

阿武山観測所と満点計画

・地震学の歴史と阿武山 (金 凡性 明治・大正の日本の地震学)

明治初期に世界的レベルにあった唯一の分野

志田 順 (とし) 阿武山初代所長

・満点計画

これまでの地震観測の問題点

多点観測の利点 一応力場(メカニズム解)と速度構造の推定一

満点観測の実際

設置デモ

地震学の始まり

外国人お雇い教師の時代

・1880年横浜地震をきっかけに、外国人お雇い教師によって日本地震学会が設立された

・ユーストング、グレイ、ミルンにより地震計が開発された

日本政府の役割

・気象台 1882年頃より、上記の地震計

・1886年 東京帝国大学に地震学教室が設置された(建築学科の講義)

・1887年 文部省「地震動と家屋建築法取調委員会」を設置

大森地震学

・1891年 濃尾地震発生 震災予防調査会が設置

地震観測の強化、「日本地震資料」の編纂

地震学は日本で始まった。最初に担当したのは外国人

現在のものにつながる実用的な地震計も日本で初めて開発された

政府主導で日本人の寄与が大きくなり始めた

地震学の始まり II

大森地震学 (この時代の日本で世界的権威)

・1898年 大森式地震計 長周期(10秒) 高倍率(20倍) 共振器も装備

世界中の地震を記録、分析することができた

・震源距離の算出式 余震の大森公式

← 後に、統計的なもの、物理が無いと批判される

データの蓄積、優れた地震計の開発で世界トップに



大森房吉 (1868-1923)

国立科学博物館地震資料室HPより

物理・化学、気象学のまねをして失敗

地震学の始まり III

・志田 順 (1876 - 1936)

大森・今村らの地震学とは一線を画し、一から数理的理論を展開

・地球潮汐を調べ、地球及び地殻の剛性を測定

・地震波初動の「押し引き」分布の発見 1907年

・深発地震の発見 1926年 (別府地球物理研究所開所式)

・阿武山古墳の出土品でX線透視試験 (文化財への最初の応用) 1934年

観測データに立脚して、地震や地球の本性を解明

地震の震源過程の研究の始まり

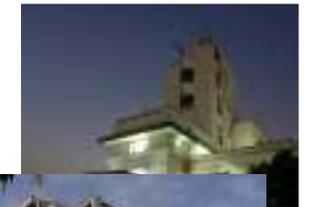
プレートテクトニクスのはしり



地震学の始まり Ⅲ

・志田 順 「地球及地殻の剛性並に地震動に関する研究(回顧)」
 大森・今村らの地震学とは一線を画し、一貫して地球物理学的見地から数理的理論を展開した志田は、地震波初動の「押し引き」分布の発見のほか、当時の日本の地震学の世界的貢献のひとつである深発地震の発見にも一役買いました。また、月と太陽の引力による地球の変形(地球潮汐)を調べ、地球及び地殻の剛性を算出した研究でも世界的に評価されています。1929年には積年の功績により日本学士院恩賜賞を受賞。受賞に際し、一連の研究をふりかえり、執筆されたのが本論文で、『東洋学芸雑誌』に掲載されました。(国立科学博物館HPより)

1934年に京都帝国大学の志田順教授(物理学)が大阪府高槻市の阿武山古墳の出土品でX線透視試験をしたのが文化財への最初の応用でした。(国立民俗学博物館HPより)

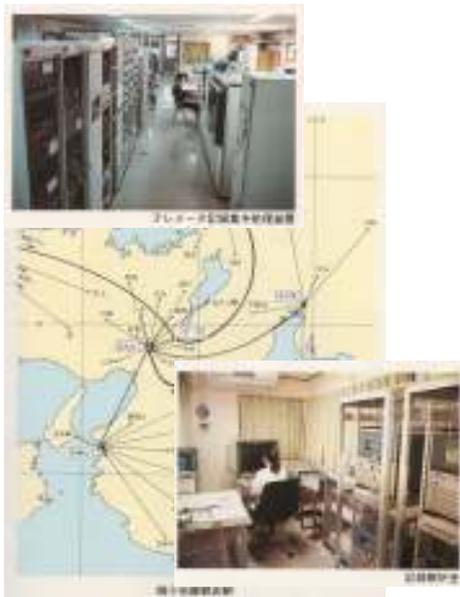


地球物理学研究所(別府) 1923年



火山研究施設(阿蘇) 1927年

阿武山微小地震観測システム(1976~1995)



・高密度・高精度

時計の調整(日に1ms以下のずれ)

