

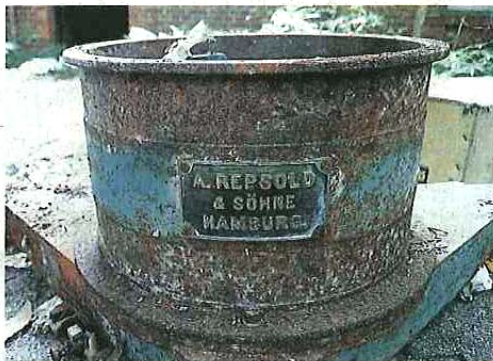
大 谷 文 夫

京都大学防災研究所地震予知研究センター

地球は、月と太陽の引力でゴムまりのように伸び縮みする変形を繰り返している。この変形を100年前に日本で初めて観測したドイツ製の傾斜計Ⅱ写真、ジェームズ・モリ教授提供

Ⅱが、京都大の敷地のがらくたの下から見つかった。由来を調査した国際高等研究所(京都府木津川市)の竹本修三フェローは「戦争中につぶされ金属資源にされたと思っていた。歴史的な装置が見つかってうれしい」と喜んでいる。

100年前、地球の変形初観測



伝説の傾斜計、京大にあった

ない。
竹本フェローによると、この傾斜計は19世紀に作られたドイツ製。日本の地震学の基礎を築いた大森房吉(1868〜1923)と物理学者で大阪帝国大(現・大阪大)初代総長の長岡半太郎(1865〜1950)

が、ドイツに留学中だった1890年代に発注した。さらに1909年、京都帝国大学理工科大(現・京大)に助教として赴任する地球物理学者の志田順(1876〜1936)に譲ったとみられる。

志田は同年、この傾斜計を使い、地球が上下だけでなく水平方向にも変形していることを突き止め計算した。地表の水平方向の変動量は「志田数」と呼ばれ、地球科学の最も基本的な知識になった。現在も宇宙からの電波を受けて2地点の距離を測る技術や人工衛星の軌道計算などにも使われている。

傾斜計の発見は22日、京都市で開かれる日本地震学会で報告される。(瀬川茂子)

積み重ねた日々



先週土曜日、ストラスブール大学のLuis Rivera氏とともに、上賀茂観測所へ行きました。建物の外の大量のがらくた(?)を見ていると、志田先生が有名な地球潮汐の研究に使われていたRebeur-Paschwitzの装置を発見しました。(Mori)

15:30 B22-07 京都・上賀茂観測所で使用された Rebeur-Paschwitz 型傾斜計の変遷
°竹本修三 (国際高等研)・James Mori (京大防災研)・Luis Rivera (ストラスブール大)・
Julien Frechet (ストラスブール大)

P2-20 上賀茂地学観測所での Rebeur-Paschwitz 型傾斜計の発見
°James Mori (京大防災研)・Luis Rivera・Julien Frechet (ストラスブール大)・竹本修三 (国際高等研)

京大の地殻変動研究短評

竹本修三

京都大学

(2007年4月16日受付, 2007年6月29日改訂, 2007年7月2日受理)

Short Review of Studies on Crustal Deformations in Kyoto University

Shuzo Takemoto

Kyoto University, Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan

(Received April 16, 2007; Revised June 29, 2007; Accepted July 2, 2007)

Abstract

This paper is a short historical review of studies for investigating crustal deformations carried out in Kyoto University during the period from 1909 to 1965. Main topics are (i) Observations of Earth tides with tiltmeters and the "Shida number", (ii) A plan to detect free oscillations of the Earth proposed by Dr. Shida and observations of tidal strains with extensometers, and (iii) Crustal deformations associated with earthquakes. Among others, the Shida's proposal in 1922 to observe the free oscillations of the Earth should be evaluated more.

国際高等研究所フェロー研究会
「京大地球物理学研究の百年(その2)」

2009年11月7日

京大地殻変動観測に携わった40余年

大 谷 文 夫

京都大学防災研究所地震予知研究センター

- 地震予知計画

- 宮崎観測所と日向灘観測線

- 連続観測

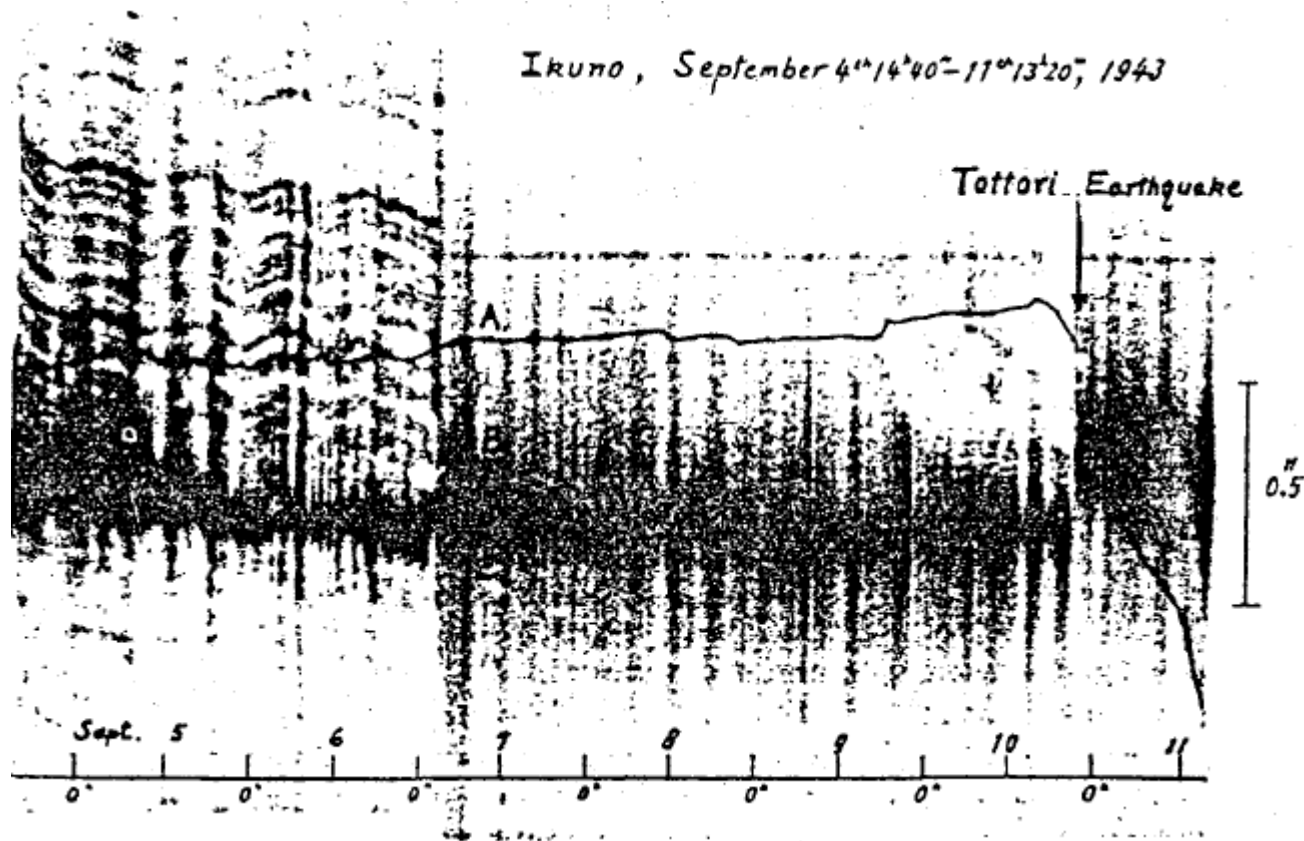
- テレメータおよびデータ処理

- 光波測量

- GPS

- 近畿北部の異常変動

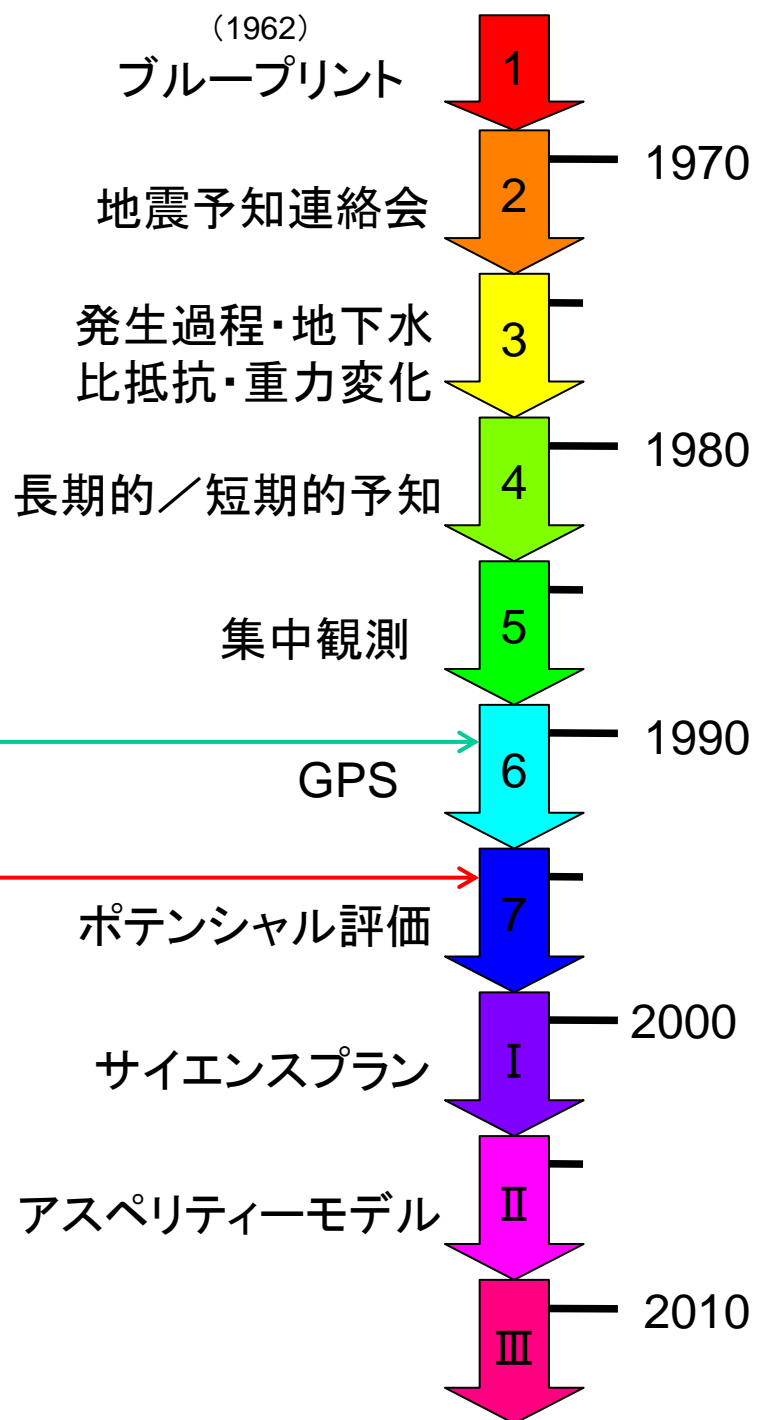
鳥取地震前の傾斜変化 (Sassa and Nishimura, 1951)



地震予知計画

理学部一防災研究所地震関係 統合
防災研究所地震予知研究センター発足

兵庫県南部地震



上宝
地殻変動観測
所

屯鶴峯地殻変動観測所

逢坂山地殻変動観測所

宮崎地殻変動観測所

地震予知観測地域センター
(阿武山観測所)

理学部一防災研究所地震関係 統合
防災研究所地震予知研究センター発足

兵庫県南部地震

ブループリント

地震予知連絡会

発生過程・地下水
比抵抗・重力変化

長期的／短期的予知

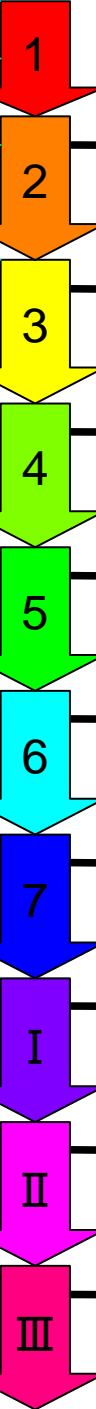
集中観測

GPS

ポテンシャル評価

サイエンスプラン

アスペリティーモデル



1970

1980

1990

2000

2010

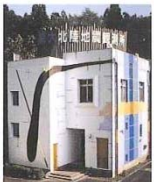
地震予知計画

地殻活動 総合観測線

現在の観測場所 (黒字)		地殻活動総合観測線															
観測所名	緯度	経度	北北西		北北東		北東		東		南東		南東		南東		
阿武山	42°00'	143°05'	35°	37°	35°	37°	35°	37°	35°	37°	35°	37°	35°	37°	35°	37°	



阿武山観測所 (ABU)



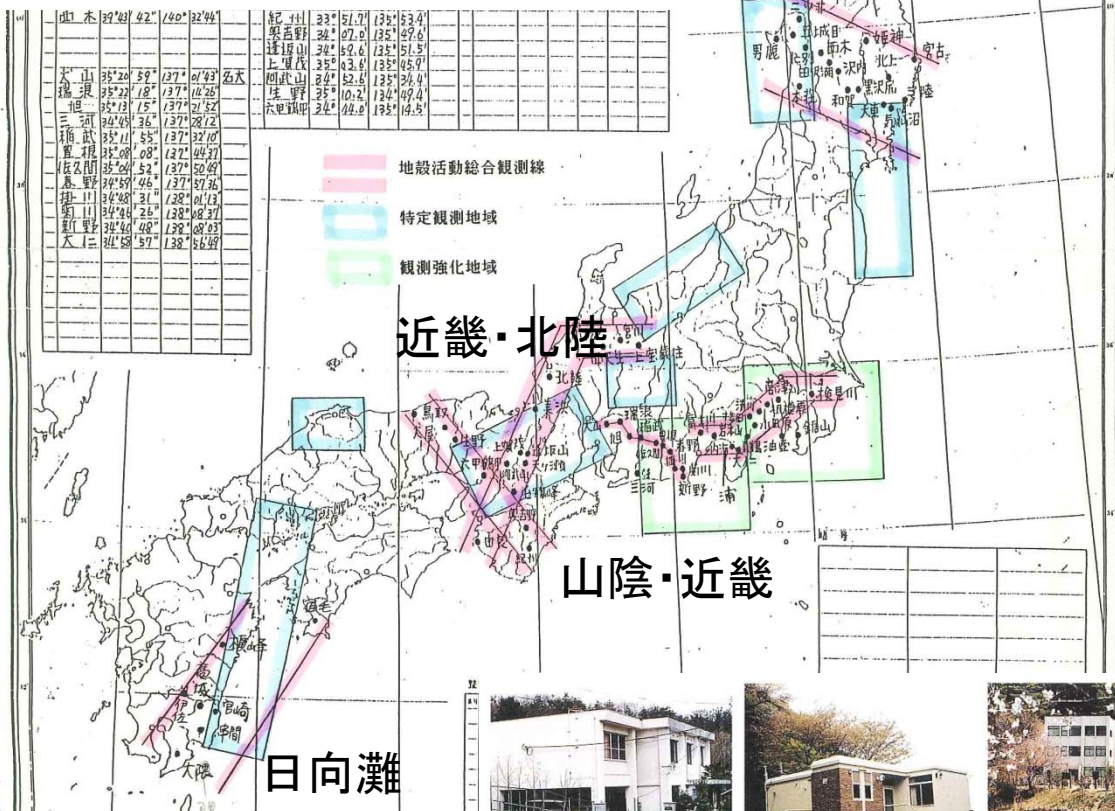
北陸観測所 (HKJ)



上宝観測所 (KTJ)



鳥取観測所 (TTT)



観測所名	緯度	経度	北北西		北北東		北東		東		南東		南東	
山本	37°42'	140°32'44"	33°	37°	33°	37°	33°	37°	33°	37°	33°	37°	33°	37°



屯鶴峯観測所 (DON)



逢坂山観測所 (OSK)



