

新潟堆積盆地地域のテクトニクス： 新潟県中越沖地震および中越地震発生地域の地質学的背景

大坪 誠¹⁾

1. はじめに

平成19年(2007年)新潟県中越沖地震および平成16年(2004年)新潟県中越地震は、新潟堆積盆地と呼ばれるおよそ6kmの厚い堆積物が分布する地域で発生した直下型地震である。この堆積盆地は2,000～1,500万年前の日本海が形成された時期に、正断層をともなって北西-南東方向に地殻が引き延ばされて大規模な堆積盆地が形成されたものである。その後、約300万年前から、北西-南東方向に地殻が圧縮されはじめ、新潟堆積盆地の中に逆断層と褶曲構造が形成され始めた。その圧縮変形は現在も活発に進行していると考えられ、両地震は、いずれもこの地殻変動の過程で発生したものである。本稿ではこれらの地震発生の背景となった地質構造とその構造発達史を述べる。

2. 新潟堆積盆地の地質構造とその形成時期

新潟堆積盆地は中新世前期～更新世前期の砕屑岩・火山岩類からなり、下位より三川層、津川層、七谷層、寺泊層、椎谷層、西山層、灰爪層に区別される。またそれらを整合もしくは不整合で覆い、更新世前・中期の魚沼層、御山層とそれ以降の段丘堆積物や沖積層が重なる。ただし魚沼層の一部は西山層・灰爪層と指交する(例えば、鈴木ほか, 1974; 小林ほか, 1991; 小林ほか, 1995; 第1図)。

新潟堆積盆地のとくに中越地域においては、下部更新統の魚沼層などの地層を褶曲させるような構造を顕著なものとして野外で見ることができる(第2図)。この構造の特徴は、「新潟方向」といわれる北北東-南南西方向に長軸をもつ背斜・向斜構造に示される

ような著しい褶曲構造である(第3図)。これらの褶曲は、石油天然ガス鉱床のトラップとして重要であり、これまで数多くの地表調査、ボーリング掘削および物理探査によって詳しい調査が行われてきた(詳しくは新潟県, 2000を参照)。

地質時代		×10 ⁴			
新 生 代	第 四 紀	完 新 世	1	沖積層・完新世段丘堆積物	
			後 期	低位段丘堆積物	
		13	中位段丘堆積物		
		中 期	高位段丘堆積物		
		78	御山層		
	鮮 新 世	後 期	164	魚沼層	灰爪層
			340	白岩層	西山層
		中 新 世	510	椎谷層	
			1040	寺泊層	
			1630	七谷層	
			津川層		

第1図 新潟堆積盆地域の中新世中期以降の標準層序。

1) 産総研 地質情報研究部門

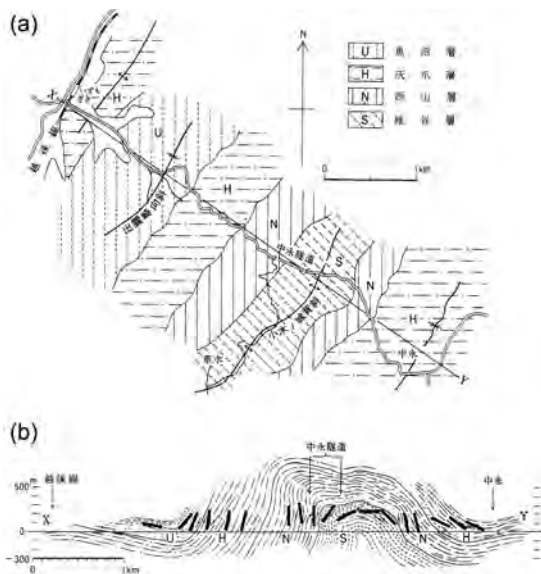
キーワード：新潟堆積盆地, 褶曲, 中越地震, 中越沖地震, 断層, インバージョン・テクトニクス, 日本海, リフト



第2図 長岡市不動沢の褶曲構造. 北を向いて褶曲構造をみている. 魚沼層をはじめとする地層が向斜構造をつくっている. ここで堆積している魚沼層の年代はおよそ0.6Maであるので, この褶曲は少なくとも60万年前以降に褶曲変形したことが分かる.