全点3成分、ディスプレイを用いた読み取り

・停電対策

記録部も無停電電源化

・冗長性

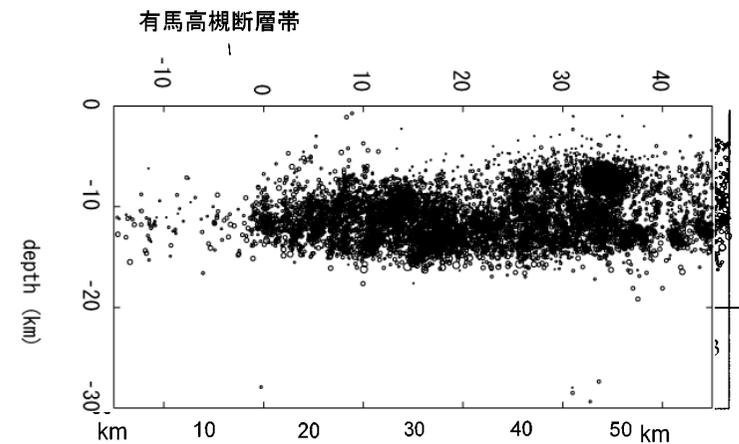
無線伝送を併用

NHKの時報が放送局
 によってずれていること
 を発見

アナログテープの送り
 ムラを補正

有馬高槻構造線の北側にゆっくりすべる断層？

片尾(2003)に加筆



防災研究所に統合

1995年 宇治キャンパスに予知センター新館が完成, 引っ越し

技術職員 1名のみ常駐

施設は大学本部に返却(したつもり)

2005年 監事監査により, 建物が十分活用されていないと指摘

2007年頃 再活用計画

歴史的な地震計を中心とした教育・広報の施設

満点計画の基地

満点(万点)計画

一次世代型地震観測システムの開発一

CTスキャンの様式図
受信点はX線源と同期して移動
多点で大量のデータを取得

鳥取県西部地震の余震観測
+ : 臨時観測点 57カ所
- : 震源 約1000イベント

世の中の役に立っている

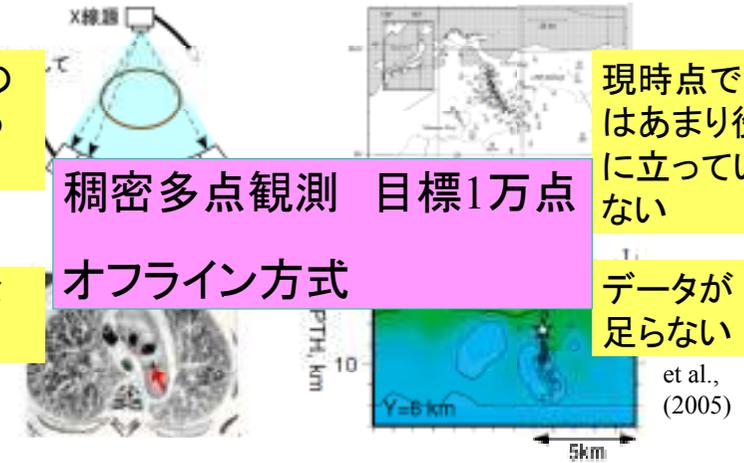
現時点ではあまり役に立っていない

稠密多点観測 目標1万点

データが大量

オフライン方式

データが足りない



et al., (2005)

開発に関係した 主なメンバー・経費など

京都大学防災研究所

飯尾・片尾・澁谷・松波・宮澤・大見・井口・石川
三浦・平野・西村・中尾・藤田・近藤・山崎・澤田・多田・米田

京都大学理学研究科 平原・大倉

京都大学人間環境学研究科 酒井

九大地震火山センター 松本

近計システム 高島・大橋・内田・本橋・西垣

サイスモテック 古屋

京都電測 高田

日本科学冶金 上本・宮崎・松川

エス・ジー・ケイ 矢口

京都大学総長裁量経費(平成18年度)
防災研究所特別事業費(平成19年度)
地震予知研究センター研究基盤整備費(平成18/19年度)

オンライン微小地震観測 (臨時点)の問題点



点数がかせげない上にデータの質も良くない

商用電源(あるいは, 大量の太陽電池)が必要。
無線方式はシステムが大規模, 有線方式は回線が必要。
→ 設置に手間がかかるため, 点数をかせげない。



人家や道路の近くに観測点を設置する必要があるため, ノイズが大きく, 岩質も悪い。
→ 波形の質が悪い
通信速度の制約によりデータ量が制限される
→ サンプリング周波数が低く時間分解能が低い

従来のオフライン地震観測の問題点



記録装置

重くてかさ高い
消費電力が大きい
大容量バッテリーor太陽電池が必要
GPS受信に時間がかかる
記録容量が小さい
値段が高い(100万程度)



