

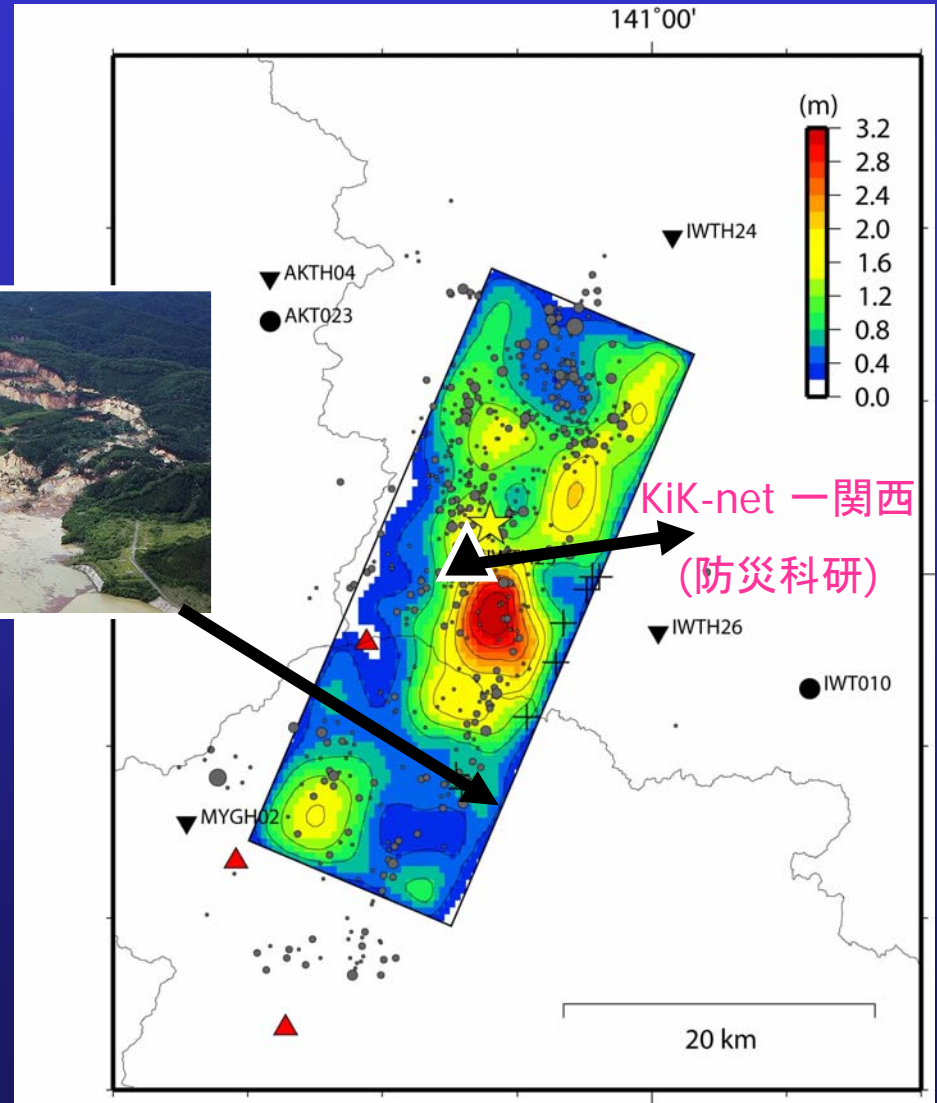
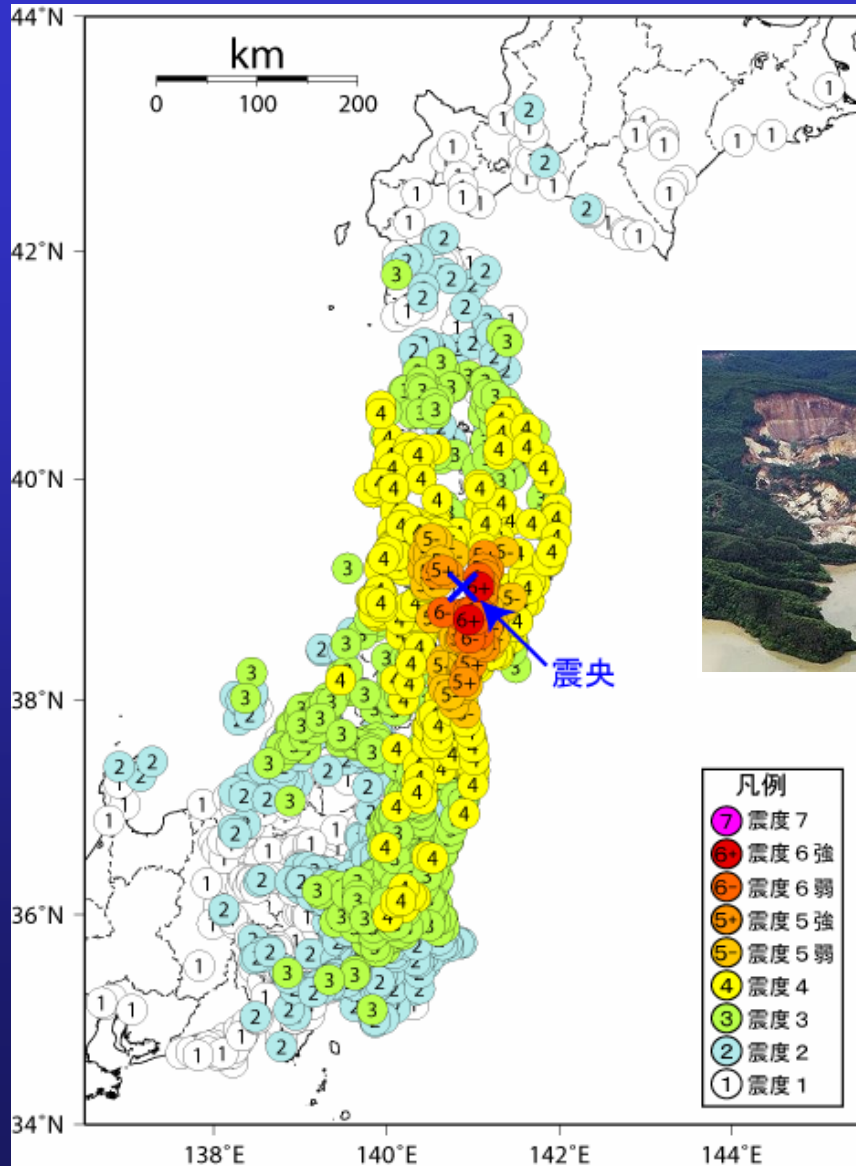