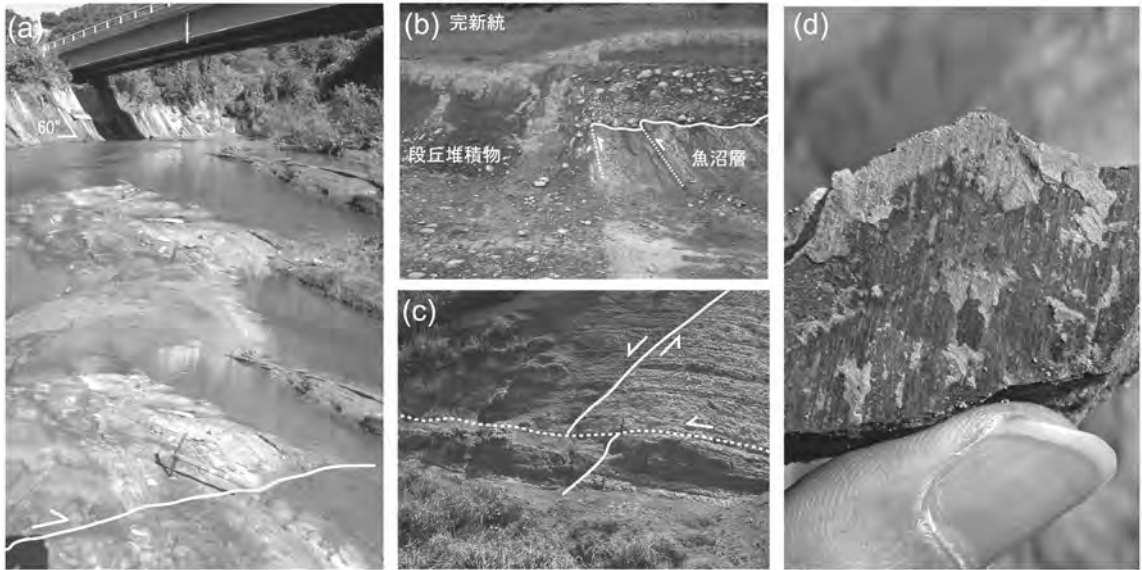


第3図 新潟堆積盆地の新生界の褶曲構造 (新潟県, 2000).



第4図 西山丘陵中永トンネル近傍の褶曲構造 (小林ほか, 1993). (a) 地質図, (b) 同地質断面図. 黒色の太い棒は地層の傾斜を示す. 背斜構造の両翼では地層が垂直に立つような急傾斜となっている.

褶曲構造に関しては, 鈴木・三梨 (1974) や植村 (1976) などをはじめとする, 多くの研究者たちによって研究された. 植村 (1976) は, 中越地域では褶曲の性格および分布から, 柏崎市と六日町市を結ぶ線よりも北側 (a) とその線より南側 (b) に区分した. この線は柏崎市から千葉県銚子市南部にいたる, 柏崎-千葉構造線 (山下, 1995) にほぼ一致する. (a) の地域は西山丘陵, 東山丘陵, 東頸城丘陵北部および魚沼

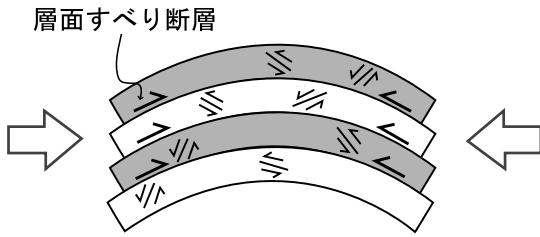


第5図 褶曲成長に伴う断層. (a) 魚沼層をきる小断層, 十日町市岩瀬の渋海川沿い. 新潟堆積盆地では, 写真のように魚沼層が褶曲成長にともなって 60° と急傾斜している. また, この写真ではつるはしが地層につきささっている. このことから魚沼層が未固結堆積物であることがわかる. (b) 層面すべり断層, 小千谷市片貝断層. 魚沼層の層理面上での断層運動により段丘堆積物をずらす. (c) 層面すべり断層, 出雲崎町落水川河口. 西山層の層理面に発達する層面すべり断層によって正断層がずらされている. (d) 層面すべり断層の層理面上に認められる断層擦痕, 柏崎市西山町浜忠.

