1793年の地震及び1897年8月の地震の震源モデル(図2;相田,1977)を参照するとともに、長期評価結果で連動した場合のマグニチュードをM8.0前後としていることを踏まえて、A1とBが連動した場合にM8.0となるとして、日本海溝寄りの震源域の面積を推定し、設定した。

海溝寄りの震源域は、陸寄りの震源域に比較して検討に用いる材料が少ないことから、その断層面の分布については矩形で表現することとし、1793年の地震及び1897年8月の地震の断層モデル(相田,1977)の走向に併走する向きに矩形(領域B)を設定した。また、領域A1及び領域A2と接するように設定した。なお、バックスリップモデルでは、領域Bの周辺はプレート間の固着は強いとされている(西村他,1999)。

## 3 地震時における平均的なずれの向きに関する評価の説明

地震時における平均的なずれの向きは、太平洋プレートの陸側のプレートに対する相対運動方向(Seno *et al.*,1996)がN65°W程度であることを踏まえ、バックスリップモデルにおけるスリップの向きが、N73°W±15°(1996~1998年のGPSデータ;Ito *et al.*,2000)、N60°W(1995年1年間のGPSデータの解析;Nishimura *et al.*,2000)、又はN48°W(測量データのうち、1966年~1995年の上下変位及び1979年~1991年の水平変位のデータ;E

<sup>2</sup> モーメントマグニチュードは、震源の物理学的な規模を表す地震モーメントという量から決められるマグニチュードである。

<sup>3</sup> 長期評価結果で連動した場合と評価した地震。

<sup>4</sup> 震源が日本海溝寄りにある(宇津,1999)地震。この地震は、1897年2月の地震と一組の地震であるとの見方もできると判断した。

I-Fiky & Kato,1999)であることを参照して、陸側のプレート(震源断層の上盤側)の動く方向として $N115^{\circ}E \pm 10^{\circ}$ (太平洋プレートの動く向きは $N65^{\circ}W \pm 10^{\circ}$ )と判断した(図2)。

#### 引用文献(アルファベット順)

- 相田勇(1977):三陸沖の古い津波のシミュレーション,東京大学地震研究所彙報,52, 71-101.
- 相田勇(1978):1978年宮城県沖地震に伴った津波の数値実験,東京大学地震研究所彙報,53,1167-1175.
- El-Fiky, G. S. and T. Kato(1999):Interplate coupling in the Tohoku district, Japan, deduced from geodetic data inversion. *J. Geophys. Res.*, 104, 20361-20379.
- 羽鳥徳太郎(1975):三陸歴史津波の規模と推定波源域.地震研究所彙報,50,397-414.
- 羽鳥徳太郎(1987):寛政5年(1793年)宮城県沖地震における震度・津波分布.地震研究所彙報,62,297-309.
- Hino R., T. Kanazawa and A. Hasegawa(1996): Interplate seismic activity near the northern Japan Trench deduced from ocean bottom and land-based seismic observations, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 93, 37-52.
- Hyndman, R. D., M. Yamano and D.A.Oleskevich(1997):The seismogenic zone of subduction thrust faults, *The Island Arc*,6,244-260.
- Iida, M. and M. Hakuno (1984): The difference in the complexities between the 1978 Miyagiken-Oki earthquake and the 1968 Tokachi-Oki earthquake from viewpoint of short-period range. *Nat. Disas. Sci.*, 6(2),1-26.
- Igarashi, T., T. Matsuzawa, N. Umino and A. Hasegawa(2001), Spatial distribution of focal mechanisms for interplate and intraplate earthquakes associated with the subducting Pacific plate beneath the northeastern Japan arc: A triple-planed deep seismic zone, *J. Geophys. Res.*, 106, 2177-2191.
- 伊藤亜妃・日野亮太・西野実・藤本博巳・三浦誠一・小平秀一・長谷見晶子(2002):エアガン人工地震探査による東北日本前弧域の地殻深部構造,地震2,(印刷中).
- 伊藤武男・吉岡祥一・宮崎真一(1999):GPSデータのインヴァージョン解析から推定した東北日本におけるプレート間カップリングの推定,月刊地球,号外,25,158-165.
- Ito, T., S. Yoshioka and S. Miyazaki(2000): Interplate coupling in northeast Japan deduced from inversion analysis of GPS data, *Earth and Planetary Science Letters*, 176, 117-130.
- 地震調査委員会(2000):「宮城県沖地震の長期評価」,18pp.
- Kosuga, M., T. Sato, A. Hasegawa, T. Matsuzawa, S. Suzuki and Y. Motoya(1996): Spatial distribution of intermediate depth earthquakes with horizontal or vertical nodal planes beneath northeastern Japan, *Phys. Earth*

