

被害想定のための歴史地震面震源モデル調査

損害保険料率算出機構* 吉村 昌宏 坪川 博彰
国際航業株式会社** 藤原 賢也

A Survey of Source Models on Historical Earthquakes for Earthquake Damage Estimation

Masahiro YOSHIMURA, Hiroaki TSUBOKAWA

Non-Life Insurance Rating Organization of Japan (NLIRO)
1-9, Kanda-Nishikicho, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-0054 Japan

Kenya FUJIWARA

Kokusai Kogyo Co.,Ltd.
3-1-25, Asahigaoka, Hino City, Tokyo, 191-0065 Japan

§ 1. はじめに

地震被害想定において、震源モデルの設定は地震動の大きさを評価する上できわめて重要な要素である。歴史地震を対象とする場合、点震源モデルでは空間的な広がりを考えるには限界があり、可能ならば 3 次元的な震源モデル(面震源モデル)が考慮されることが望ましい。

また、面震源モデルを調べる際「日本の地震断層パラメータ・ハンドブック」(佐藤,1989)がよく利用される。これは、当機構が 1983~85 年に行った断層モデルの文献調査の成果(損害保険料率算定会,1984,1985)をまとめて鹿島出版会より刊行されたものであるが、既に 10 年以上が経過している。

そこで本研究では、過去の主な被害地震について近年の研究成果を含めて文献調査を行い、さらに面震源モデルが得られた地震の傾向について検討を行った。

§ 2. 面震源モデルの調査

2.1 調査対象地震の選定

本研究において面震源モデルの調査対象とする被害地震は、「理科年表 平成 15 年版」(国立天文台編)の「日本付近のおもな被害地震年代表」に掲載されている地震とした。

2.2 調査方法

面震源モデルの調査は主に表 1 の資料について行った。表中の文献 ~ は文献 で多く引用さ

れている国内発行の資料であり、1988 年から 2003 年 2 月時点で入手できた巻号までを調査対象とした。これは 1987 年までに発表された面震源モデルは文献で網羅されていると考えたためである。

また、産業技術総合研究所のホームページで提供されている「日本地質文献データベース」(http://www.aist.go.jp/RIODB/cgi-db011/DB011_top.cgi)を利用し、タイトルに「断層モデル」を含む論文で、タイトルから面震源モデルが期待できると判断したものも調査した。

以上の文献を網羅的に調べ、面震源モデルを求めている論文に加え、引用している場合はその出典論文までを調査対象に含めた。

2.3 面震源モデルの抽出基準

面震源モデルの抽出にあたっては、被害想定を行うという目的から矩形断層モデルを対象とし、その 7 つの断層パラメータ(断層面基準点の緯度、経度、深さ、断層面の長さ、幅、走向、傾き)の全てが定められている(もしくは論文から読みとれる)もので、断層モデルないし震源過程の研究を主眼とした論文に調査対象を限定した。

2.4 調査結果

調査の結果、72 地震 174 モデルの面震源モデルを得ることが出来た。

面震源モデルの得られた地震と各モデルの出典を表 2 に示し、その出典文献名称を付録に示す。

* 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町 1-9

** 〒191-0065 東京都日野市旭が丘 3-1-25 トゥモロープラザビル 5F

表1 面震源モデルの主な調査資料

「日本の地震断層パラメーター・ハンドブック」 佐藤良輔編著(1989), 鹿島出版会
「地震の断層モデルに関する研究 その1」「同 その2」 損害保険料率算定会(1984,1985)
「地震2」 第41巻第1号(1988)~第55巻第3号(2002), 日本地震学会
「東京大学地震研究所彙報」 第62号第1冊(1988)~第77号第1冊(2002)
「Journal of Physics of the Earth」 Vol.36, No.1(1988)~Vol.45, No.6(1997)
「Earth, Planets and Space」 Vol.50, No.1(1998)~Vol.54, No.3(2002)

* 「Journal of Physics of the Earth」はVol.45(1997年)で解消となり, 1998年からは他の地球物理学分野の欧文誌と合併して「Earth, Plates and Space」に移行した(巻号は移行時にVol.50(1998年)として刊行)

表2 面震源モデルの得られた地震と各モデルの出典(その1)