丘陵北部にあたり, 丘陵地域には背斜・向斜が多いが, 長岡平野をはじめとする平野地下にはきわめて少ない. この地域は北北東-南南西方向の構造が多く, 褶曲の軸長は10km前後のもの \sim 5km以下のものがある. 地層は褶曲形成によって一部逆転をとまなう(第4図). (b)の地域は東頸城丘陵南部および魚沼丘陵南部にあたり, 北東-南西方向の褶曲が多く, その軸長は数km以下のものが多い. この地域は褶曲軸の曲がったもの, ドーム構造をなすもの, 間隔がせまき複背斜をなすものなどがあり, (a)の地域とは異なっている.

褶曲構造が認められる地域では, 褶曲成長にともなう小断層や層面すべり断層が多く観察される(第5図). 小断層とは, 露頭規模で変位を認定できる断層のことである. この断層は新潟堆積盆地に非常に多く発達しており, 変位量数cm \sim 数m規模のものが数多く認められる(例えば, 小松・渡辺, 1968; 小玉・樋口, 1974など). 小断層の走向・傾斜やその運動方向などのデータから逆解析(たとえば, Angelier, 1979)を行うことで, 小断層活動当時の古応力を推定できる. それらの結果から, 褶曲した岩体の変形メカニ

ズムや褶曲変形を発生させるような広域的な地殻応力場が議論されている(例えば, 植村, 1990; 山田ほか, 1992). 一方, 層面すべり断層とは, 層理面上ですべる断層のことである. これは, 小断層や岩脈などを変位マーカーとしてそれらが層理面でずらされていることで認定できる(大坪ほか, 2007). 新潟堆積盆地のように幾枚もの薄い堆積層で構成されている岩体が褶曲作用を受けると, 層理面を弱面としてずれることがある. しかし, この断層は地層と平行もしくは低角をなすために一般的には大変見逃しやすい構造である(大坪ほか, 2007). この断層の存在は, 新潟堆積盆地においていくつか報告がある. 吉岡(1989)は, 東頸城丘陵の北東方向に走る片貝断層において急傾斜した魚沼層の上に傾斜不整合にのる完新統段丘堆積物が層理面のずれによって変位しているのが観察されることを報告している(第5図). また吉岡(1988)は, 東山丘陵において悠久山断層が層理面と平行なことから, 典型的な層面すべり断層であるとしている. 山田ほか(1992)や大坪・山路(2005)は, 西山丘陵や東頸城丘陵で層面すべり断層が存在することを報告している. 大坪・山路(2005)は, 層面すべりの断層



第6図 Flexural-slip foldの模式図.

のセンス・運動方向を丹念に注目し、上盤側が傾斜方向に上がる逆断層センスのものが多くを示した。さらに層面すべり断層の運動方向の平面空間分布より、この地域の褶曲構造がFlexural-slip fold (例えば、Twiss and Moores, 1992; 第6図)であることを示した。このように層面すべり断層は、褶曲形成時における岩体の変形様式を理解することができる重要な構造である。