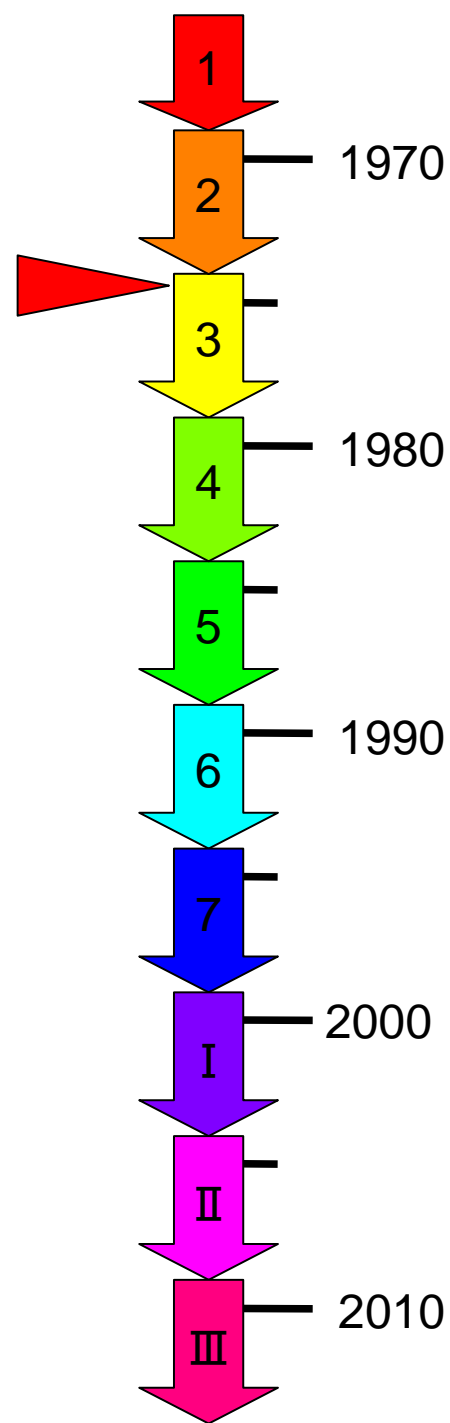
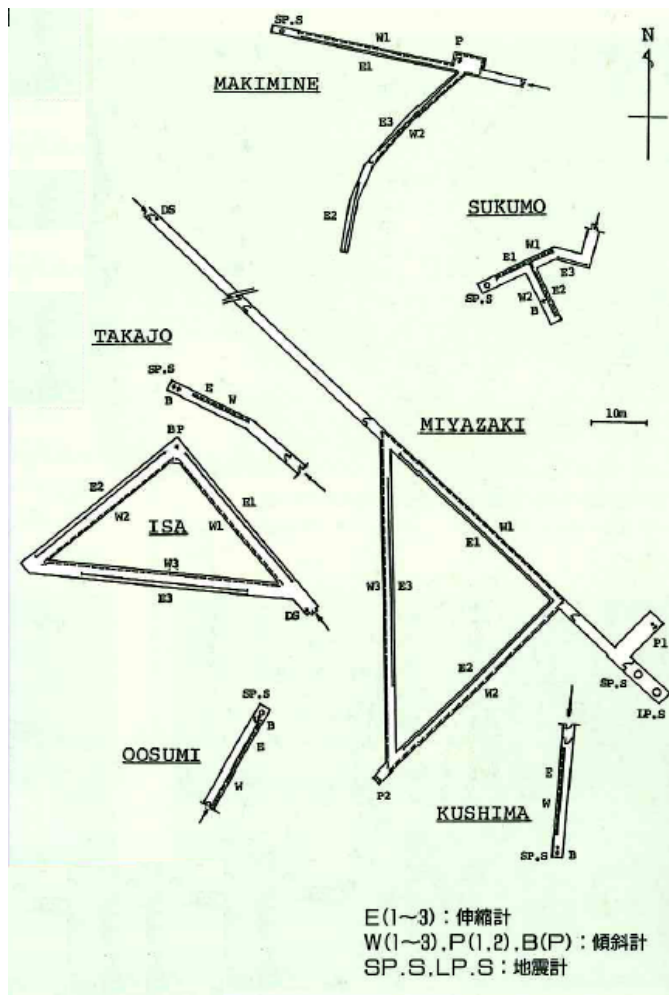
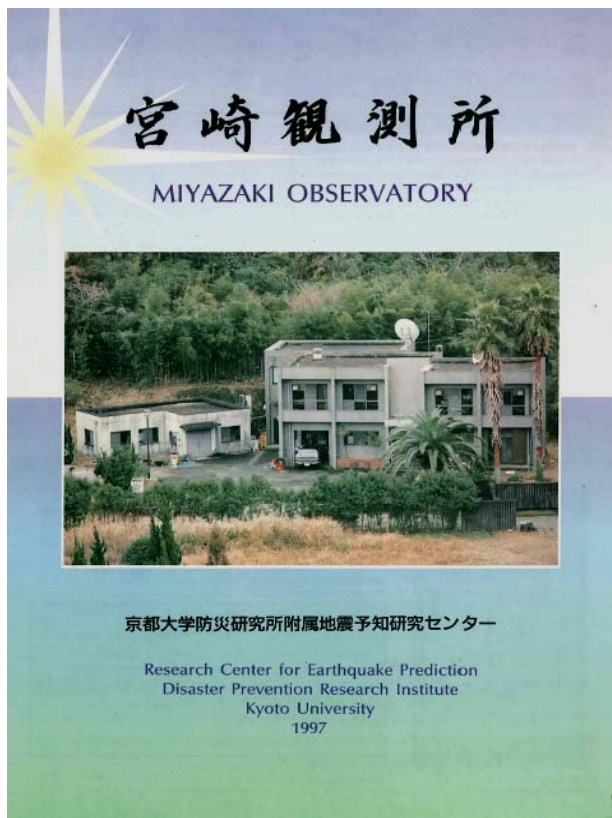
徳島観測所 (ISI)



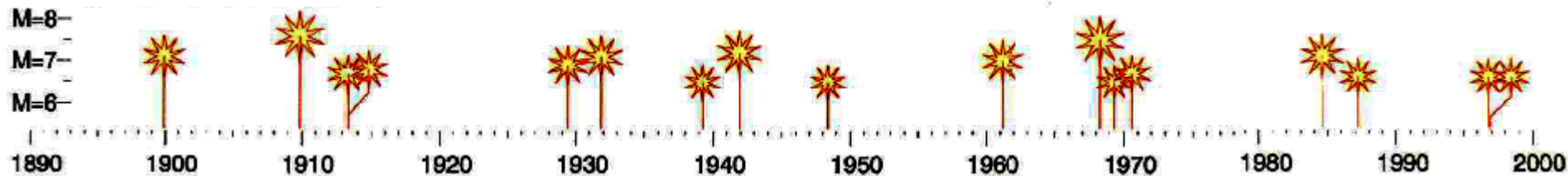
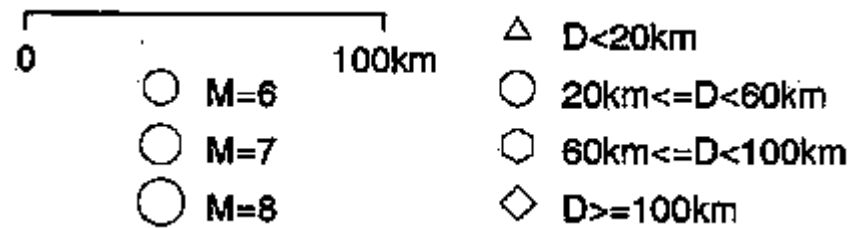
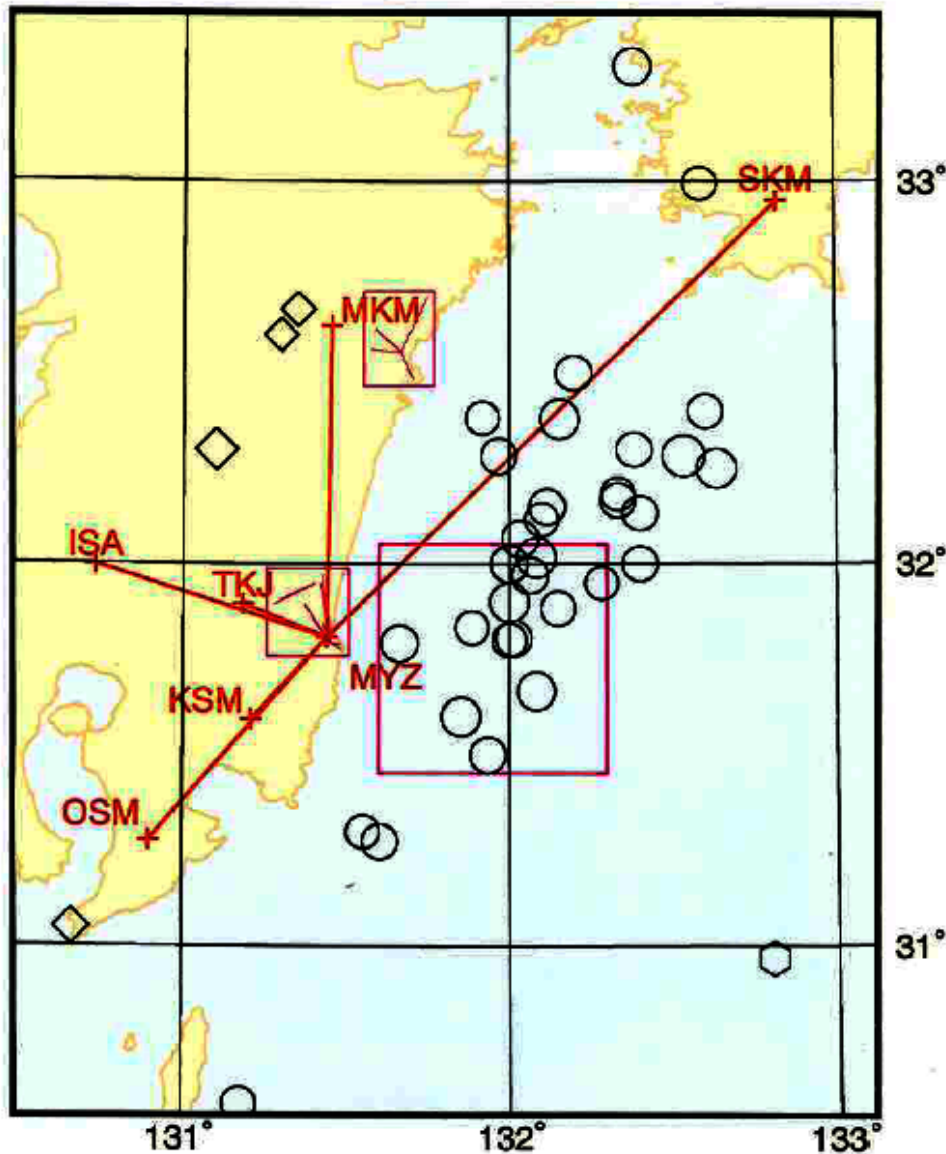
宮崎観測所 (MYZ)

- 地震予知計画
- 宮崎観測所と日向灘観測線
- 連続観測
- テレメータおよびデータ処理
- 光波測量
- GPS
- 近畿北部の異常変動

宮崎地殻変動観測所



日向灘 地殻活動 総合観測線



- 地震予知計画
- 宮崎観測所と日向灘観測線
- 連続観測
- テレメータおよびデータ処理
- 光波測量
- GPS
- 近畿北部の異常変動

地殻変動連続観測点 (水平坑道)

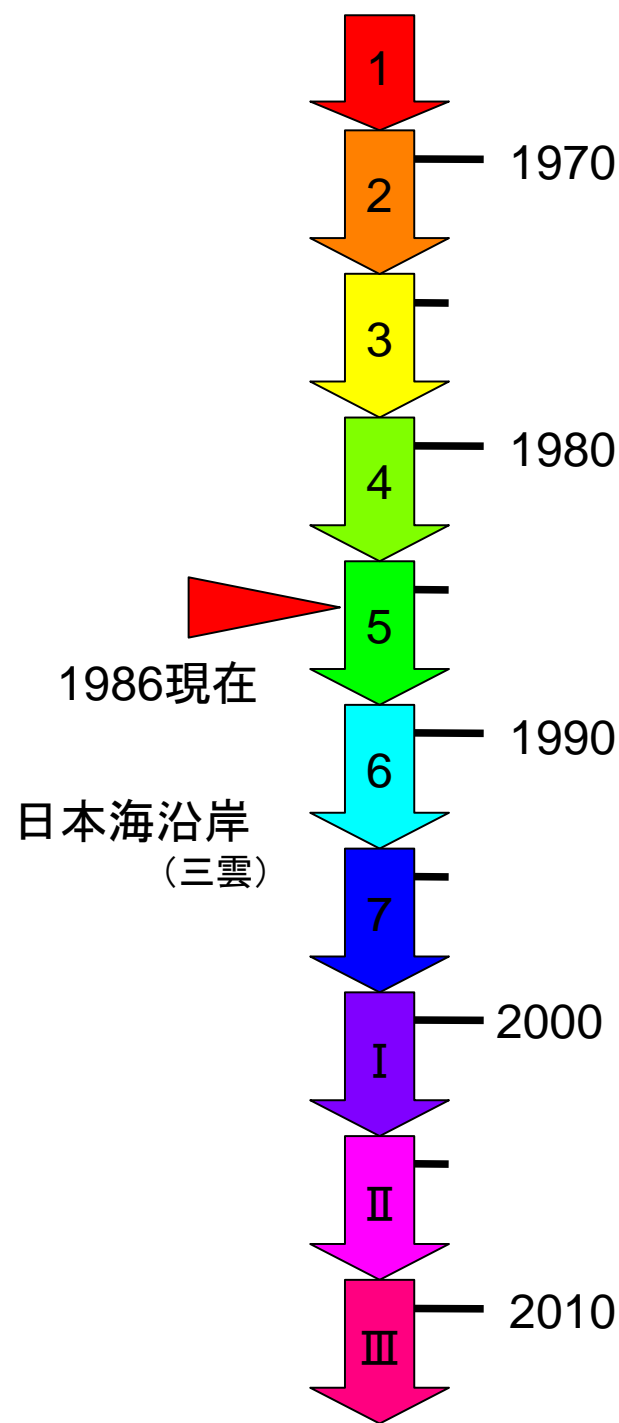
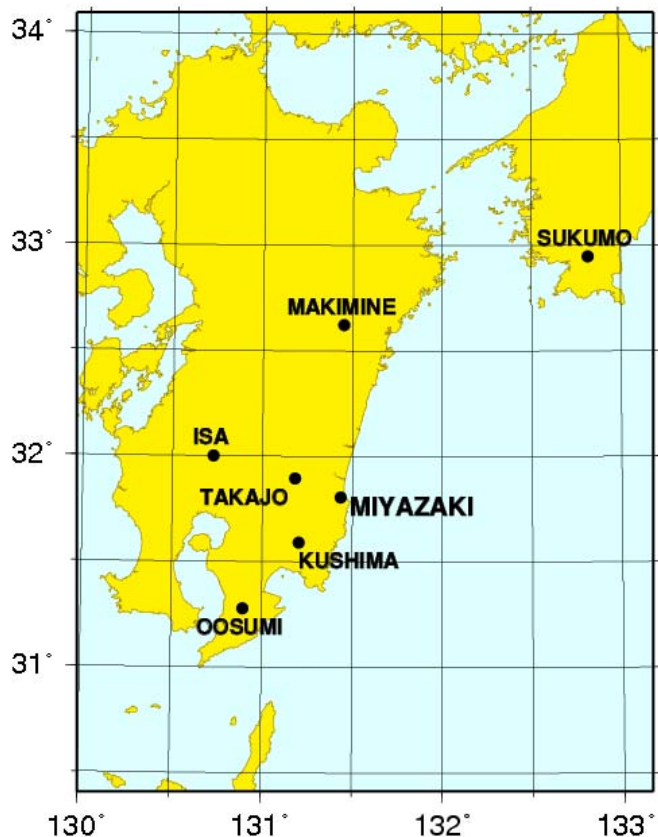


図 7.19 国立大学に属する地殻変動の観測所
地震予知のため、1960年ごろからつくられるように

地殻変動連続観測点 (水平坑道)

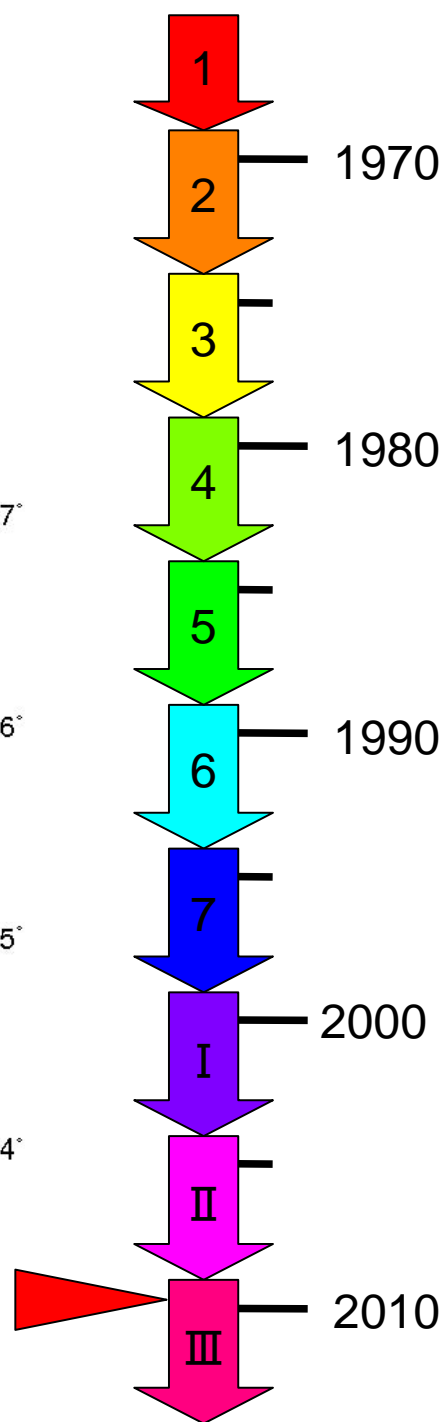


7点



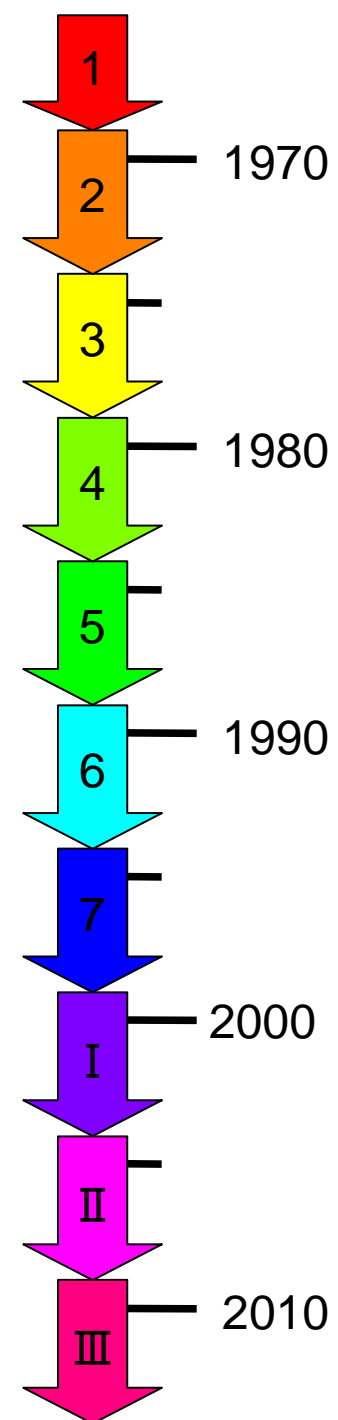
六甲鶴甲、六甲高雄

12点



地殻変動連続観測 (水平坑道)

