

第3章 福井地震の特徴

第1節 福井地震の概要

1 概要

福井地震は、震央が福井市北北東約 10 km の丸岡町付近に位置し、福井平野全域に被害をもたらした陸域の浅い被害地震の典型としてしばしば取り上げられる。福井地方および周辺地域は、もともと大地震が度々発生していた地域であり、福井地震以前の過去の地震の正確な位置を求めることは難しいが、大略の位置は図 3-1 のようであった (宇佐美, 1999)。最近の国土地理院の GPS 観測網 (GEONET) によると、中部・近畿地方において歪速度が周辺より一桁程度大きな領域 (新潟—神戸歪集中帯) がある (図 3-2)。この歪集中帯では、18 世紀以降現在までマグニチュード 6.5 以上の地震が 13 個発生しているが福井地震もそうした地震のうちの一つである。福井地方に最大の影響を及ぼした 1891 (明治 24) 年濃尾地震 (マグニチュード 8.0) も、この歪集中帯で発生した。この地震は根尾谷断層の活動によるが、断層の北端は福井市の南南東 40km に達している (高橋, 1951)。

福井地震の地震断層型は左横ずれ断層であるが、福井平野は厚い沖積層に覆われているため、地質学的には地表に地震断層を特定することができなかった (高橋, 1951)。震源過程も未だに議論が残っている。また、都市直下で発生したことにより、福井県と石川県とを併せて地震による死者は 3,769 人に達し、家屋全壊数は 36,184 戸にのぼった (宇佐美, 1999)。マグニチュード 7.1 という規模に比して被害が大きく、全壊率が 100% の区域は被害区域の 1/4 を占めている (高橋, 1951)。この地震を契機に気象庁では、被害の程度を表すそれまでの震度階級 0 から 6 までに新たに震度 7 (激震、家屋の倒壊率 30% 以上、加速度 400 ガル以上) を加えた (宇佐美, 1999)。その後、震度 7 は 1995 (平成 7) 年兵庫県南部地震 (マグニチュード 7.3) まで適用されていない。

2 震源、震度分布、地殻変動など

震源の位置は何度か改訂されている。最初の震央の位置は、金沢 (8.2 秒)、敦賀 (8.5 秒)、岐阜 (12.9 秒)、彦根 (13.1 秒)、富山 (14.0 秒)、名古屋 (16.5 秒)、輪島 (19.5 秒) の 7 観測点の P-S 波継続時間と、P 到達時刻の和達ダイアグラムから求められた発震時とを用いて決められた。さらに方位により異なる走時曲線を用いて、以下のように震源が求められた (Inoue, 1948)

震央位置 $136^{\circ} 16.82' E \pm 0.019'$ ($136.28^{\circ}N$)
 $36^{\circ} 08.15' N \pm 0.002'$ ($36.136^{\circ}N$)

(丸岡町から南南東約 1.5km 地点)

震源の深さ $33.03 \text{ km} \pm 0.11\text{km}$

発生時刻 1948 (昭和 23) 年 6 月 28 日 16 時 13 分 26.7 秒

その後、気象庁 (1982) により S-P 時間 6 秒以内と、P, S 到達時刻が使える観測点の値をできるだけ多く用いた震源再決定がなされて、次のようになった。

震源位置 $36.17^{\circ}N$, $136.20^{\circ}E$ 、深さ 0km、マグニチュード 7.1

発生時刻 1948 (昭和 23) 年 6 月 28 日 16 時 13 分

さらに、見直しがなされて現在の気象庁の震源リストでは

震源位置 $36.17^{\circ}N$, $136.29^{\circ}E$ 、深さ 0km、マグニチュード 7.1

発生時刻 1948 (昭和 23) 年 6 月 28 日 16 時 13 分 29.0 秒

が用いられている。

全国の気象官署で観測した地震の震度を図示すると、**図 3-3** のようになる。震度分布は、東方に比べ西方に伸びていて、有感範囲は東方へは震央から 400km であるが、西方へは 500km になっている。この西方へ広く伸びる等震度分布は、この地域で発生する内陸地震の特徴的分布である。