- Planet. Inter., 93, 63-89.
- Lay, T., H. Kanamori and L. Ruff (1982): The asperity model and the nature of large subduction zone earthquakes, *Earthquake Prediction Res.*, 1, 3-71.
- 三浦誠一・高橋成実・仲西理子・小平秀一・金田義行(2001a): 日本海溝前弧域(宮城沖)における地震学的探査-KY9905 航海-, *JAMSTEC 深海研究*, 18, 145-156, (海洋科学技術センター).
- 三浦誠一・仲西理子・小平秀一・高橋成実・鶴 哲郎・金田義行(2001b): 日本海溝宮城沖前弧域の地震波速度構造(2), *日本地震学会 2001 年秋季大会*, P048.
- Miura, S., A. Nakanishi, N. Takahashi, S. Kodaira, T. Tsuru, A. Ito, R. Hino and Y. Kaneda (2001): Seismic velocity structure of Japan Trench off Miyagi fore arc region, Northeastern Japan using airgun-OBS data, *EOS Trans. AGU, Fall meeting suppl.*, 82, F1150.
- Miura, S. et al. (2002): 準備中
- 西村卓也・三浦哲・立花憲司・橋本恵一・佐藤俊也・堀修一郎・村上栄寿・河野俊夫・仁田交市・三品正明・平澤朋郎・宮崎真一(1999): 1994 年三陸はるか沖地震の余効変動と三陸沖プレート間カップリング, *月刊地球*, 号外, 25, 152-157.
- Nishimura, T., S. Miura, K. Tachibana, K. Hashimoto, T. Sato, S. Hori, E. Murakami, T. Kono, K. Nida, M. Mishina, T. Hirasawa and S. Miyazaki (2000): Distribution of seismic coupling on the subducting plate boundary in northeastern Japan inferred from GPS observations, *Tectonophysics*, 323, 217-238.
- Peacock, S. M. and K. Wang (1999): Seismic Consequences of Warm Versus Cool Subduction Metamorphism: Examples from Southwest and Northeast Japan, *Science*, 286, 937-939.
- Savage, J. C. (1983): A dislocation model for strain accumulation and release at a subduction zone, *Journal of Geophysical Research*, 88, 4984-4986.
- 瀬野徹三(1979): 宮城県沖に予想される地震について. *地震予知連絡会会報*, 21, 38-43.
- 瀬野徹三(1993): 日本付近のプレート運動と地震, *科学*, 63, 11, 711-719.
- 瀬野徹三(1995): *プレートテクトニクスの基礎*, 朝倉書店.
- Seno, T., K. Shimazaki, P. Somerville, K. Sudo and T. Eguchi (1980): Rupture process of the Miyagi-Oki, Japan, Earthquake of June 12, 1978. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 23, 39-61.
- Seno, T., T. Sakurai and S. Stein, (1996): Can the Okhotsk plate be discriminated from the North American plate?, *J. Geophys. Res.*, 101, No.B5, 11305-11315
- Tanioka, Y. and K. Satake(1996): Fault parameters of the 1896 Sanriku Tsunami earthquake estimated from tsunami numerical modeling, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 1549-1552.
- 鶴哲郎・朴進午・三浦誠一・林努(2001): 日本海溝における構造的浸食作用の地域性

とプレート境界のカップリング, 地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会, Sz-P019.

Umino, N., A. Hasegawa and T. Matsuzawa(1995): sP depth phase at small epicentral distances and estimated subducting plate boundary. Geophys.J.Int., 120, 356-366

宇津徳治(1999): 「地震活動総説」. 東京大学出版会, 894pp.

宇津徳治(2001): 「地震学」. 共立出版, 376pp.

Yamanaka, Y and M. Kikuchi(2002): 準備中.

山中佳子・菊地正幸(2001): 東北地方のアスペリティマップ, 東京大学地震研究所広報, 34, 2-4.

### 参考文献 (アルファベット順)

Asano, S., H. Okada, T. Yoshii, K. Yamamoto, T. Hasegawa, K. Ito, S. Suzuki, A. Ikami and K. Hamada(1979): Crust and upper mantle structure beneath northeastern Honshu, Japan as derived from explosion seismic observations, J. Phys. Earth, 27, Suppl., S1-S13.

長谷川昭・海野徳仁・高木章雄・鈴木貞臣・本谷義信・亀谷悟・田中和夫・澤田義博(1983): 北海道および東北地方における微小地震の震源分布 - 広域の験震データの併合処理 -, 地震, 36, 129-150.

地震調査委員会(1999): 「日本の地震活動 - 被害地震から見た地域別特徴 - <追補版>」. 395pp.

川崎一朗・浅井康広・田村良明(1998): 三陸沖におけるプレート間モーメント解放の時空間分布とサイスモ・ジオデティック・カップリング - 中・長期予測の基礎 -. 地震 2, 50

Kwakatsu, H. and T. Seno(1983): Triple Seismic Zone and the Regional Variation of Seismicity along the Northern Honshu Arc. J. Geophys. Res, 88, B5, 4215-4230.

Mazzotti, S., X. Le Pichon., 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, B6, 13,159-13,177.

Nishizawa, A., T. Kanazawa, T. Iwasaki and H. Shimamura(1992): Spatial distribution of earthquakes associated with the Pacific plate subduction off Northeastern Japan revealed by ocean bottom and land observation. Phys.Earth Planet.Inter., 75, 165-175.

Okada, H., S. Asano, T. Yoshii, A. Ikami, S. Suzuki, T. Hasegawa, K. Yamamoto, K. Ito and K. Hamada(1979): Regionality of the upper mantle around northeastern Japan as derived by big explosions at sea, .SEIHA-1



- explosion experiment, J.Phys. Earth, 27, Suppl., S15-S32.
- Shimamoto, T. (1990): Deformation mechanisms and rheological properties of fault rocks in the strength-peak regime, International Symposium on Earthquake Source Physics and Earthquake Precursors, 28-31.
- 宇佐美龍夫(1996):「新編 日本被害地震総覧」[増補改訂版 416-1995]. 東京大学出版会, 516pp.