- デジタル化 =>
 - 光電変換装置(既設置;古沢・竹本)
 - 追尾式
 - ブロマイド記録用イメージを直接利用
- 差動トランス化(*)
 - 光学でこ<機械式>から無接触電気式へ
 - 輸入品と国産品
 - 特注品による標準化
 - 高温条件での長時間使用
 - とりつけねじ寸法の調整



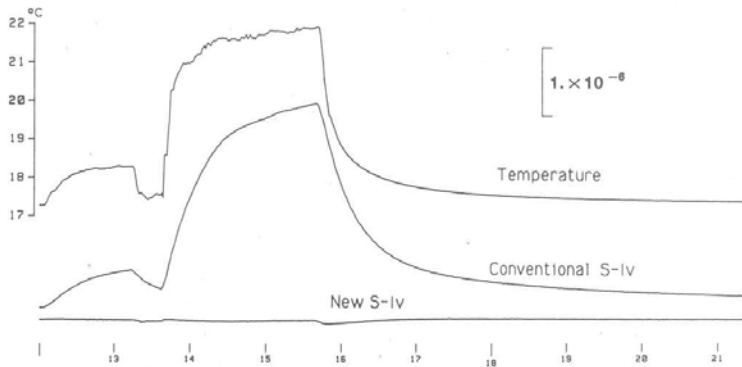
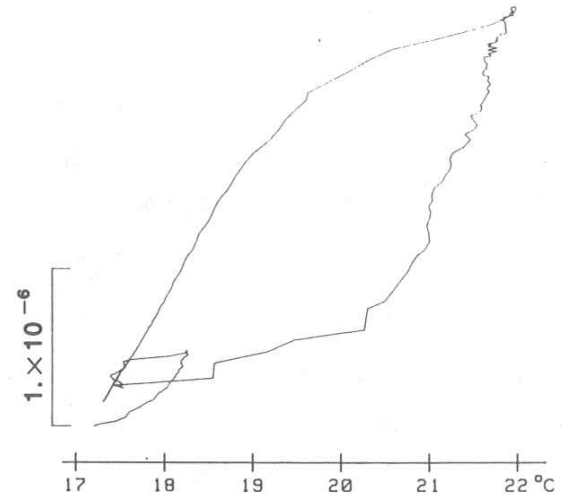
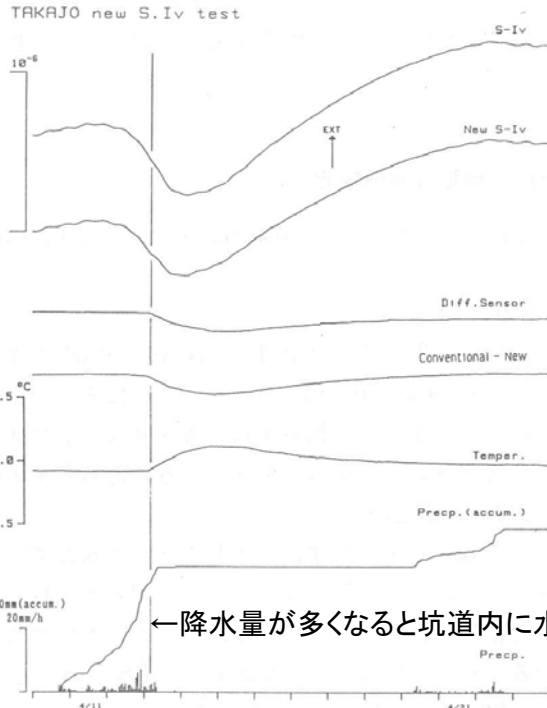
観測機器

- 伸縮計
 - New Super Invar の採用
- 水管傾斜計
 - 真空ポンプによる減圧法で、注水(泡抜き)
 - half-filled 水管傾斜計

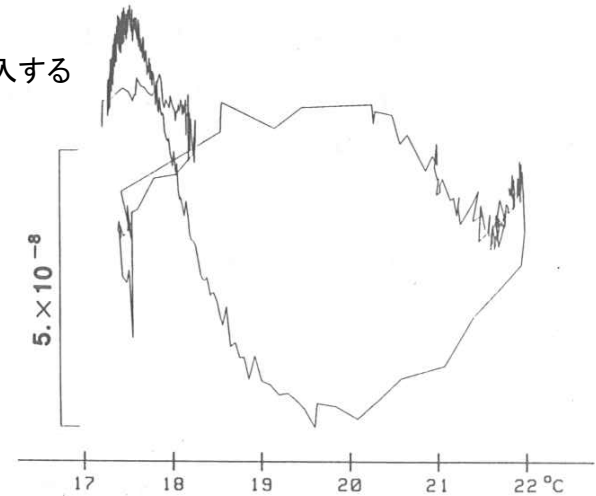
伸縮計 New Super-Invarの使用

公称値
 $1 \times 10^{-7} / \text{deg}$
 が確認された。

広い温度範囲では
 さらに小さな値となる



Time-strain



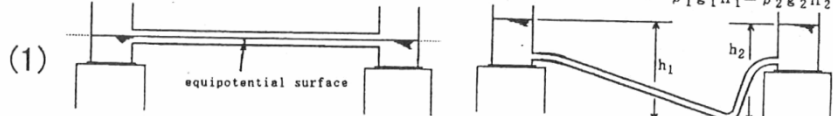
Temperature-strain

Half-filled 水管傾斜計

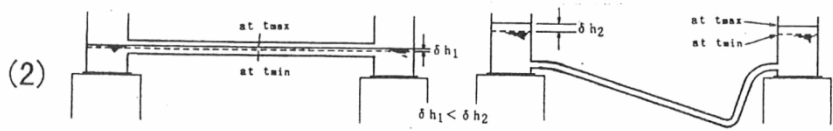
HALF-FILLED TYPE
(Michelson-Gale type)

FULLY-FILLED TYPE
(normal type)

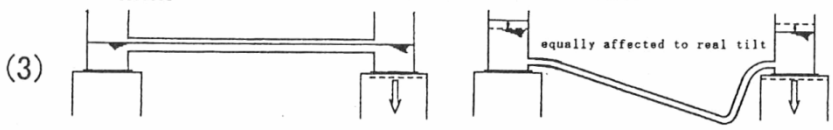
principle
(effect of specific temperature variation) $\rho_1 \delta_1 h_1 = \rho_2 \delta_2 h_2$



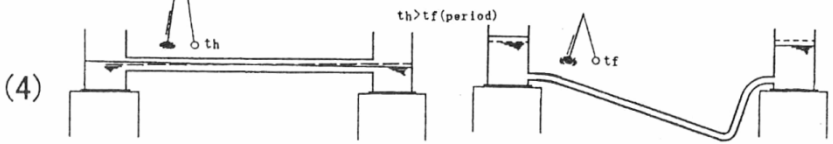
effect of temporal temperature variation



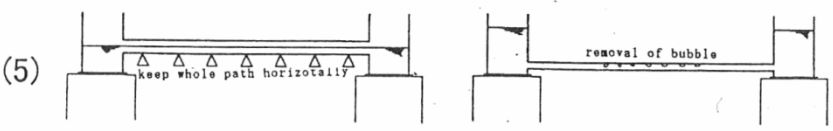
effect of local (single pot) disturbance



eigen frequency

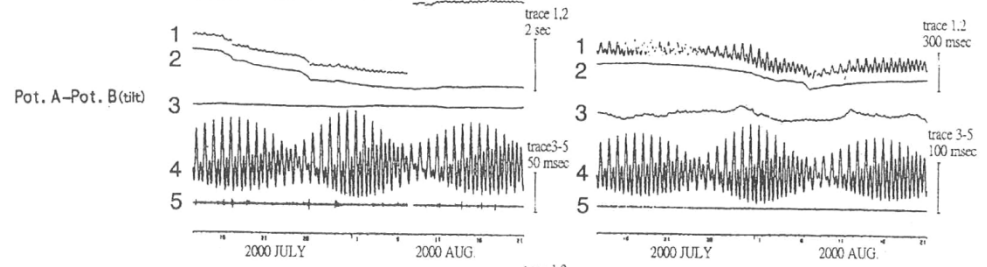


difficulty in setting



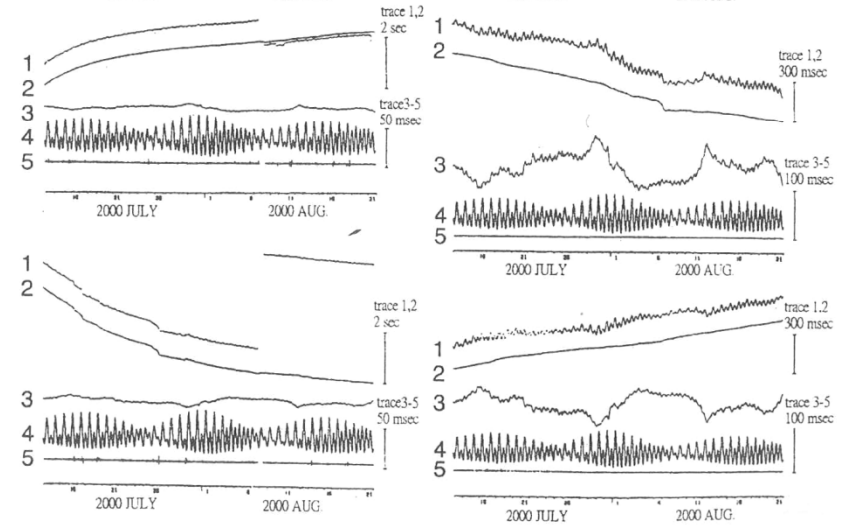
HALF-FILLED TYPE

FULLY-FILLED TYPE



Pot. A
(displacement/span)

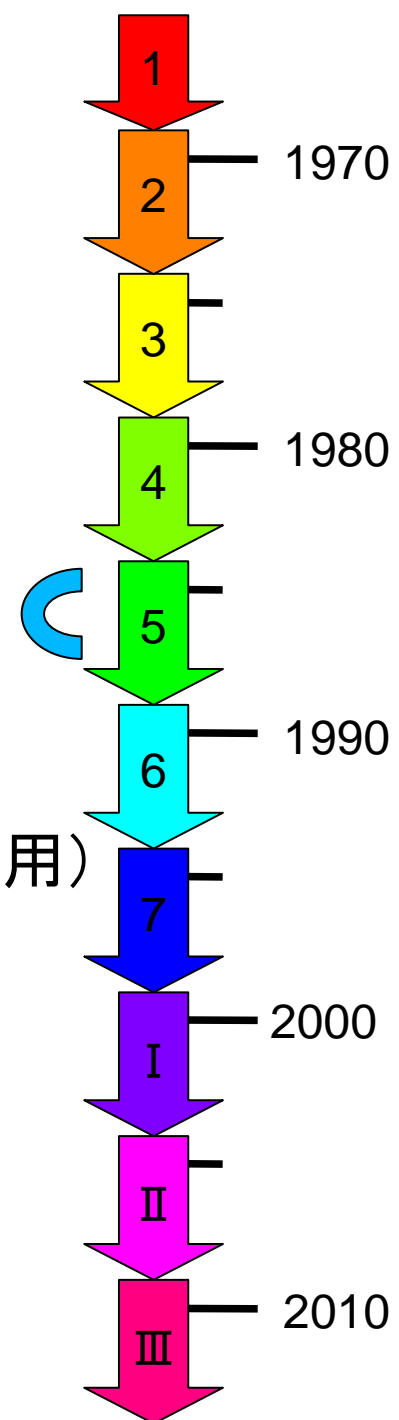
-Pot. B
(displacement/span)



- 地震予知計画
- 宮崎観測所と日向灘観測線
- 連続観測
- テレメータおよびデータ処理
- 光波測量
- GPS
- 近畿北部の異常変動

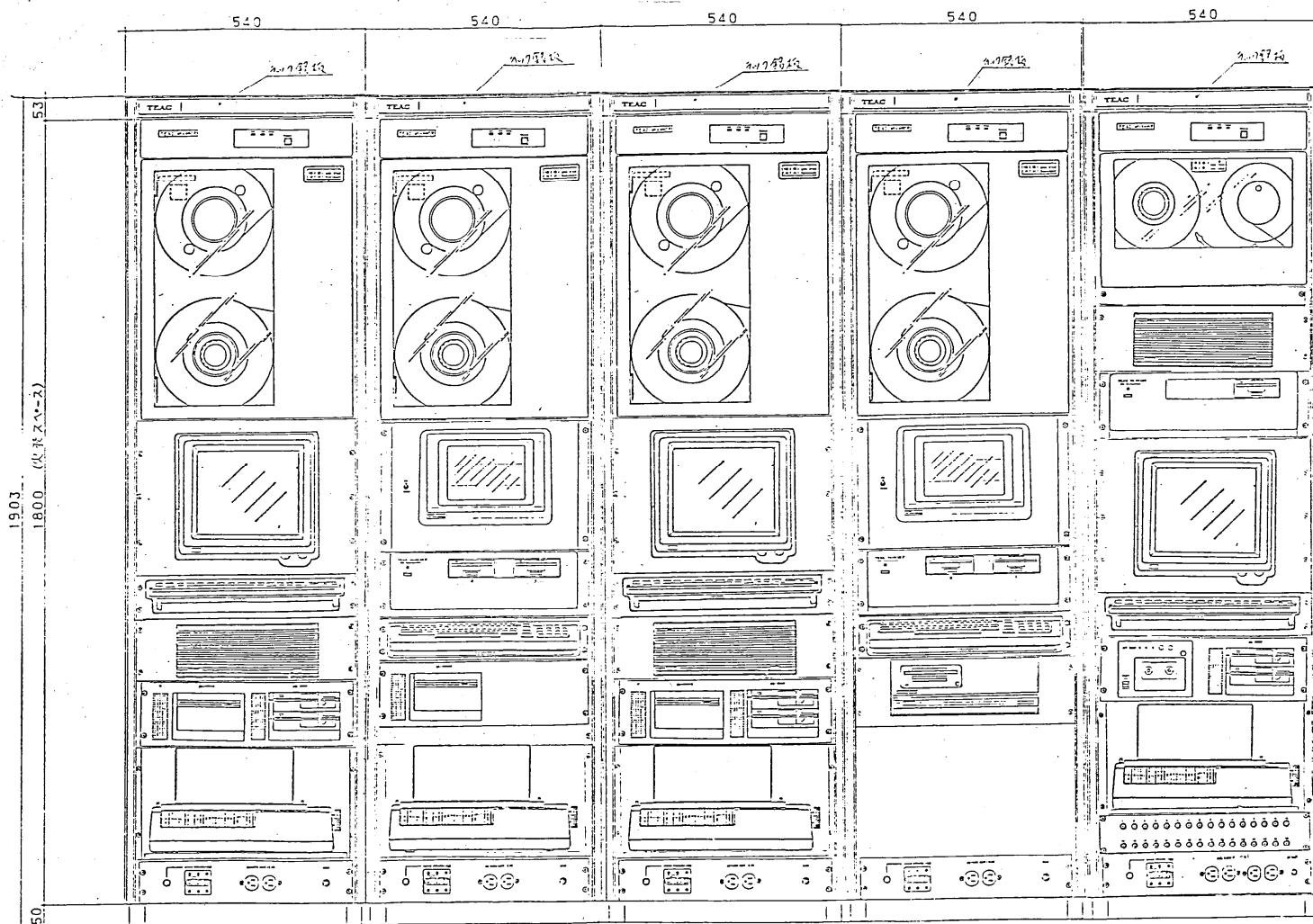
テレメータ装置

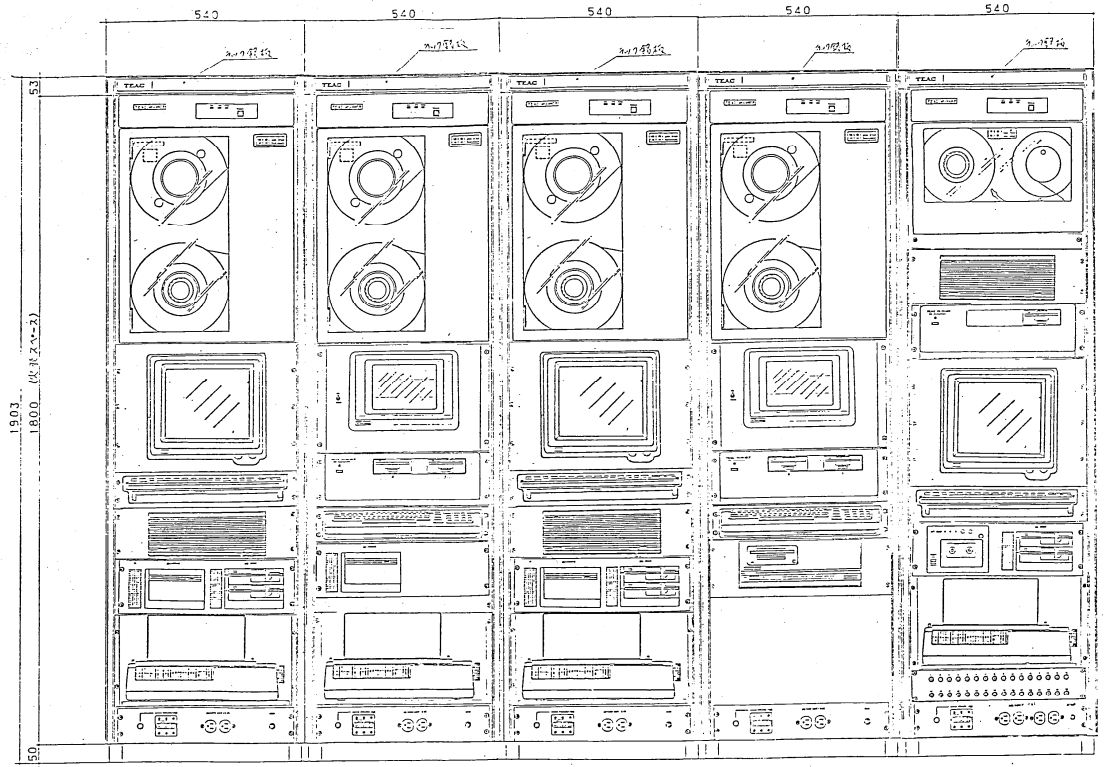
- 富士通 北陸・近畿・山陰
- 明星 日向灘
 - データ収録装置との分離
 - 収録ソフトの完全自作
 - インターフェースの標準化（汎用規格の採用）
 - GPIB インターフェース
 - 再度、富士通へ