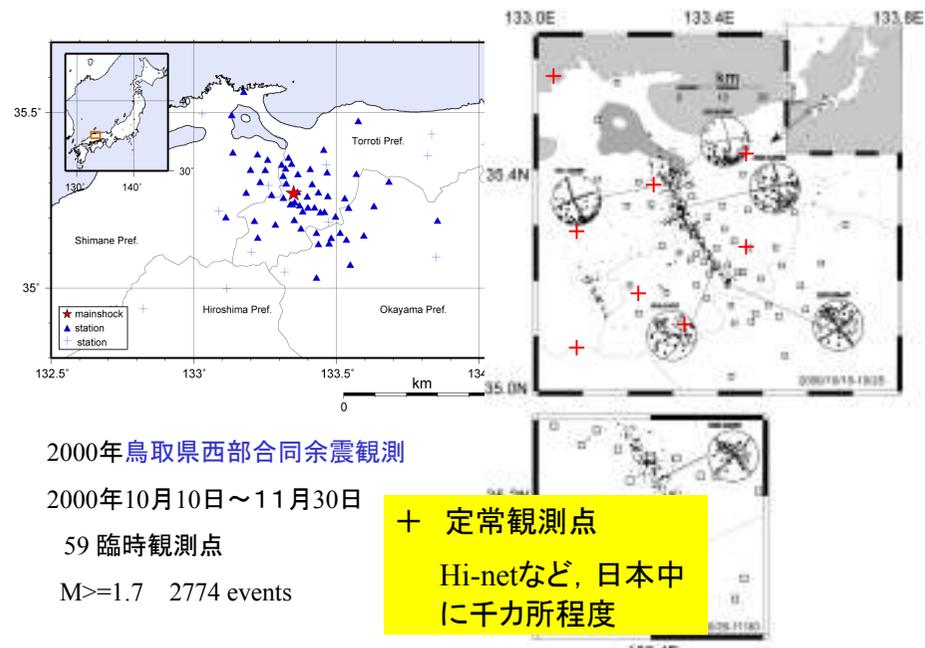
地震計

重くてかさ高い
設置に手間がかかる
値段が高い(20

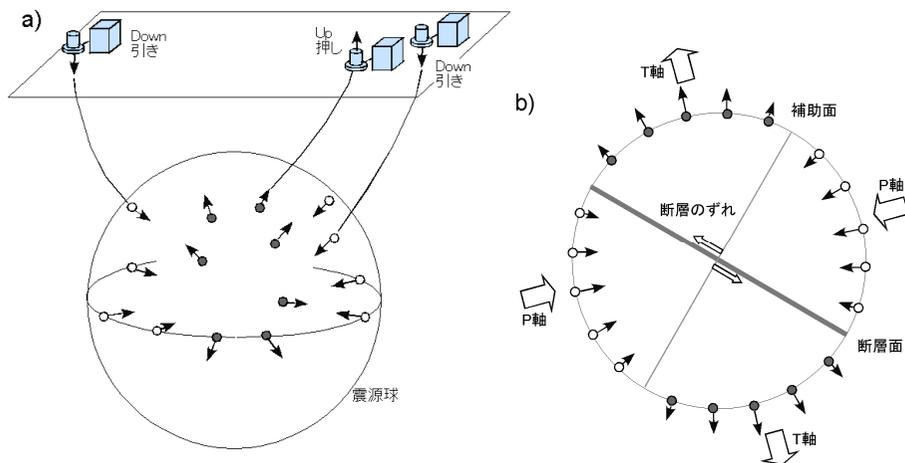


月に1度程度のデータ回収が必要
山奥のアクセスの悪い点は維持が困難
設置・メンテとも時間と労力を要するため
100点を超えるような多点観測は難しい。

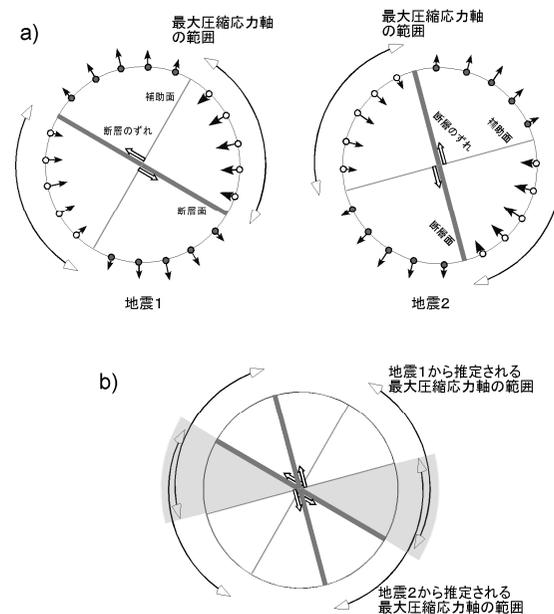
定常観測網と臨時観測網(50点規模)の差



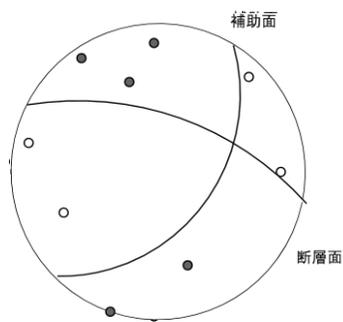
地震のメカニズム解とは？



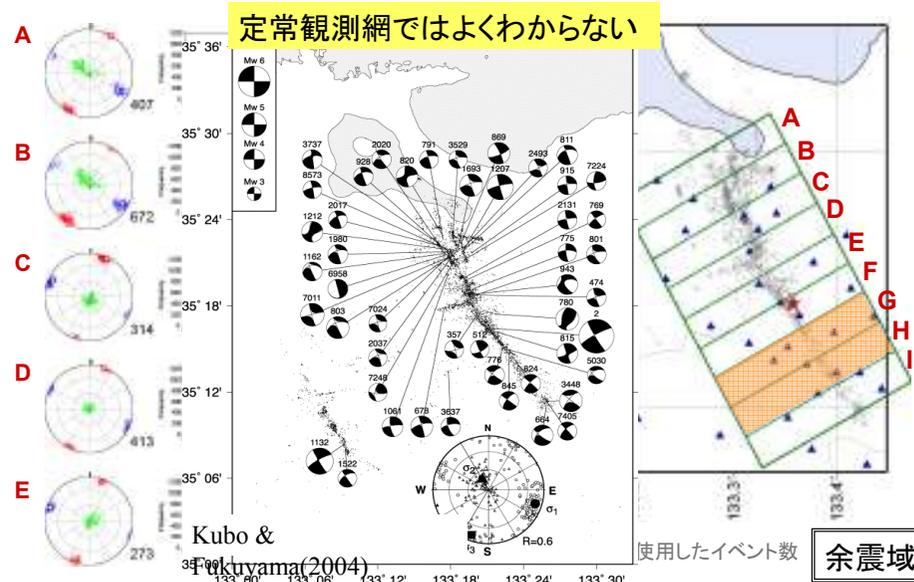
地震のメカニズム解から地震を起こす力(応力)を推定する