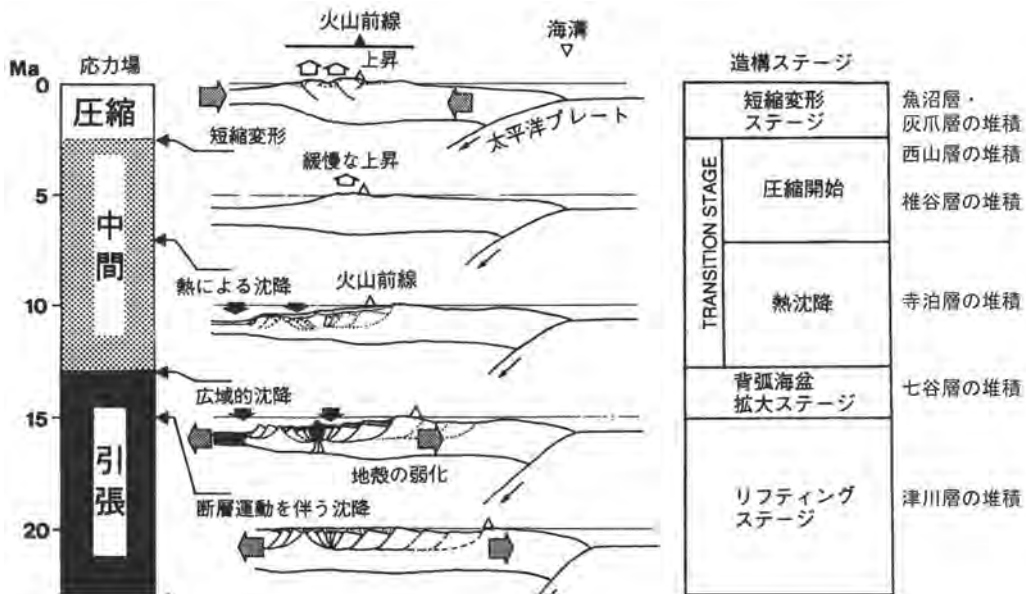
現在の地形と深く関わる褶曲構造の形成時期は、大きく二つの説が提唱されている。一つは中期更新世以降を褶曲時期とする説(鈴木ほか, 1971; 鈴木・三梨, 1974; 植村, 1976; 植村, 1990)であり、もう一つは後期中新世以降、地層形成とともに次第に形成されてきたとする説(金原, 1950; 望月, 1962; 小松, 1990)である。その一方で、岸・宮脇(1996)は鍵層の丹念な追跡調査により、西山丘陵に分布する褶曲構

造においては個々の褶曲構造で成長のタイミングが異なっていることを示した。さらに中期更新世以後の丘陵頂部にある地層や段丘堆積物は、平野の縁辺部において平野側に急傾斜で傾き、撓曲構造を形成する。長岡西方の信濃川沿いでは段丘面が緩く褶曲し、活褶曲を示している(太田・鈴木, 1979; 柳沢ほか, 1986)。

また、2004年および2007年の2つの地震が発生した中越地域の堆積盆地の内部には、活断層帯である長岡平野西縁断層帯が北北東-南南西に延び、角田山東縁断層、鳥越断層、関原断層、片貝断層などから構成される。これらは、西傾斜の逆断層を基本として西側が隆起した地質構造を示している(活断層研究会, 1991)。

3. 新潟堆積盆地の構造発達史

新潟堆積盆地の地形は、後期鮮新世以降の最近200~300万年間に成長した逆断層と背斜構造を骨格としている。その逆断層は、前期中新世の伸張テクトニクスによって形成された地質構造に大きく規制されている。新潟堆積盆の形成史は大きく分けて以下のような三つの時期、I:リフトの形成期(リフティング期)、II:リフトの埋積期(ポストリフト期・プレインバージョン期)、III:リフトの隆起期(インバージョン期)に



第7図 東北日本弧の発達過程を示す模式図(Sato and Amano, 1991を一部改変)。

分けられる(第7図)。

I リフトの形成期(リフティング期)

約2,500～1,500年前の前期中新世に生じた日本海の拡大と同時に、東北日本弧は引っ張り応力場となり、正断層とそれにとまなうリフトが広く形成された(例えば、佐藤, 1992)。リフトとは、引き裂かれた割れ目の部分で段々に大地が落ち込んでできた大規模な地溝のことである。この引っ張り応力によって地殻とともに引きのばされ、アイススタシーによって地表が沈降陥没しリフトが形成された。そのために新潟堆積盆地を含む背弧側の島弧地殻は薄くなって水没し、堆積盆地を形成した。かつてユーラシア大陸の東端に位置していた日本列島は、日本海の形成とともに大陸から分かれて現在の位置に達した。この日本海の拡大の最後のステージで、日本海東端および沿岸地域にリフトが形成された。この地域は厚さ6kmを越すような堆積物と玄武岩を主体とする火山砕屑岩の分布で特徴づけられる。

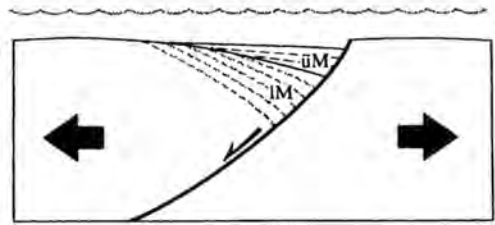
II リフトの埋積期(ポストリフト期・プレインバージョン期)