発生日	地震名(地域)	M	モデル数	モデルNo.	出典	発生日	地震名(地域)	M	モデル数	モデルNo.	出典
1498/09/20	東海道全般	8.2-8.4	1	1	相田(1981a)	1927/03/07	「北丹後地震」	7.3	6	1	Kasahara(1957, 1958)
1605/02/03	「慶長地震」(A)(*2)	7.9	1	1	相田(1981a)					2	Chinnery(1961, 1964)
1611/12/02	三陸沿岸および北海道東岸	8.1	1	1	相田(1977)					3	Kanamori(1973)
1633/03/01	相模・駿河・伊豆	7.0	1	1	相田(1993)					4	Matsu'ura(1977)
1703/12/31	「元禄地震」	7.9-8.2	2	1	笠原ほか(1973)					5	Matsu'ura(1977)
				2	Matsuda et al.(1978)					6	長谷川(1986)
1704/05/27	羽後・陸奥	7.0	2	1	張・佐藤(1993)	1930/11/26	「北伊豆地震」	7.3	5	1	Kasahara(1957)
				2	樋渡ほか(2002)					2	Chinnery(1961, 1964)
1707/10/28	「宝永地震」	8.4	2	1	Ando(1975)					3	Abe(1978)
				2	相田(1981a, b)					4	藤井(1978)
1793/02/08	西津軽	6.9-7.1	1	1	樋渡ほか(2002)					5	長谷川(1986)
1793/02/17	陸前・陸中・磐城	8-8.4	1	1	相田(1977)	1931/09/21	「西埼玉地震」	6.9	1	1	Abe(1974a)
1804/07/10	「象潟地震」	7.0	1	1	樋渡ほか(2002)	1933/03/03	「三陸地震津波」	8.1	6	1	Kanamori(1971, 1972b)
1833/12/07	羽前・羽後・越後・佐渡	7.5	1	1	相田(1989)					2	Kawasaki & Suzuki(1974)
1853/03/11	小田原付近	6.7	1	1	相田(1993)					3	Ben-Menahem(1977)
1854/12/23	「安政東海地震」	8.4	2	1	Ando(1975)					4	相田(1977)
				2	Ishibashi(1981) 相田(1981a)					5	藤井(1977)
1854/12/24	「安政南海地震」	8.4	2	1	Ando(1975)					6	Abe, Ku.(1978)
				2	相田(1981b)	1935/07/11	「静岡市付近」	6.4	1	1	武尾ほか(1979)
1855/11/11	「江戸地震」	6.9	1	1	引田・工藤(1999)	1936/02/21	「河内大和地震」	6.4	1	1	堀川ほか(2002)
1856/08/23	日高・胆振・渡島・津軽・南部	7.5	1	1	相田(1977)	1938/05/23	「塩屋崎沖」	7.0	1	1	Abe(1977)
1872/03/14	「浜田地震」	7.1	1	1	吉岡(1974)	1938/11/05	「福島県東方沖地震」	7.5	1	1	Abe(1977)
1891/10/28	「濃尾地震」	8.0	2	1	Mikumo & Ando(1976)	1939/05/01	「男鹿地震」	6.8	1	1	吉岡(1974)
				2	Pollitz & Sacks(1994)	1940/08/02	「神威岬沖」	7.5	1	1	Satake(1986)
1896/06/15	「明治三陸地震津波」	8.5	2	1	相田(1977)	1943/09/10	「鳥取地震」	7.2	3	1	Kanamori(1972a)
				2	Tanioka & Satake(1996)					2	Sato(1973)
1897/08/05	仙台沖	7.7	1	1	相田(1977)					3	長谷川(1986)
1918/11/11	「大町地震」(第2震)(*3)	6.5	1	1	多田・橋本(1988)	1944/12/07	「東南海地震」	7.9	9	1	Ando(1975)
1923/09/01	「関東大地震」	7.9	8	1	Ando(1971)					2	Inouchi & Sato(1975)
				2	Ando(1974a)					3	Ishibashi(1981)
				3	石橋(1980) Ishibashi(1985)					4	相田(1979,1986)
				4	Matsu'ura et al.(1980)					5	藤井(1980)
				5	Matsu'ura et al.(1980)					6	Iwasaki(1981)
				6	相田(1993)					7	Satake(1993)
				7	Wald & Somerville(1994,1995)					8	Pollitz & Sacks(1994)
8	Pollitz et al.(1996)	9	日野・都司(1996)								

(*1). 表中の発生日(グレゴリオ暦)、地震名(地域)、マグニチュード(M)は「理科年表 平成15年版」に従う

(*2). 理科年表地震番号 72の2地震のうち、東海沖の地震の面震源モデル

(*3). 理科年表地震番号327の2地震のうち、第2震の面震源モデル

表2 面震源モデルの得られた地震と各モデルの出典(その2)