初動の方向と振幅の分布は、**図 3-4** に矢印で示されているが、おおよそ四象限型を示す (Kawasumi, 1950)。但し南北方向の節面の南西方向の象現の振幅が南東方向の象限より明らかに大きい。このことは、断層面の傾きを東傾斜とする結果とは一致しない。この地域 (**図 3-1**) で、過去に起きた福井地震と同じくらいの大きさの地震では、初動分布の二つの節面のどちらか、あるいは両方に沿って地表に断層が現れたが、この地震ではそのような断層は現れなかった。福井地震後には、地表に連続する割れ目や裂け目の連なりが観測された。この連なりは、測地学的手法によって調査された地殻の上下変動や水平変動の不連続境界と一致し、その方位は大体 $N20^{\circ}W$ で、**図 3-4** で示された節面の一つと一致した (Kawasumi, 1950)。

この節面に沿って、西側の地域は沈降し、南方へ移動したことが観測によって明らかにされた。大凡の相対変位量は、上下に約 1.5m、水平に 90cm であった。震央は、この不連続境界から東へ 5km に求められたことから、福井地震の断層面はおおよそ東傾斜 80° と推定された。これらの結果、この地震の断層面は、 $N20^{\circ}W$ の走行をもち 80° の東傾斜で、西側が沈降し南方に移動したと推定された (Kawasumi, 1950)。

3 前震と余震

新潟管区気象台の調査によると、剣岳村棚部落では 4 月下旬より連夜 1 時間 1 回位の割合で砲声または遠雷のような音響を聞いたという。高橋等 (高橋, 1951) の調査でも、九頭龍川中

流の地域で地鳴のような音を聞いたという報告がある。これらの音響は、おそらく微小地震による地鳴ではないかと推測されている。

一方、福井地震の前々日6月26日3時30分ごろ中藤島村、東藤島村、高椋村、松岡町、福井市等でも、微震を感じた。また、6月14日19時54分頃、姫川河口沖（筆者注：新潟県糸魚川市とすると福井地震の震源からは少々遠いような気がする）にやや顕著な地震が起こったが、此处は余り地震の起こらないところだから福井地震と何か関係があるかもしれないと考えられている（高橋，1951）。

福井地震後は、沢山の余震が観測された。福井地域ではその後1年間に983個の余震が記録され、この中で有感地震は652個であった。有感地震のうち4個の余震は、震央距離300kmまで、11個は200kmまで、486個は100kmまで、有感であった（Omote, 1950）。福井観測所と敦賀測候所で観測された24時間ごとの余震数は、**図3-5**に示されている。

また、表俊一郎、浅田敏、鈴木次郎、田治米鏡二は地震発生後、直ちに余震観測の準備をし、13点の臨時観測点からなる観測網により7月5日から8月2日まで観測を続け、余震の震源を求めた（**図3-6**）。これらの観測点には、直行する2台の水平動地震計が設置されが、大聖寺観測点には、上下動地震計も設置された。余震観測において、3成分の地震計を設置した観測点は、初めてである。

浅田・鈴木等の余震観測の主な目的は、①普通の機械式地震計では観測できない小さな地震を、どのくらいまで観測できるか、②そのような小さな地震の発生数は石本—飯田の式（地震の震度と度数の関係式）を満足するか、などであった。この観測で初めて、高感度の電磁式地震計が用いられた。地震波の伝播方向を検知するために上下動の地震計を3台セットで配置した。この臨時観測により求められた余震は殆どが福井平野に位置し、九頭龍川の西には殆ど拵がっていない（Omote, 1950）。

図3-7は、気象庁（1982）で決められた本震後10日間の余震分布を示すが、震央は地震直後に決められた分布と大体同じ領域に分布している。深さ方向では、殆どの地震が0-15kmの範囲に分布していることが解る。