後期中新世から前期鮮新世までは、とくに強い圧縮応力場でも引っ張り応力場でもなかった(佐藤ほか, 1982)。8Maまでは地殻は緩やかに沈降し、第四紀までに小規模なリフトはほぼ完全に埋積されて平坦な海底をなしていたと考えられる(IIa:ポストリフト期)。8Ma以降になると、東北日本弧の脊梁山脈を中心に緩やかな上昇運動となる(IIb:プレインバージョン期)。この時期にはまだ褶曲運動は起きていない。

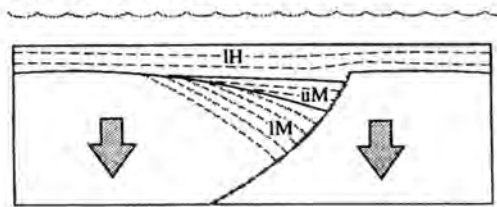
III リフトの隆起期(インバージョン期)

後期鮮新世以後になると、新潟堆積盆地を含む東北日本弧は強い東西圧縮応力場となり、現在見られるような逆断層が数多く形成された(佐藤, 1989)。このことは様々な証拠によって示されている(Uyeda and Kanamori, 1979; Tsunakawa, 1986; 栗田, 1988; Heki *et al.*, 1990; Otsuki, 1990; 長谷川ほか, 1991)。そのとき、リフトを形成した正断層が逆断層として再活動している。このような現象は反転テクトニクス(インバージョン・テクトニクス)と呼ばれる(第8図)。その逆断層運動にとまなない、リフトを埋積していた魚沼層などの被覆層は褶曲変形する。このようにして形成さ

