

Special Lecture for SciUS Schools

Earthquakes and Faults

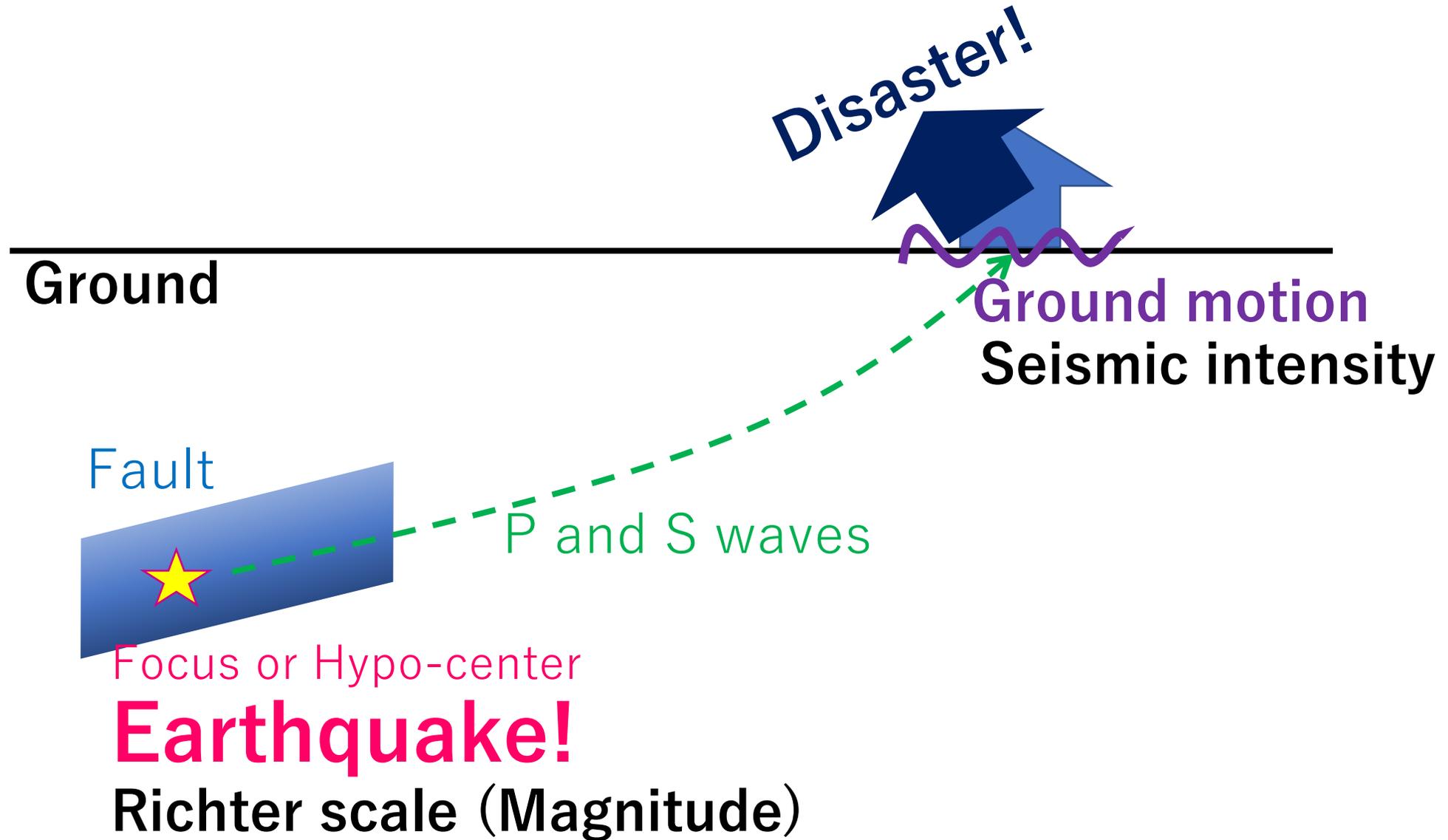
Lecture by Yoshio Okamoto

Aug-Sep. 2023

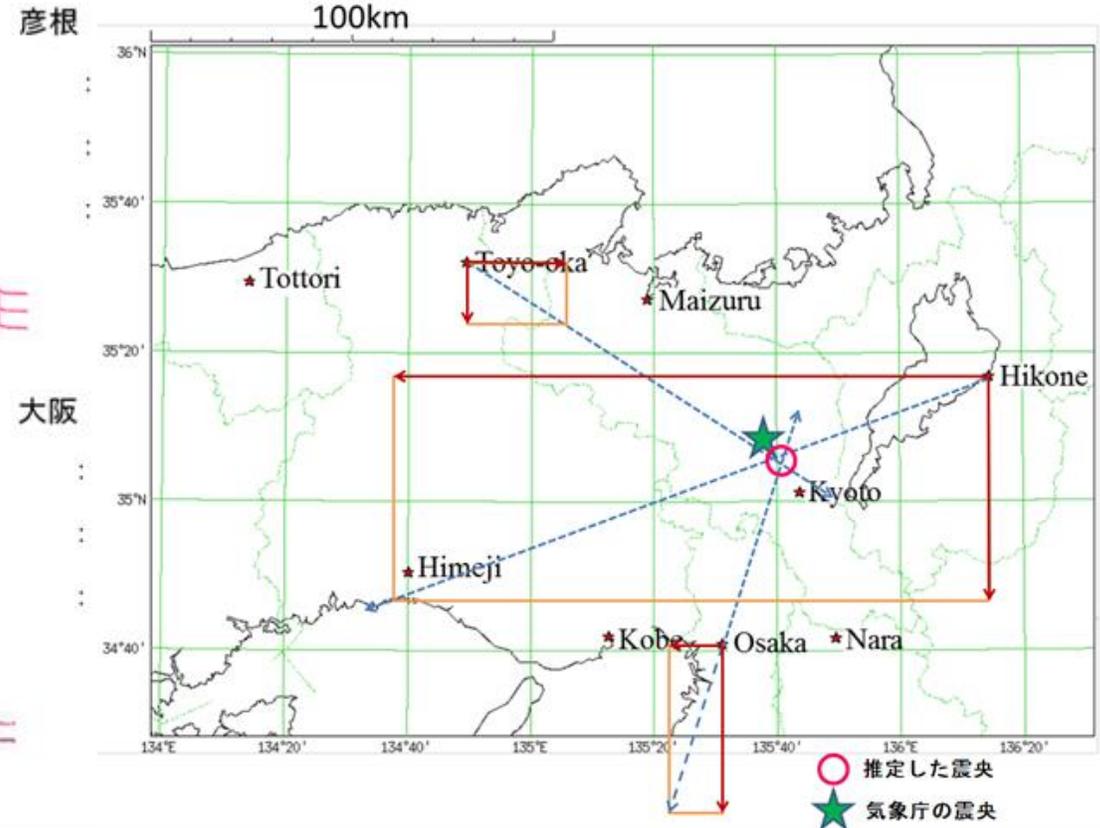
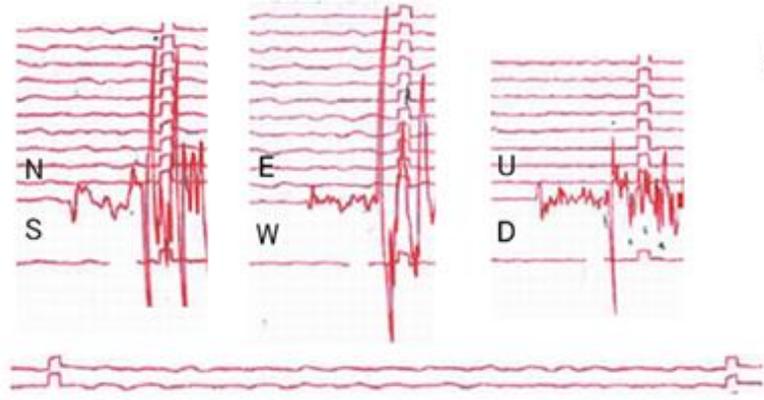
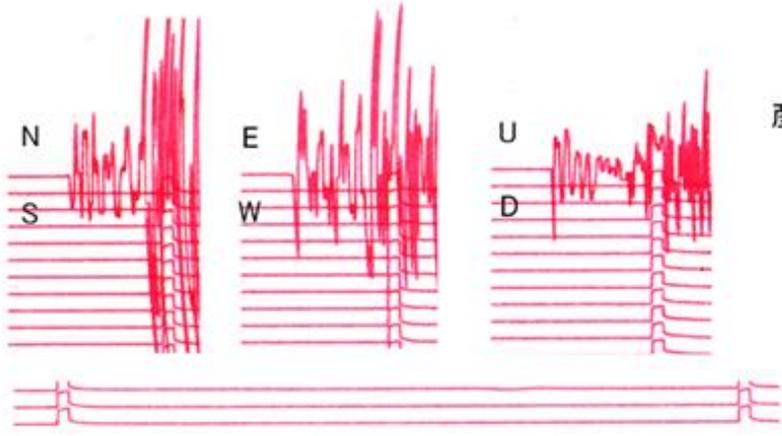
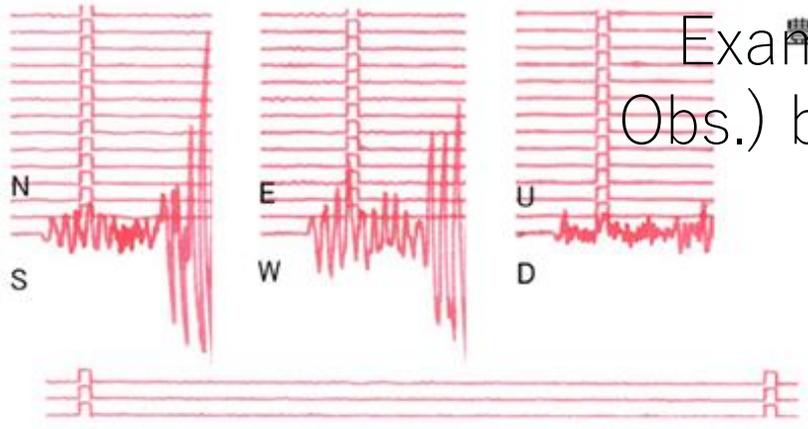
yossi.okamoto@gmail.com

http://www.yossi-okamoto.net/index_e.html

Earthquake: cause and result



Example of P-wave arrival (Kobe Kaiyo Obs.) by Sayoko Furuta (Osaka Kanku Obs)