データ収録解析システム

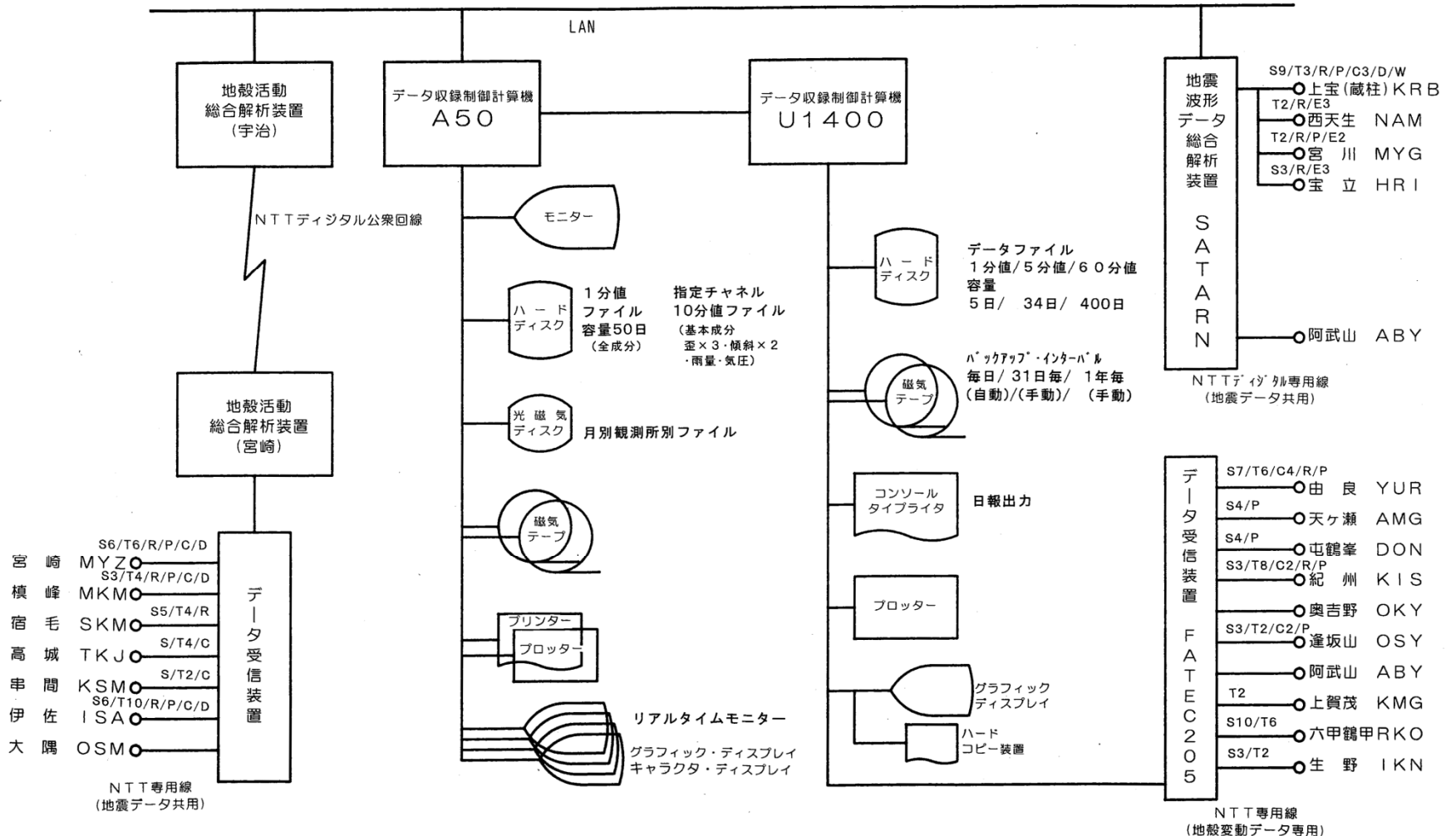
- HP9000システム(宮崎)

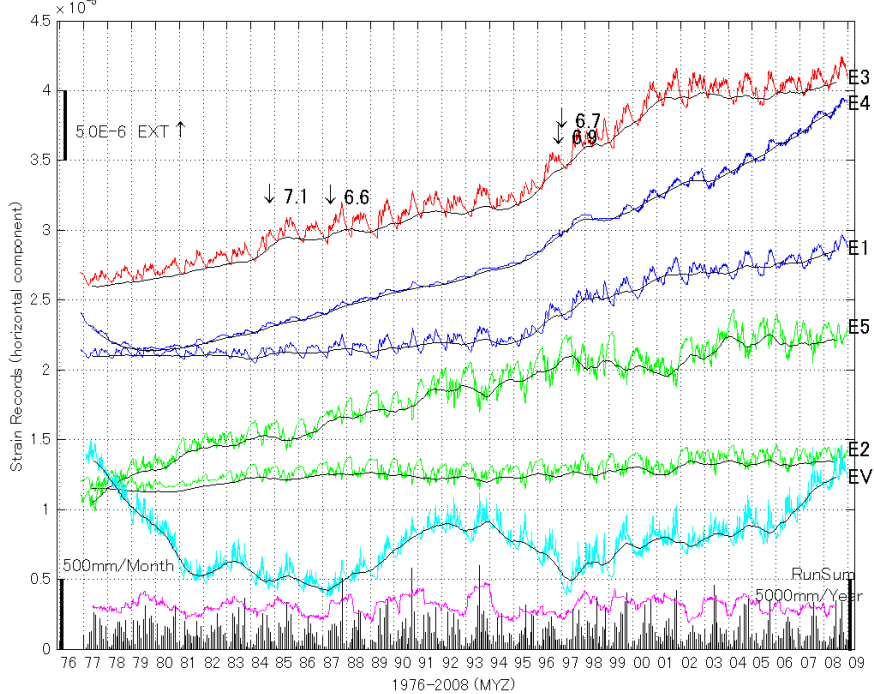




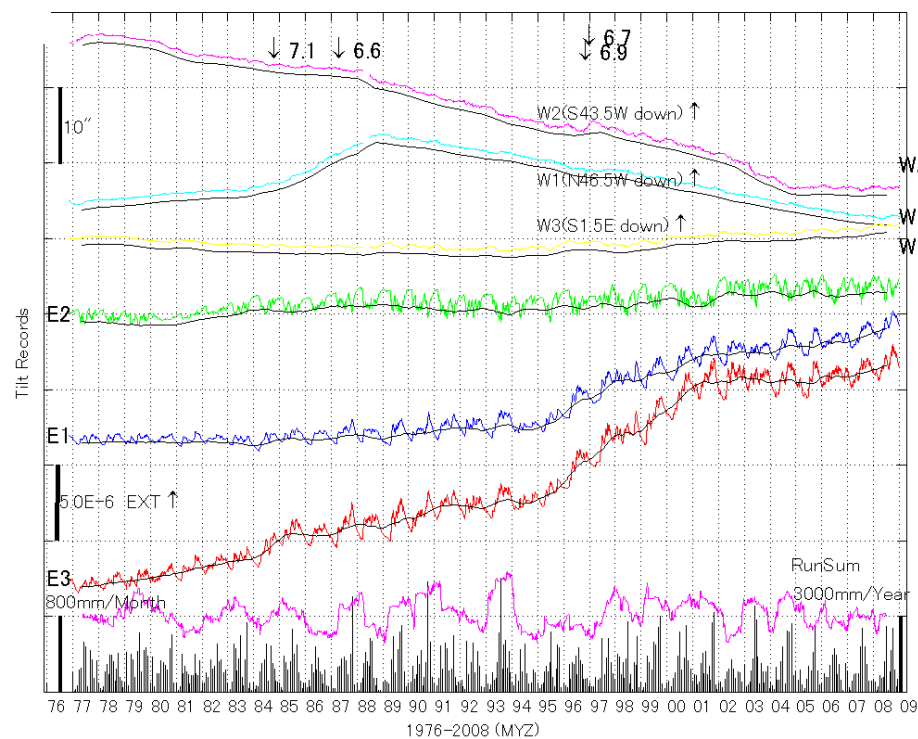
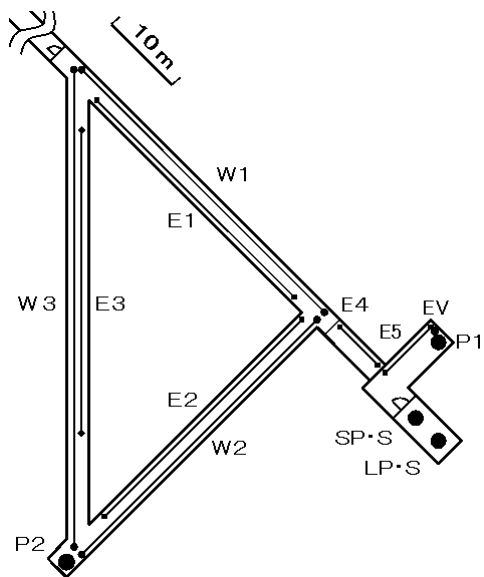
データ収録解析システム

データファイルの階層化





宮崎



連続観測データ解析

潮汐

地震に関連した変動

- 地震前
- coseismic step
- 歪地震動
- 地震後余効変動

長期的な変動

- トレンド
- 地震活動に関係した？トレンド変化
- スロースリップ
- その他(未知の？)

地球内部構造に関する情報

- 自由振動
- コア・アンダー・トーン

気象の影響

- 雨の影響
- 気圧の影響
- 温度変化

気圧変化の影響

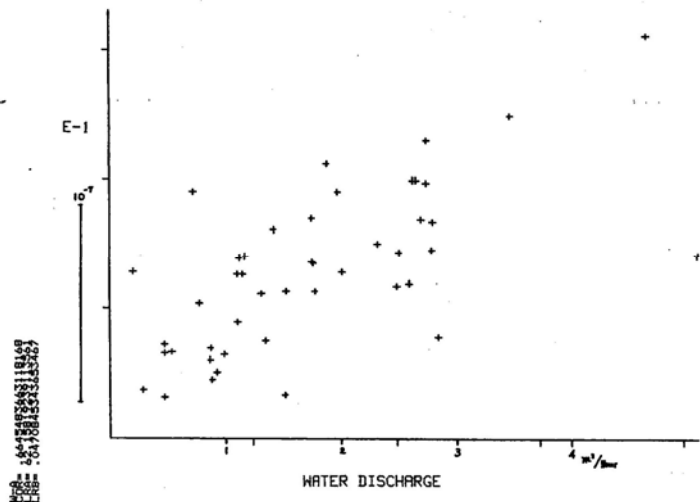
- 断熱変化による温度変化

坑道形状

地形影響

雨の影響

宮崎の場合
湧水量に依存

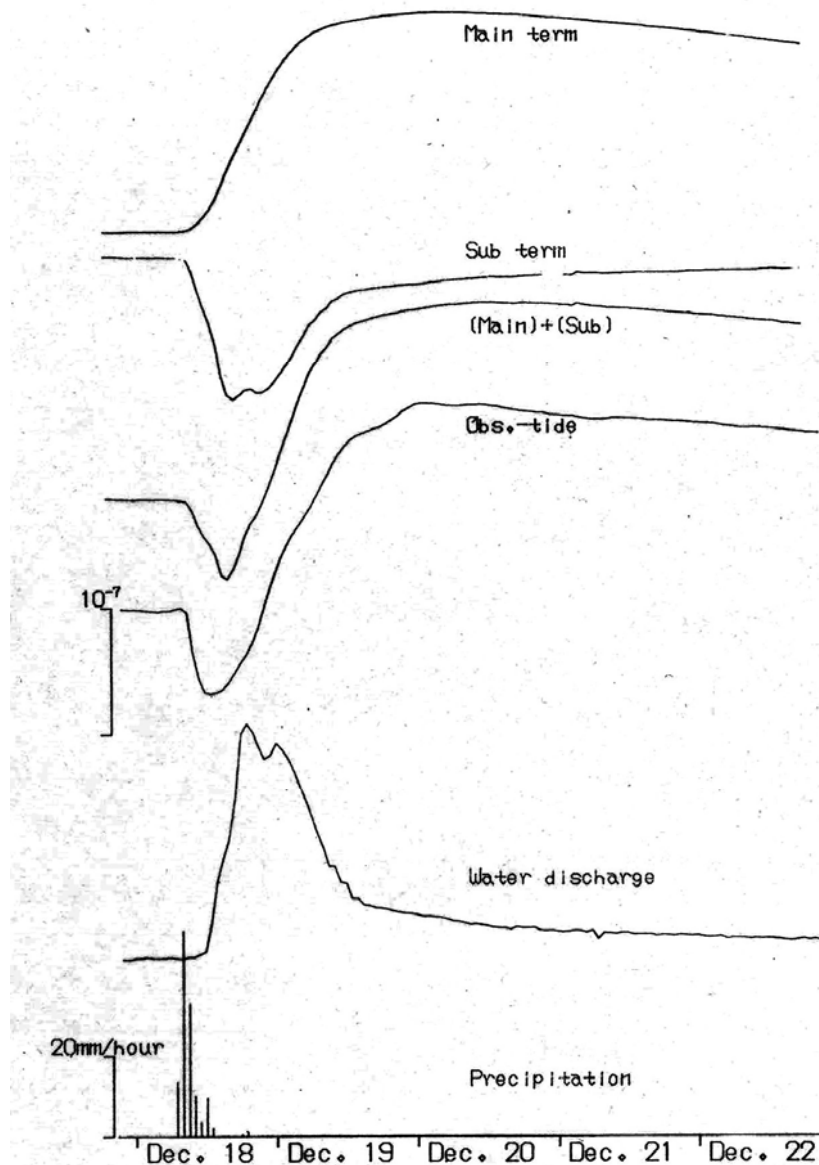
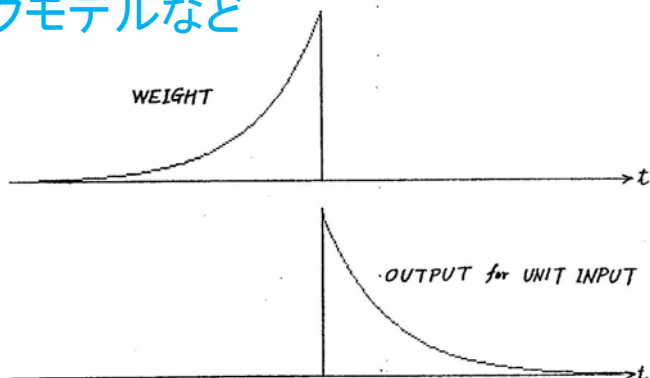