岩手・宮城内陸地震の震源メカニズム

東京大学地震研究所

纈纈 一起・三宅弘恵

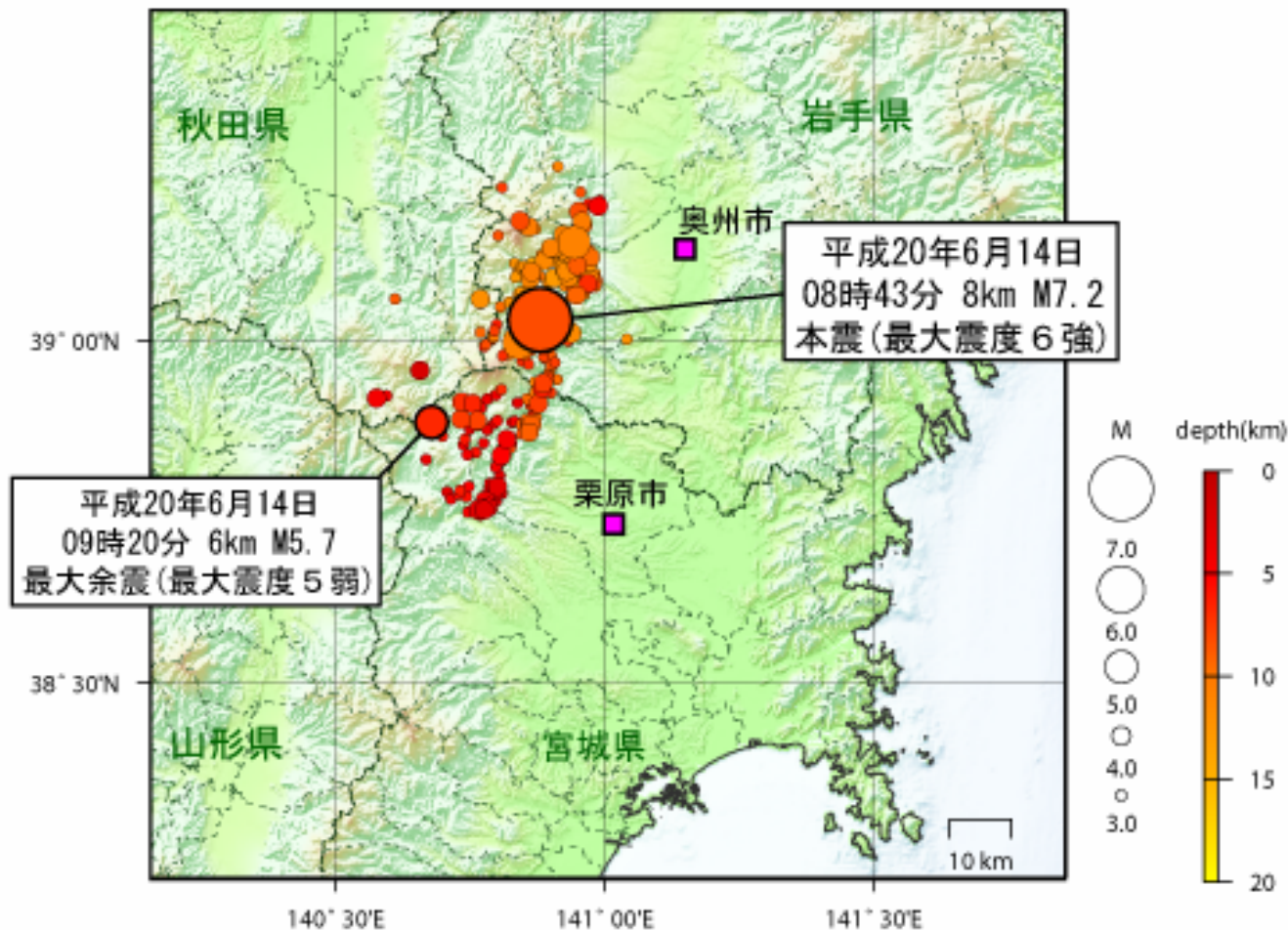
2008年岩手・宮城内陸地震 (M_w 6.9, 最大震度6強)



岩手・宮城内陸地震の震央分布図

平成20年7月18日12時現在

震央分布図（平成20年6月14日以降、深さ0~20km、 $M \geq 3.0$ ）



丸の大きさはマグニチュードの大きさ、色は震源の深さを表す。

地形データには国土地理院の数値地図50mメッシュ(標高)、数値地図25000(行政界・海岸線)および日本海洋データセンターのJ-EGG500を使用。

気象庁

2008年岩手・宮城内陸地震のメカニズム解

地震のメカニズム情報

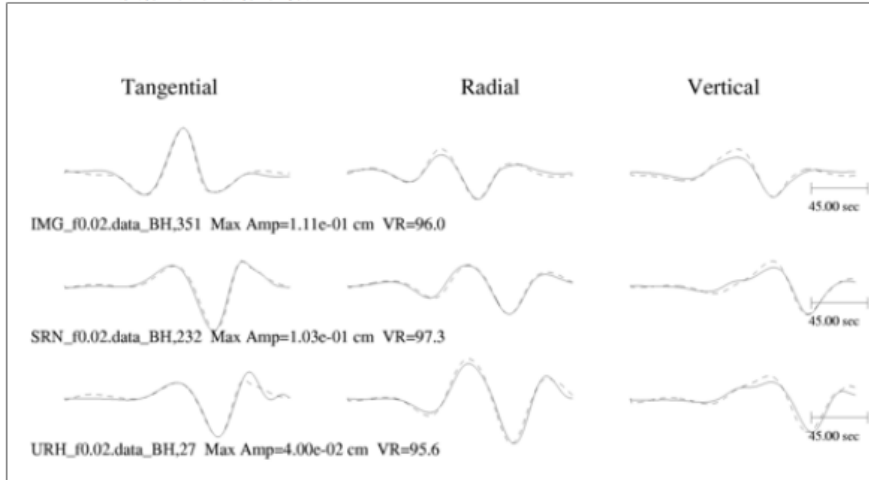
気象庁による震源情報

地震発生時刻(JST)	緯度	経度	深さ	マグニチュード*	震源地
2008/06/14,08:43	39.0 N	140.9 E	10 km	Mj 7.0	岩手県内陸南部

手動メカニズム決定結果

走向	傾斜	すべり角	モーメント	深さ	マグニチュード*	品質
209 ; 8	51 ; 41	104 ; 74	2.72e+19 Nm	5 km	Mw 6.9	96.62

■ メカニズム(実線:観測 点線:計算)