発生日	地震名(地域)	M	モデル数	モデルNo.	出典	発生日	地震名(地域)	M	モデル数	モデルNo.	出典
1945/01/13	「三河地震」	6.8	1	1	Ando (1974b)	1978/01/14	「1978年 伊豆大島近海地震」	7.0	4	1	Shimazaki & Somerville (1978, 1979)
1946/12/21	「南海地震」	8.0	9	1	Fitch & Scholz (1971)					2	岡田 (1978)
				2	Ando (1975)					3	岡田 (1978)
				3	Ando (1982)					4	相田 (1978)
				4	Iwasaki (1981)					1978/06/12	「1978年 宮城県沖地震」
				5	相田 (1981b)	2	相田 (1978)				
				6	Kato (1983)	3	Seno et al. (1980)				
				7	Satake (1993)	4	Seno et al. (1980)				
				8	Cummins & Kaneda (2000)	1980/06/29	伊豆半島東方沖	6.7	4	1	Irikura (1983)
				9	Tanioka & Satake (2001)	2	Takenaka (1987)				
1948/06/28	「福井地震」	7.1	3	1	吉岡 (1974)					3	Fukuyama & Irikura (1989)
				2	長谷川 (1986)					4	Takeo (1988)
				3	鷲谷 (1999)	1982/03/21	「昭和57年 浦河沖地震」	7.1	5	1	国土地理院 (1982)
1952/03/04	「十勝沖地震」	8.2	2	1	笠原 (1975)					2	武尾ほか (1983)
				2	Aida (1978)					3	多田 (1987)
1955/10/19	「二ツ井地震」	5.9	1	1	Mizoue et al. (1982)					4	末次・中西 (1986)
1958/11/07	エトロフ島沖	8.1	1	1	Fukao & Furumoto (1979)					5	Suetsugu & Nakanishi (1988)
1961/08/12	釧路沖	7.2	1	1	宮嶋・阿部 (1982)	1983/05/26	「昭和58年 日本海中部地震」	7.7	6	1	相田 (1984)
1961/08/19	「北美濃地震」	7.0	2	1	Kawasaki (1975)					2	多田 (1984)
				2	三上・武尾 (1987)					3	田中ほか (1984) 小菅ほか (1984)
1962/04/30	「宮城県北部地震」	6.5	1	1	辻 (1984)					4	Satake (1985)
1963/03/27	「越前岬沖地震」	6.9	1	1	Abe (1974b)					5	Sato (1985)
1963/10/13	エトロフ島沖	8.1	1	1	Kanamori (1970)					6	Satake (1989)
1964/05/07	男鹿半島沖	6.9	1	1	Fukao & Furumoto (1975)	1984/09/14	「昭和59年 長野県西部地震」	6.8	3	1	三雲ほか (1985)
1964/06/16	「新潟地震」	7.5	5	1	Aki (1966a, b)					2	山科・多田 (1985)
				2	Hirasawa (1965)					3	Yoshida & Koketsu (1990)
				3	Abe (1975a)	1987/12/17	千葉県東方沖	6.7	3	1	岡田・笠原 (1988)
				4	Satake & Abe (1983)					2	山田 (1988)
				5	加藤・安藤 (1995)					3	福山・木下 (1989)
1968/04/01	「1968年日向灘地震」	7.5	2	1	相田 (1974)	1993/01/15	「平成5年釧路沖地震」	7.8	1	1	Hashimoto et al. (1993)
				2	Shiono et al. (1980)	1993/07/12	「平成5年 北海道南西沖地震」	7.8	5	1	Hashimoto et al. (1993)
1968/05/16	「1968年十勝沖地震」	7.9	1	1	Aida (1978)					2	橋本ほか (1994)
1968/07/01	埼玉県中部	6.1	1	1	Abe (1975b)					3	加藤・都司 (1994)
1968/08/06	愛媛県西方沖	6.6	1	1	Shiono & Mikumo (1975)					4	今西ほか (1995)
1969/09/09	岐阜県中部	6.6	4	1	地殻変動連続観測ネットワーク (1970)					5	Mendoza & Fukuyama (1996)
				2	Mikumo (1973)	1994/10/04	「平成6年 北海道東方沖地震」	8.2	3	1	阿部・岡田 (1995)
				3	Mikumo (1973)					2	Kikuchi & Kanamori (1995)
				4	Ishida (1974)					3	Ozawa (1996)
1970/07/26	日向灘	6.7	1	1	Shiono et al. (1980)	1994/12/28	「平成6年 三陸はるか沖地震」	7.6	3	1	東北大学理学部 (1995)
1970/10/16	秋田県南東部	6.2	3	1	Mikumo (1974)					2	Tanioka et al. (1996)
				2	長谷川ほか (1974) 長谷川ほか (1975)					3	Nakayama & Takeo (1997)
				3	小松原・栗田 (2001)	1995/01/17	「平成7年 兵庫県南部地震」	7.3	5	1	Wald (1995)
1973/06/17	「1973年6月17日 根室半島沖地震」	7.4	2	1	Shimazaki (1974)					2	Hashimoto et al. (1996)
				2	Aida (1978)					3	Sekiguchi et al. (1996)
1974/05/09	「1974年 伊豆半島沖地震」	6.9	4	1	松崎 (1975)					4	Wald (1996)
				2	松崎 (1975)					5	Ozawa et al. (1997)
				3	多田 (1976)	2000/07/30	三宅島・神津島・新島 近海	6.5	1	1	Nishimura et al. (2001)
				4	Abe (1978)	2000/10/06	「平成12年 鳥取県西部地震」	7.3	3	1	Yagi & Kikuchi (2000)
1975/04/21	大分県中部	6.4	2	1	藤井・井内 (1976)					2	関口・岩田 (2000)
				2	畑中ほか (1988)					3	鷲谷ほか (2002)
						2001/03/24	「平成13年芸予地震」	6.7	2	1	Yagi & Kikuchi (2001)
										2	国土地理院 (2001)

(*1). 表中の発生日(グレゴリオ暦)、地震名(地域)、マグニチュード(M)は「理科年表 平成15年版」に従う

2.5 震源データベースの作成

得られた面震源モデルをもとに被害想定を行うための震源データベース(DB)を作成した。DBの作成にあたり、各出典の断層パラメータについて規格化された表現形式への変換を行った。また、パラメータが論文中に明示されていない場合は、図からの読取りや推定、計算等を行いその値の見積りを行った。

§3. 面震源モデルが得られた地震の傾向の検討

3.1 面震源モデルが得られた地震

面震源モデルが得られた地震について、地震の発生年代別・マグニチュード(M)別に集計してみると表3のようになる。

表3 面震源モデルが得られた地震

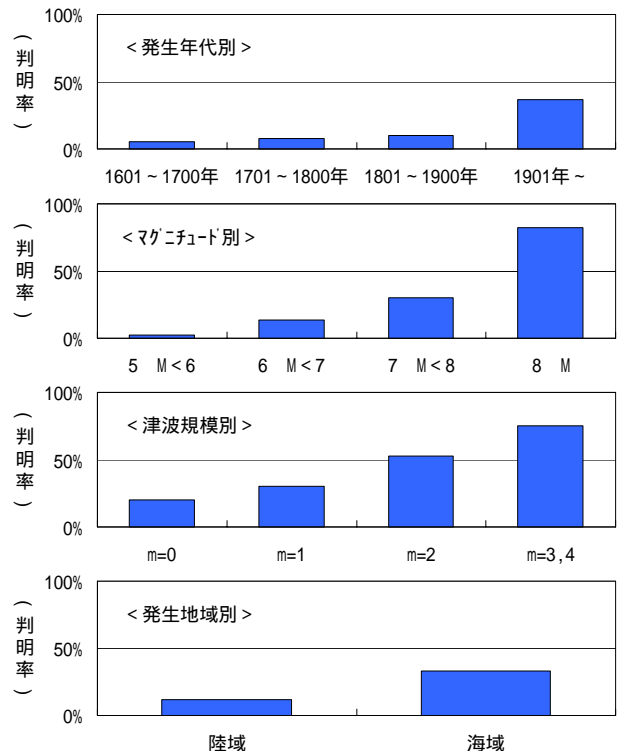
年代 \ M	M5.0-5.9	M6.0-6.9	M7.0-7.9	M8.0-	計
1401-1500				1	1
1501-1600					0
1601-1700			2	1	3
1701-1800			2	3	5
1801-1900		2	5	4	11
1901-	1	21	24	6	52
計	1	23	33	15	72