Weighted Accumulation

$$S(i) = \sum_{n=0}^N (d(i-n) \cdot e^{-kn})$$

d ; Water discharge

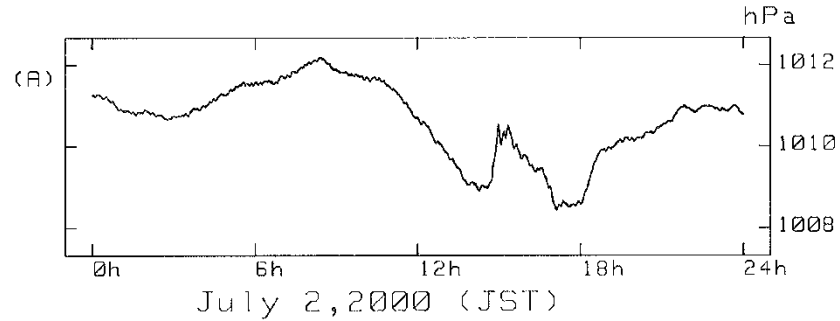
積算雨量
タンクモデルなど



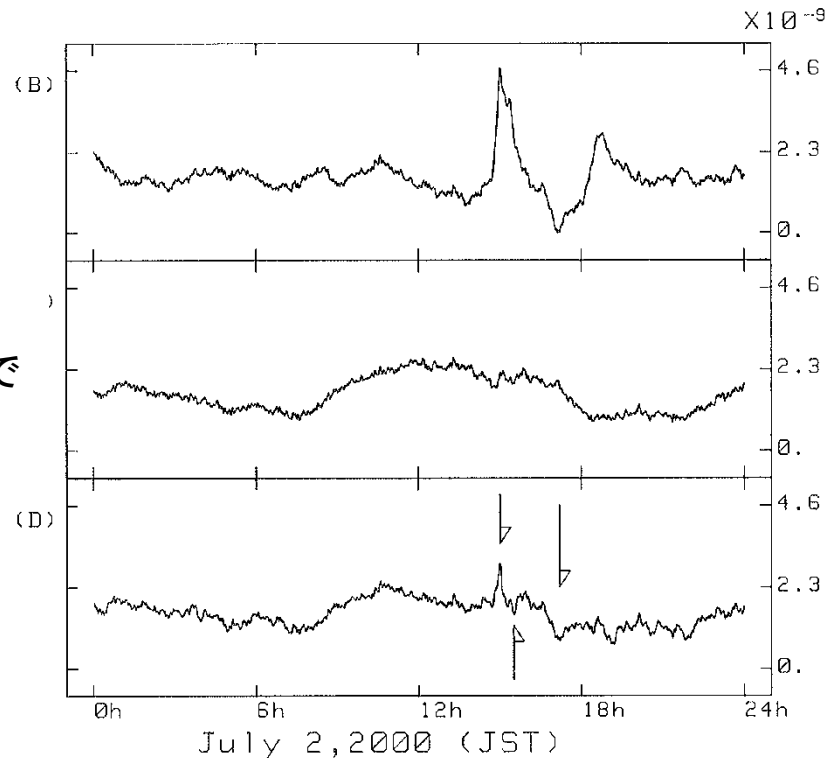
気圧による温度変化の補正

気圧記録と温度計記録のどちらを用いるべきか

気圧計記録



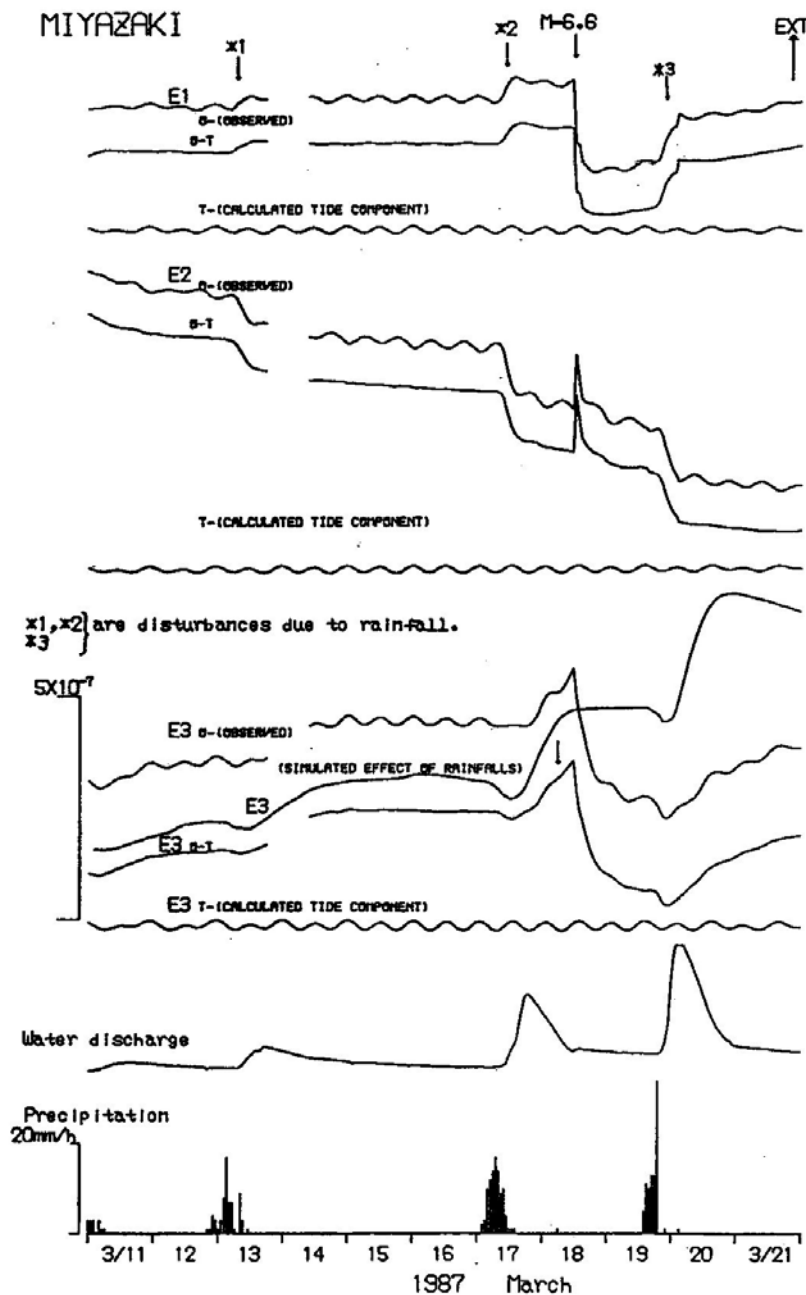
伸縮計記録



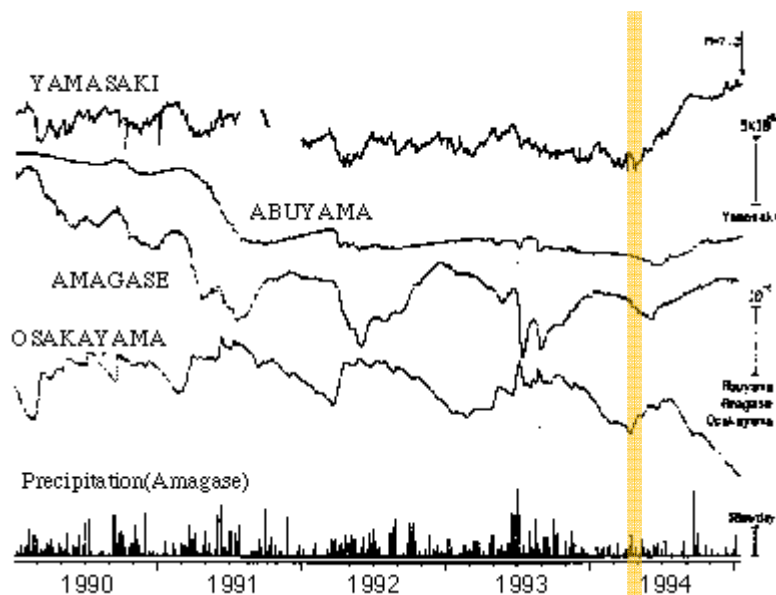
気圧計記録を使って
気圧-温度変換式による温度で
補正した場合

温度計の記録を使って
補正した場合

地震前の変動



地震前の変動(兵庫県南部地震)



(古沢)

震源方向の伸縮計

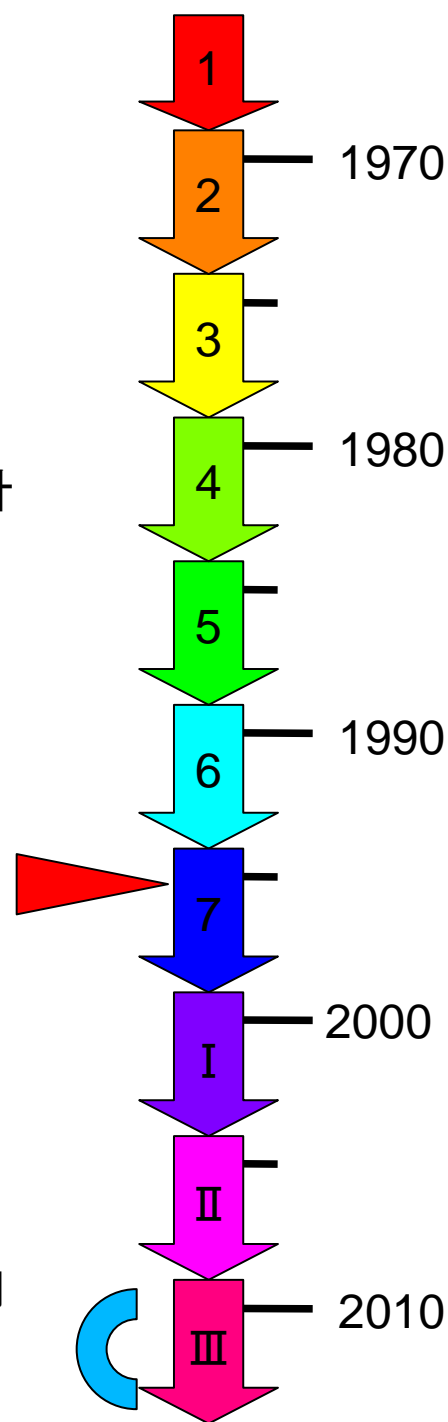
六甲高雄の湧水量変化

H21-25年度地震予知計画

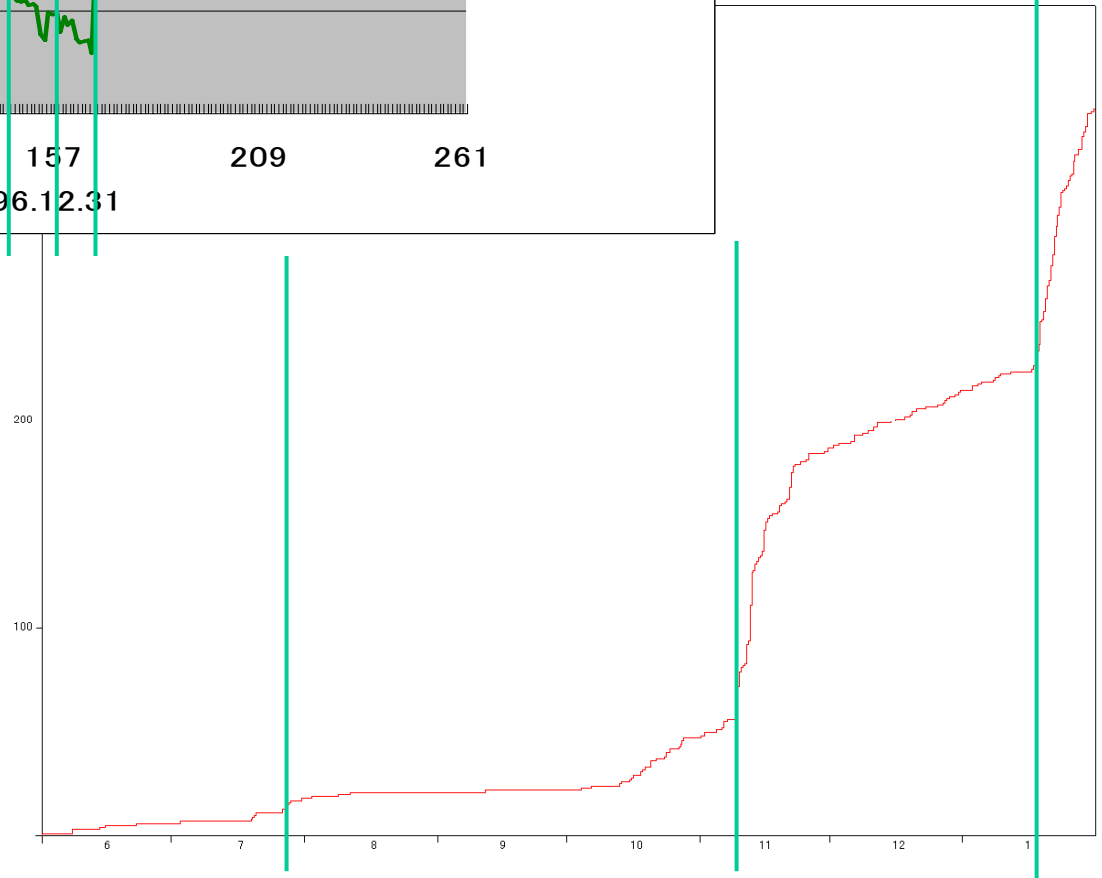
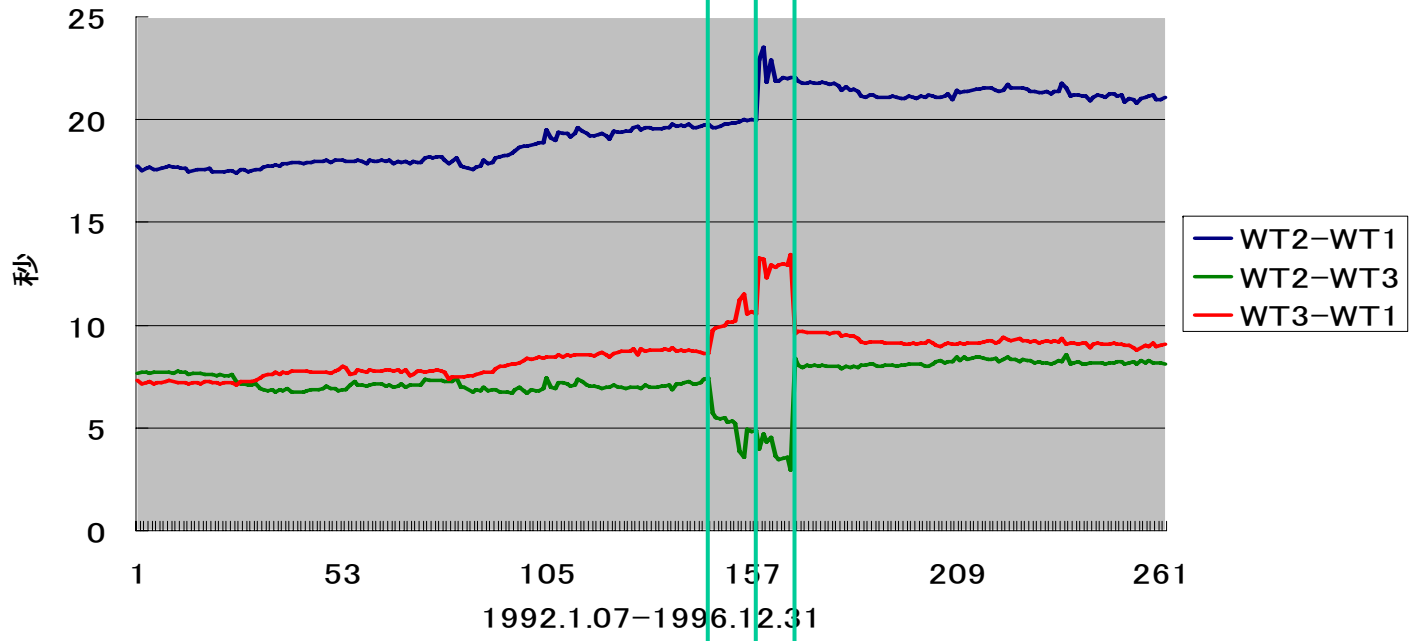
近畿地方北部における地殻活動異常と地震先行現象の関係の解明

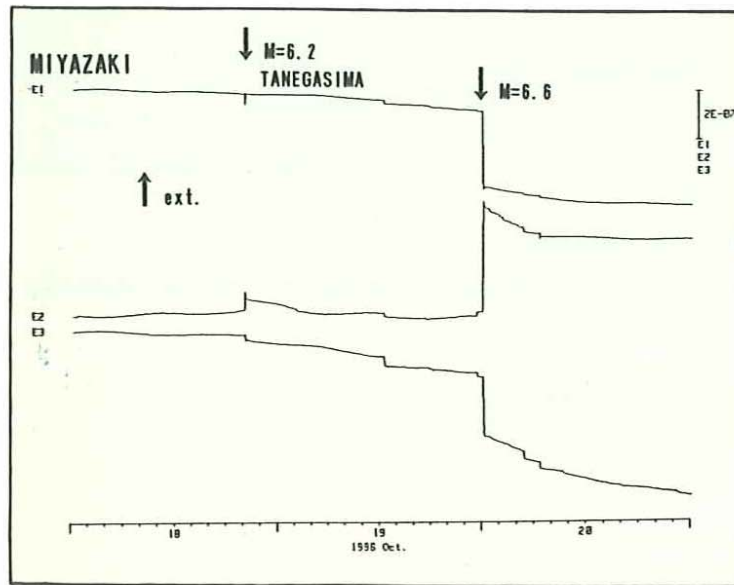
—兵庫県南部地震に至る地震・地殻活動のデータの収集・解析

(切迫度評価)

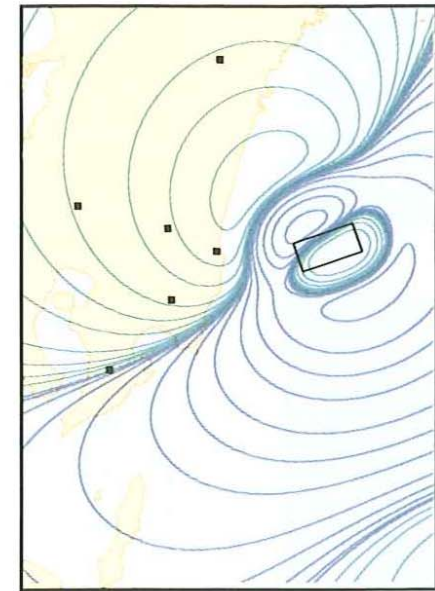


阿武山水管傾斜計読み取り値

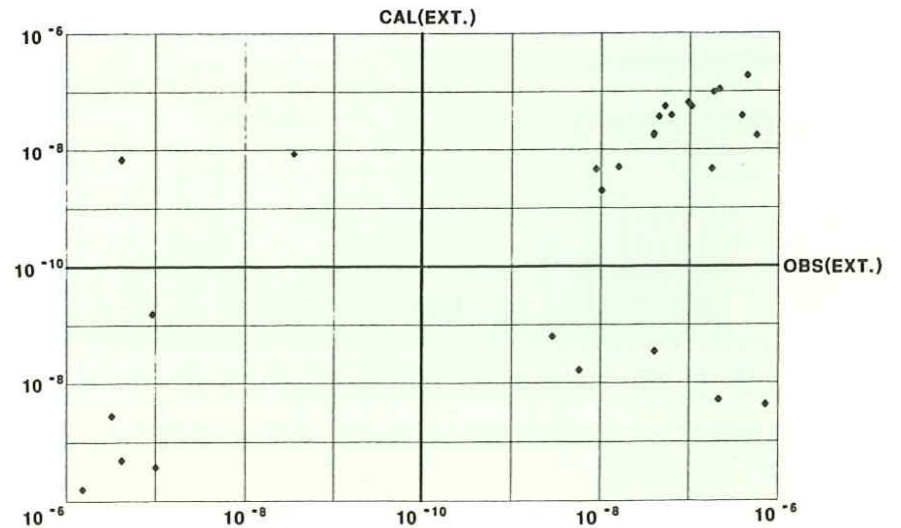




4) Strain step on extensometer records/Miyazaki



6) Strain distribution calculated from the dislocation theory.