200806132343A EASTERN HONSHU, JAPAN

Date: 2008/ 6/13 Centroid Time: 23:43:53.2 GMT

Lat= 39.03 Lon= 140.85

Depth= 12.0 Half duration= 6.7

Centroid time minus hypocenter time: 7.8

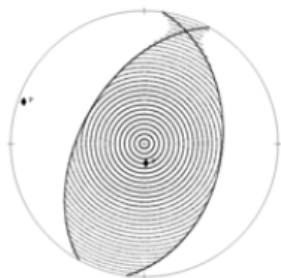
Moment Tensor: Expo=26 2.460 -0.098 -2.370 -0.160 -0.257 -0.878

Mw = 6.9 mb = 6.5 Ms = 7.0 Scalar Moment = 2.58e+26

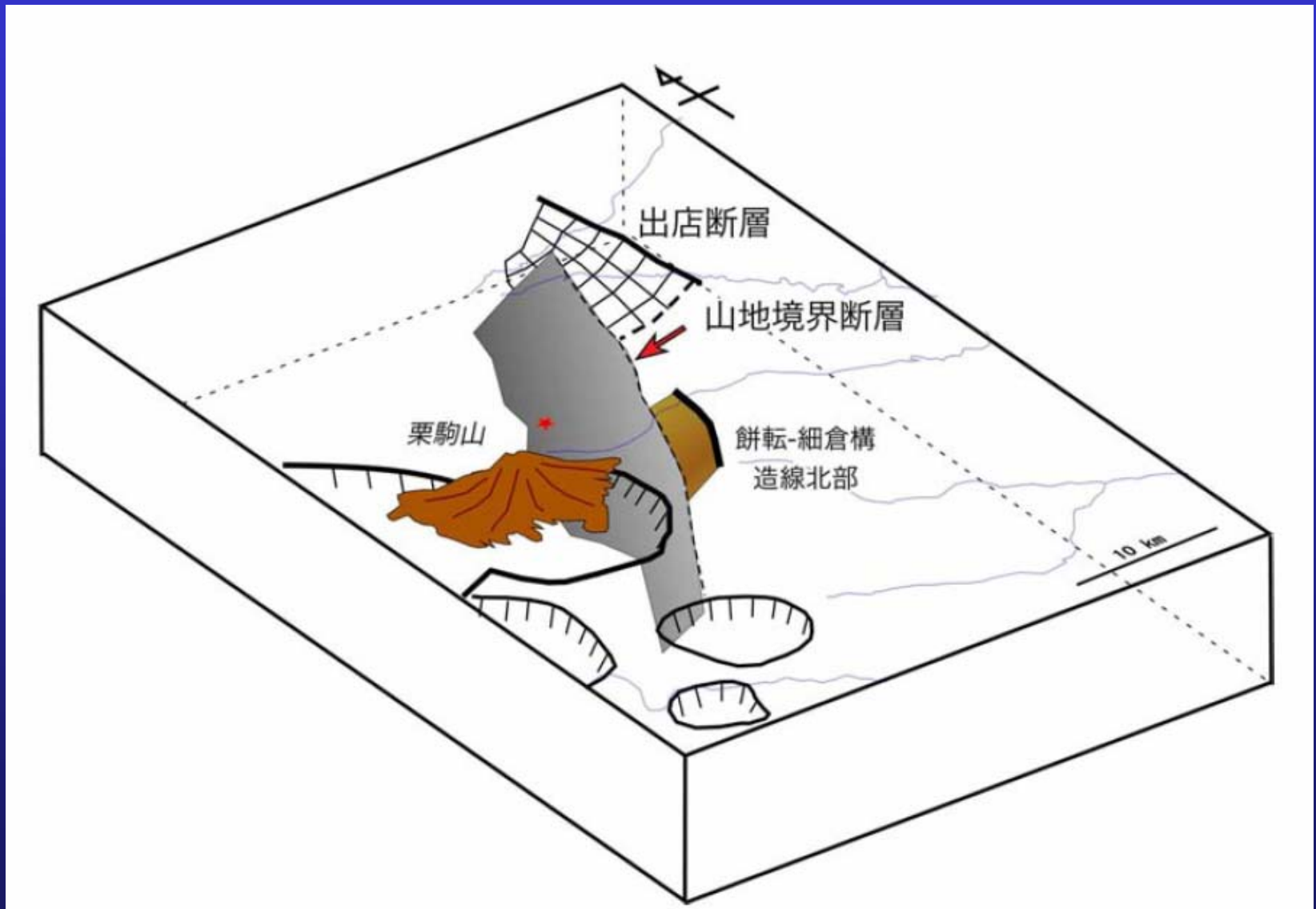
Fault plane: strike=17 dip=42 slip=87

Fault plane: strike=201 dip=48 slip=92

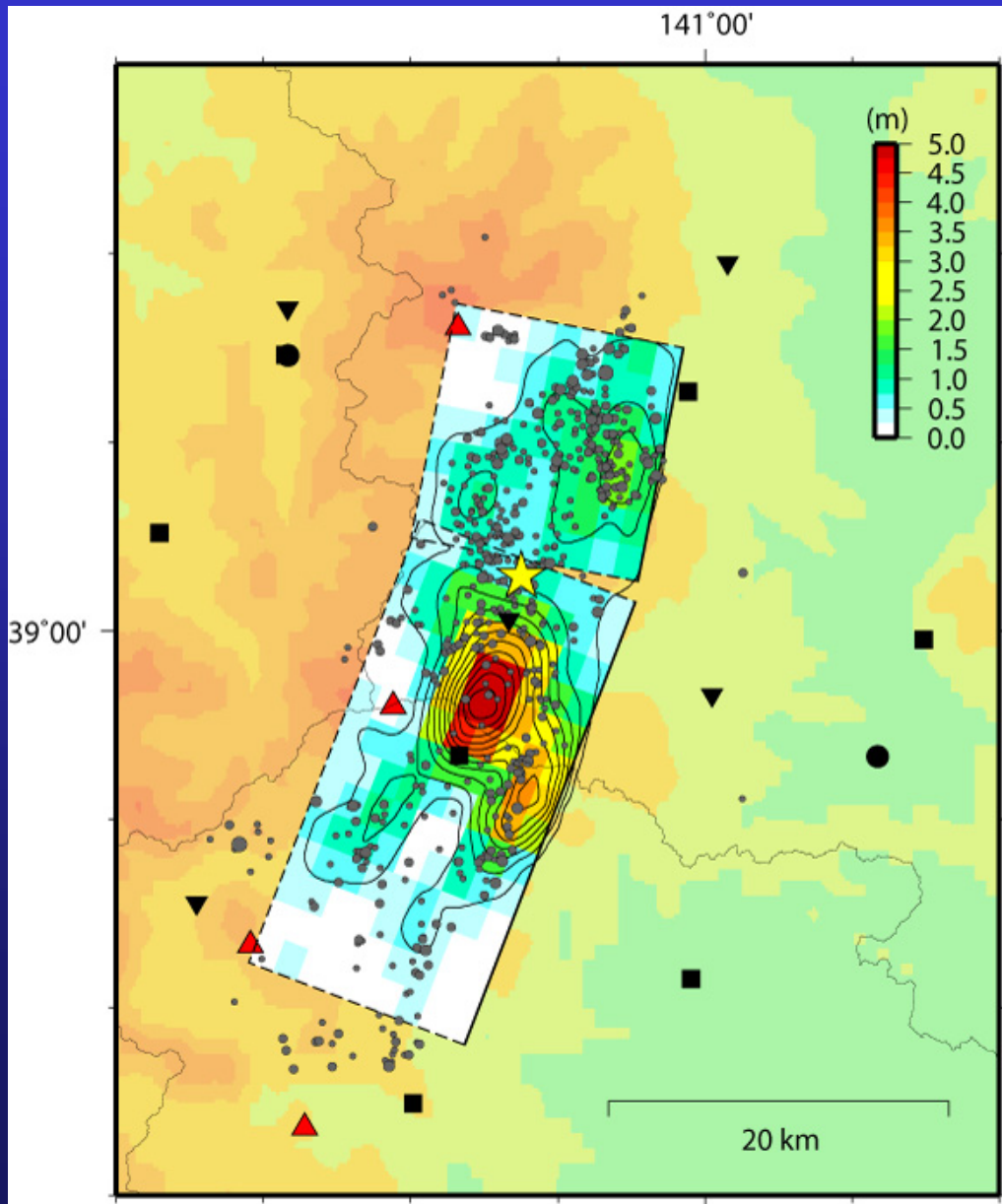
Strike=209 ; 8
 Rake =104 ; 74
 Dip =51 ; 41
 Mo =2.72e+26
 Mw =6.9
 Percent DC=96
 Percent CLVD=4
 Variance=2.18e-05
 Var. Red=9.66e+01
 RES/Pdc.=2.27e-07