3.2 面震源モデルが得られた地震の傾向の検討

発生年代 1601 年以降の地震について、発生年別、マグニチュード(M)別、津波規模(m)別、発生地域別の切り口で、面震源モデルが得られた地震の傾向の検討を行った。(検討例を図1に示す)

検討の結果、次の点が確認できた。

- ・ 発生年代が新しいほどモデルの得られた割合が高い。
- ・ Mが大きいほどモデルの得られた割合が高い。
- ・ M8以上の地震では、発生年代に関わらずモデルの得られた割合が高い。M8未満の地震では、近年の地震になるに従ってモデルの得られる割合が高くなる。
- ・ 津波被害のあった地震では、津波の規模が大きいほどモデルの得られた割合が高い。津波の規模が大きい地震は、発生年代の古い地震でもモデルの得られる割合が高くなる。
- ・ 震源が陸域と海域の地震を比べると、海域の地震の方がモデルの得られた割合が高い。
- ・ 19世紀前半までに発生した陸域が震源の地震はモデルがほとんど得られていない。



(注)津波規模(m)は理科年表に記載されている今村・飯田による津波の規模で、最大津波被害海岸での波高が1m前後は0, 2m前後は1, 4-6m程度は2, 10-20m程度は3, 最大30m以上は4を目安に、被害状況も考慮して決められる

図1 面震源モデルが得られた地震の傾向

§4. おわりに

面震源モデルに限らず、歴史地震の震源モデル(断層パラメータ)は貴重な社会財産であり、これを継続して収集していくことは非常に重要である。しかし、個人(あるいは個別の組織)がそれを安定的に行うことは非常に困難であるため、震源モデルを一元的に収集・整理する機関や仕組みが必要であると考えられる。特に、複数の震源モデルが提案されている地震については、専門家による最適モデルの選定などの評価が必要である。

また、面震源モデルを用いて被害想定を行う場合には、個々のモデルが提唱された経緯を正しく理解した上で利用することが必要である。目的に外れた、あるいは適用範囲を超えた使われ方をした場合には、誤った被害予測を導くことにもなりかねない。

参考文献

- 佐藤良輔編著(1989)日本の地震断層パラメータ・ハンドブック、鹿島出版会
- 損害保険料率算定会(1984)地震の断層モデルに関する研究 その1

損害保険料率算定会 (1985) 地震の断層モデルに関する研究 その2
国立天文台編 (2002) 理科年表 平成15年版

[付録]