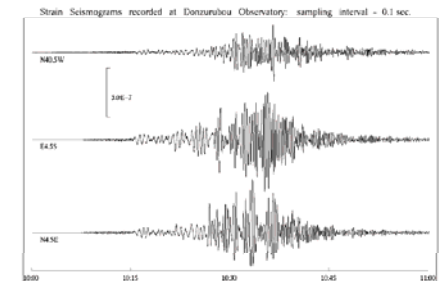
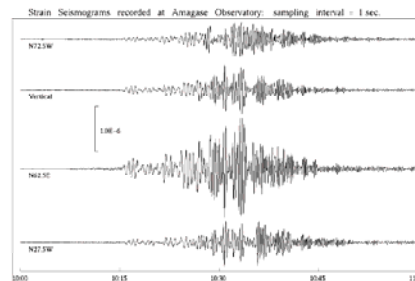
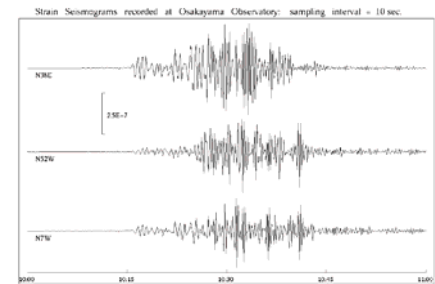
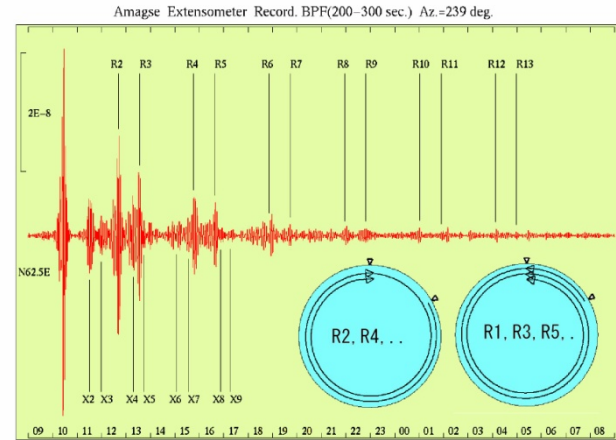
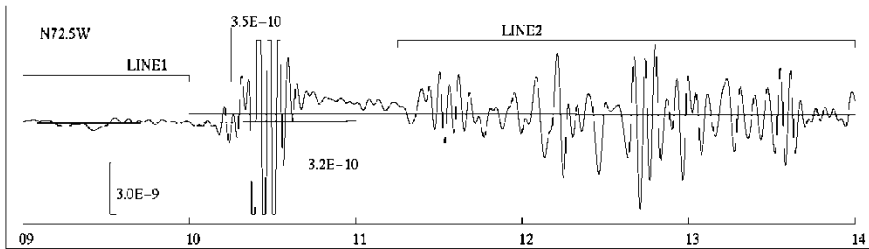
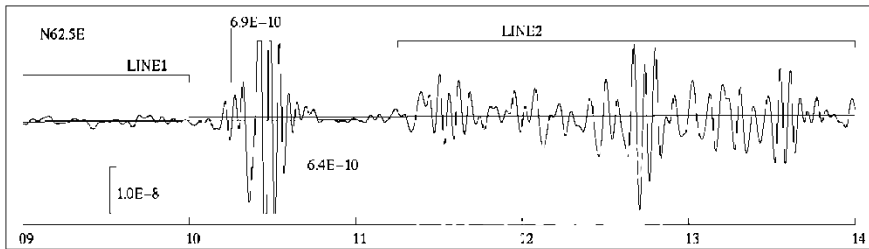


7) Observed(abscissa) and calculated(ordinate) strain steps.

Coseismic strain step
1996年10月19日日向灘

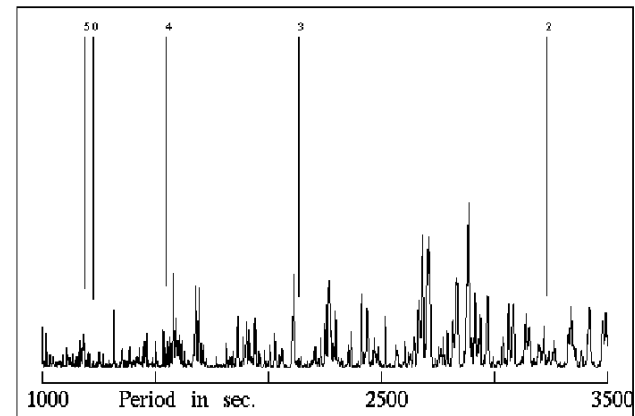
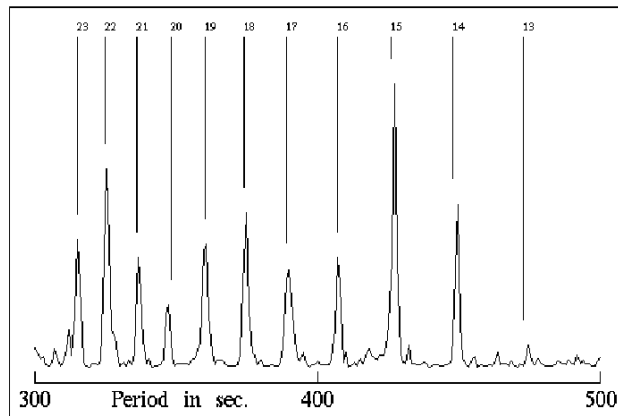
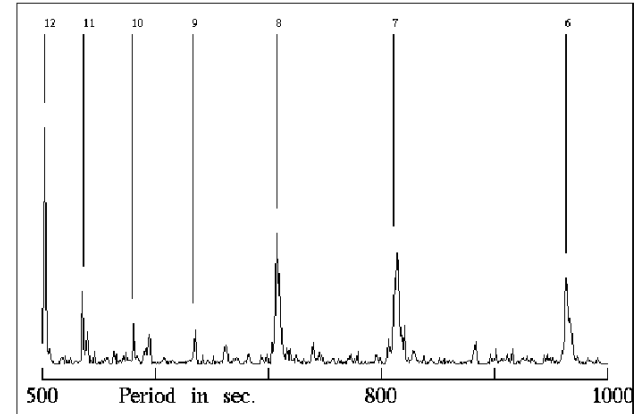
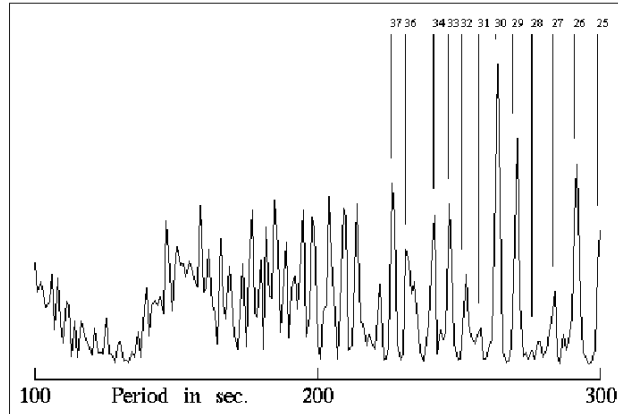
大地震時の記録 (スマトラ-アンダマン地震、@天ヶ瀬)

STRAIN STEP observed at AMAGASE



2004/12/26
(近畿・森井)

スマトラ-アンダマン地震に際して天ヶ瀬観測室で得られた記録のスペクトル。図の中の数字は基本モード(伸縮)の次数。

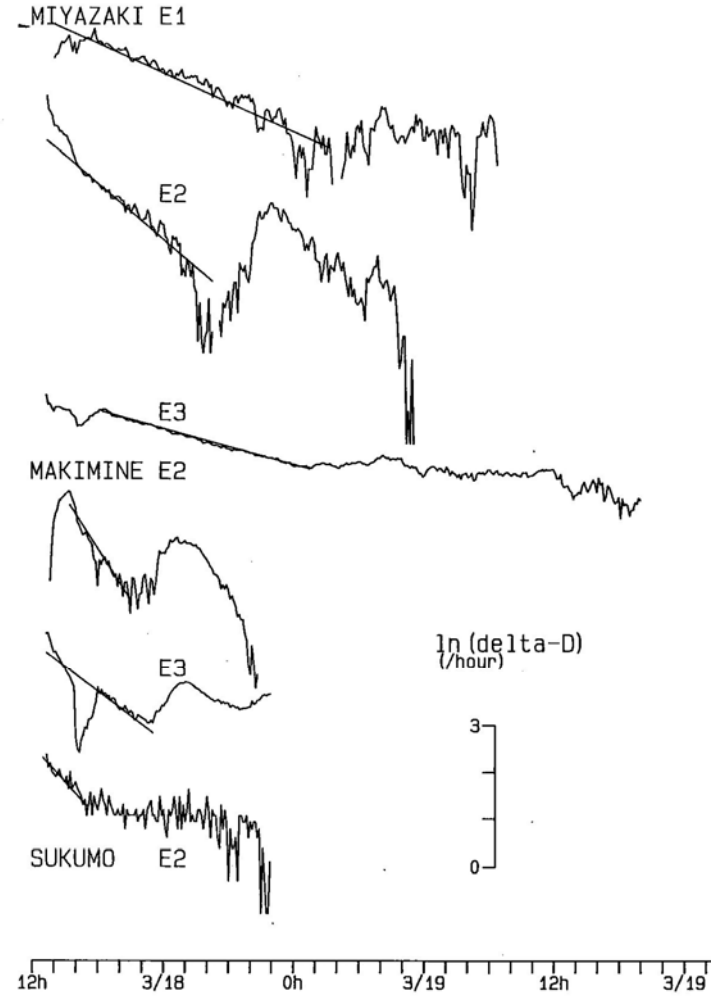
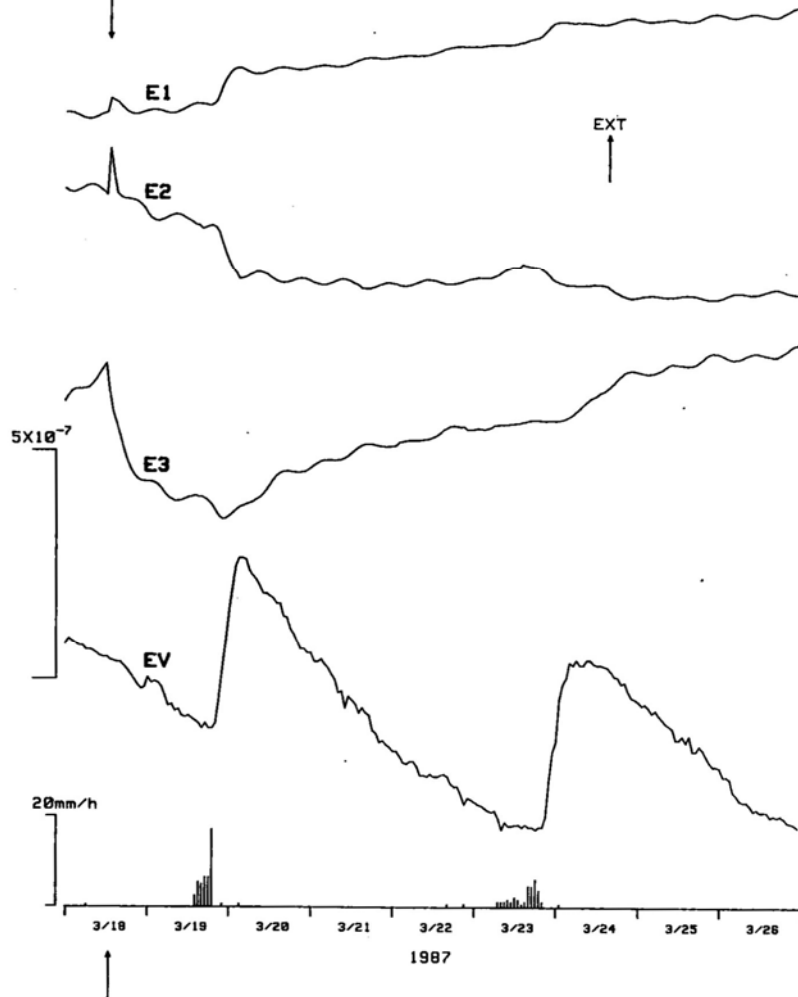


高精度の地殻変動連続観測が地球規模のダイナミクス理解に大きな役割を果たしうる
小巻・川崎: 伸縮計記録からスリヒター・モードの検出

地震後の余効変動

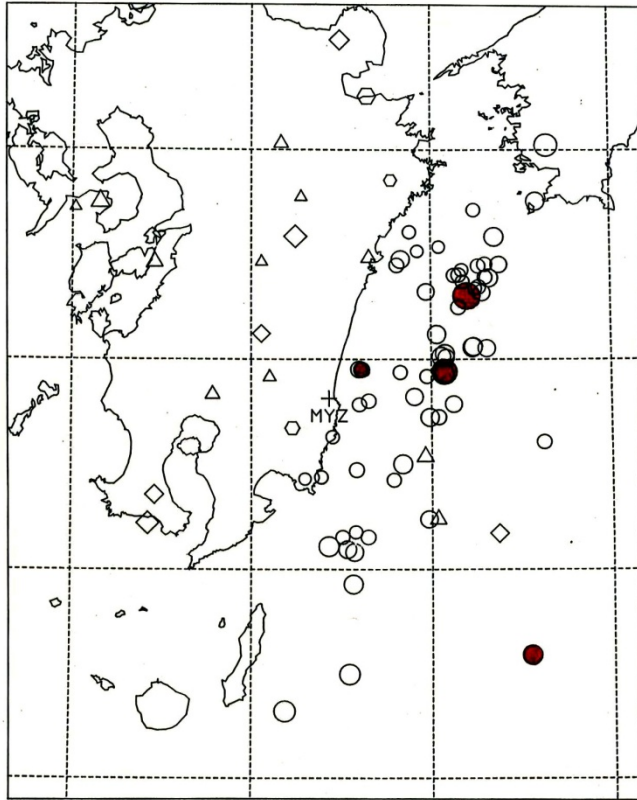
MIYAZAKI 1987 Mar.