2008年岩手・宮城内陸地震の地質学的背景



岩手・宮城内陸地震の震源過程と余震分布



二枚断層を仮定した強震波形と測地データのジョイントインバージョンにより得られた2008年岩手・宮城内陸地震のすべり分布。☆は破壊開始点。△は火山の位置。■▼●は観測点を示す。

Hikima, Miyazaki, and Koketsu (2008)

KiK-net ー 関西で観測された強震動

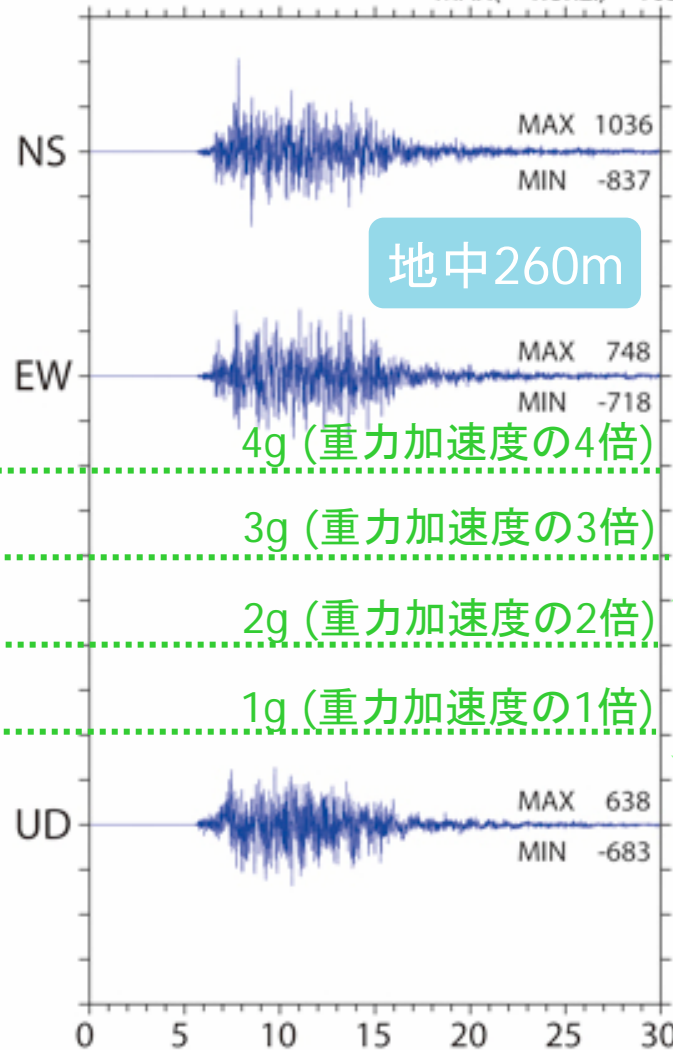
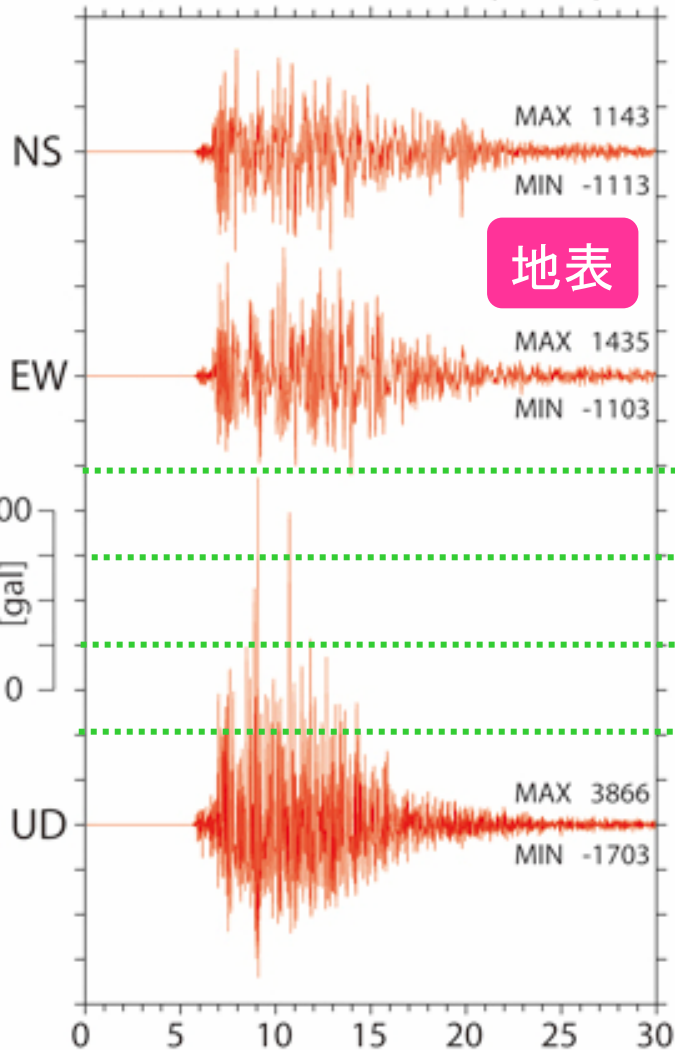
Acceleration at KiK-net IWTH25