調査した面震源モデルの出典文献

- Abe, Ka. (1974a) Seismic displacement and ground motion near a fault: The Saitama earthquake of September 21, 1931, *J. Geophys. Res.*, 79, 4393-4399.
- Abe, Ka. (1974b) Fault parameters determined by near - and far- field data: The Wakasa Bay earthquake of March 26, 1963, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 64, 1369-1382.
- Abe, Ka. (1975a) Re-examination of the fault model for the Niigata earthquake of 1964, *J. Phys. Earth*, 23, 349-366.
- Abe, Ka. (1975b) Static and dynamic fault parameters of the Saitama earthquake of July 1, 1968, *Tectonophysics*, 27, 223-238.
- Abe, Ka. (1977) Tectonic implications of the large Sioya-Oki earthquakes of 1938, *Tectonophysics*, 41, 269-289.
- Abe, Ka. (1978) Dislocations, source dimensions and stresses associated with earthquakes in the Izu peninsula, *J. Phys. Earth*, 26, 253-274.
- Abe, Ku. (1978) A dislocation model of the 1933 Sanriku earthquake consistent with the tsunami waves, *J. Phys. Earth*, 26, 381-396.
- 阿部邦昭・岡田正実 (1995) 北海道東方沖地震津波の波源モデル, 地球惑星科学関連学会合同大会講演予稿集, No1, 140.
- 相田勇 (1974) 地震の断層モデルによる津波の数値実験, *地震* 2, 27, 141-154.
- 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 年伊豆大島近海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, 863-873.
- Aida, I. (1978) Reliability of a tsunami source model derived from fault parameters, *J. Phys. Earth*, 26, 57-73.
- 相田勇 (1979) 1944 年東南海地震津波の波源モデル, *東京大学地震研究所彙報*, 54, 329-341.
- 相田勇 (1981a) 東海道沖におこった歴史津波の数値実験, *東京大学地震研究所彙報*, 56, 367-390.
- 相田勇 (1981b) 南海道沖の津波の数値実験, *東京大学地震研究所彙報*, 56, 713-730.
- 相田勇 (1984) 1983 年日本海中部地震津波の波源数値モデル, *東京大学地震研究所彙報*, 59, 93-104.
- 相田勇 (1986) 東南海地震断層モデルの検討, 東南海地震の全体像 - 静岡県における再調査 -, 静岡県地震対策課, 141-165.
- 相田勇 (1989) 天保 4 年の庄内地震による津波に関する数値実験, 続 古地震 - 実像と虚像, 萩原尊禮編著, 東京大学出版会, 204-214.
- 相田勇 (1993) 相模湾北西部に起こった歴史津波とその波源域数値モデル, *地学雑誌*, 102, 427-436.
- Aki (1966a) Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964, Part 1. A statistical analysis, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 44, 33-72.
- Aki (1966b) Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964, Part 2. Estimation of earthquake moment, released energy, and stress-strain drop from the G wave spectrum, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 44, 73-88.
- Ando, M. (1971) A fault-origin model of the great Kanto earthquake of 1923 as deduced from geodetic data, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 49, 19-32.
- Ando, M. (1974a) Seismo-tectonics of the 1923 Kanto earthquake, *J. Phys. Earth*, 22, 263-277.
- Ando, M. (1974b) Faulting in the Mikawa earthquake of 1945, *Tectonophysics*, 22, 173-186.
- Ando, M. (1975) Source mechanisms and tectonic significance of historical earthquakes along the Nankai trough, Japan, *Tectonophysics*, 27, 119-140.
- Ando, M. (1982) A fault model of the 1946 Nankaido earthquake derived from tsunami data, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 28, 320-336.
- Ben-Menahem, A. (1977) Renormalization of the magnitude scale, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 15, 315-340.
- 地殻変動連続観測ネットワーク (1970) 岐阜県中部地震 - 1969 年 9 月 9 日 - による地殻歪の場, *東京大学地震研究所彙報*, 48, 1217-1233.
- Chinnery, M. A. (1961) The deformation of the ground around surface faults, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 51, 355-372.
- Chinnery, M. A. (1964) The strength of the earth's crust under horizontal shear stress, *J. Geophys. Res.*, 69, 2085-2089.
- Cummins, P. R. and Y. Kaneda (2000) Possible splay fault slip during the 1946 Nankai earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 2725-2728.
- Fitch, T. J. and C. H. Scholz (1971) Mechanism of underthrusting in southwest Japan: A model of convergent plate interactions, *J. Geophys. Res.*, 76, 7260-7292.
- 藤井陽一郎・井内登 (1976) 大分県中部地震に伴う地殻変動, 1976 年大分県中部地震の活動と被害に関する調査研究報告, 47-52.
- 藤井陽一郎 (1977) 1933 年三陸沖地震の地殻変動, *測地学会誌*, 23, 74-81.
- 藤井陽一郎 (1978) 1930 年北伊豆地震にともなった地殻歪の場 (理論値), *測地学会誌*, 24, 50-51.
- 藤井陽一郎 (1980) 関東・東海地方の地殻変動と 1944 年東南海地震の震源地, *地震: 地震学者と地質学者との対話*, 東海出版社, 41-63.
- Fukao, Y. and M. Furumoto (1975) Mechanism of large earthquakes along the eastern margin of the Japan Sea, *Tectonophysics*, 25, 247-266.
- Fukao, Y. and M. Furumoto (1979) Stress drops, wave spectra and recurrence intervals of great earthquakes - Implications of the Etorofu earthquake of 1958 November 6, *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, 57, 23-40.
- Fukuyama, E. and K. Irikura (1989) Heterogeneity of the 1980 Izu-Hanto-Toho-Oki earthquake rupture process, *Geophys. J. Int.*, 99, 711-722.