10章 地震発生のメカニズム

10.1 P波初動によるメカニズム解

A. P波の押し引き分布

P波初動の向きが押し、引きのいずれかであることはすでに述べた。上下動成分でみれば押しは上向き(up), 引きは下向き(down)である。押しを C(compression), 引きを D(dilatation) で表わすことが多いが、以前には A(anaseism), K(kataseism) という記号も用いられた。押し、引きの地域が節線 (nodal line) という直交する2本の直線によって四つの象限に分かれることは、静岡県中部地震 (1917) (図 10.1) について、三次地震 (1919), 島原地震 (1922) などでも指摘されたが、関東地震 (1923) の初動は特異な分布を示した。

地震波の初動分布は震源においてどのような力が働いたか、あるいはどのような運動が起こったかを反映しているので、地震のメカニズム

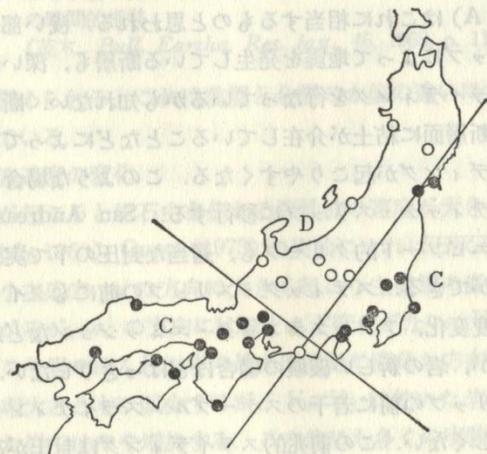


図 10.1 静岡県中部地震 (1917) の初動分布 (志田, 1917)

(発震機構) を研究するうえで、最も重要な資料となる。地表での節線が四象限型でなくとも、震源においてP波初動が押しの空間と引きの空間が二つの直交する平面 (節面という) で境されている場合を象限型 (quadrant type) という。丹後地震 (1927), 北伊豆地震 (1930) は初動分布が四象限型でしかも地震断層と節線がほとんど一致し、押し引きの向きも断層の運動の方向と矛盾しなかった。

その後、いくつかの深発地震の節線が長円あるいは双曲線になるという報告が棚橋 (1931) などからなされ、円錐型 (cone type) の発震機構が唱えられるようになった。地震の原因として地下におけるマグマの貫入を考えていた石本 (1927, 1932) は円錐型を支持した。しかし、本多 (1931~34) は象限型に基づいて研究を進め、現在では、深発地震を含めてほとんどの地震は象限型の II 型 (§ 10.2) という発震機構をもつことが定説となっている。初動分布の解釈について長年にわたり議論が続いたのは、日本のように密な観測網をもつ地域でも、多くの地震が象限型、円錐型のいずれを仮定しても節線が引けるからである (図 10.2)。地殻内の地震では次節に述べるように、地殻構造の影響で節線は複雑な形となる。深発地震では節線の形は単純になるが、日本が狭く細長いため任意性が大きい。全世界の観測所のデータを用いても観測所の分布が偏っているため必ずしも単一の解が得られない。節線の位置、形を決め

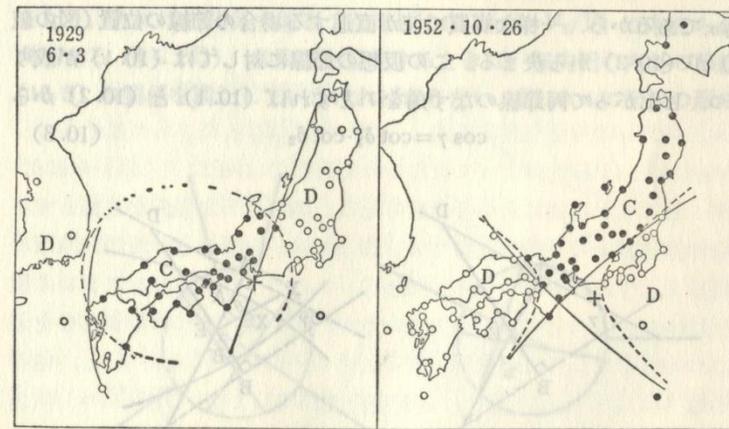
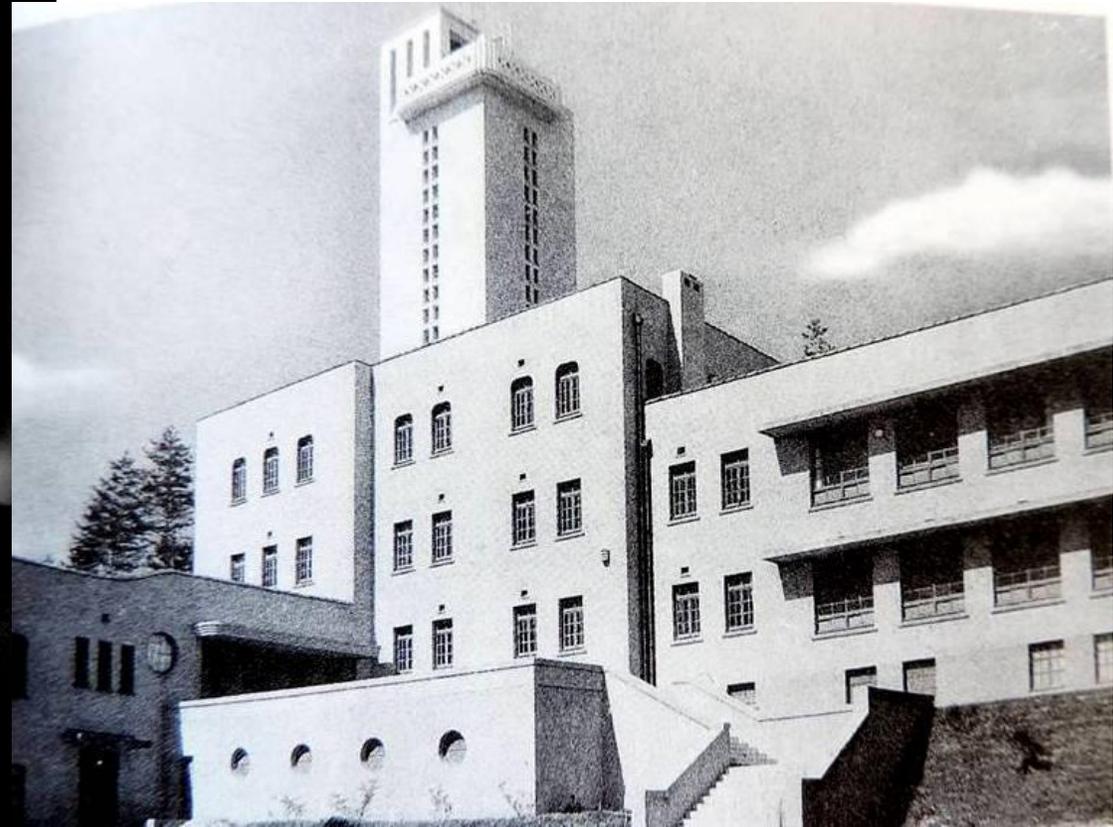
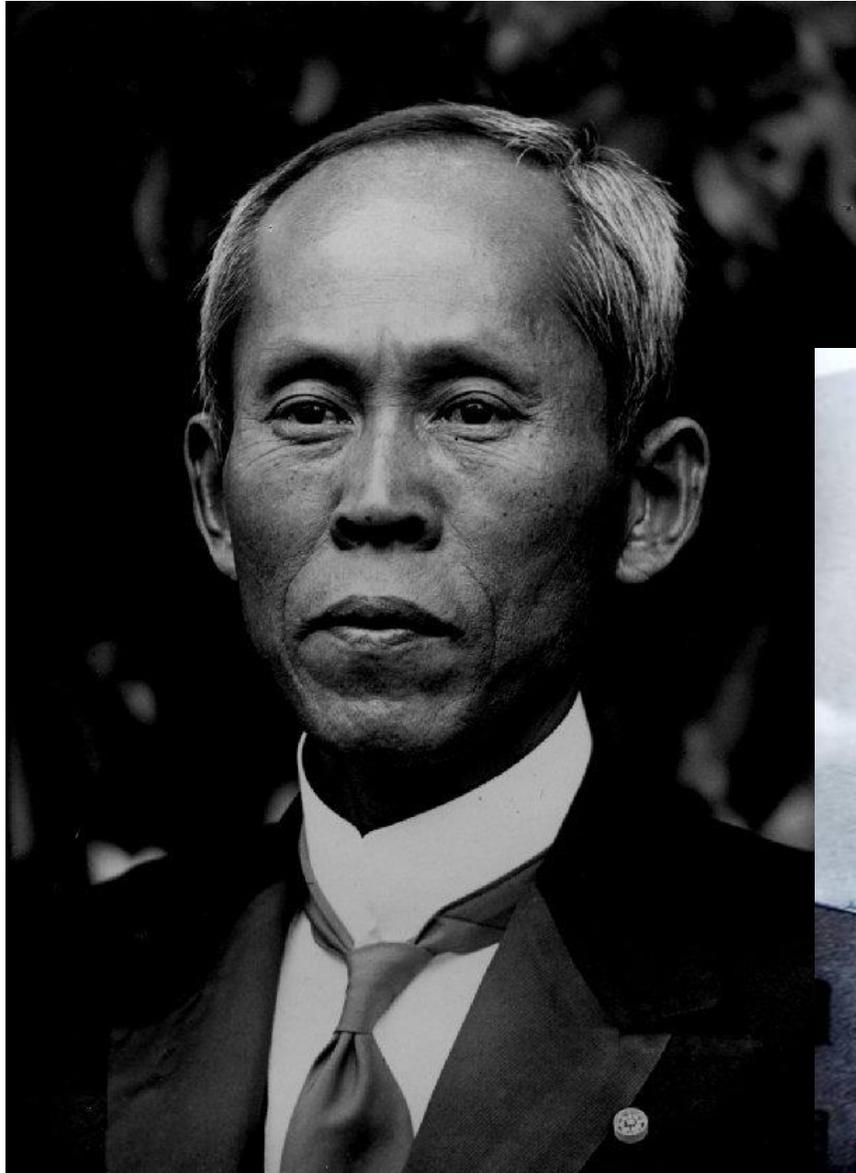
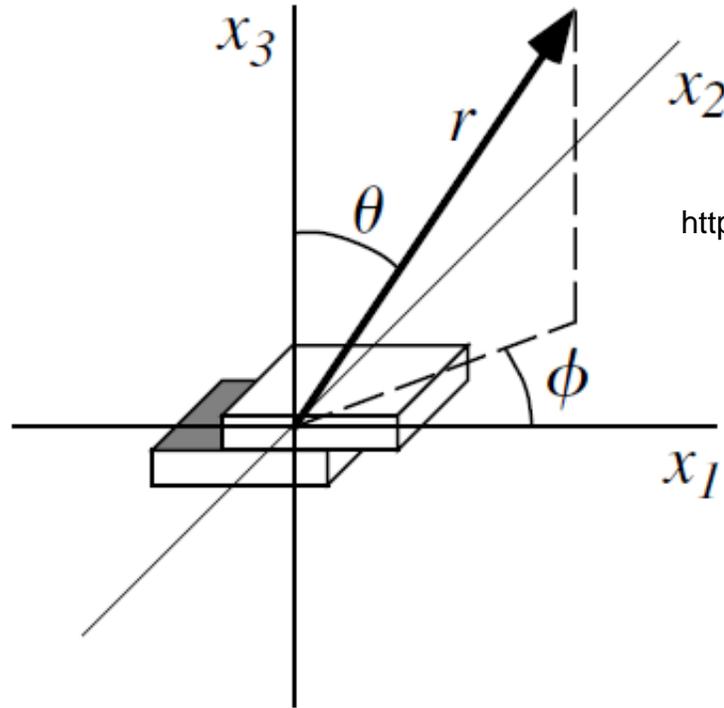