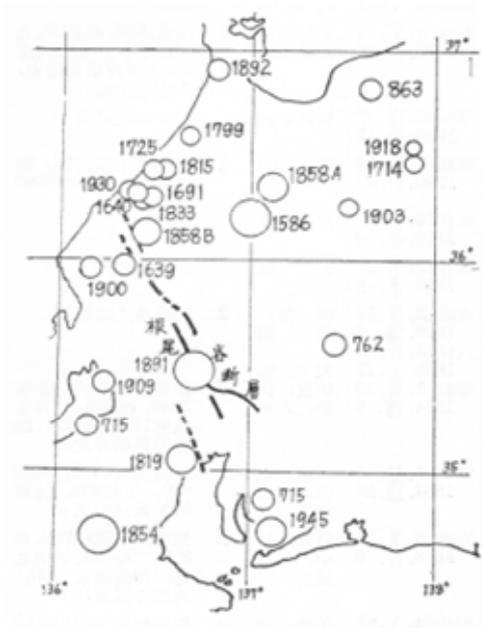


図 3-1 福井地方および近接地の過去の地震の分布 出典：宇佐美, 1999
 円の大きさはマグニチュードによる

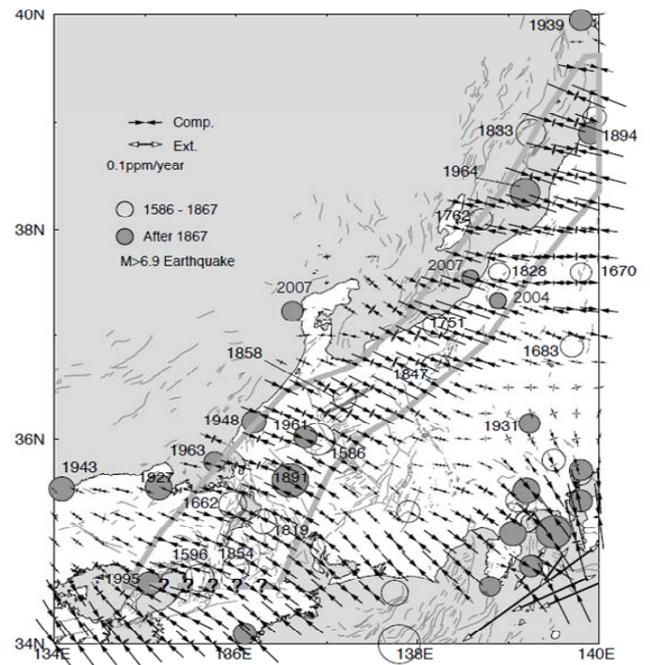


図 3-2 GPS データから求められた歪速度分布と M7 級の地震の分布 出典：鷲谷, 2007
 太線で囲まれた領域が歪集中帯



図 3-3 広域震度分布 出典：宇佐見, 1999



図 3-4 地震初動の方向および大きさ 出典：Kawasumi, 1950

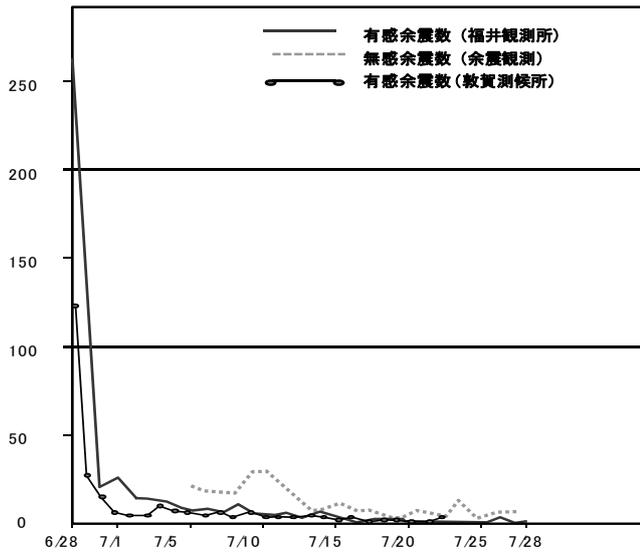


図3-5 福井および敦賀観測所で観測された
24時間ごとの余震回数 出典: Omote, 1950

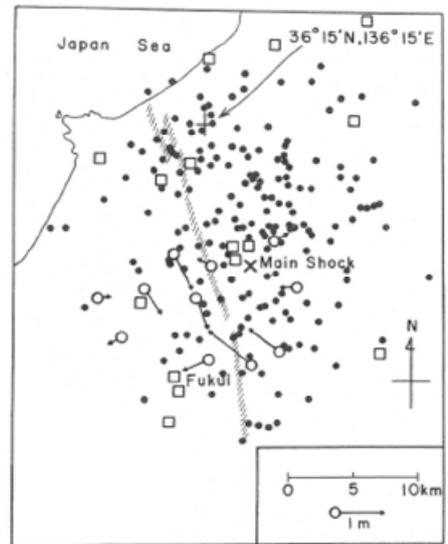


図3-6 三角点の変動

(矢印) (Muto 他, 1950、Nasu, 1950) 本震の震源 (×)
余震 (●) (Kawasumi, 1950) 地割れ (斜線) (Nasu, 1950) の
分布を示す (Kanamori, 1973)