- 福山英一・木下繁夫(1989)1987年千葉県東方沖地震の破壊過程の推定 - 経験的グリーン関数を用いた解析, 地震 2, 42, 39-48.
- 長谷川昭・笠原敬司・長谷川武司・堀修一郎(1975)1970年秋田県南東部地震の発震機構, 地震 2, 28, 141-151.
- 長谷川武司・堀修一郎・長谷川昭・笠原敬司・堀内茂木・小山順二(1974)1970年秋田県南東部地震の発震機構, 地震 2, 27, 302-312.
- 長谷川洋平(1986)非線形インヴァース法を用いた測地データの解析:内陸型地震の断層モデル, 東京大学大学院理学系研究科地球物理学専門課程修士論文.
- Hashimoto, M., T. Sagiya, S. Ozawa and T. Tada (1993) Fault models for the crustal movements associated with the 1993 Off Kuroshiro earthquake and the 1993 Southwestern Off Hokkaido earthquake and their tectonic significance, Proceedings of the CRCM '93 Kobe, 57-64.
- 橋本学・小沢慎三郎・吉村愛一郎・鷲谷威・多田堯・辻宏道(1994)北海道南西沖地震に伴う地殻変動と断層モデル, 月刊海洋, 号外 7, 55-61.
- Hashimoto, M., T. Sagiya, H. Tsuji, Y. Hatanaka and T. Tada (1996) Coseismic displacements of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, J. Phys. Earth, 44, 255-279.
- 畑中雄樹・武尾実・島崎邦彦(1988)1975年大分県中部地震の震源過程, 地震学会講演予稿集, No.1, 19.
- 引田智樹・工藤一嘉(1999)経験的グリーン関数法による強震動シミュレーションを基にした安政江戸地震の震源推定と強震動評価, 大加速度(速度)強震動の成因解明と強震動 - 地震被害との相互連関性に関する研究(平成 8-10 年度東京大学地震研究所特定共同研究(B)報告書), 69-75.
- 日野貴之・都司嘉宣(1996)プレート境界面を考慮した東南海地震(1944)の断層モデルと津波の数値シミュレーション, 地震 2, 49, 27-38.
- Hirasawa, T. (1965) Source mechanisms of Niigata earthquakes of June 16, 1964, as derived from body waves, J. Phys. Earth, 13, 35-66.
- 樋渡康子・佐藤魂夫・今村文彦(2002)日本海沿岸に発生する地震に伴う津波の波源と伝播 - 1704年岩館地震, 1793年鯉ヶ沢地震, および 1804年象潟地震による津波 -, 地震 2, 54, 431-440.
- 堀川晴央・佐竹健治・石川有三・梅田康弘(2002)1936年河内大和地震の震源断層モデル, 日本地震学会講演予稿集, 2002年度秋季大会, P122.
- 今西和俊・池田岩音・佐藤魂夫(1995)経験的グリーン関数法による 1993年北海道南西沖地震の破壊過程, 地震 2, 48, 365-373.
- Inouchi, N. and H. Sato (1975) Vertical crustal deformation accompanied with the Tonankai earthquake of 1944, Bull. Geogr. Surv. Inst., 21, 1-28.
- Irikura, K. (1983) Semi-empirical estimation of strong ground motions during large earthquakes, Bull. Disas. Prev. Res. Inst., 33, 63-104.
- Ishibashi, K. (1981) Specification of a soon-to-occur seismic faulting in the Tokai district, central Japan, based upon seismotectonics, Earthquake prediction- An international review, Maurice Ewing Series 4 (AUG), 297-332.
- 石橋克彦(1980)伊豆半島をめぐる現在のテクトニクス, 月刊地球, 2, 110-119.
- Ishibashi, K. (1985) Possibility of a large earthquake near Odawara, central Japan, preceding the Tokai earthquake, Earthq. Pred. Res., 3, 319-344.
- Ishida, M. (1974) Determination of fault parameters of small earthquakes in the Kii peninsula, J. Phys. Earth, 22, 177-212.
- Iwasaki, T. (1981) Theoretical study on the surface deformations in a medium with viscoelastic layers (surface loads and dislocation sources) - Rheological structure of the upper mantle, Ph. D. Thesis, Univ. of Tokyo.
- Kanamori, H. (1970) Synthesis of long-period surface waves and its application to earthquake source studies- Kurile Islands earthquake of October 13, 1963, J. Geophys. Res., 75, 5011-5027.
- Kanamori, H. (1971) Seismological evidence for a lithospheric normal faulting- the Sanriku earthquake of 1933, Phys. Earth Planet. Inter., 4, 289-300.
- Kanamori, H. (1972a) Determination of effective tectonic stress associated with earthquake faulting. The Tottori earthquake of 1943, Phys. Earth Planet. Inter., 5, 426-434.
- Kanamori, H. (1972b) Mechanism of tsunami earthquakes, Phys. Earth Planet. Inter., 6, 346-359.
- Kanamori, H. (1973) Mode of strain release associated with major earthquakes in Japan, Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 1, 213-239.
- Kasahara, K. (1957) The nature of seismic origins as inferred from seismological and geodetic observations (1), Bull. Earthq. Res. Inst., 35, 473-532.
- Kasahara, K. (1958) The nature of seismic origins as inferred from seismological and geodetic observations (2), Bull. Earthq. Res. Inst., 36, 21-53.
- 笠原慶一・山田重平・安藤雅孝(1973)南関東の地殻変動 - 展望と作業仮説 -, 関東大地震 50周年論文集, 103-116.
- 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, No.2, 90.
- 加藤健二・都司嘉宣(1994)1993年北海道南西沖地震の断層要素の推定とその津波の特性, 東京大学地震研究所彙報, 69, 39-66.
- Kato, T. (1983) High-angle reverse faulting associated with the 1946 Nankaido earthquake, Tectonophysics, 96, 31-44.
- 加藤哲朗・安藤雅孝(1995)1964年新潟地震の断層モデルの再考, 日本地震学会講演予稿集, No2, 72.
- Kasawaki, I. And Y. Suzuki (1974) Rise time and effective stress estimation from comparison of near-field data with theoretical seismograms in a semi-infinite medium; the Sanriku earthquake of March 3, 1933, J. Phys. Earth, 22, 223-236.
- Kawasaki, I. (1975) The focal process of the Kita-Mino earthquake of August 19, 1961, and its relationship to a Quaternary fault, the Hatogaya-Koike fault, J. Phys. Earth, 23, 227-250.