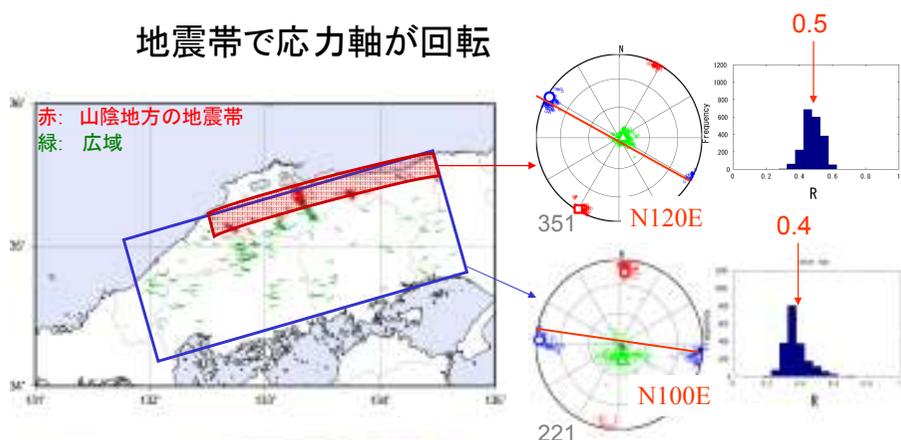
観測点数による違い



鳥取県西部地震余震域における応力場の空間変化 Kawanishi et al. (2009)



地震帯で応力軸が回転



$$R = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

地震帯の方がRが大きい

長野県西部地域における稠密地震観測

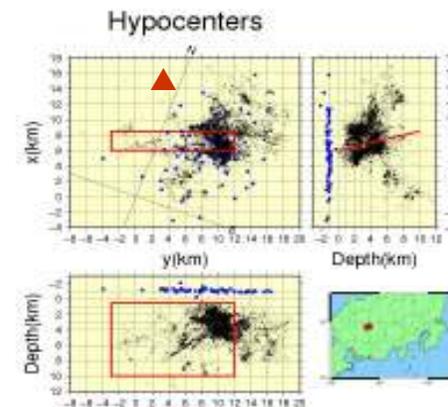
飯尾能久・堀内茂木・行竹洋平・野田俊太・久保篤紀・三浦

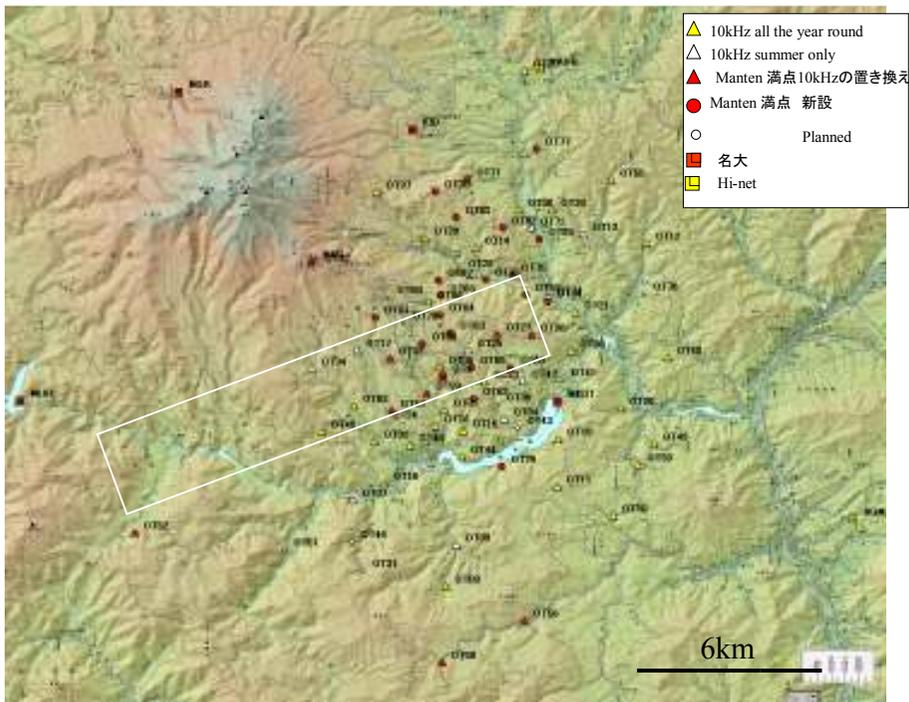
- 1979 御嶽山噴火
- 1984 長野県西部地震 M_{JMA} 6.8 発生
群発的な活動が25年程度続いている