図 10.2 深発地震の初動分布の例, 実線: 象限型の節線, 破線: 円錐型の節線

志田順 (Toshi Shida, Kyoto Univ.)



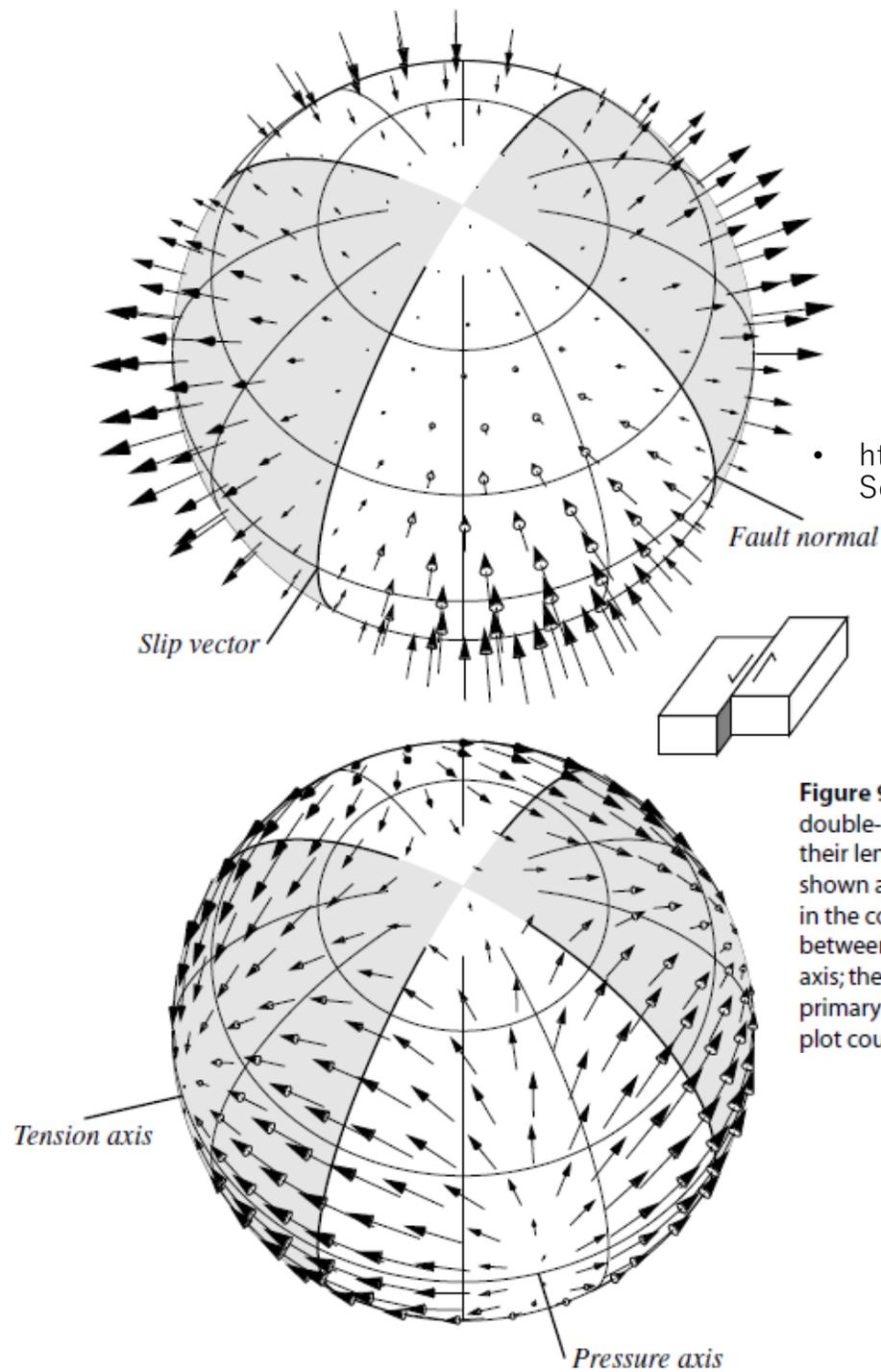


<http://www.ndma.gov.pk/sep/books/Introduction-to-Seismology.pdf>

Figure 9.7 Spherical coordinates for a vector relative to a fault in the (x_1, x_2) plane with slip in the x_1 direction.

x_2) plane with motion in the x_1 direction (Fig. 9.7). We then have $M_{13} = M_{31} = M_0$ and

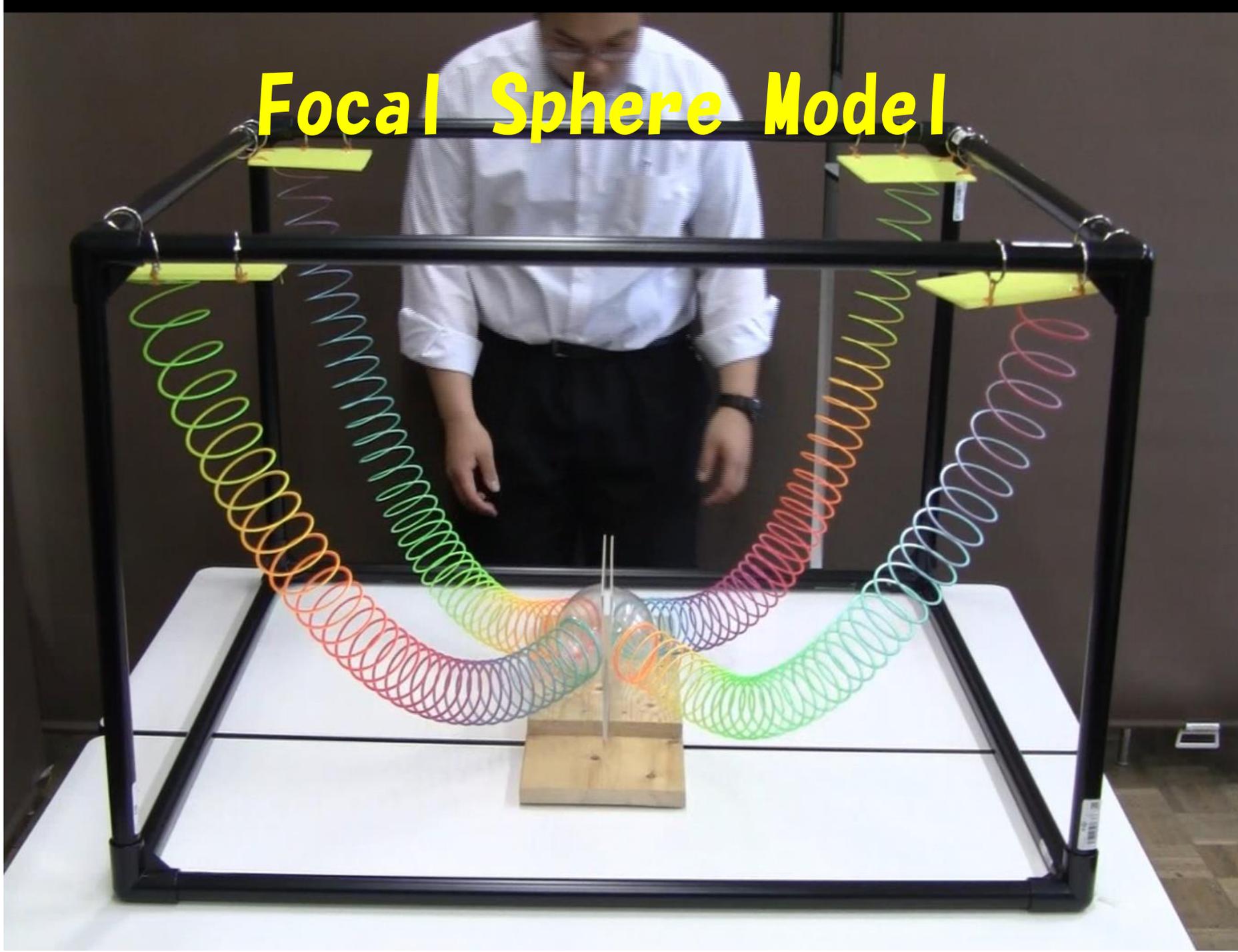
$$u_i^P(\mathbf{x}, t) = \frac{1}{2\pi\rho\alpha^3} \frac{x_i x_1 x_3}{r^3} \frac{1}{r} \dot{M}_0 \left(t - \frac{r}{\alpha} \right). \quad (9.22)$$