Surface (GL-0m)

MAX(3 comp.) = 4022
MAX(horiz.) = 1434

Downhole (GL-260m)

MAX(3 comp.) = 1078
MAX(horiz.) = 1039



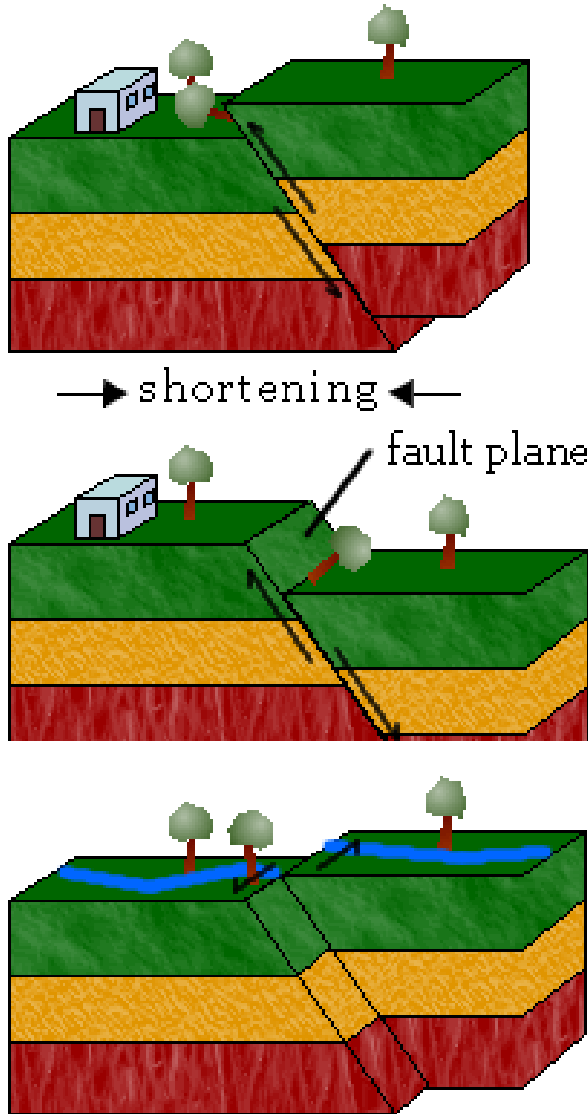
シャトルは 0.3~3g

KiK-net ー 関西で観測された強震動

表 1. 地表で観測された顕著な最大加速度水平動と上下動.

地震名 (観測点名)	水平動 (cm/s^2)	上下動 (cm/s^2)	M_w と断層種類
2008 年岩手・宮城内陸地震 (KiK-net ー 関西)	1143, 1433	<u>3866</u>	6.9 (逆断層)
1985 年 12 月カナダ・Nahanni 地震 (Station 1)	760, 660	<u>2322</u>	6.7 (逆断層)
1979 年米国・Imperial Valley 地震 (El Centro Array Station 6)	420, 430	<u>1622</u>	6.5 (横ずれ断層)
1976 年ウズベキスタン・Gazli 地震 (Karakyr Point)	738, 656	<u>1300</u>	6.7 (逆断層)
2003 年宮城県北部地震 (宮城県矢本町)	667, 850	<u>1242</u>	6.0 (逆断層)
2008 年岩手・宮城内陸地震 (KiK-net 東成瀬)	1318, <u>2449</u>	1094	6.9 (逆断層)
2004 年新潟県中越地震最大余震 (新潟県川口町)	1639, <u>2036</u>	549	6.3 (逆断層)
2003 年宮城県北部地震前震 (宮城県鳴瀬町)	603, <u>2005</u>	584	5.4 (逆断層)
1994 年米国・Northridge 地震 (Tarzana)	<u>1744</u> , 970	1029	6.6 (逆断層)
2004 年新潟県中越地震 (K-NET 十日町)	<u>1716</u> , 850	564	6.6 (逆断層)