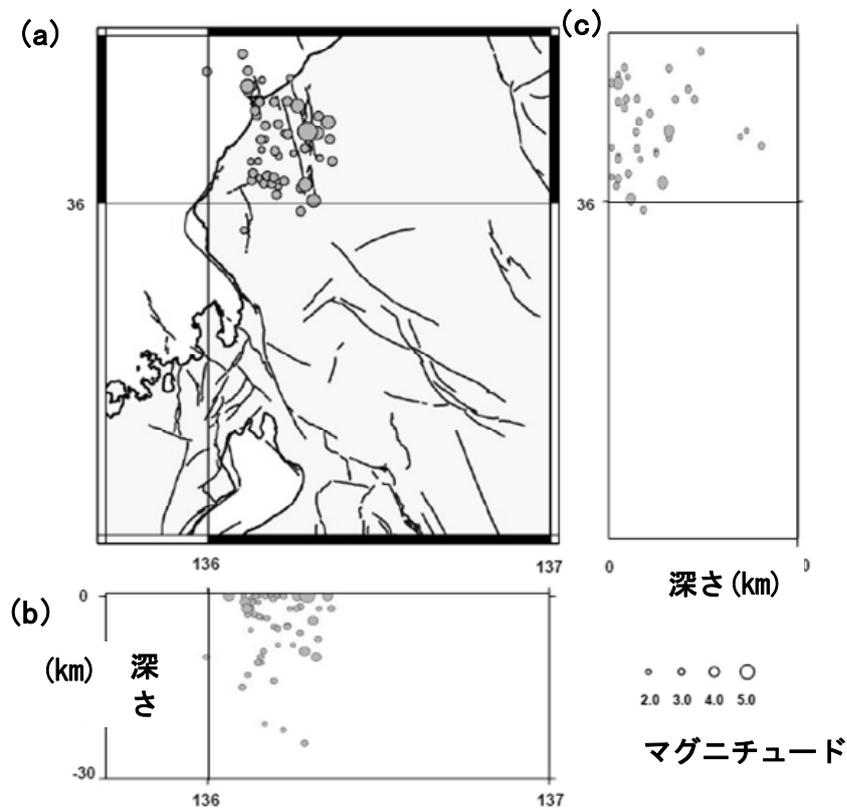


図3-7 本震後10日間の余震分布 (気象庁一元化データ)

最大の丸印が本震の震央

(a) 平面図、(b) 東西断面図、(c) 南北断面図

第2節 福井地震の震源過程

地震記象を用いた福井地震の破壊過程に関する研究は、何人かの研究者によって行われているが、用いるデータの違いにより、断層パラメーターおよび震源過程は少しずつ異なっている。P波の初動分布による発震機構解は、**図3-8**に示されているようにN10°WあるいはN80°E 走行の垂直横ずれ断層を示す (Ichikawa, 1971)。研究者による代表的な断層パラメーターおよび震源過程の概要を次に示すが、N10~20°W に走向を持つ左横ずれが卓越した断層ということに関しては、大概の一致をみている。

1 Kanamori

(Kanamori, H., 1973, Mode of strain release associated with major earthquakes in Japan, Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 1, 213-239.)