M=6.6, I=5

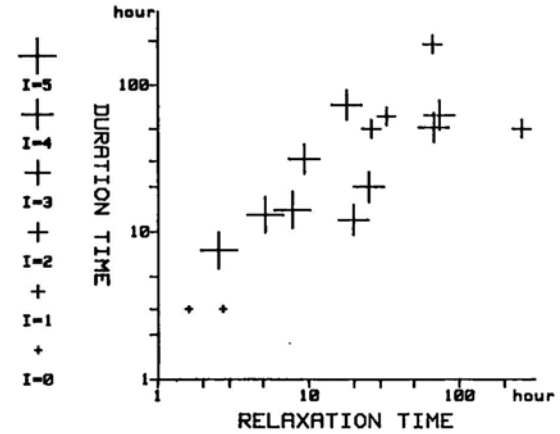
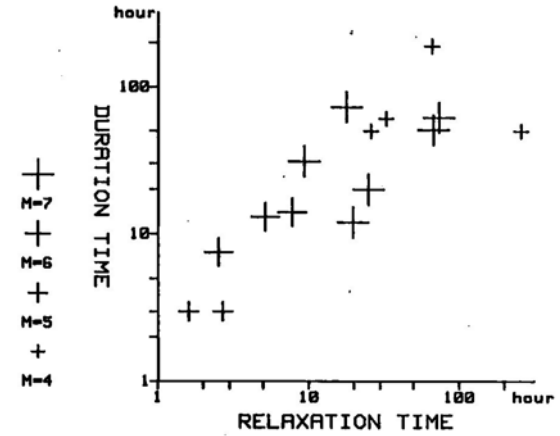


地震後の余効変動

1984-1990

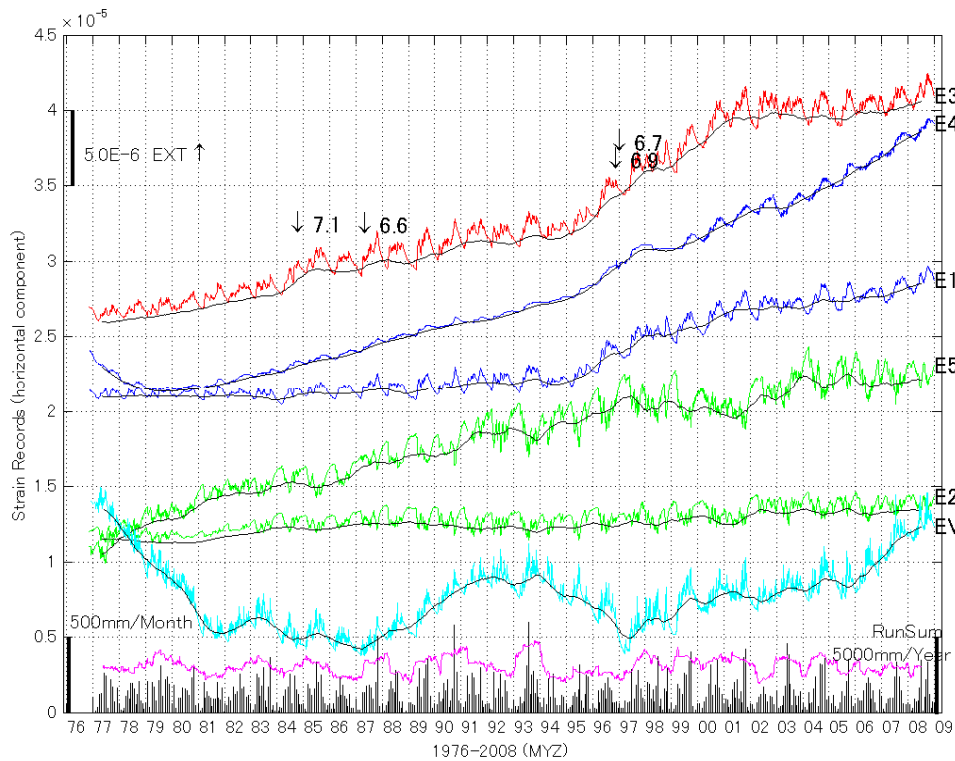


- M=3
- M=4
- M=5
- M=6
- + Observatory
- △ D < 20km
- 20km ≤ D < 60km
- 60km ≤ D < 100km
- ◇ D ≥ 100km



地殻変動トレンド変化と地震発生

京大防災研究所年報第8号(昭44.13)



(寺石・2009)

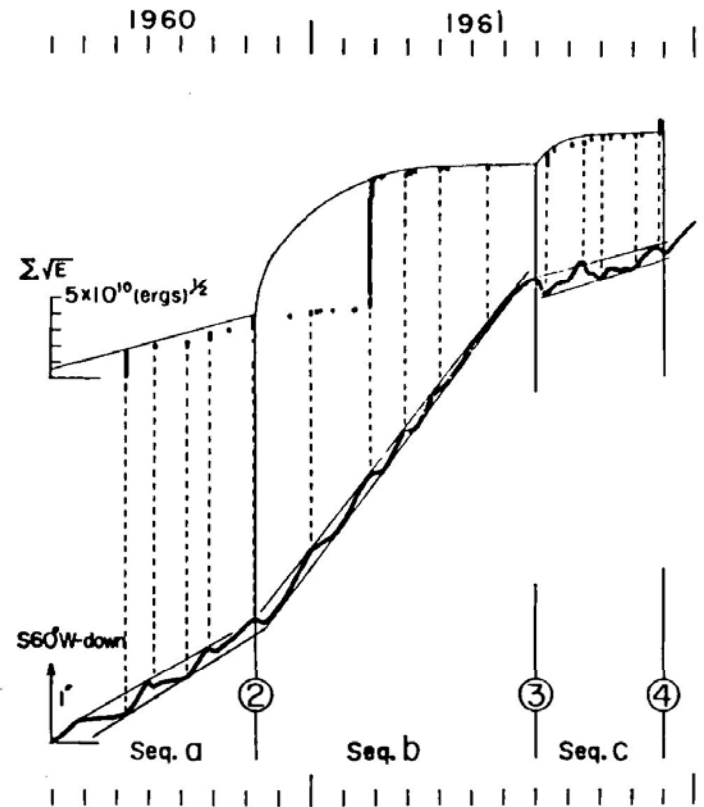
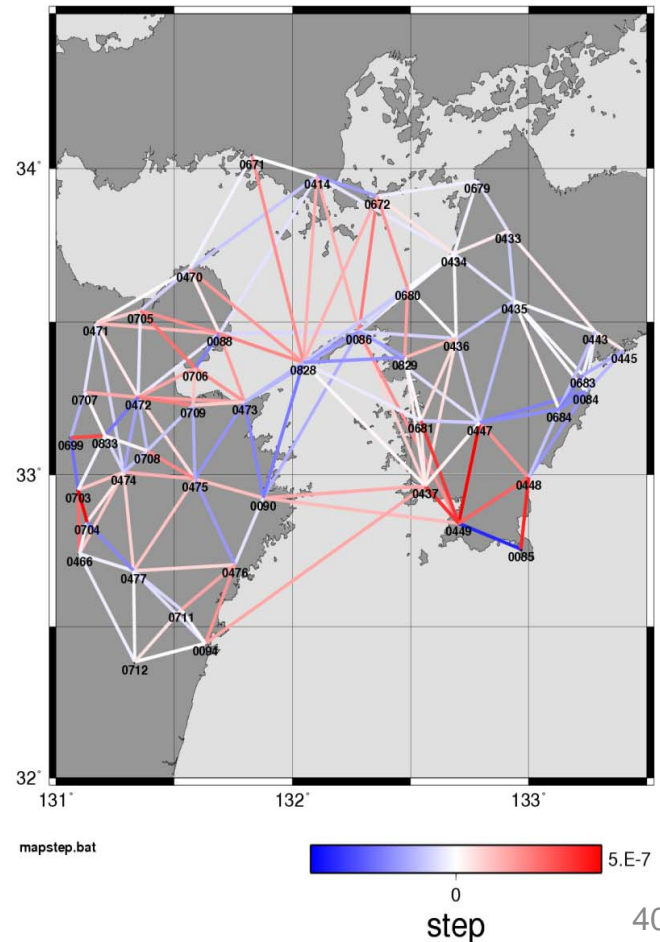
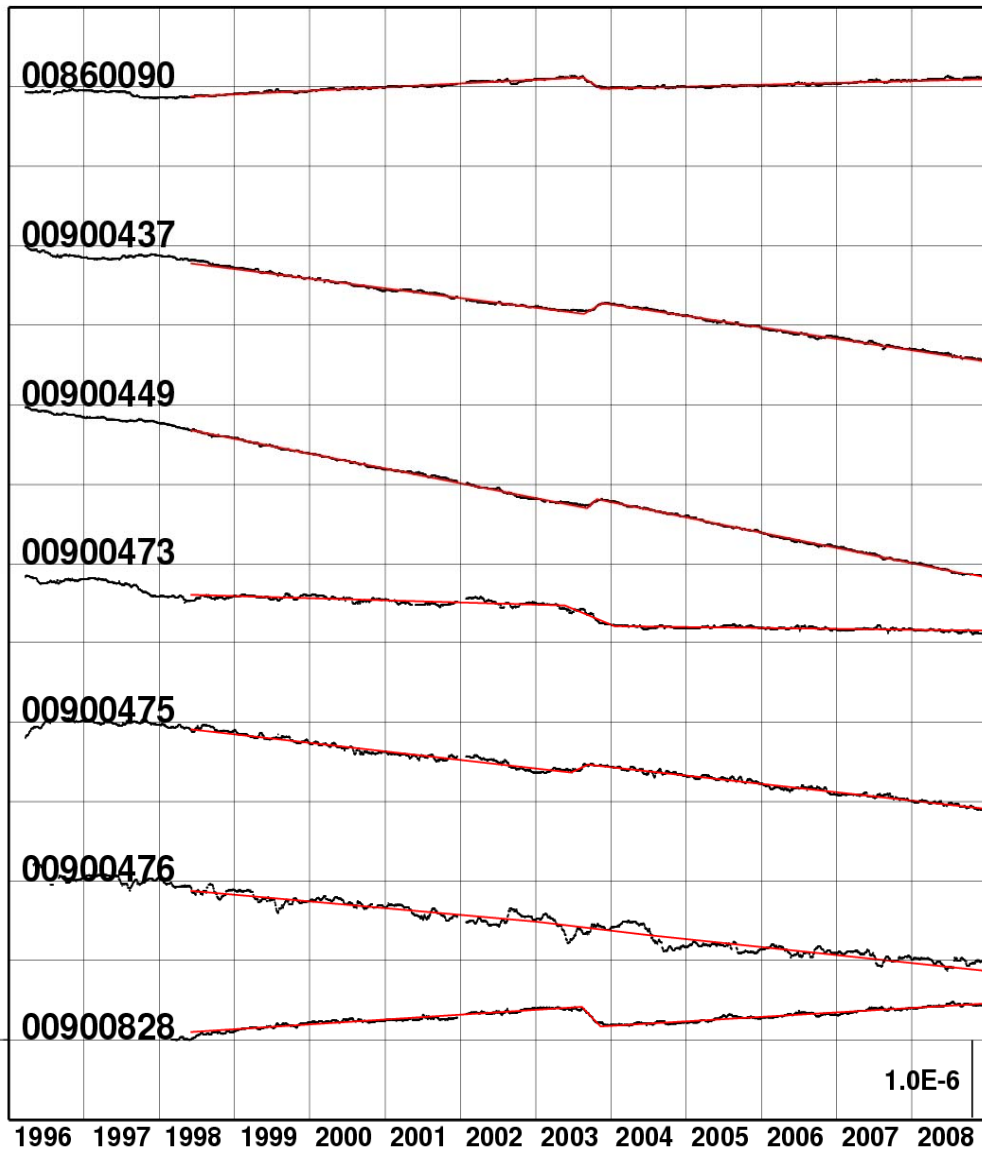


Fig. 2. Tilt variation in the direction of horizontal displacement near Mikimine and the state of strain release caused by the crustal earthquake originated in the Hyūganada. Numbers indicate the same subcrustal earthquakes as in Fig. 1.

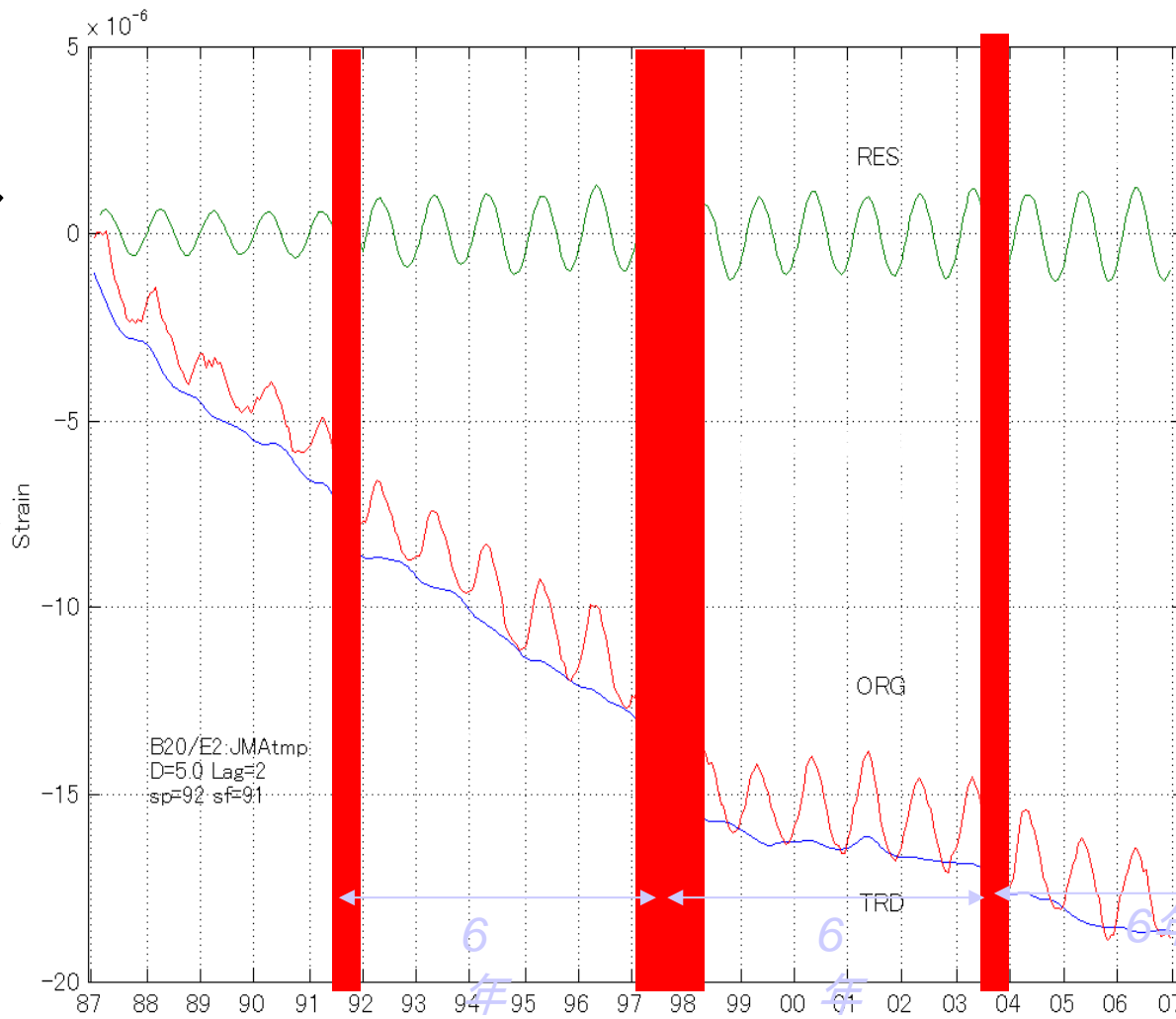
(田中豊・1965)

豊後水道スロースリップ



スロースリップ

- 1991
-
- - 日向灘 M6.6地震 (1996 Oct., Dec.)の余効との関係
- 2003
 - 四国北西部の長期動傾斜を考察 (小原 2004)
- 2009?
 - 6年周期で再来するか



豊後水道の1991年スロースリップの検出
京大防災研・寺石他

潮汐フィルタ

モニタープログラム作成過程で
1週間分のデータで潮汐をできる
だけ除去

データは分値がある

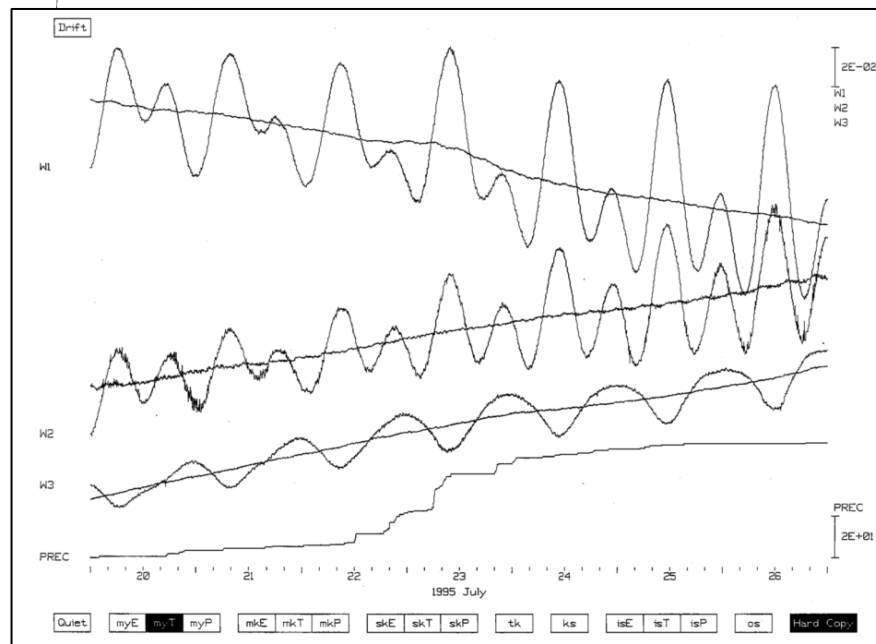
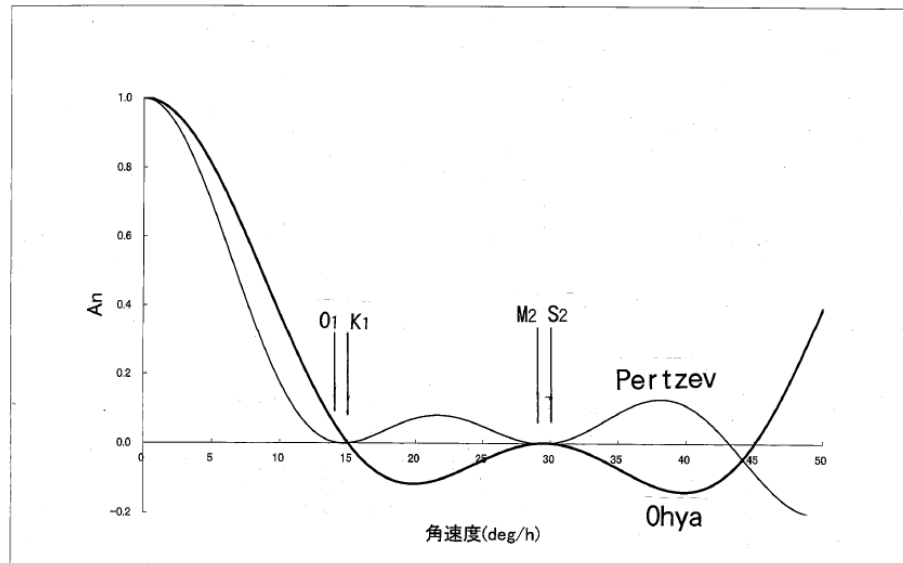
Pertzev = (-8,0,+8)*(-10,-
5,0,+5,+10)

36時間、15データ(Hour)

Ohya = (-186,+186)

*(-540,-180,+180,+540)

24時間12分、8データ(min)



研究集会

平成18年度

地殻変動連続観測の未来(東京大学地震研)

地殻変動連続観測研究の新たな展開(防災研)