- Kikuchi, M. and H. Kanamori (1995) The Shikotan earthquake of October 4, 1994: a lithospheric earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 22, 1025-1028.
- 国土地理院(1982)1982年浦河沖地震に伴う上下変動, 地震予知連絡会会報, 28, 21-23.
- 国土地理院(2001)中国・四国・九州地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 66, 486-512.
- 小松原琢・栗田泰夫(2001)1970年秋田県南東部地震前後の上下地殻変動データの解析 - 地震発生層基底部における先行すべりの1証拠 -, 地震 2, 54, 33-44.
- 小菅正裕・佐藤魂夫・田中和夫・佐藤裕(1984)1983年日本海中部地震の余震活動と断層モデル, *Sci. Rep. Hirosaki Univ.*, 31, 55-69.
- Matsuda, T., Y. Ota, M. Ando and N. Yonekura (1978) Fault mechanism and recurrence time of major earthquakes in southern Kanto district, Japan, as deduced from coastal terrace data, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 89, 1610-1618.
- Matsu'ura, M. (1977) Inversion of geodetic data, Part II, Optimal model of conjugate fault system for the 1927 Tango earthquake, *J. Phys. Earth*, 25, 233-255.
- Matsu'ura, M., T. Iwasaki, Y. Suzuki and R. Sato (1980) Static and dynamical study on faulting mechanism of the 1923 Kanto earthquake, *Tectonophysics*, 28, 119-143.
- 松崎考文(1975)1974年伊豆半島沖地震の震源過程 - Multiple seismic events としての解釈の試み -, 東京大学大学院理学系研究科地球物理学専門課程修士論文.
- Mendoza, C. and E. Fukuyama (1996) The 12 July 1993 Hokkaido-Nansei-Oki, Japan, earthquake: Coseismic slip pattern from strong-motion and teleseismic recordings, *J. Geophys. Res.*, 101, 791-802.
- 三上直也・武尾実(1987)1961年北米濃地震の震源過程, 地震学会講演予稿集, No.1, 242.
- Mikumo, T. (1973) Source process of deep and intermediate earthquake as inferred from long-period P and S waveforms 2. Deep -focus and intermediate-depth earthquakes around Japan, *J. Phys. Earth*, 19, 303-320.
- Mikumo, T. (1974) Faulting mechanism of the Gifu earthquake of September 9, 1969, and some related problems, *J. Phys. Earth*, 21, 191-212.
- Mikumo, T. and M. Ando (1976) A search into the faulting mechanism of the 1891 great Nobi earthquake, *J. Phys. Earth*, 24, 63-87.
- 三雲健・和田博夫・金嶋聡・今川一彦・小泉誠(1985)1984年長野県西部地震前後の飛騨地方北部の地震活動と本震のモデル, 長野県西部地震の地震および災害の総合調査, 21-33.
- 宮嶋衛次・阿部勝征(1982)1961年8月釧路沖地震のメカニズム, 北海道大学地球物理学研究報告, 41, 77-82.
- Mizoue, M., T. Yokota and I. Nakamura (1982) High-angle reverse faultings in the interaxial zone of active folds in the inner belt of northeast Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 57, 359-377.
- Nakayama, W. and M. Takeo (1997) Slip history of the 1994 Sanriku-Haruka-Oki, Japan, earthquake deduced from strong motion data, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 87, 918-931.
- Nishimura, T., S. Ozawa, M. Murakami, T. Sagiya, T. Tada, M. Kaidzu and M. Ukawa (2001) Crustal deformation caused by magma movement in the northern Izu Islands, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 3745-3748.
- 岡田義光(1978)地殻歪から見た1978年伊豆大島近海地震, 東京大学地震研究所彙報, 53, 823-840.
- 岡田義光・笠原敬司(1988)1987年12月千葉県東方沖地震, 地震学会講演予稿集, No.1, 63.
- Ozawa, S. (1996) Geodetic inversion for the fault model of the 1994 Shikotan earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 2009-2012.
- Ozawa, S., M. Murakami, S. Fujiwara and M. Tobita (1997) Synthetic aperture radar interferogram of the 1995 Kobe earthquake and its geodetic inversion, *Geophys. Res. Lett.*, 24, 2327-2330.
- Pollitz, F. F. and I. S. Sacks (1994) Fault model of the 1891 Nobi earthquake from historic triangulation and leveling, *J. Phys. Earth*, 42, 1-43.
- Pollitz, F. F., X. Le Pichon and S. J. Lallemand (1996) Shear partitioning near the central Japan triple junction; the 1923 great Kanto earthquake revisited-II, *Geophys. J. Int.*, 126, 882-892.
- 鷲谷威(1999)1948年福井地震(M=7.1)に伴う地殻変動と震源断層モデル, 地震 2, 52, 111-120.
- 鷲谷威・西村卓也・畑中雄樹・福山英一・W. L. Ellsworth (2002) 2000年鳥取県西部地震に伴う地殻変動と断層モデル, 地震 2, 54, 523-534.
- Satake, K. and K. Abe (1983) A fault model for the Niigata, Japan, earthquake of June 16, 1964, *J. Phys. Earth*, 31, 217-223.
- Satake, K. (1985) The mechanism of the 1983 Japan Sea earthquake as inferred from long-period surface waves and tsunamis, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 37, 249-260.
- Satake, K. (1986) Re-examination of the 1940 Shakotan-Oki earthquake and the fault parameters of the earthquakes along the eastern margin of the Japan Sea, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 43, 137-147.
- Satake, K. (1989) Inversion of tsunami waveforms for the estimation of heterogeneous fault motion of large submarine earthquakes: 1968 Tokachi-oki and 1983 Japan Sea earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 94, 5627-5636.
- Satake, K. (1993) Depth distribution of coseismic slip along the Nankai Trough, Japan, from joint inversion of geodetic and tsunami data, *J. Geophys. Res.*, 98, 4553-4565.
- Sato, H. (1973) A study of horizontal movement of the earth crust associated with destructive earthquakes in Japan, *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, 19, 89-130.
- Sato, T. (1985) Rupture characteristics of the 1983 Nihonkai-Chubu (Japan-Sea) earthquake as inferred from strong motion accelerograms, *J. Phys. Earth*, 33, 525-557.
- Sekiguchi, H., K. Irikura, T. Iwata, Y. Takehi and M. Hoshiba (1996) Minute locating of fault planes and source process of the 1995 Hyogo-ken Nanbu (Kobe), Japan Earthquake from the waveform inversion of strong ground motion, *J. Phys. Earth*, 44, 473-488.