50点規模だが観測点間隔が短く、満点計画に近い

稠密観測

- 1986 合同地震観測 59点
- 1995~ 高精度地震観測
10kHz sampling max55点
(1万ポイント/秒)
- 2008~ 満点システムを追加
10kHz 40+満点27点

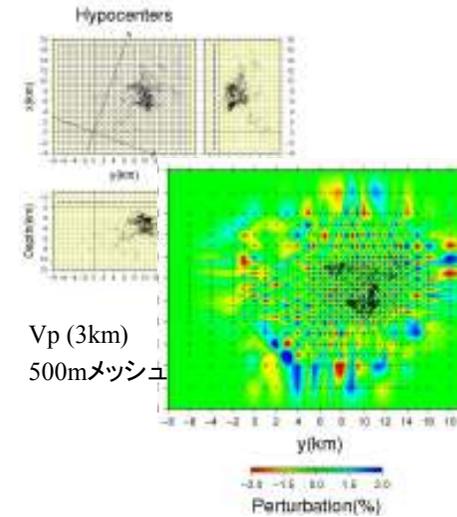




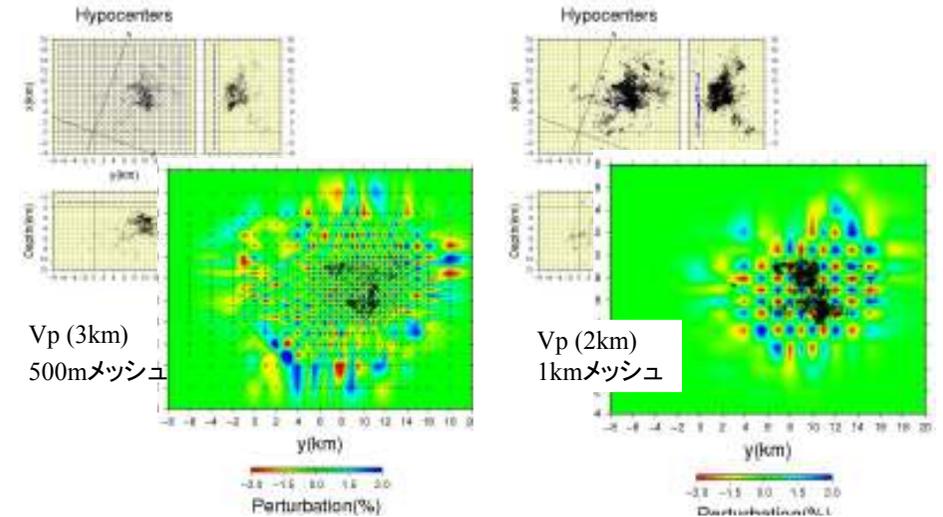
観測点数の問題

1. トモグラフィー

仮想稠密観測網 (980点).
青点が観測点 750m スパン
黒丸は用いた地震の震源.



実際の観測網 (57点).
1.2kmスパン



2. 応力インバージョン

- 1) 20個の断層面の向きを乱数で設定
- 2) 仮定した応力場の下で, 理論的な押し引き分布を計算
- 3) Horiuchi et al.(1987)による応力インバージョン

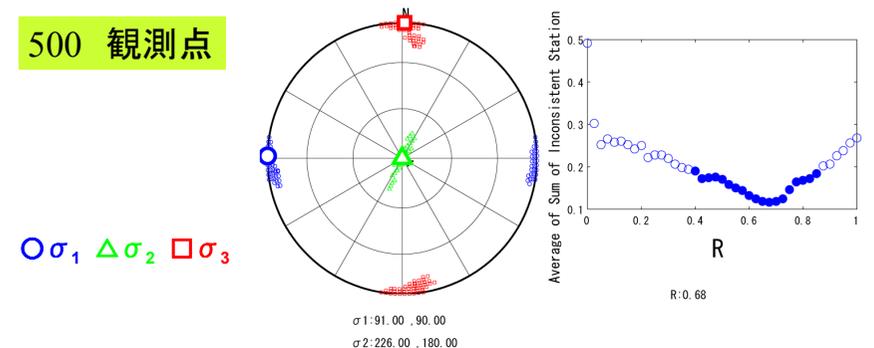
断層面の走向のばらつき: NW-SE, NE-SW方向から10度以内,
傾斜のばらつき: 90度から30度以内

ほぼ鉛直で走向の揃った横ずれ断層を仮定

σ_1 : 東西 σ_2 : 上下 σ_3 : 南北 応力比 $R=0.67$
100MPa 50MPa 25MPa

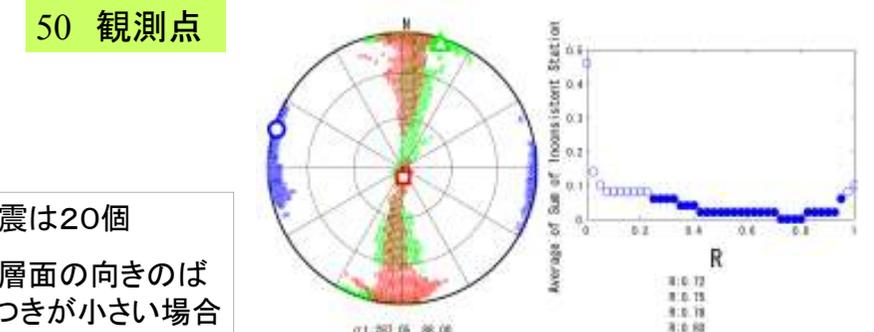
$$R = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