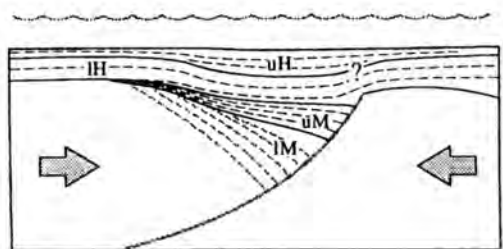
I リフト期



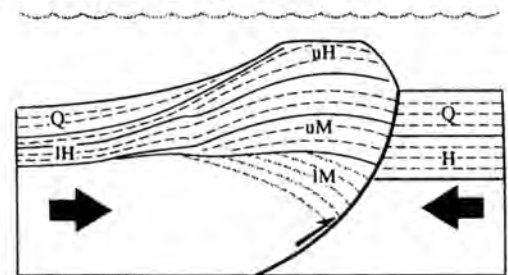
IIa ポストリフト期



IIb プレインバージョン期

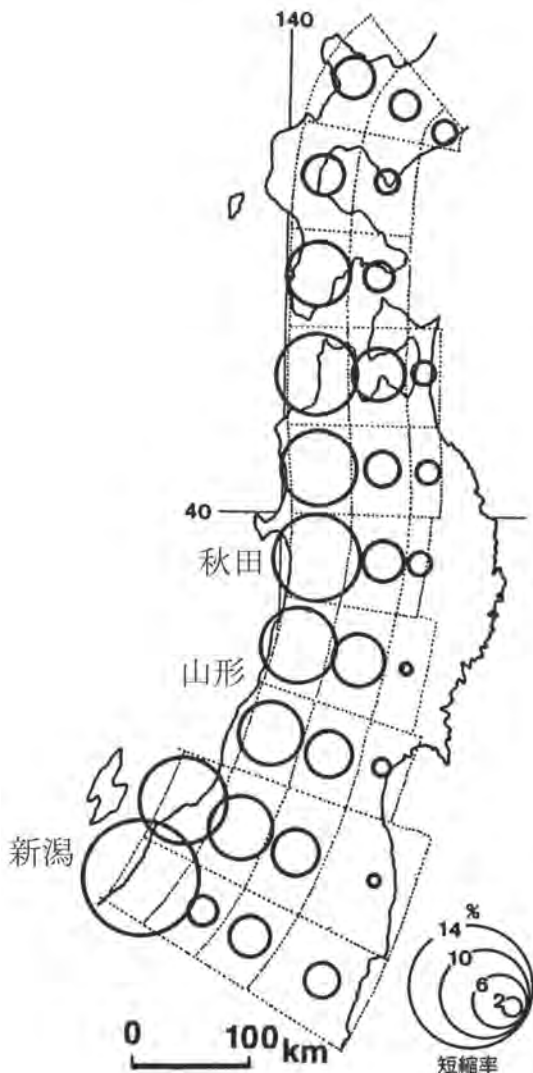


III インバージョン期



第8図 インバージョン・テクトニクスによる模式構造発達史(岡村ほか, 1996を一部改変)。

れた褶曲は断層伝播褶曲(例えば、Suppe and Medwedeff, 1991)と呼ぶ。大局的に第四紀に形成された褶曲構造と地下の逆断層がほぼ対応する。このようなインバージョン・テクトニクスの明瞭な証拠は、日本海東縁の海底での反射法地震探査断面で得られてい



第9図 東北日本弧の平均短縮率(佐藤, 1989を一部改変).

る(岡村ほか, 1992; Okamura *et al.*, 1995).

鮮新世以後の変形から見た東北日本の短縮率を見てみると、この短縮率はリフトが卓越する地域で最大となり(佐藤, 1989), 地質学的な歪みの集中域となっている(第9図). 2004年および2007年の地震はこの地域内で発生した. 大規模な伸張変形によって、柔らかい新第三系の基盤を構成する岩石の厚さがリフト内では薄くなっており、側方からの力に対しての強度が相対的に低下している(佐藤, 1989). そのため、この地域では短縮率が大きくなっている(佐藤, 1989).

4. おわりに

2004年と2007年に新潟県中越地方に大きな被害を与えた地震は、いずれも活断層が明瞭でない場所で発生した. この地域は活褶曲を含む褶曲構造が発達しており、地下の逆断層運動との関連性が高い. 新潟堆積盆地で地震発生場をより精度よく推定するためには、この地域の活断層だけに注目するのではなく、褶曲帯と地下深部の断層との関係も詳細に調べていく必要がある.

参考文献

Angelier, J. (1979) : Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population. *Tectonophysics*, 56, T17-T26.

長谷川 昭・趙 大鵬・山本 明・堀内茂木(1991):地震波からみた東北日本の火山の深部構造と内陸地震の発生機構. *火山*, 36, 197-210.

Heki, K., Takahashi, Y. and Kondo, T. (1990) : Island arcs of Southeast Asia. *Tectonophysics*, 181, 113-122.

金原均二(1950):新潟油田の地質. *石油技術協会誌*, 15, 19-33.

活断層研究会(1991):日本の活断層[新編], 東京大学出版会, 437p.

岸 清・宮脇理一郎(1996):新潟県柏崎平野周辺における鮮新世-更新世の褶曲形成史. *地学雑誌*, 105, 88-112.

小林巖雄・立石雅昭・吉岡敏和・島津光夫(1991):長岡地域の地質. *地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)*, 地質調査所, 132p.

小林巖雄・立石雅昭・植村 武(1993):出雲崎地域の地質. *地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)*, 地質調査所, 91p.

小林巖雄・立石雅昭・吉村尚久・上田哲郎・加藤碩一(1995):柏崎地域の地質. *地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)*, 地質調査所, 101p.

小玉喜三郎・樋口茂生(1974):東山背斜翼部の断層系. *地質調査所報告*, 250, 23-37.

小松直幹(1990):新潟油田地域の褶曲-形態と形成過程. *地質学論集*, 34, 149-154.

小松直幹・渡部 亨(1968):小断層より解析した西山油田の地質構造(予報). *石油技術協会誌*, 33, 157-162.

栗田泰夫(1988):東北日本弧中部内帯の短縮変動と太平洋プレートの運動. *月刊地球*, 10, 586-591.

望月 央(1962):新潟県下の新第三系の石油地質学的考察. *石油技術協会誌*, 27, 557-585.

新潟県(2000):新潟県地質図および同説明書(2000年版), 新潟県, 200p.