- <http://www.ndma.gov.pk/sep/books/Introduction-to-Seismology.pdf>

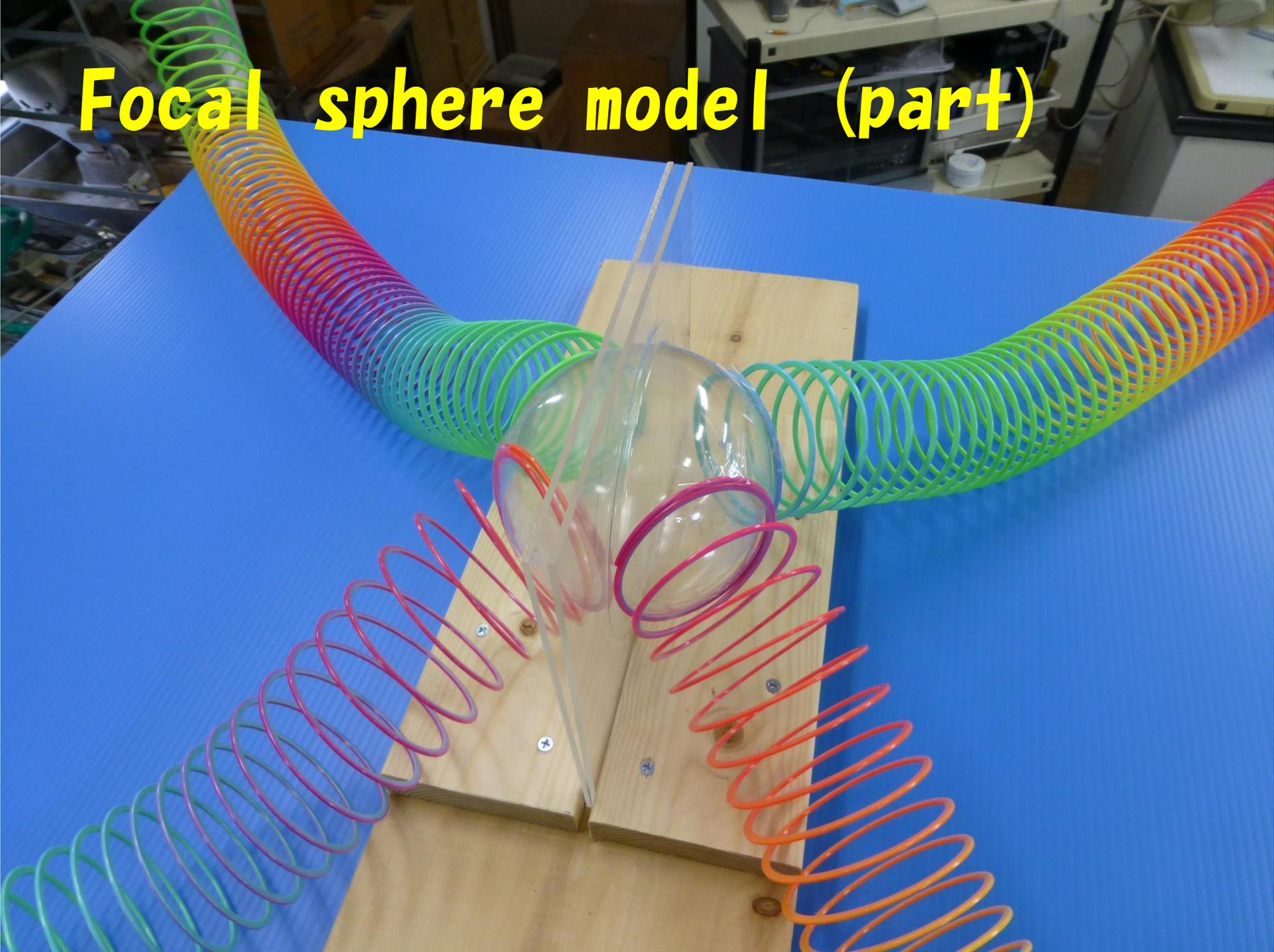
Figure 9.8 The far-field radiation pattern for *P* waves (top) and *S* waves (bottom) for a double-couple source. The orientation of the small arrows shows the direction of first motion; their length is proportional to the wave amplitude. The primary and auxiliary fault planes are shown as heavy lines; the compressional quadrants are shaded. *P*-wave first motions are outward in the compressional quadrant and inward in the dilatational quadrant with nodal lines in between. *S*-wave first motions are generally away from the pressure axis and toward the tension axis; there are six nodal points and no nodal lines in *S*. Because of the ambiguity between the primary and auxiliary fault planes, the positions of the slip and fault normal vectors in the top plot could be reversed.

Focal Sphere Model



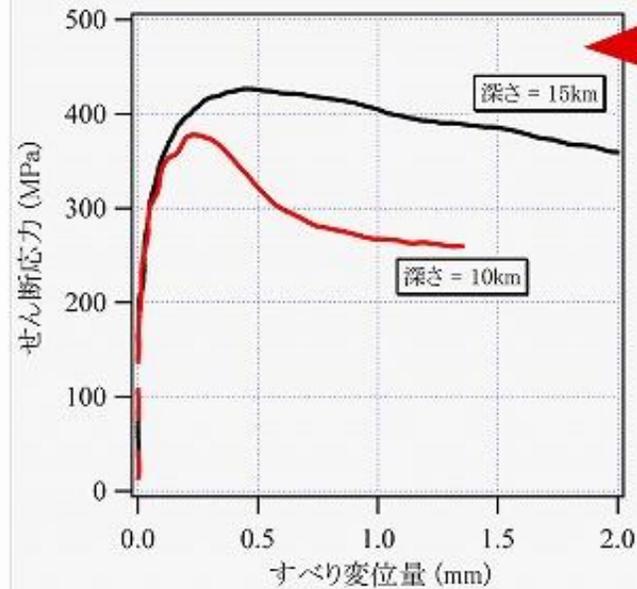
Focal sphere model (part)

- 気

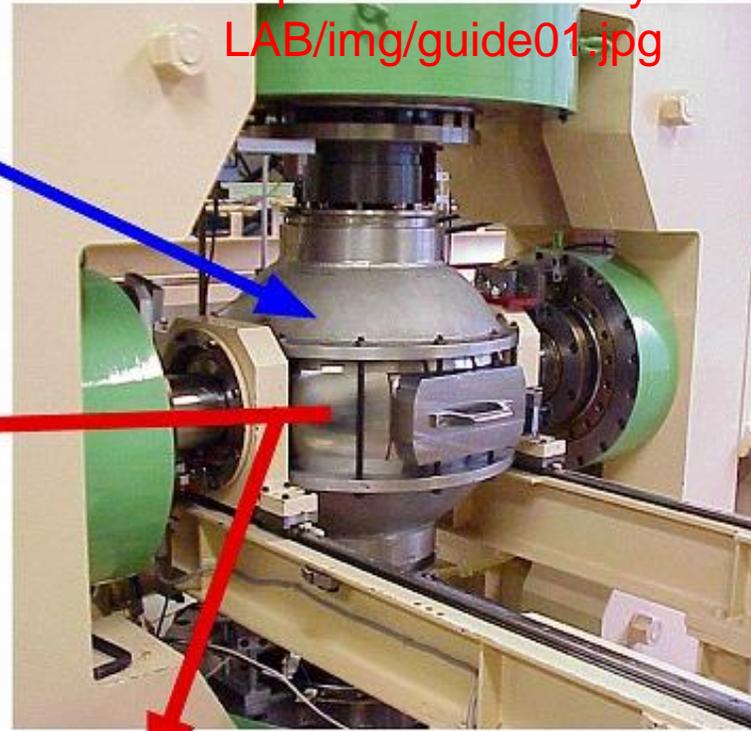


深さ16km~20km程度の環境条件を再現！

- ・最高温度：500℃
- ・最大圧力：500MPa
- ・最大間隙水圧：400MPa
- ・歪み速度： $10^{-3}/s \sim 10^{-8}/s$



深さ10kmと15kmに相当する環境条件下でえられた構成曲線（せん断応力とすべり変位量の関係）。深さ15kmに相当する条件下では、試料は緩やかに壊れる。これは、主に温度の効果である。化学反応が活性化する熱水条件下での破壊様式は、従来のような常温での実験からの外挿では推測することはできない。

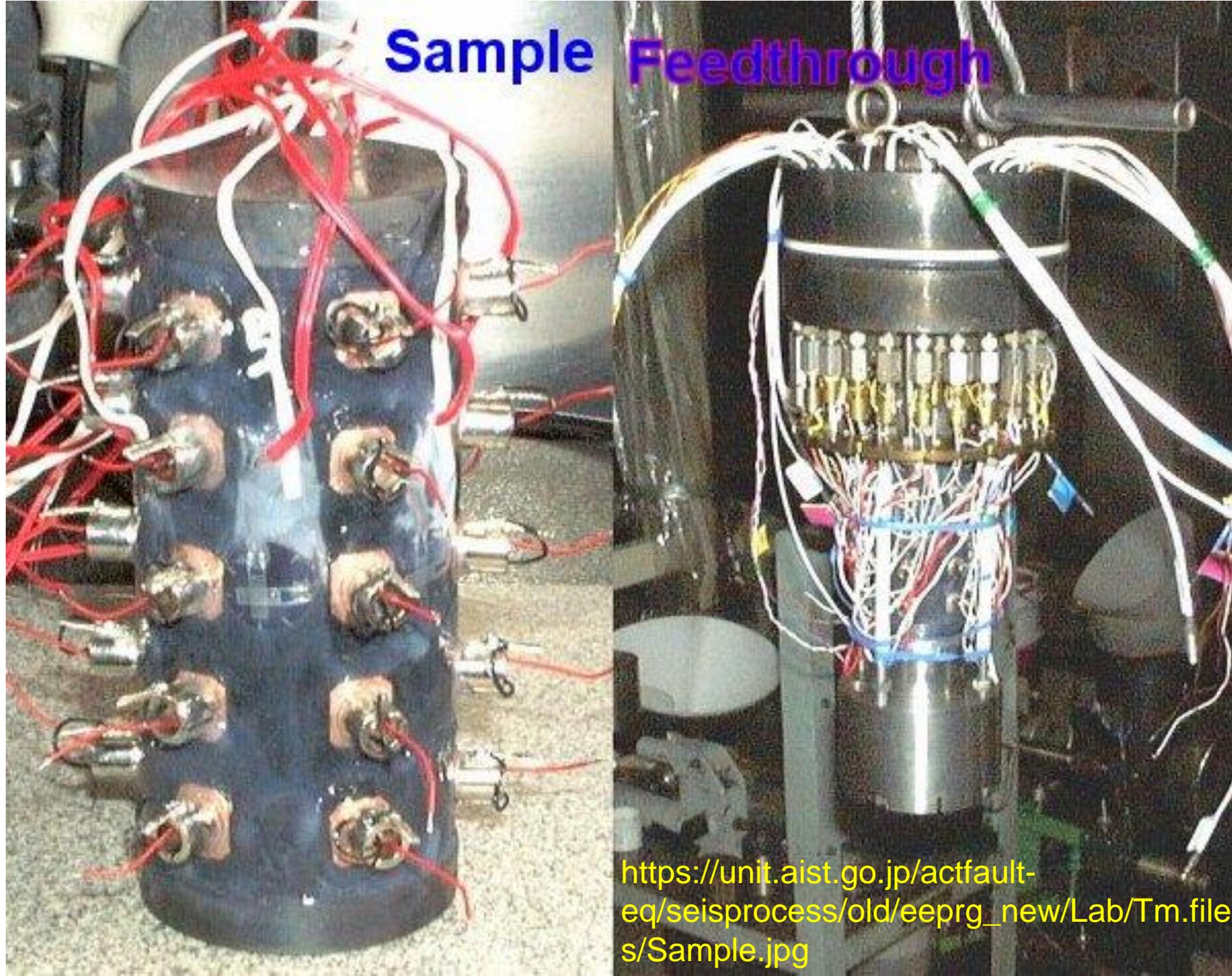


破壊面



破壊実験後の岩石試料。せん断破断面に沿って変形が進んでいる。試料として長さ40mm、直径16mmの筑波花崗岩を用いた。

Sample Feedthrough



https://unit.aist.go.jp/actfault-eq/seisprocess/old/eeprg_new/Lab/Tm.files/Sample.jpg