500 観測点

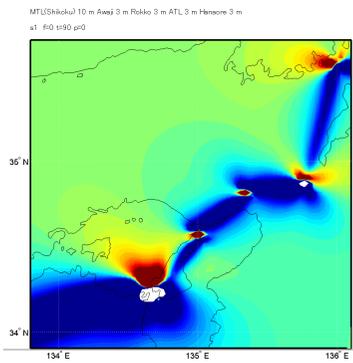
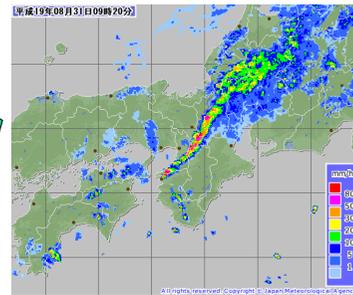
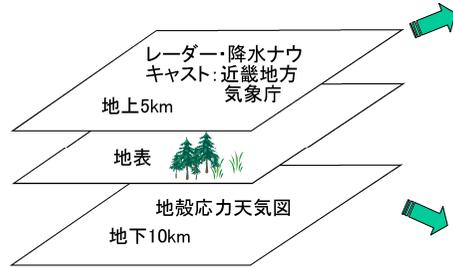


50 観測点

地震は20個
断層面の向きのばらつきが小さい場合

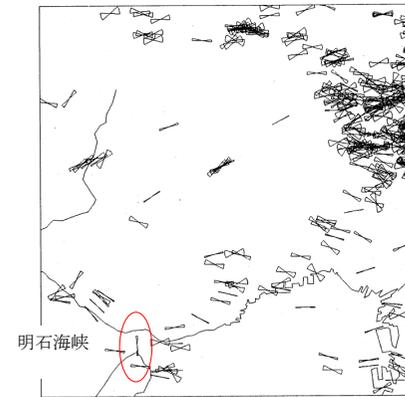


地殻応力天気図のイメージ

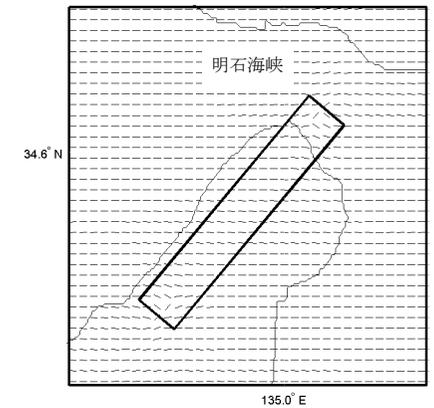


例えば、近畿地方では年間約4万個の地震を検知可能、
近接する20個で応力場の推定可能
毎年2000点の応力を推定できる

兵庫県南部地震前の応力場の異常？



兵庫県南部地域における1979-1991年の12年間の微小地震のP軸の分布。
明石海峡に1点異常なデータが見られる。



長さ10km幅10km中心の深さ10kmの断層が3m横ずれしたときの最大圧縮応力の方位
広域には $\mu=0.2$ に相当する $s_1=80\text{MPa}$ を与えている。グリッド間隔は400m。

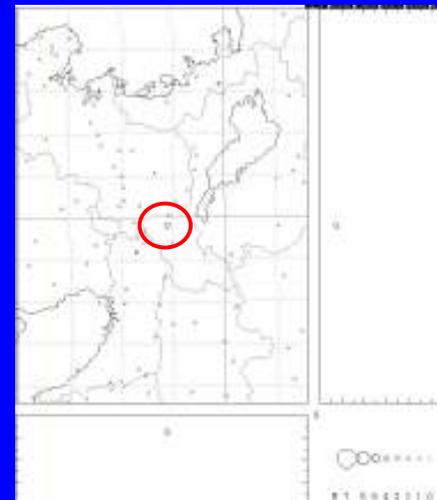


満点計画 観測点 OT75 正の腰



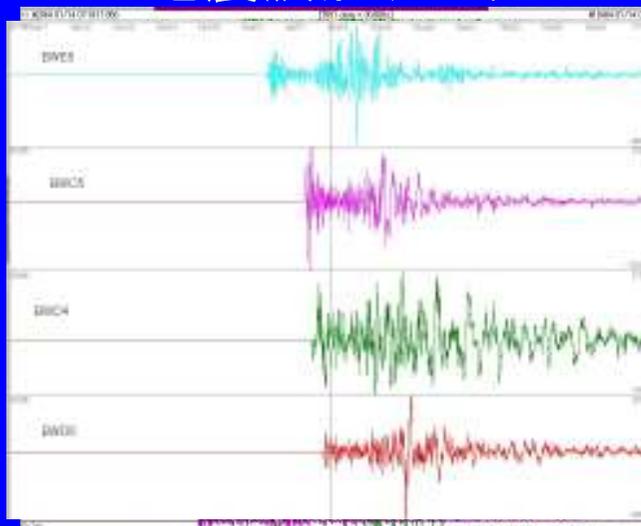


地震波形データ



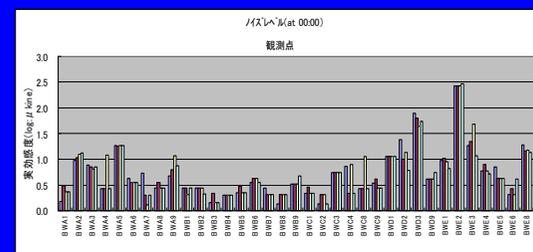
2009年1月14日7時18分頃に起きた地震(M4.0)