震央距離約 150 kmに位置する京都大学阿武山観測所のやや長周期の強震計記録を用いた。地表の亀裂の並び、三角点の変位量、および余震分布から、断層の走向はN10°W~N20°W、くいちがい約 2m、断層の長さ約 30km、断層の幅（深さ方向）約 13km、傾き約 90°として、フォワードモデリングにより解析した。

その結果、最初の破壊開始から 9 秒後に 2 番目の破壊が励起され、この 2 番目の破壊がおそらく主破壊である可能性を示唆した。この 2 番目の破壊の地震断層面は、左横ずれ断層、断層面積は $33 \times 13 \text{ km}^2$ 、変位量 2m、破壊伝播速度 2.3km/sec、立ち上がり時間約 2 sec であり、主破壊の 9 秒前の破壊の変位量は約 0.5m と求められた。

図3-6から読み取ると最初の破壊点は 36.03°N、136.29°E と推測される。また、殆どの余震が地表の割れ目の東に分布し、本震は余震域の中央で地表の割れ目列より約 5 km東に位置することから、断層面が東に僅かに傾斜している可能性も示唆している。福井地震の全体像として、詳細な破壊過程は不明であるとしつつも、多重震源（マルチプルショック：地震が二つ連続して発生）であること、断層全体の長さは約 30km、平均変位量は 2~2.5m、地震モーメントは $3.3 \times 10^{19} \text{ Nm}$ 、ストレスドロップ 8.3MPa、有効応力 3.6~12MPa、であることを示した。

2 菊地ほか

(菊地正幸、中村操、山田眞、伏見実、巽誉樹、吉川一光、1999, 1948年：福井地震の震源パラメーター—1倍強震計記録の解析—, 地震第2輯, 第52巻, 121-128.)

気象庁に保存されていた強震計の記象のマイクロ写真のうち、方位分布や記録の質を考慮して、5地点（阿武山、亀山、豊岡、岐阜、輪島）の記録を選び、インバージョン解析に用いた。震源位置は、気象庁による再決定震源（36.17°N, 136.20°E、深さ 0 km）を用いた。解析の詳細

は省くが、求められた断層メカニズムは、走向 $-170\pm 5^\circ$ ；傾斜角 $-70\pm 5^\circ$ 、すべり角 $-10\pm 10^\circ$ である。概ね北北西—南南東走行の左横ずれ断層で、断層面はやや西側に傾斜し、西落ちの正断層成分を持つとした。

全体の地震モーメントは $2.1\times 10^{19}\text{Nm}$ 、モーメントマグニチュード6.8、断層の面積は $30\times 10\text{km}^2$ 、平均的な変位量は2.3m、応力効果量は10MPaである。破壊は、深い側で発生し、浅い方へ伝播するパターンで、ずれ破壊の大きな場所は震央から南へ約10kmのところのところに位置し、破壊は一方向（ユニラテラル）に進んだことなどが、特徴として示された。

3 Ichinose ほか

(Ichinose, Gene A., P. Somerville, and H. K. Thio, 2005, Rupture process of the 1948 Fukui earthquake (M7.1) from the joint inversion of seismic wave form and geodetic data, J. Geophys. Res. 110, B05301, doi:10.1029/2004JB003437.)