<http://dptech.dpri.kyoto-u.ac.jp/tusin/98/no82/matu0.jpg>

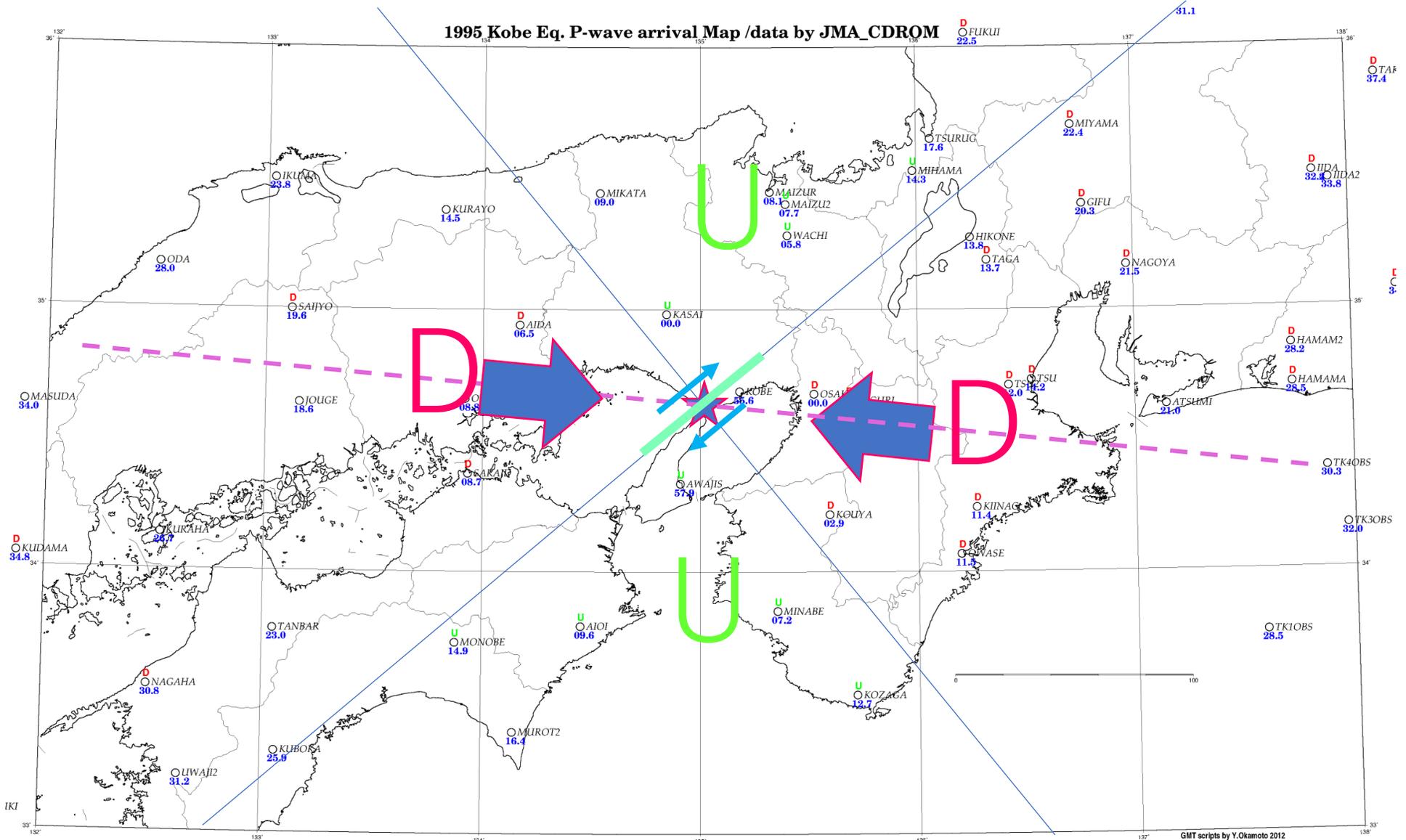


Copyright: 2012, Structural Geology Lab, Tohoku University



http://www2.kobe-c.ed.jp/shizen/strata/dnso_org/0108302.jpg

1995 Kobe Eq. P-wave arrival Map /data by JMA_CDROM



Earthquake = Fault dislocation!

- Active fault
- Repeated earthquakes!
- Mountain building!
- Plate Tectonics!