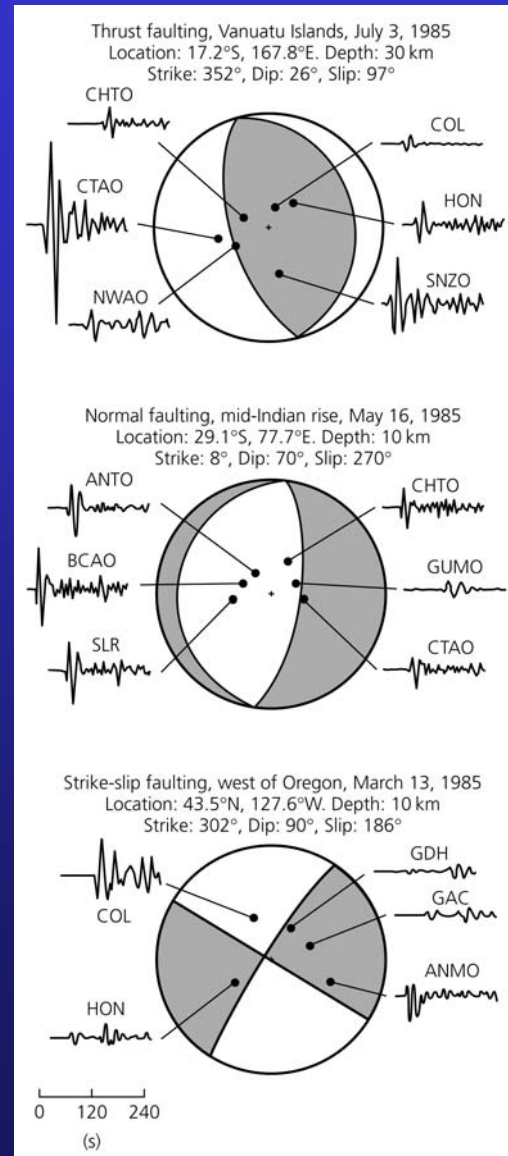
震源メカニズム



逆断層
reverse fault

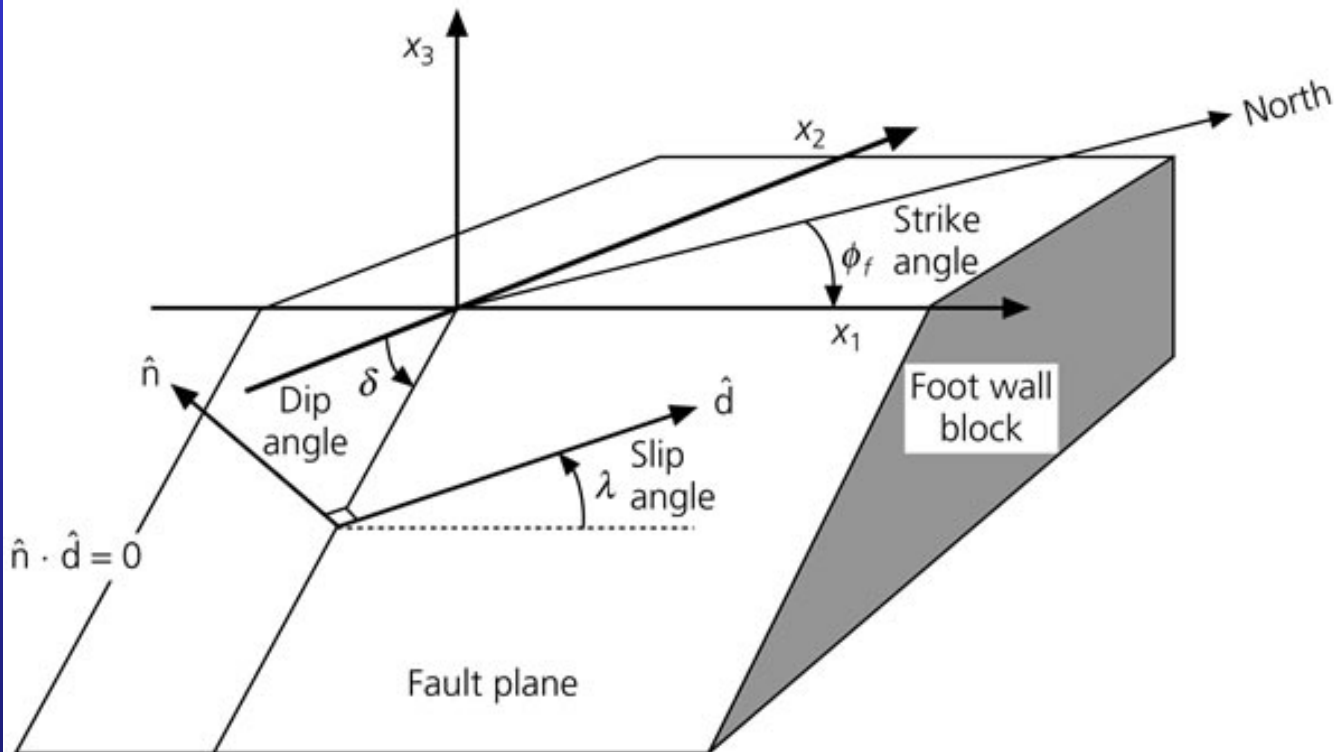
正断層
normal fault

横ずれ断層
strike slip



断層パラメータの定義

Figure 4.2-2: Fault geometry used in earthquake studies.



走向 (strike)
傾斜 (dip)
すべり角
(rake or slip)

ダブルカップルとモーメントテンソル

モーメントテンソル

Figure 4.4-1: Equivalent body forces for a single force, single couple, and double couple.

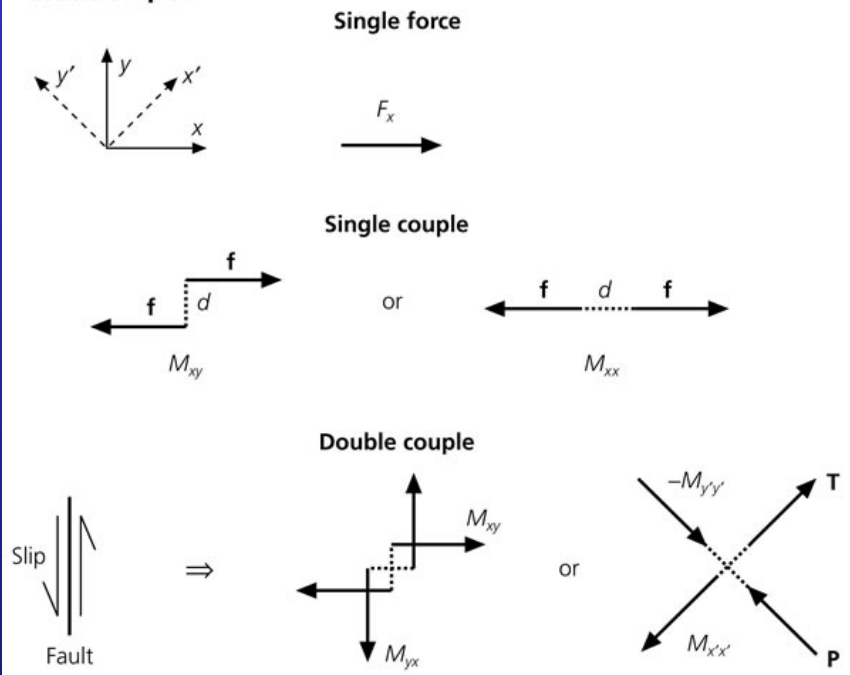
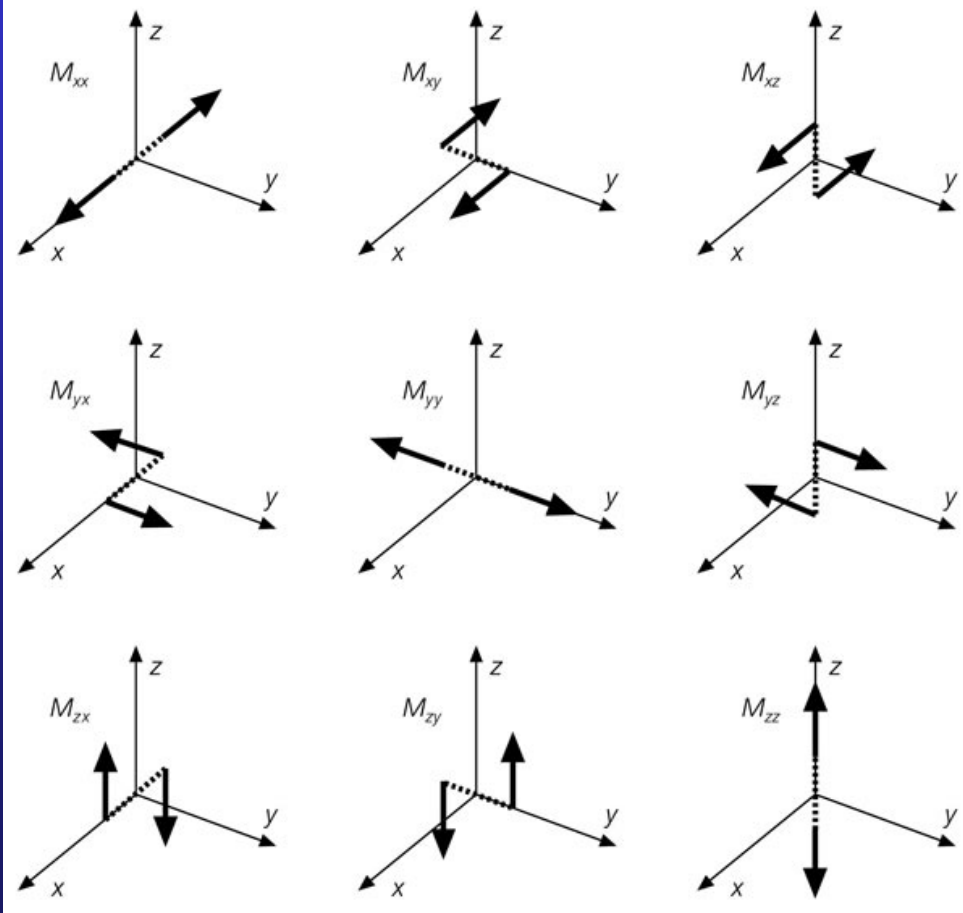