遠地実体波（7観測点）と強震計記録波形（阿武山、岐阜彦根、亀山、金沢、京都、名古屋、豊岡、敦賀、輪島）および測地測量データ（84点の三角点測量データと82点の水準測量データ）を同時に用いてインバージョン解析を行った。解析の詳細は省くが、データをよりよく説明するとして、断層面を一つでなく二つと仮定した。

求められた震源は、 36.247°N 、 136.188°E 、深さ10.14km、震源断層の走向は $\text{N}20^\circ\text{W}$ 、傾斜角 75° 、西側傾斜である。最初に北側のセグメント¹⁾の南端から北方に向かって破壊は始まり10秒間で約20km伝播したが、破壊開始から9秒後に南側のセグメントの破壊が開始し、南方に向かって36km伝播した。断層の幅（深さ方向）は約18kmである。南側のセグメントで震源から10～15km南の浅い部分にアスペリティ²⁾が仮定された。全体の地震モーメントは $1.58\times 10^{19}\text{Nm}$ 、平均の変位量は34cm、最大の変位量は1.54m、破壊伝播速度は0.4～2.5km/sであるが、平均では1.6km/sとされた。立ち上がり時間は1～2secである。二つのセグメントからなるスリップの伝播モデルは、西傾斜の場合のみが示さされている。西傾斜か東傾斜か、どちらがより観測波形を説明するかは言及されていない。

4 鷺谷

(鷺谷毅, 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, 地震第2輯, 第52巻, 111-120.)

地表の観測や水準測量の結果などから、福井地震は震源断層を境にして東側が隆起し、西側が沈降するというパターンで説明されるとした。また、水準測量の結果有意な縦ずれ成分を伴ったとされている。鉛直な断層面一枚を仮定した横ずれ成分のみの断層モデルで計算した場合でも、地殻上下変動成分が現れ、あたかも縦ずれ成分を持つ断層運動が生じたような上下変動分布を示すという。84点の三角測量のデータと82点の水準測量のデータを解析した結果、福

¹⁾ 断層は幾つかの区間に分かれて活動するが、それぞれの区間をいう

²⁾ 断層面において固着の強さが特に大きい領域のこと。この領域が地震時に滑ると、大振幅の地震波を放出する

井地震の断層すべり分布は、すべりの大きい部分が一つだけで横ずれ成分を主体する比較的単純なものであると結論している。

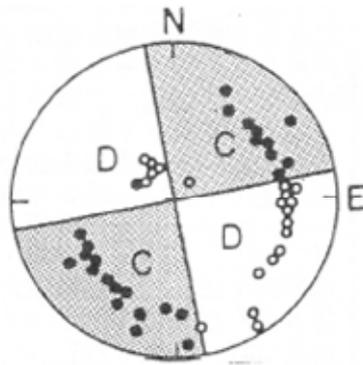


図3-8 P波初動分布による発震機構解 出典：Ichikawa, 1971

図の見方は、コラム5「P波初動分布と発信機構解」を参照

第3節 最近のデータを用いた福井地震の考察

1 最近の地震活動

図3-9は、2001（平成13）年から2009（平成21）年までに発生した微小地震の震源分布（防災科学技術研究所のHi-netデータによる）と主な活断層分布を示したものである。この図から、地震が主に活断層に沿って、あるいは活断層が多く分布している地域に発生していることが解る。福井地震で現れた地表の亀裂沿いに、未だに微小地震が発生している様子が見られる。殆どの地震は、深さ5～18kmに発生している。このことから、福井地震の断層の幅は18kmより大きくはないと考えられる。安藤ほかによると、現在福井地震の断層沿いに起きている地震は、福井地震の広義の余震であると言える（安藤ほか, 1999）。

また、図3-10、図3-11は2001（平成13）年から2009（平成21）年までに発生した微小地震のメカニズムとP軸の分布（防災科学技術研究所のHi-netデータによる）と主な活断層分布を示したものである。これらの図から、福井平野周辺では東南東—西北西に圧縮軸をもつ横ずれ断層が卓越していることが解る。この圧縮軸の卓越方向は、歪速度分布（図3-2）での短縮方向とも調和的である。従って、この地域で発生する地震で、南北走向の断層面をもつ場合、地震のメカニズムは左横ずれ型の断層か、やや逆断層成分をもつ左横ずれ型の断層と考えられる。従って、福井地震の断層面を菊地（菊地ほか, 1999）やIchinose（Ichinose, 2005）のように、南北走向でやや西傾斜の正断層とした解より Kanamori（Kanamori, 1973）や鷺谷（鷺谷, 1999）のように南北走向でやや東傾斜の逆断層あるいは垂直な断層とした解の方が、最近の微小地震のメカニズム解や歪速度分布と矛盾しない。