地震波形データ

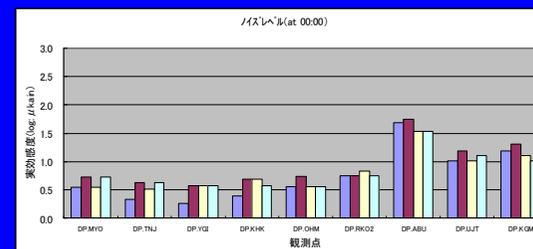


•上下動の地震波形(2009年1月14日7時18分頃に起きた地震(M4.0)
(観測点:A1,A2,B1~B4,B9,D5,E9を除く)

ノイズレベル 深夜



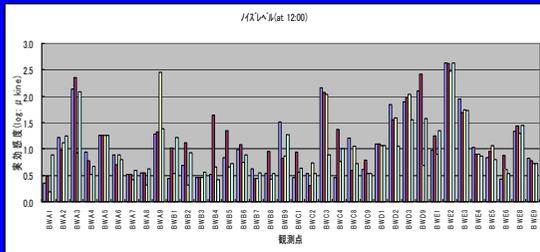
← 30 μkine
← 3 μkine



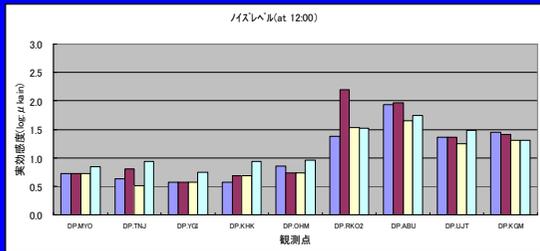
← 30 μkine
← 3 μkine

ノイズレベル 昼間

12月11日～14日(12:00)
の各観測点におけるノイズレベル
(観測点: C5,C6,C7,D4,D5,D6,D7,D8, E7を除く)

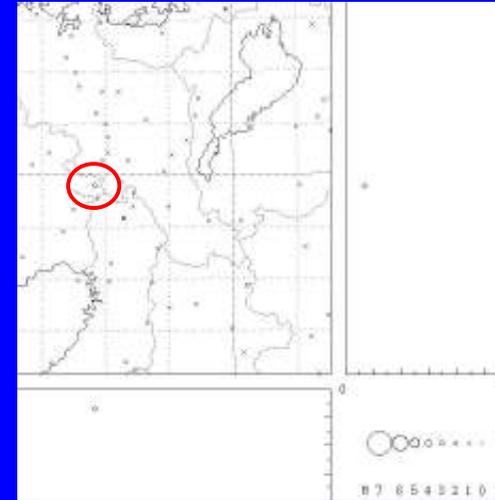


← 30 μkine
← 3 μkine



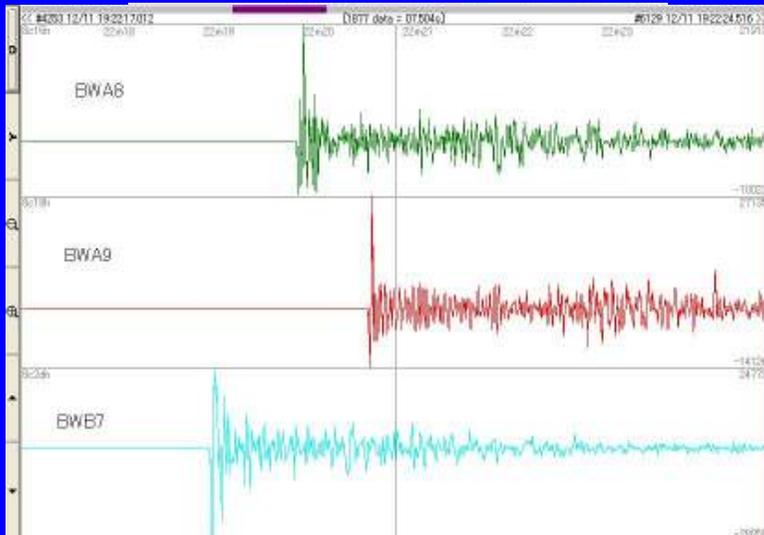
← 30 μkine
← 3 μkine

地震波形データ



2008年12月11日19時22分頃に起きた地震(M3.0)