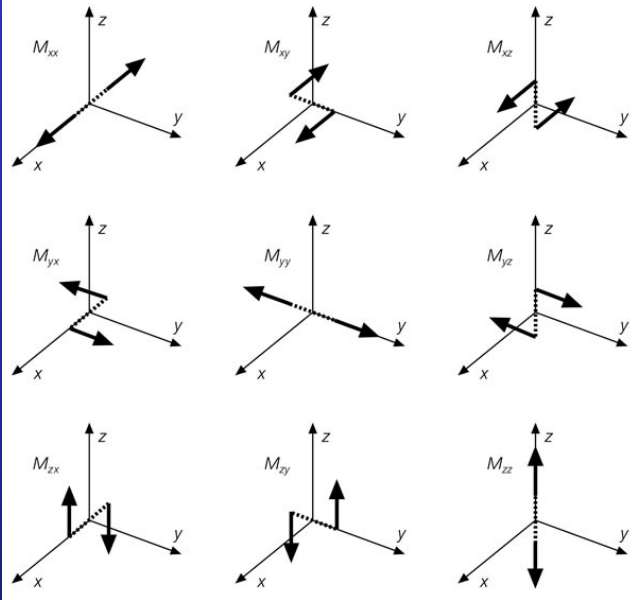
Figure 4.4-4: Nine force couples which compose the seismic moment tensor.



モーメントテンソルの記述

モーメントテンソル

Figure 4.4-4: Nine force couples which compose the seismic moment tensor.



$$M_{xx} = -M_0 (\sin \delta \cos \lambda \sin 2\phi_f + \sin 2\delta \sin \lambda \sin^2 \phi_f)$$

$$M_{yy} = M_0 (\sin \delta \cos \lambda \sin 2\phi_f - \sin 2\delta \sin \lambda \cos^2 \phi_f)$$

$$M_{zz} = M_0 (\sin 2\delta \sin \lambda) = -(M_{11} + M_{22})$$

$$M_{xy} = M_0 (\sin \delta \cos \lambda \cos 2\phi_f + \frac{1}{2} \sin 2\delta \sin \lambda \sin 2\phi_f)$$

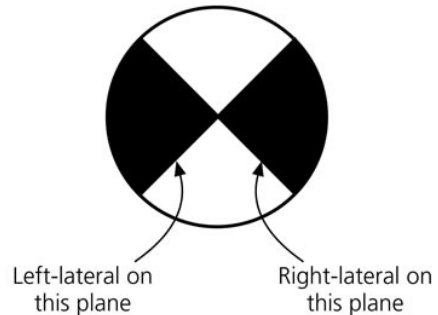
$$M_{xz} = -M_0 (\cos \delta \cos \lambda \cos \phi_f + \cos 2\delta \sin \lambda \sin \phi_f)$$

$$M_{yz} = -M_0 (\cos \delta \cos \lambda \sin \phi_f - \cos 2\delta \sin \lambda \cos \phi_f)$$

震源メカニズムと下半球投影

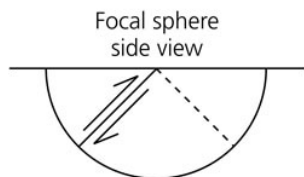
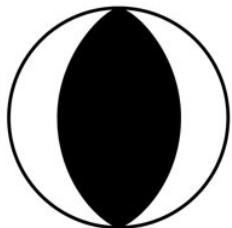
Figure 4.2-14: Focal mechanisms for various fault mechanisms.

Strike-slip fault

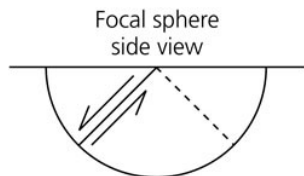
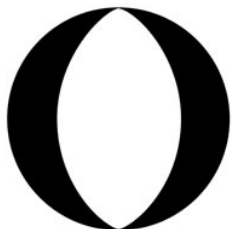