2 福井地震の促進要因

安藤ほかは、1891（明治24）年濃尾地震（マグニチュード8.0）と1948（昭和23）年福井地震の発生が、周辺地域の断層に与えた影響をみるために応力の変化（クーロン応力関数の変化） Δ CFF（Coulomb Failure Function value）の分布を求めた（安藤ほか, 1999）。その結果、濃尾地震後、中部地方（おおよそ図3-1の地域）で発生したマグニチュード6.5以上の地震のうち、最も大きな Δ CFFの影響を被った断層は福井地震の断層であった。福井地震の断層上では、濃尾地震の発生によって Δ CFFは0.0から0.3MPaまでの値を示し、全領域で正の値、つまり福井地震の発生を促進するような影響を与えたといえる。

安藤ほかによると、濃尾地震以降1969（昭和44）年までにマグニチュード6.5以上の地震は7個発生しているが、このうちの5個は Δ CFFが正の領域内で発生している（安藤ほか, 1999）。福井地震の前に発生した1930（昭和5）年福井—石川県境の地震（マグニチュード6.3）も Δ CFFが正の領域内で発生した地震であるが、最近の微小地震の分布から、福井東縁断層群の延長線上に発生した可能性が考えられる。もしそうであるならば、1930（昭和5）年の地震により、福井東縁断層群は Δ CFFが増大する場所に当たる。福井地震の発生時に福井東縁断層群が関与したかどうかは、今後の検討課題であろう。