岡村行信・佐藤幹夫・渡辺真人・山本博文(1992):日本海南東部のインバージョン・テクトニクス, 構造地質, 38, 47-58.

Okamura, Y., Watanabe, M., Morizjiri, R. and Satoh, M. (1995) : Rifting and basin inversion in the eastern margin of the Japan Sea. *Island Arc*, 4, 166-181.

岡村行信・森尻理恵・土谷信之・佐藤幹夫(1996):20万分の1「粟島周辺海底地質図及び説明書」, 海洋地質図シリーズ, no.47, 地質調査所, 34p.

- 太田陽子・鈴木郁夫(1979)：信濃川下流地域における活褶曲の資料。地理学評論, 52, 592-601.
- 大坪 誠・山路 敦(2005)：メソスケールの変形構造から推定される新潟堆積盆地地域の褶曲作用。日本地質学会第112年学術大会講演要旨, 140-140.
- 大坪 誠・山路 敦・Lisle, R. (2007)：どのようにして露頭で層面すべり断層を認定するか？日本地質学会第114年学術大会講演要旨, 274-274.
- Otsuki, K. (1990)：Neogene tectonic stress fields of northeast Honshu Arc and implications for plate boundary conditions. *Tectonophysics*, 181, 151-164.
- 佐藤比呂志(1989)：東北本州弧における後期新生界の変形度について。地質学論集, 32, 257-268.
- 佐藤比呂志(1992)：東北日本中部地域の後期新生代テクトニクス。地質調査所月報, 43, 119-139.
- 佐藤比呂志・大概憲四郎・天野一男(1982)：東北日本弧における新生代応力場変遷。構造地質研究会誌, 27, 55-79.
- Sato, H. and Amano, K. (1991)：Relationship between tectonics, volcanism, sedimentation and basin development, Late Cenozoic, central part of Northern Honshu, Japan. *Sedimentary Geology*, 74, 323-343.
- Suppe, J. and Medwedeff, D. (1991)：Geometry and kinematics of fault-propagation folding. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 83, 409-454.
- 鈴木尉元・影山邦夫・島田忠夫・宮下美智夫・小玉喜三郎(1971)：新潟第三系堆積盆地に発達する褶曲の形成機構について。地質学雑誌, 77, 301-315.
- 鈴木尉元・三梨 昂(1974)：信越堆積盆地の地質構造区分、地質構造発達過程と褶曲の形成機構について。地質調査所報告, 250, 79-91.
- 鈴木尉元・三梨 昂・宮下美智夫・影山邦夫・島田忠夫(1974)：新潟県西山・中央油帯の地質。地質調査所報告, 250, 67-95.
- Tsunakawa, H. (1986)：Neogene stress field of the Japanese arcs and its relation to igneous activity. *Tectonophysics*, 124, 1-22.
- Twiss, R. J. and Moores, E. M. (1992)：Structural geology, W. H. Freeman and Co., New York, 532p.
- 植村 武(1976)：越後第三系の褶曲区分。新潟大学理学部地質鉱物学教室研究報告, 4, 151-157.
- 植村 武(1990)：東北本州背弧南部における後期新生代の褶曲機構と地殻変動。地質学論集, 34, 199-209.
- Uyeda, S. and Kanamori, H. (1979)：Back-arc opening and the mode of subduction. *Journal of Geophysical Research*, 84, 1049-1061.
- 山田泰広・服部昌樹・国安 稔(1992)：新潟油田地域におけるインバージョン・テクトニクス。構造地質, 38, 59-72.
- 山下 昇編著(1995)：フォッサマグナ。東海大学出版会, 310p.
- 柳沢幸夫・小林巖雄・竹内圭史・立石雅昭・茅原一也・加藤碩一(1986)：小千谷地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1図幅)。地質調査所, 177p.
- 吉岡敏和(1988)：活褶曲地帯の活断層。地質ニュース, 411, 6-9.
- 吉岡敏和(1989)：褶曲に伴う層面すべり断層。活断層研究, 7, 5-12.

OTSUBO Makoto (2008)：Geological and tectonic background of the earthquakes in Niigata sedimentary basin.

<受付：2008年7月8日>