Surface fault after 1995 Kobe EQ



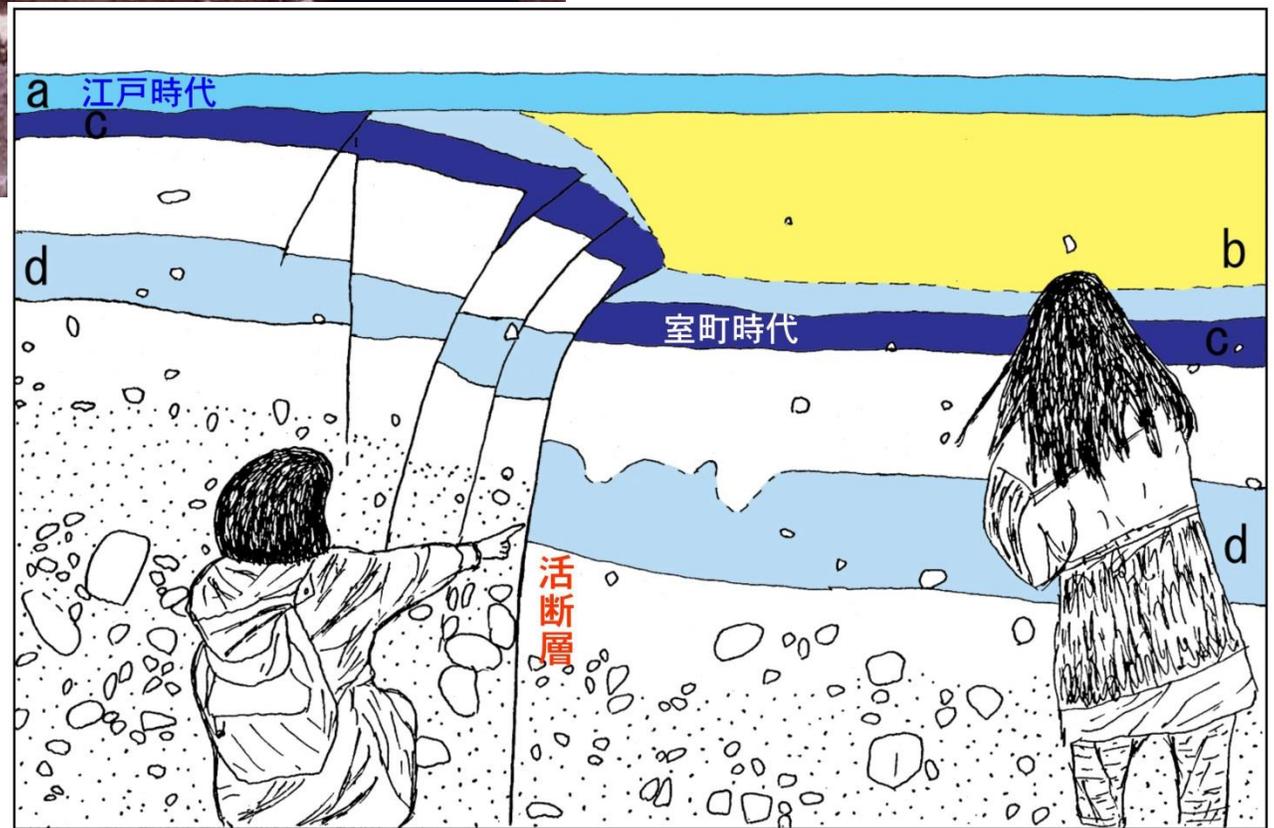
Nojima Fault, now built a museum

820'97

Surface fault after 1995 Kobe EQ

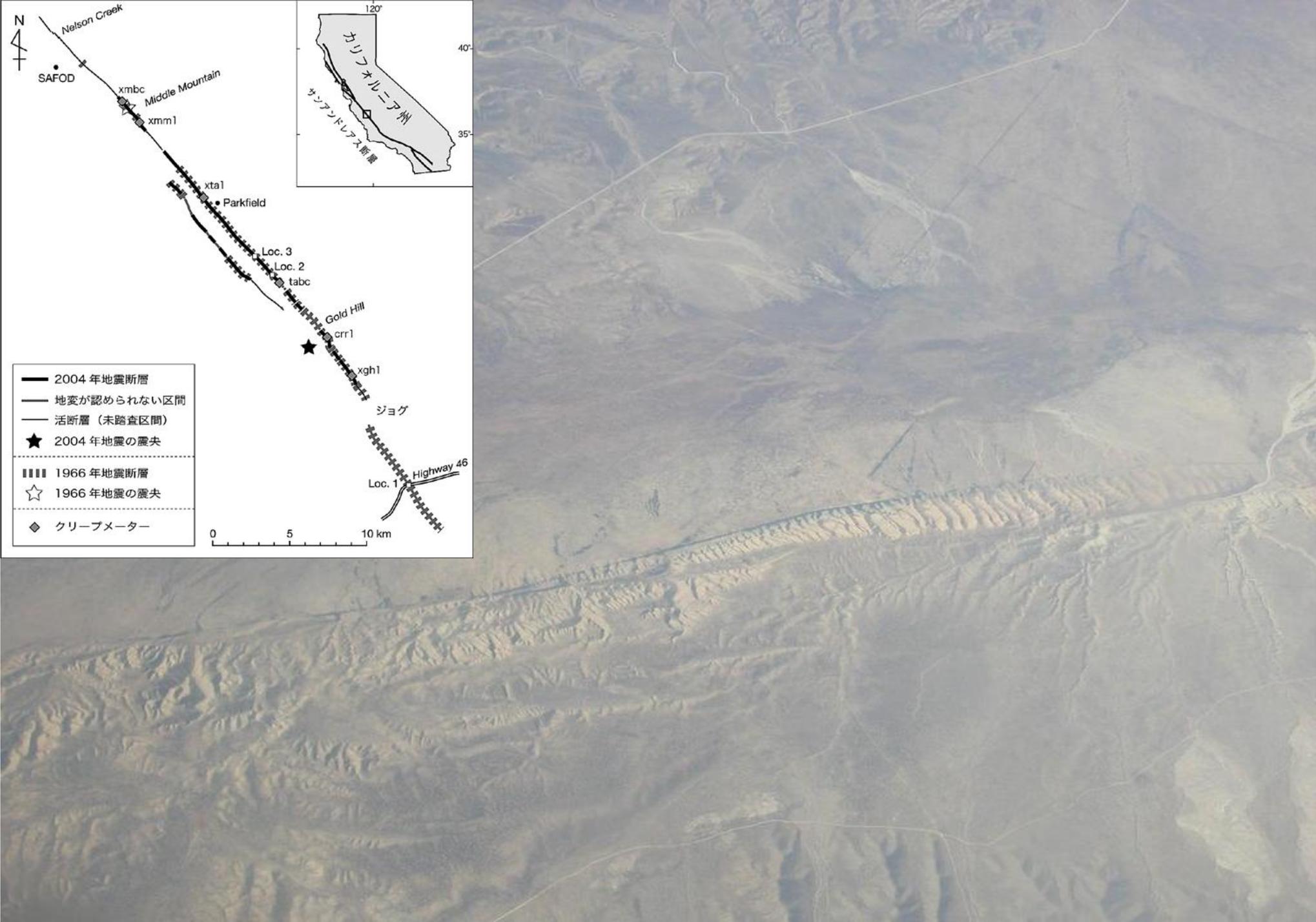
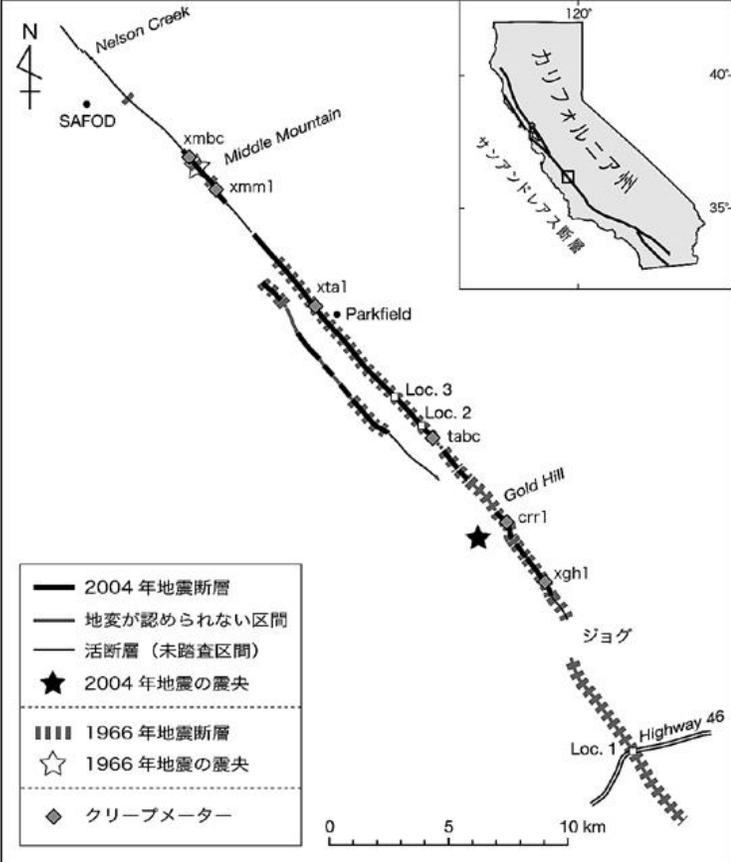


活断層の活動履歴（トレンチ調査）









ココアと小麦粉の断層実験

2008年8月30日土曜日

名古屋大学のサイト



中京テレビの地震防災番組に協力をするということで、ココアと小麦粉を用いた断層形成実験を行いました。装置は東大地震研からお借りし、名大の自分の研究室で撮影しました。小麦粉とココアを交互に積み重ねていくのは同じですが、最後にジオラマ風に家や樹木の模型を置いたり、青海苔をまいて芝生風にしたたり、リアリティーを増したものを作成しました。横から押したのは中京テレビ

2005年8月4日の東京大学地震研究所一般公開を初めてのぞきました。

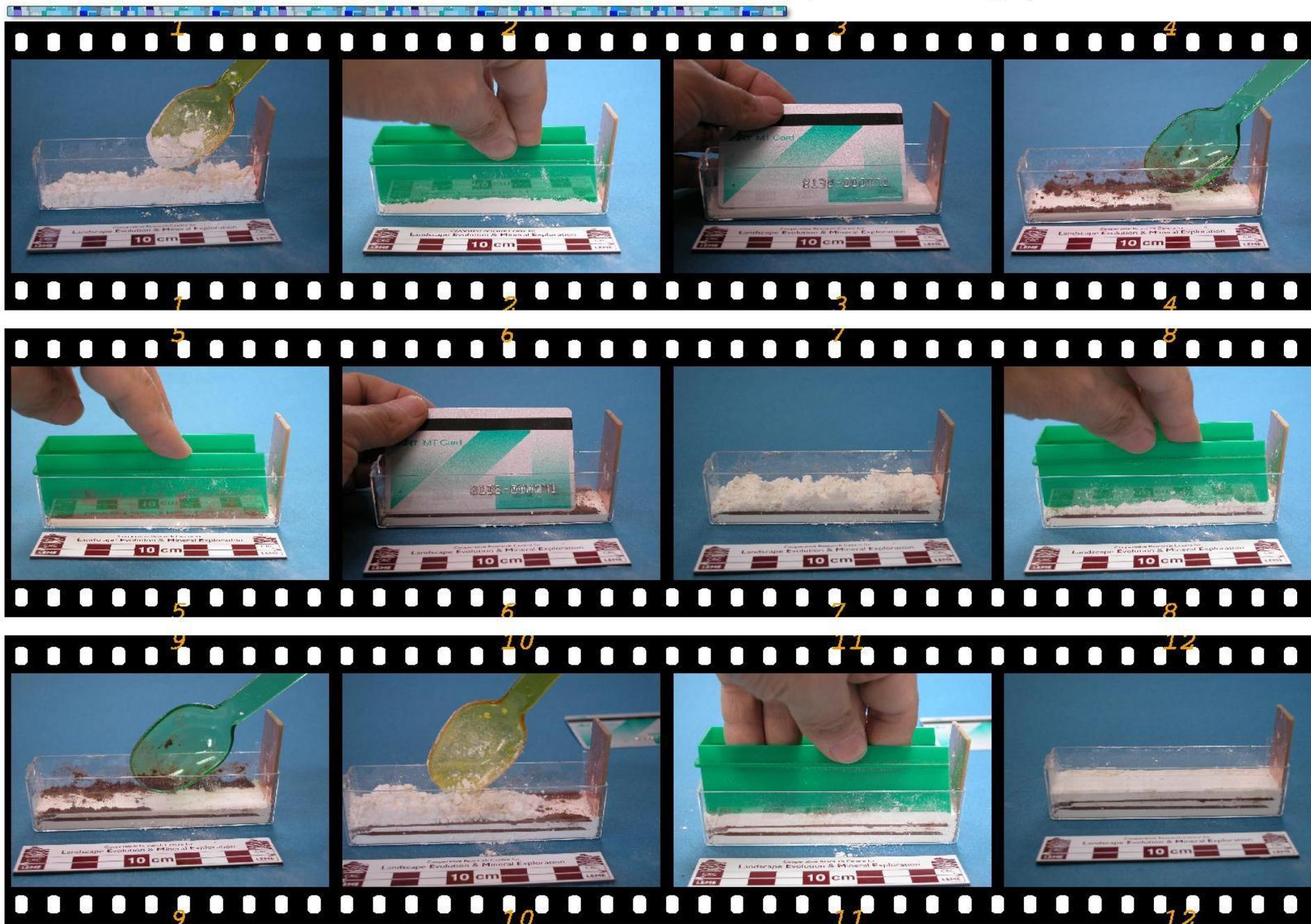
学生実験で小麦粉の断層実験を大きなアクリル容器で行なっていたので、写真を撮らせてもらいました。ココアをふんだんに使ったようです。さすがに地震研は太っ腹？ですね。アクリルケースはどこかのTV局が実験に使ったものとか。これくらい大きいと本当に迫力があります。