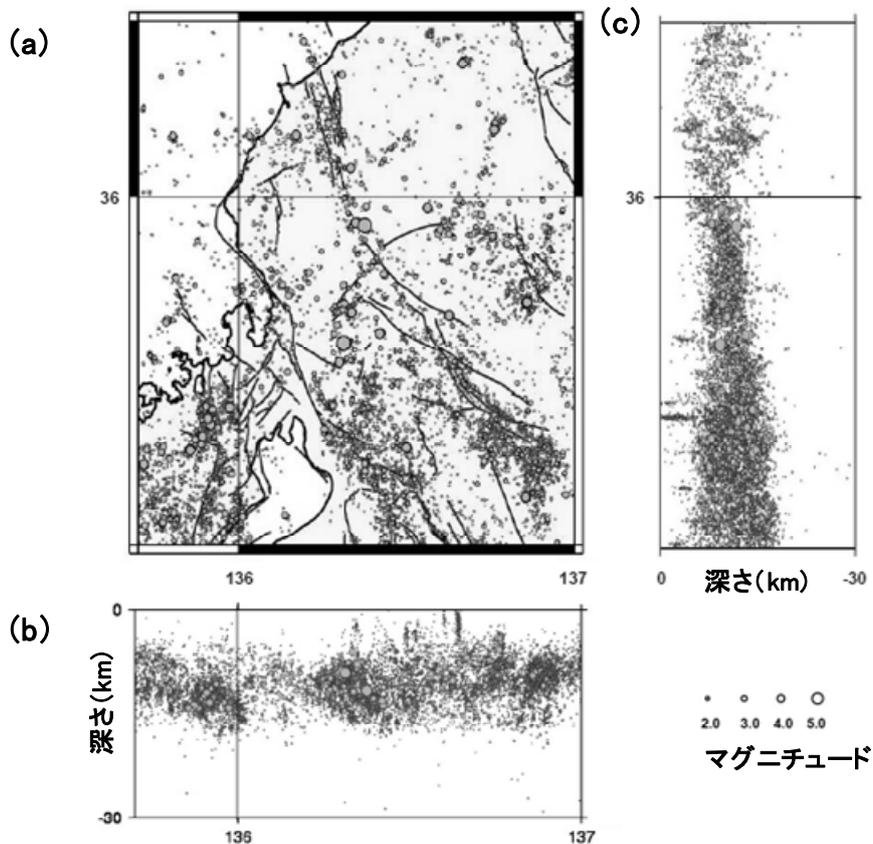


図3-9 2001年—2009年の地震の震源分布

〔防災科学技術研究所 Hi-net（高感度地震観測網）データ〕 (a) 平面図 (b) 東西断面図 (c) 南北断面図

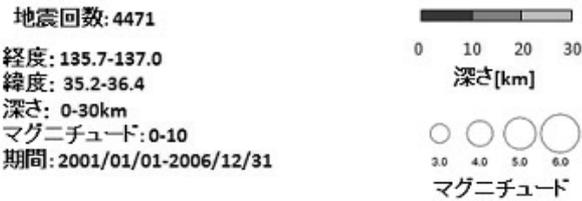
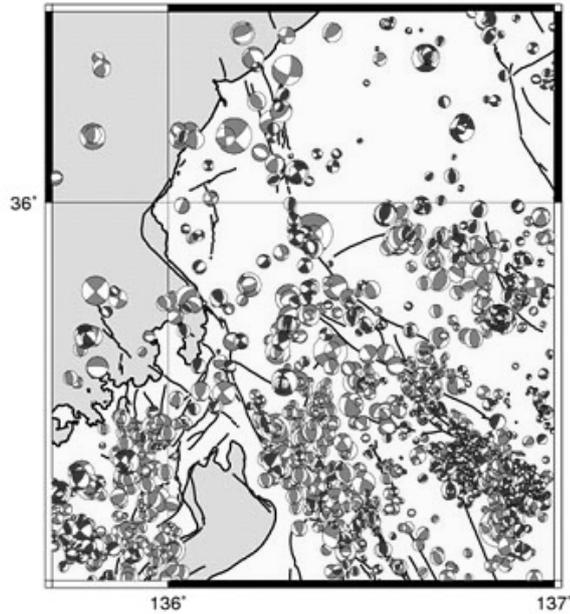


図3-10 2001年-2009年の地震の発震機構解(メカニズム)の分布

[防災科学技術研究所 Hi-net (高感度地震観測網) データ]
図の見方は、コラム5「P波初動分布と発震機構解」を参照

Mechanism (P-axis)

P軸(圧縮軸)分布

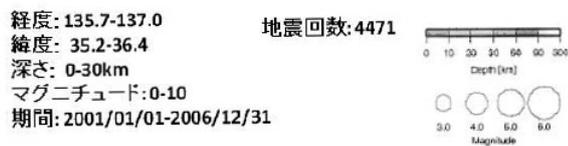
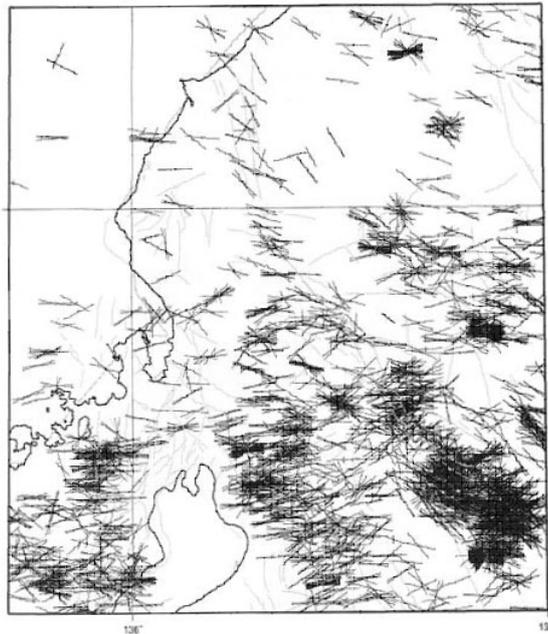


図3-11 2001年-2009年の地震の圧縮軸分布

[防災科学技術研究所 Hi-net (高感度地震観測網) データ]