Dip-slip faults

Thrust fault



Normal fault



Vertical dip-slip

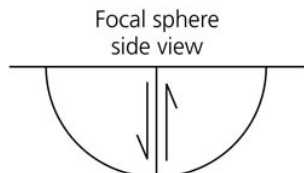
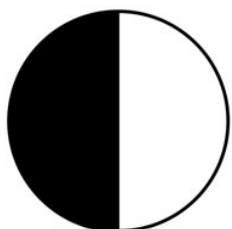
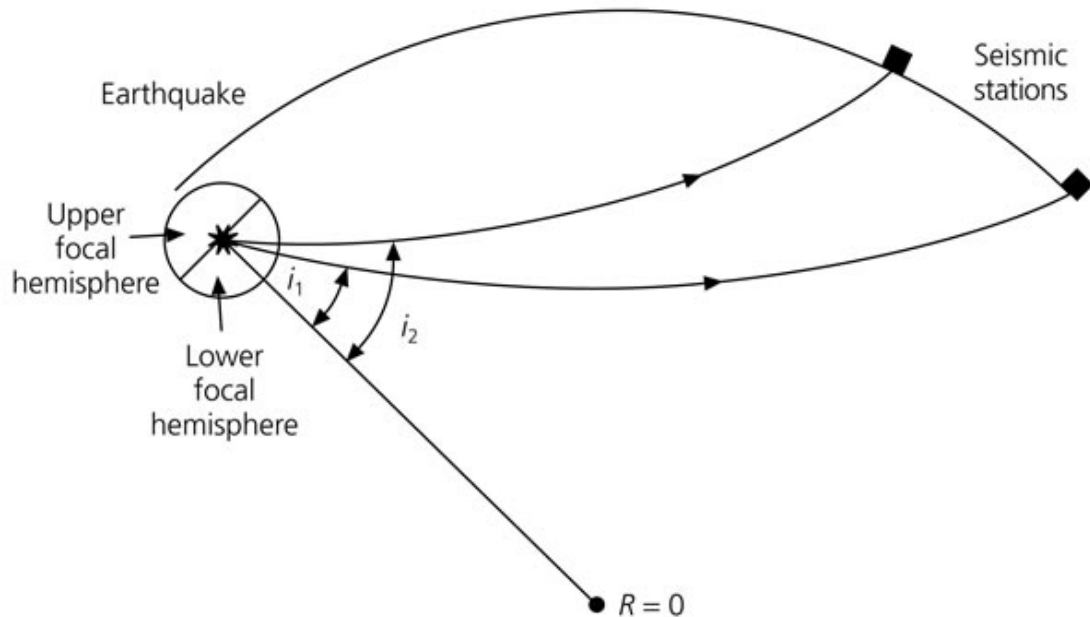
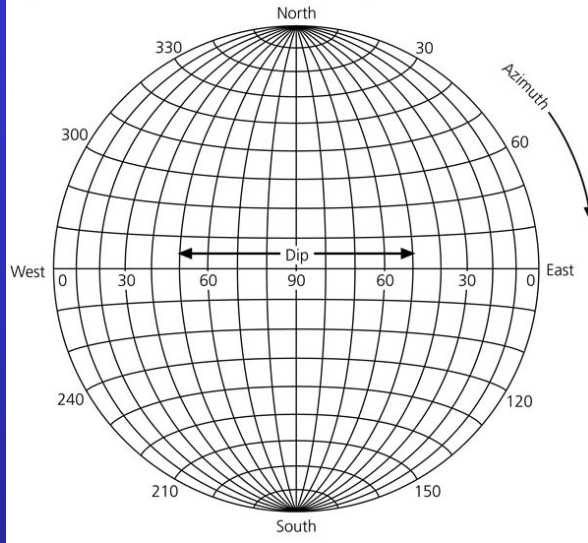


Figure 4.2-8: Cartoon of the focal sphere.



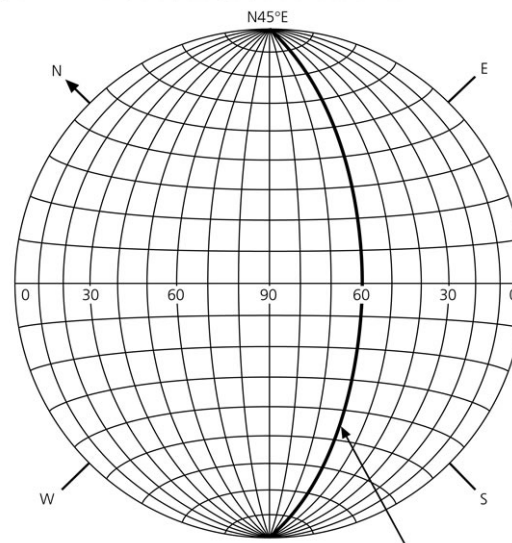
震源メカニズムの書き方

Figure 4.2-9: Stereonet used to display a hemisphere on a flat surface.

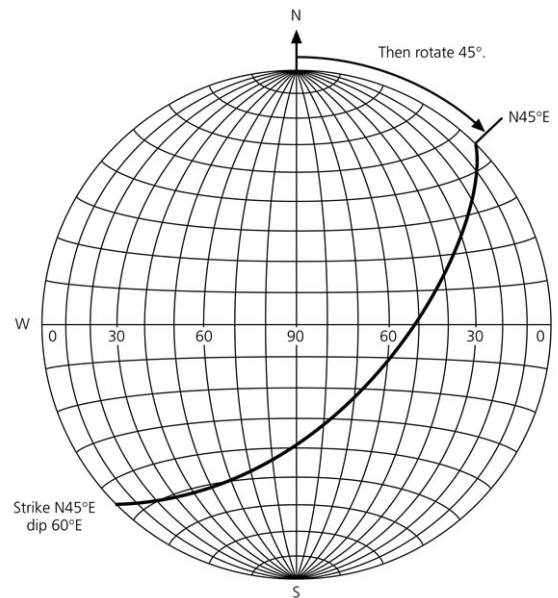


azimuth (strike のこと)
と dip の軸

Figure 4.2-11: Example of plotting a plane on a stereonet.



First draw a plane with a dip of 60° and a strike of 0°.



strike 0
dip 60 の場合

strike 45
dip 60 の場合
は上図を
strike の角度
回転させる

この作業を2つの節面
に対して行い、押し引きを考慮して配色する

CMTインバージョン

CMT = Centroid Moment Tensor

大きめの地震を点状の力源で表現するため、破壊開始点（震源）ではなく震源断層の中心付近に置かれたモーメントテンソルのこと。

インバージョン = 逆問題

自然現象としては、地震の源にCMTがあり、そこから地震波が出て観測点に達し、その波形が地震計で記録される。したがって、与えられたCMTから地震動を計算することは順方向(forward)の問題であるのに対して、記録された地震動から源に遡りCMTを求めることは逆問題である。

観測方程式

Forward問題の理論から、CMTを未知数として理論波形を表現することができる。この理論波形と観測波形の差が極小となるという方程式（観測方程式）を立て、それを解けばCMTをインバージョンでできることになる。波形の差は自乗和で表現され、観測方程式は最小自乗法で解かれることが多い。

CMTインバージョンの観測方程式

u : 観測点における変位

G : 観測点と震源間のグリーン関数

m : 震源におけるモーメントテンソル

$$u_i(t) = \sum_{j=1}^{5 \text{ or } 6} G_{ij}(t) m_j$$

$$\mathbf{u} = \mathbf{G}\mathbf{m}$$

$$\begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ u_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_{11} & G_{12} & G_{13} & G_{14} & G_{15} & G_{16} \\ G_{21} & G_{22} & G_{23} & G_{24} & G_{25} & G_{26} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G_{n1} & G_{n2} & G_{n3} & G_{n4} & G_{n5} & G_{n6} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \\ m_5 \\ m_6 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{m} = (\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T \mathbf{u}$$