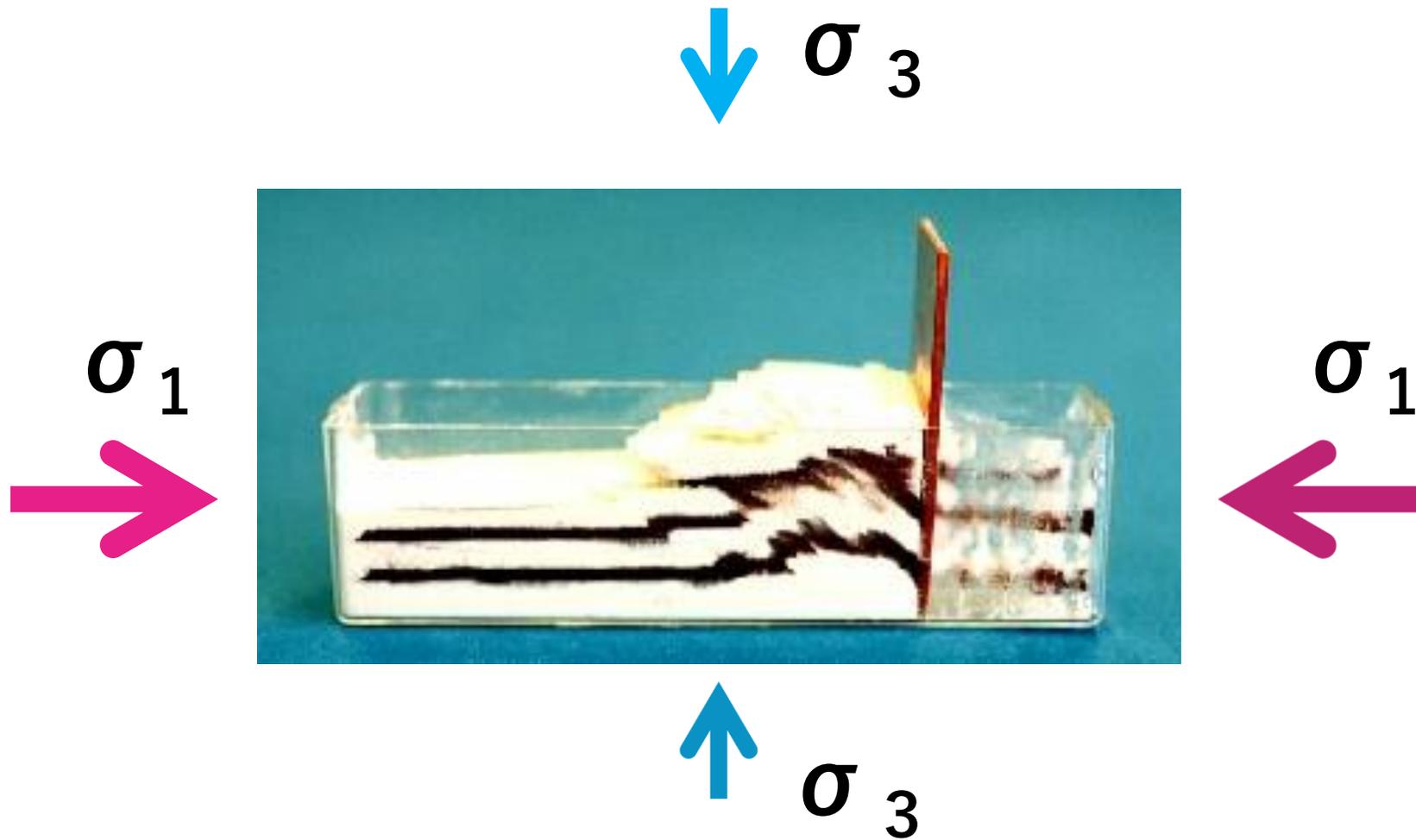
こういう風にアクリルの丸棒で押していくそうです。地層を作るのに2時間かかったとか言ってたかな？

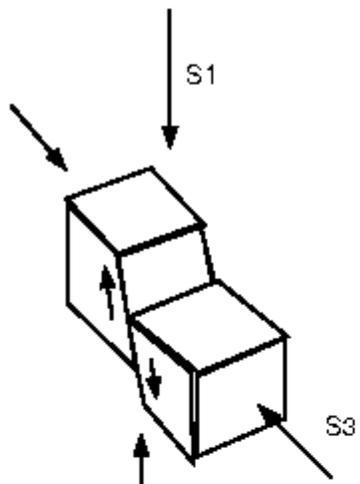
見事な逆断層が見えています。これくらい厚くなるとかなり複雑な構造になるみたいですね。また自重でかぶさるのがスライドケースの小さな実験と異なるところです。

3.Procedure: The slide numbers show a layer making process.

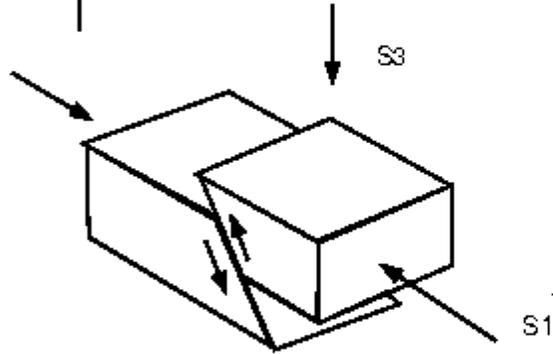


Flour fault experiment!

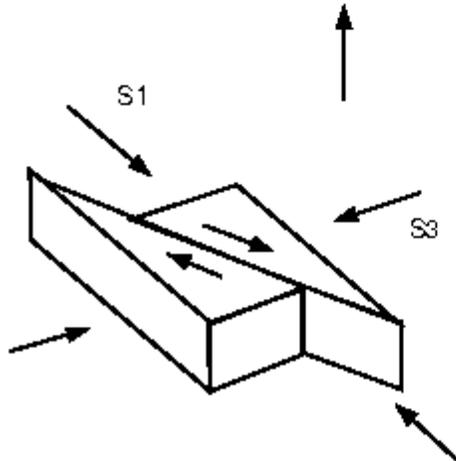




Normal faults occur when the maximum compressive stress is vertical.

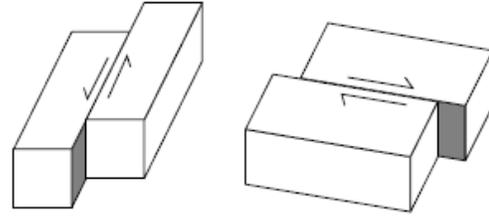
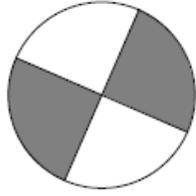


Reverse or thrust faults occur when the minimum compressive stress is vertical.

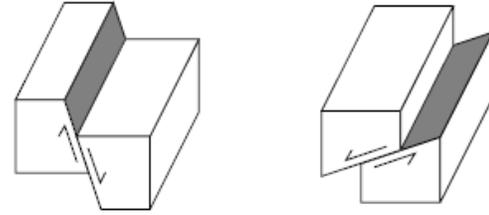
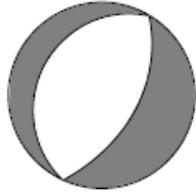


Strike-slip faults occur when both S1 and S3 are horizontal.

Strike Slip

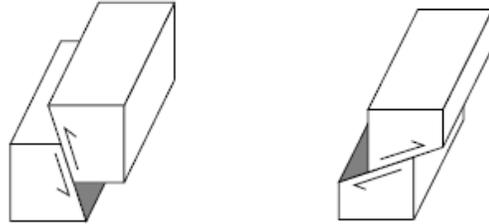
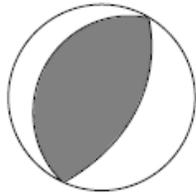


Normal



<http://www.ndma.gov.pk/sep/books/Introduction-to-Seismology.pdf>

Reverse



Oblique

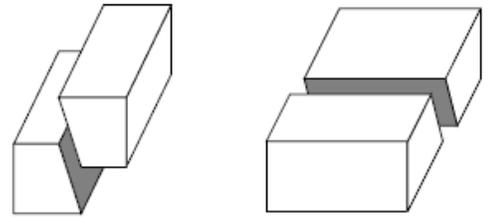
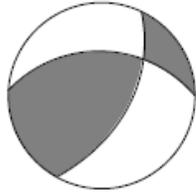
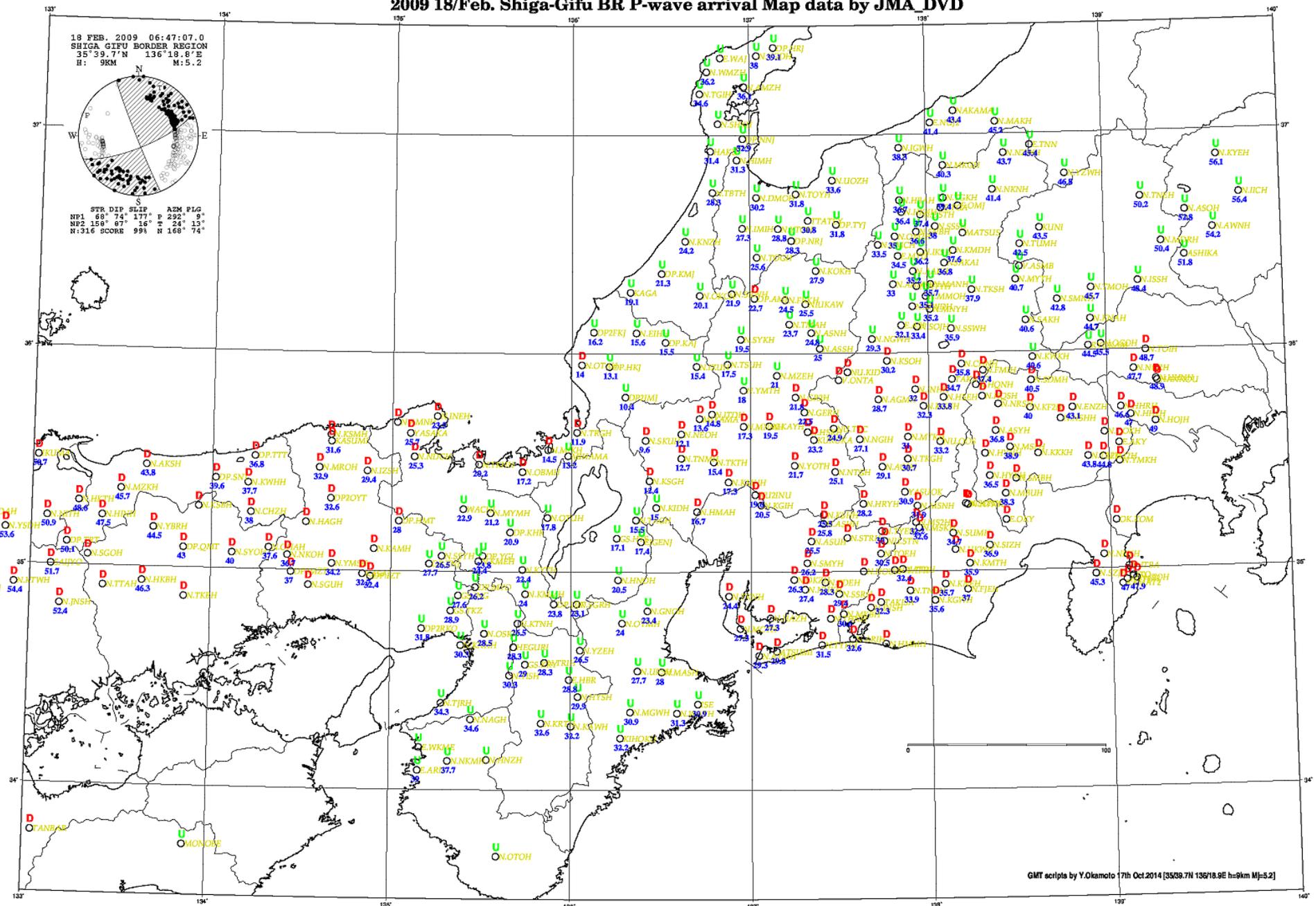


Figure 9.9 Examples of focal spheres and their corresponding fault geometries. The lower half of the focal sphere is plotted to the left, with the compressional quadrants shaded. The block diagrams on the right show the two fault geometries (the primary and auxiliary fault planes) that could have produced the observed radiation pattern.