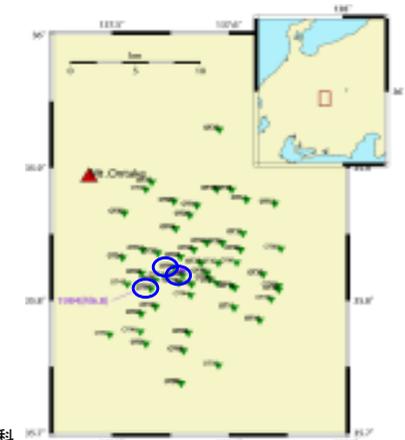
地震波形データ



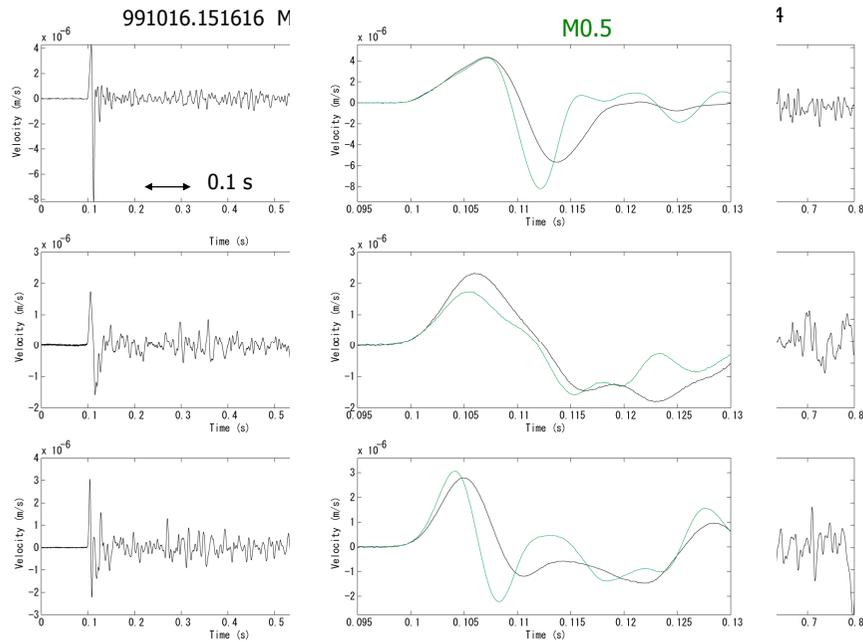
•上下動の地震波形(2008年12月11日19時22分頃に起きた地震(M3.0))
(観測点: A1,B8,B9,C1~C7,D4~D8,E7,E8を除く)

本当の地震波形を求めて —長野県西部におけるボアホール地震観測—

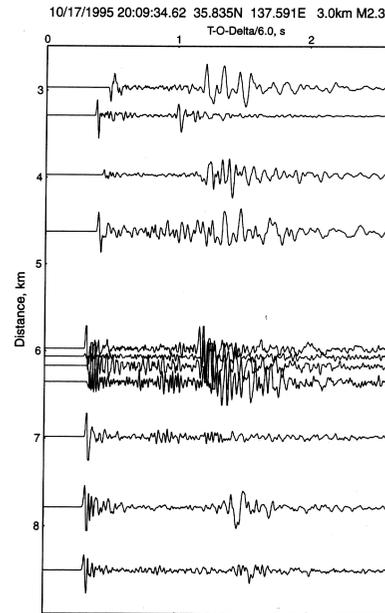
- 1990年 OT01 150m ボアホール 京大・他
- 1994年 OT02 100m ボアホール 防災科研
- 1998年 OT0a 800m ボアホール 産総研
- 1995年～ 10kHzサンプリング観測
EDR6600(近計システム製)



堀内茂木(防災科研)・大見士朗(京大・防災研)・伊藤久男(JAMSTEC)・桑原保人(産総研)・山本英二・小村健太郎(防災科研)・三浦浩一(元京大)・芝崎文一郎(建築研)・佐藤春夫(東北大・理)



上下動の波形例(M2.3)



次世代型地震観測システム



小型軽量地震計
KVS-300

- ・平成19年度防災研究所特別事業費で開発
- ・特許出願中
- ・**世界最小・最軽量**
(2Hzの動コイル型地震計の中で)
外形寸法 11×10×15cm 重量 約1.5kg



低消費電力記録装置
EDR-X7000

- ・平成18年度総長裁量経費で開発
- ・特許出願中
- ・**世界最高性能**
(オフライン地震観測用データロガーの中で)
エコ 大記憶容量 高分解能 高時刻精度
単1乾電池24本で1秒間に250点のデータを約9月間連続観測可能
既存の最も優れたものの約1/5の低消費電力

記録装置の性能比較

	HKS-9500	EDR-X7000
ダイナミックレンジ	24bit	24bit*
時刻精度	?	1ms以下
サンプリング	100 Hz	250 ~ 1000Hz
記録容量	8GB max	24GB max
消費電力	0.5W	0.08W以下
重量	2.0kg	1.2kg以下
寸法	230×210×99mm	230×181×68 mm
特長	オプションによりネットワーク接続可	セルフチェック機能 1時間50cm水没可

地震計の性能比較

	CDJ-S2C-2	KVS-300
重量	2kg	約1.5kg以下
寸法	Φ128 × 80mm	150 × 100 × 110mm
固有周波数	2Hz	2Hz
感度	2 V/(cm/s)	1 V/(cm/s)
コイル抵抗	6040 Ω (内部抵抗5800 Ω)	
特徴	別売(開発中)の長周期化回路を使うことで、5秒計に匹敵する振動観測が可能	水平レベル調整の範囲が広く、30度くらい傾斜した岩盤上にも設置可能