- 関口春子・岩田知孝(2000)K-NET, KiK-net 地震記録を用いた断層破壊過程の推定,
<http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/iwata/ttr.source.html>.
- 瀬野徹三・須藤研・江口孝雄(1979)1978年6月12日宮城県沖地震の発震機構(初報), 地震予知連絡会会報, 21, 10-17.
- 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.
- 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, 315-327.
- Shimazaki, K. and P. Somerville (1978) Summary of the static and dynamic parameters of the Izu-Oshima-Kinkai earthquake of January 14, 1978, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 53, 613-628.
- Shimazaki, K. and P. Somerville (1979) Static and dynamic parameters of the Izu-Oshima, Japan, earthquake of January 14, 1978, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 69, 1343-1378.
- Shiono, K. and T. Mikumo (1975) Tectonic implications of subcrustal, normal faulting earthquakes in the western Shikoku region, Japan, *J. Phys. Earth*, 23, 257-278.
- Shiono, K., T. Mikumo and Y. Ishikawa (1980) Tectonics of the Kyushu-Ryukyu arc as evidenced from seismicity and focal mechanism of shallow to intermediate-depth earthquakes, *J. Phys. Earth*, 28, 17-43.
- 末次大輔・中西一郎(1986)1982年浦河沖地震の断層モデルの再検討, 地震学会講演予稿集, No.2, 83.
- Suetsugu, D. and I. Nakanishi (1988) Re-examination of fault model for the 1982 Urakawa-oki earthquake by analyses of seismic, geodetic, and tsunami data, *J. Phys. Earth*, 36, 53-67.
- 多田堯(1976)1974年伊豆半島沖地震の測地学的断層モデル, 地震 2, 29, 117-126.
- 多田堯(1984)日本海中部地震と地殻変動, 月刊地球, 6, 18-21.
- 多田堯(1987)1982年浦河沖地震断層モデルとその地学的意義, 地震 2, 40, 27-37.
- 多田堯・橋本学(1988)1918年(大正7年)大町地震の断層モデルとその地学的意義, 地震 2, 41, 259-262.
- Takenaka, H. (1987) Strong-motion modeling of the 1980 Izu-Hanto-Toho-Oki earthquake by inversion method, *J. Fac. Sci., Hokkaido Univ. Ser.VII (Geophysics)*, 8, 155-172.
- 武尾実・阿部勝征・辻秀昭(1979)1953年7月11日静岡地震の発生機構, 地震 2, 32, 423-434.
- 武尾実・笠原稔・阿部勝征(1983)1982年3月21日浦河沖地震の発生機構, 1982年3月21日浦河沖地震報告, 1-11.
- Takeo, M. (1988) Rupture process of the 1980 Izu-Hanto-Toho-Oki earthquake deduced from strong motion seismograms, *Bull. Seism. Soc. Am.* 78, 1074-1091.
- 田中和夫・佐藤魂夫・小菅正裕・佐藤裕(1984)日本海中部地震の特性, 1983年日本海中部地震による災害の総合的調査研究, 35-45.
- 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.
- Tanioka, Y., L. Ruff and K. Satake (1996) The Sanriku-oki, Japan, earthquake of December 28, 1994 (Mw 7.7): Rupture of a different asperity from a previous earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 1465-1468.
- Tanioka, Y. and K. Satake (2001) Coseismic distribution of the 1946 Nankai earthquake and aseismic slips caused by the earthquake, *Earth Planets Space*, 53, 235-241.
- 東北大学理学部(1995)GPS連続観測により推定された1994年三陸はるか沖地震の断層運動モデル, 地震予知連絡会会報, 54, 97-101.
- 辻秀昭(1984)地震の発生様式, 奈良県高校理化学会会報, 23, 38-46.
- Wald, D. J. and P. G. Somerville (1994) Rupture model of the great 1923 Kanto earthquake inferred from geodetic and teleseismic data, *The 9th Japan Earthquake Engineering Symposium*, E007-E012.
- Wald, D. J. (1995) A preliminary dislocation model for the 1995 Kobe (Hyogo-ken Nanbu), Japan, earthquake determined from strong motion and teleseismic waveforms, *Seismol. Res. Lett.*, 66, 22-28.
- Wald, D. J. and P. G. Somerville (1995) Variable-slip rupture model of the great 1923 Kanto Japan, earthquake : Geodetic and body-waveform analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 85, 159-177.
- Wald, D. J. (1996) Slip history of the 1995 Kobe, Japan, earthquake determined from strong motion, teleseismic and geodetic data, *J. Phys. Earth*, 44, 489-503.
- Yagi, Y. and M. Kikuchi (2000) Source Rupture Process of the Tottori-ken Seibu earthquake of Oct. 6, 2000. <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/yuji/tottori/>.
- Yagi, Y. and M. Kikuchi (2001) Rupture process of the Geiyo earthquake of March 24, 2001 (Mw6.7), <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/yuji/Aki-nada/>.
- 山田尚幸(1988)体積歪計で観測された1987年12月17日千葉県東方沖の地震, 地震学会講演予稿集, No.1, 66.
- 山科健一郎・多田堯(1985)1984年長野県西部地震の断層モデル - 三角点測量データの解析 -, 東京大学地震研究所彙報, 60, 221-230.
- Yoshida, S. and K. Koketsu (1990) Simultaneous inversion of waveform and geodetic data for rupture process of the 1984 Naganoken-Seibu, Japan, earthquake, *Geophys. J. Int.*, 103, 355-362.
- 吉岡直人(1974)地震の発生機構と地殻変動及び津波, 東京大学大学院理学系研究科地球物理学専門課程修士論文.
- 張同耀・佐藤裕(1993)1704年能代・津軽地震の静的断層モデル(断層モデルによる歴史地震研究の試み), 測地学会誌, 39, 3, 283-292.