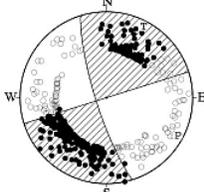
2009 18/Feb. Shiga-Gifu BR P-wave arrival Map data by JMA DVD



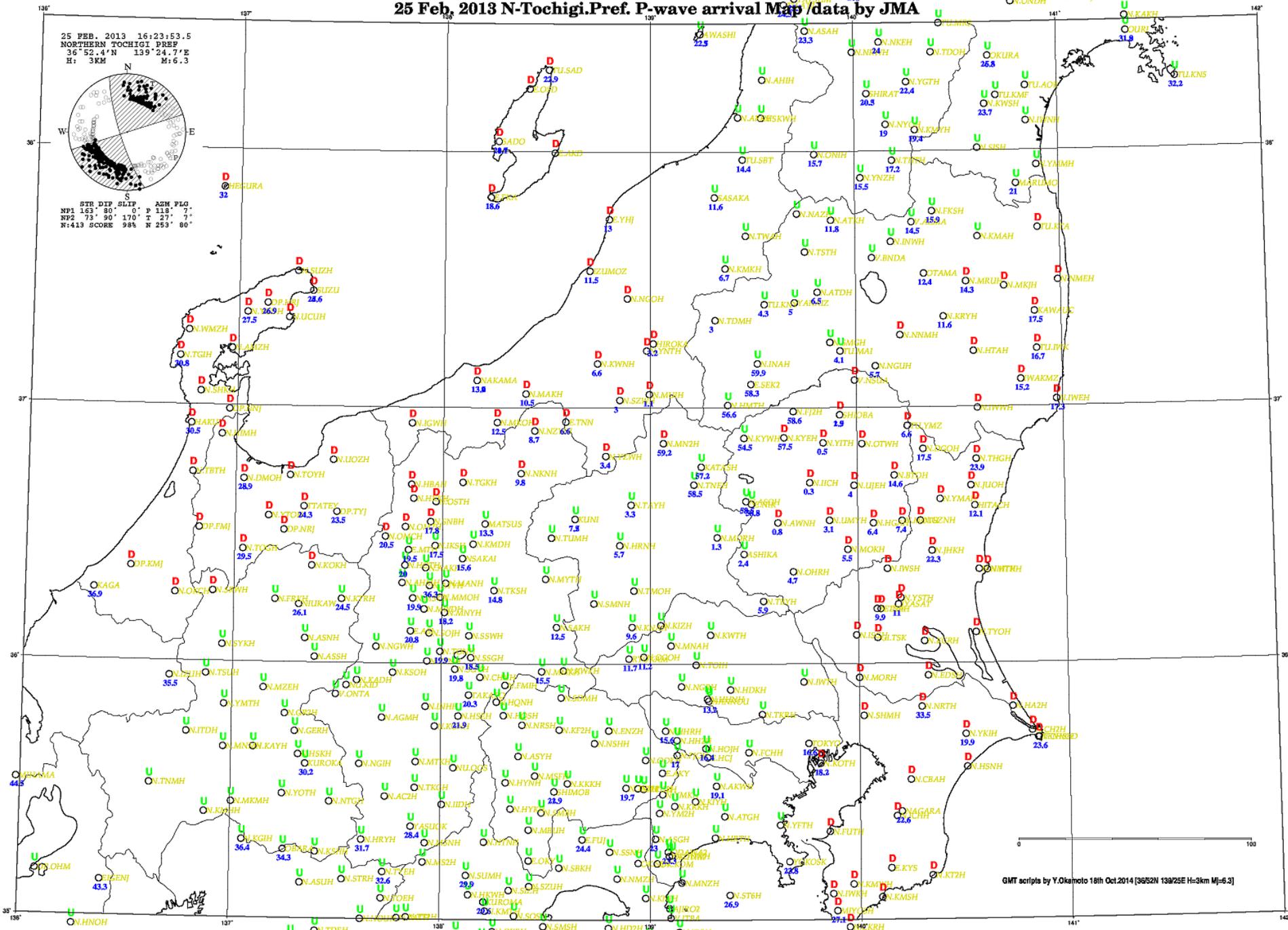
GMT scripts by Y.Okamoto 7th Oct.2014 [3509.7N 13618.8E h=9km M]=5.2]

25 Feb. 2013 N-Tochigi.Pref. P-wave arrival Map /data by JMA

25 FEB. 2013 16:23:53.5
NORTHERN TOCHIGI PREF
36° 52.4' N 139° 24.7' E
H: 3KM M: 6.3

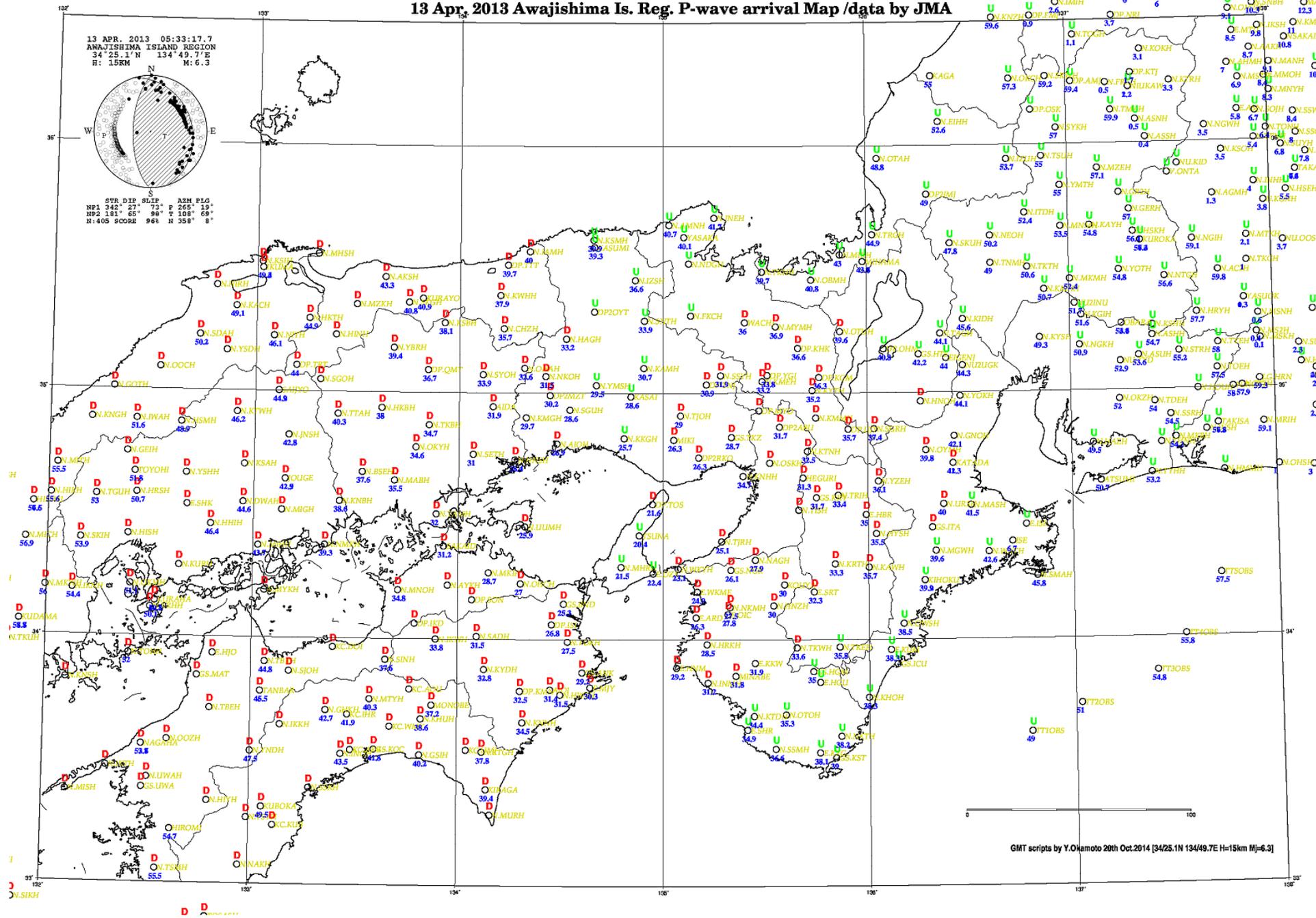


STR DIP SLIP AGM FLG
N#1 163° 80° 0° P 118° 7°
N#2 73° 90° 170° T 27° 7°
N:413 SCORE 98% N 253° 80°

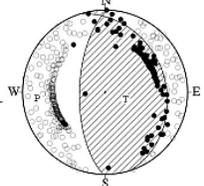


GMT scrips by Y.Oakamoto 18th Oct.2014 [3652N 139/22E H=3km M=6.3]

13 Apr. 2013 Awajishima Is. Reg. P-wave arrival Map /data by JMA



13 APR. 2013 05:33:17.7
AWAJISHIMA ISLAND REGION
34°25.1'N 134°49.7'E
H: 15KM M: 6.3



STR. DIP SLIP AZM PIG
NP1 342° 27' 73" P 265° 19'
NP2 131° 55' 96" T 198° 69'
N:405 SCORE 96% N 358° 8'

GMT scrips by Y.Okamoto 20th Oct.2014 [34/25.1N 134/49.7E H=15km M]=6.3]