@地震研究所 WG => 全国ネット

平成19年度

地殻変動連続観測記録の一元化と公開・利用

(東京大学地震研=代表:大谷文夫)

平成20年度所長裁量経費

地殻変動の全国実時間ネットワーク化による地殻歪研究基盤整備

大谷文夫・森井 亙 尾上謙介・中村佳重郎・寺石眞弘・竹内文朗・川崎一朗

システム開発／システム構成・展開／全国ネット調整

平成21-25年度予知計画

全国ひずみ傾斜データの流通と一元化(代表機関・北大理)

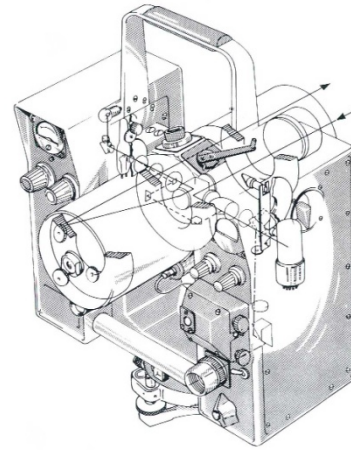
データベース:北大・京大・鹿児島大(ミラーリング)

- 地震予知計画
- 宮崎観測所と日向灘観測線
- 連続観測
- テレメータおよびデータ処理
- 光波測量
- GPS
- 近畿北部の異常変動

光波測量

- 機器の進歩
 - 水銀ランプからレーザー管 さらに半導体レーザー
 -
- 気象補正の高精度化
 - 温度測定
 - 温度依存性の異なる2波の使用
 - 音波
 - 2色光波

光波測量



光波測量

近畿 田中寅夫

和歌山(微小地震多発域)

鳥取(鹿野・吉岡)

高知(南海地震)

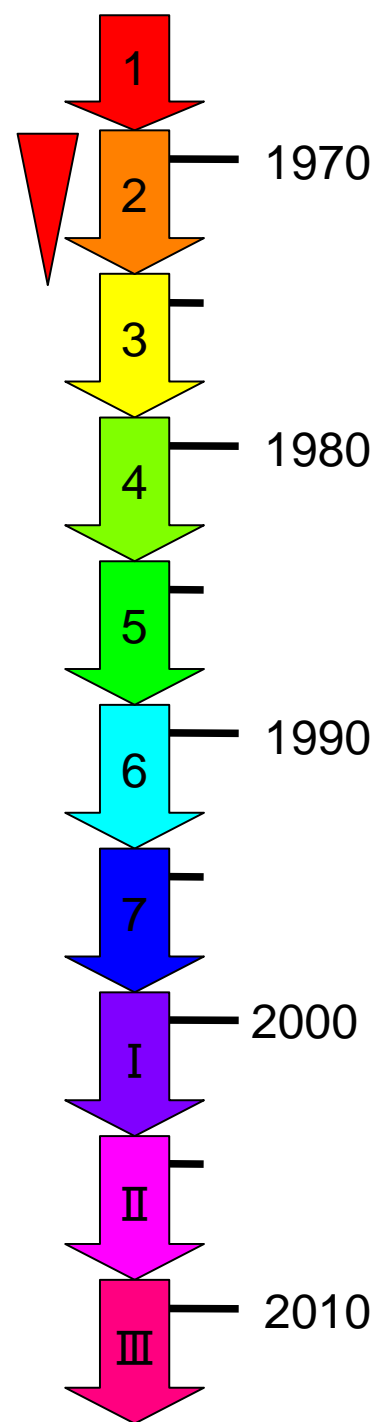
中央構造線(和歌山・四国)尾上

跡津川断層

坑道内(天ヶ瀬・1700m)

えびの

霧島新燃岳



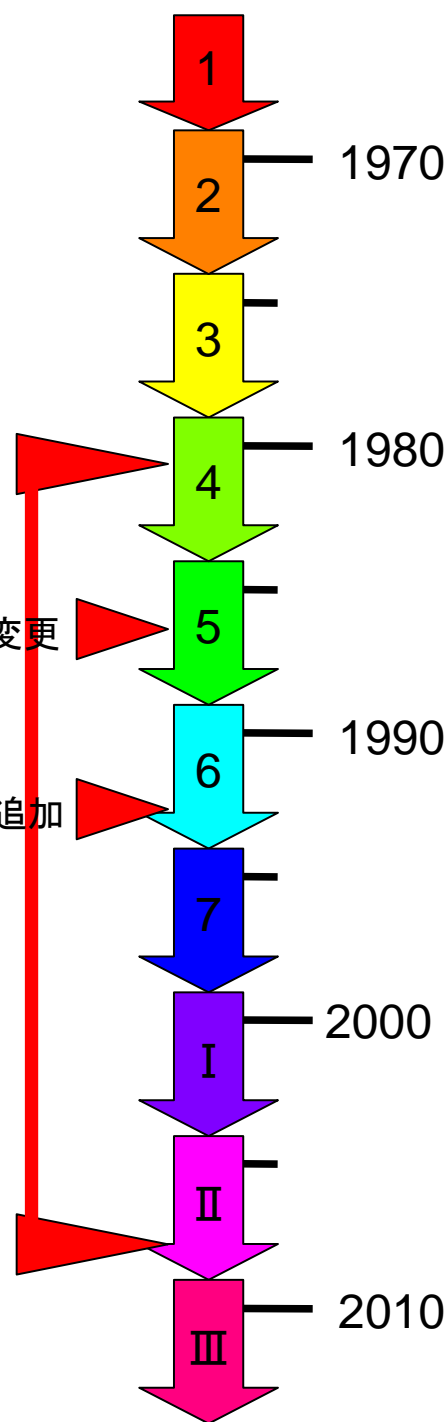
宮崎光波測量 測線網

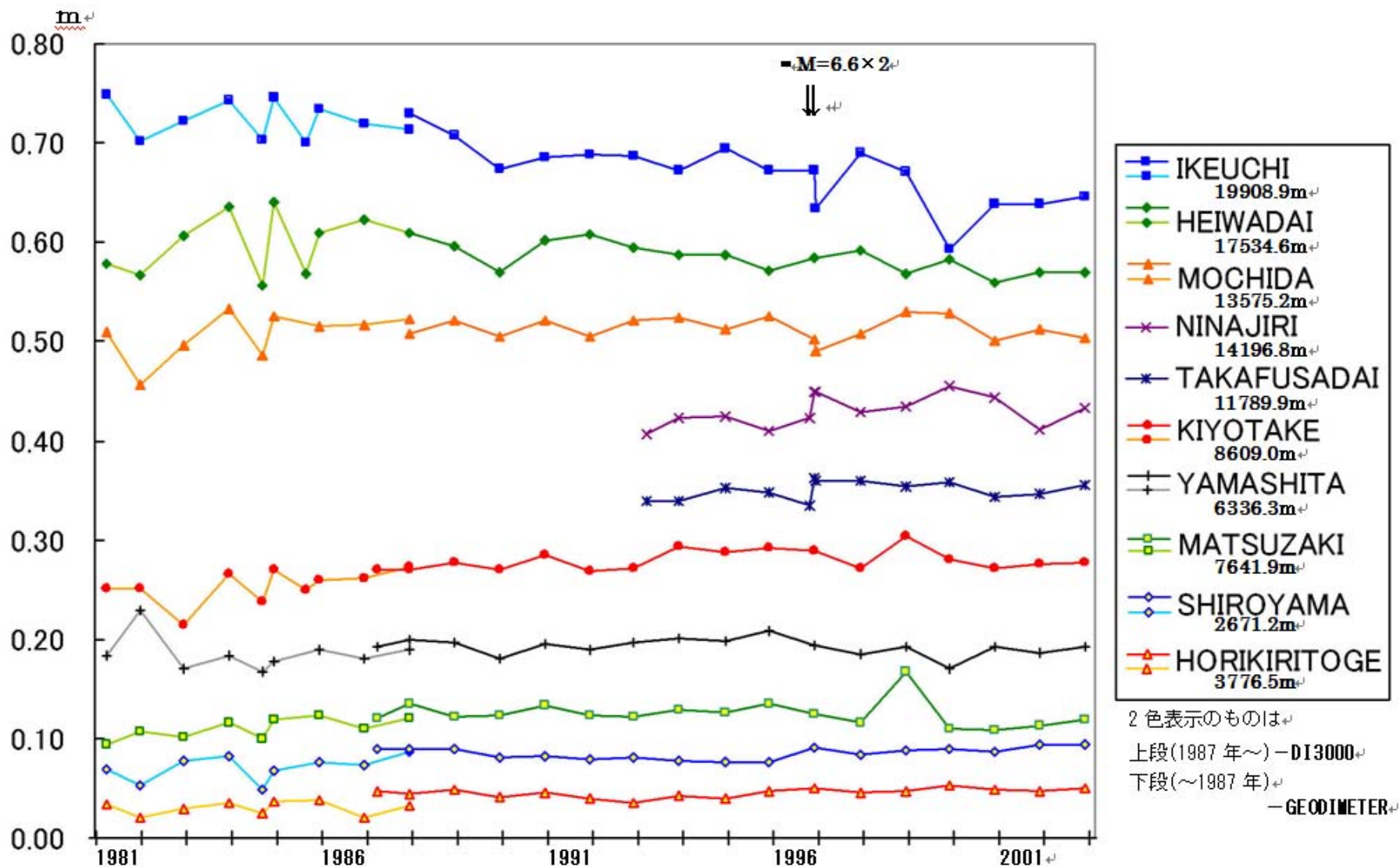
- ◆ IKEUCHI
- HEIWADAI
- ▲ MOCHIDA
- NINAJIRI
- ✳ TAKAFUSADAI
- △ KIYOTAKE
- YAMASHITA
- ◇ MATSUZAKI
- SHIROYAMA
- ▲ HORIKIRITOGI



半導体レーザー機に変更

東西測線追加



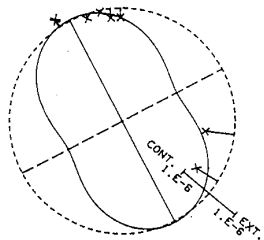


宮崎光波測線網 測線長変化

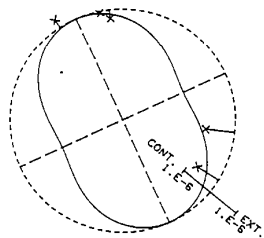
光波測量

1987-1993

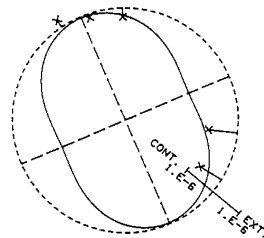
all base lines



long base lines

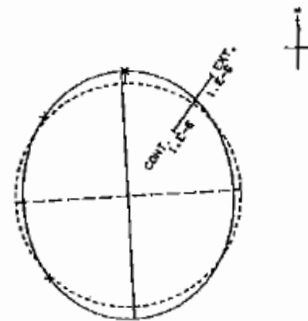


short base lines

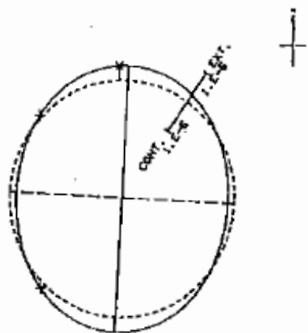


連続観測

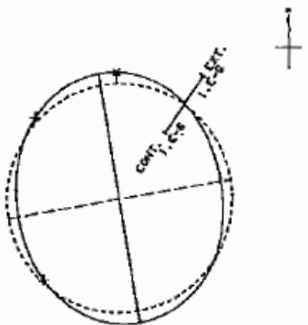
1981-1993



1981-1987

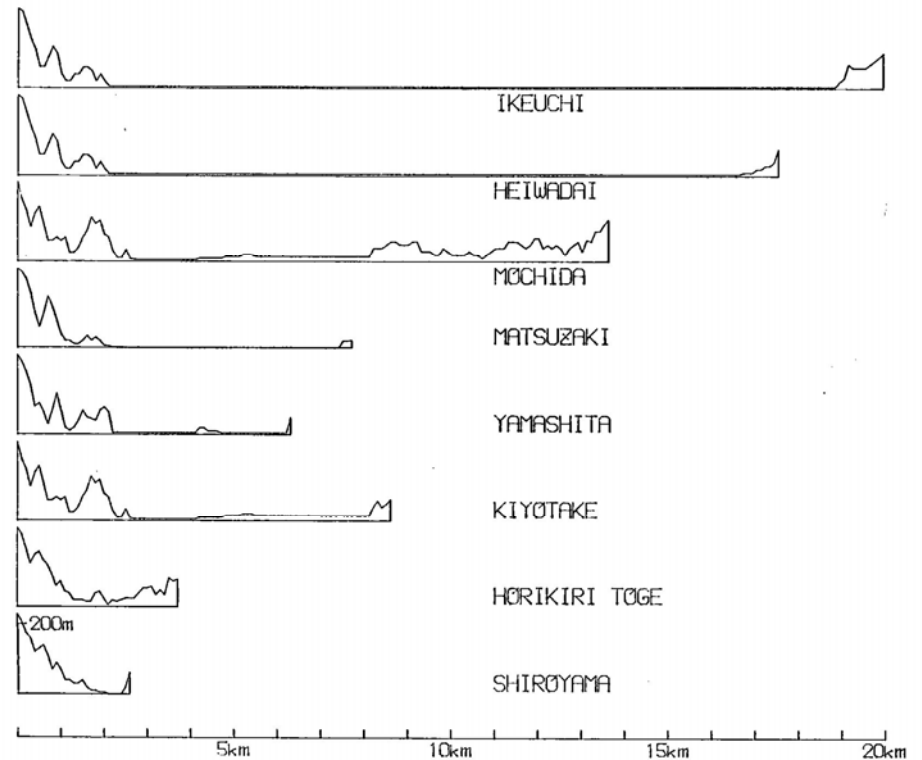
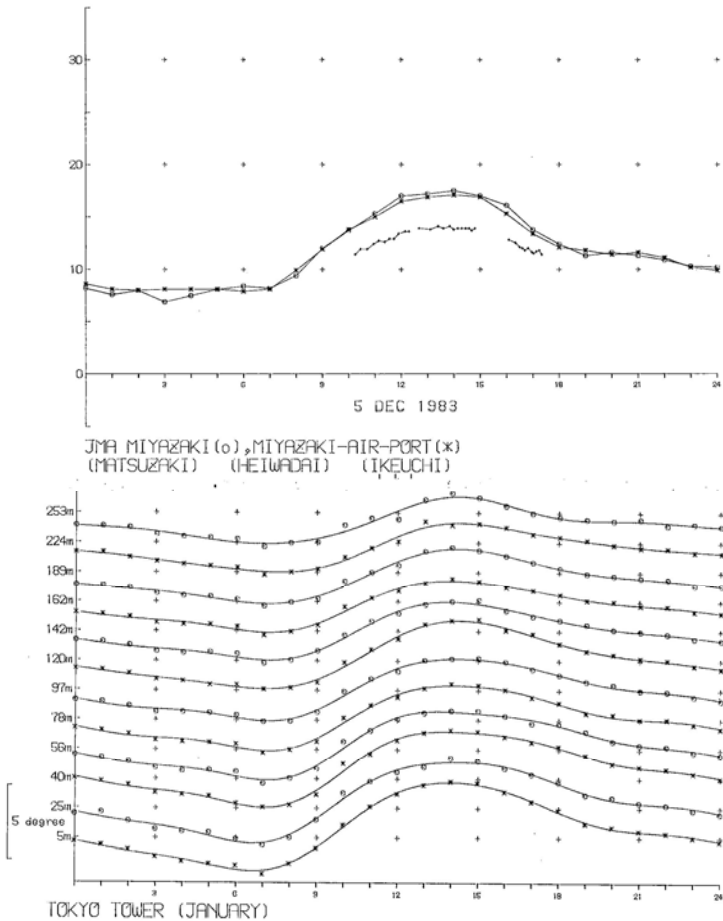


1987-1993



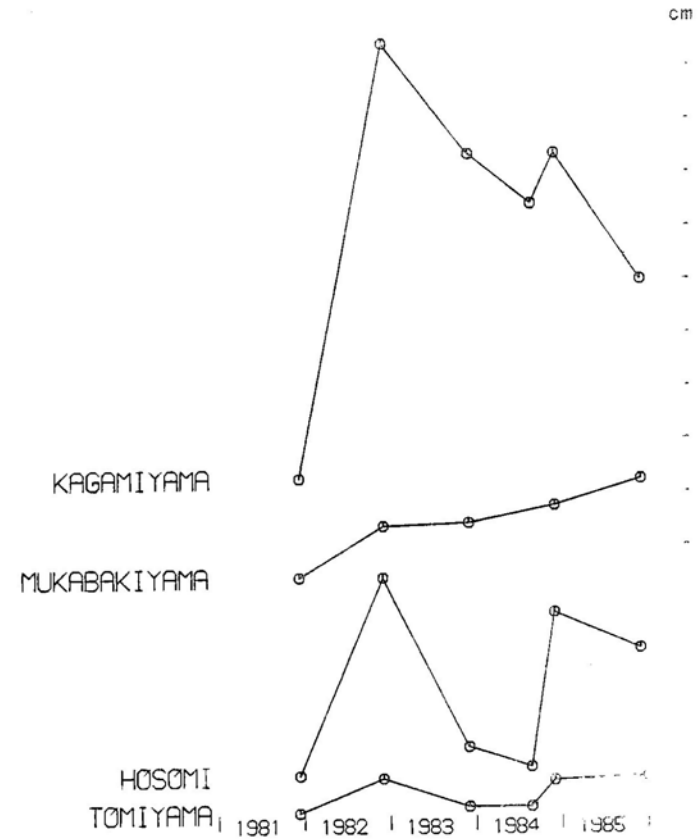
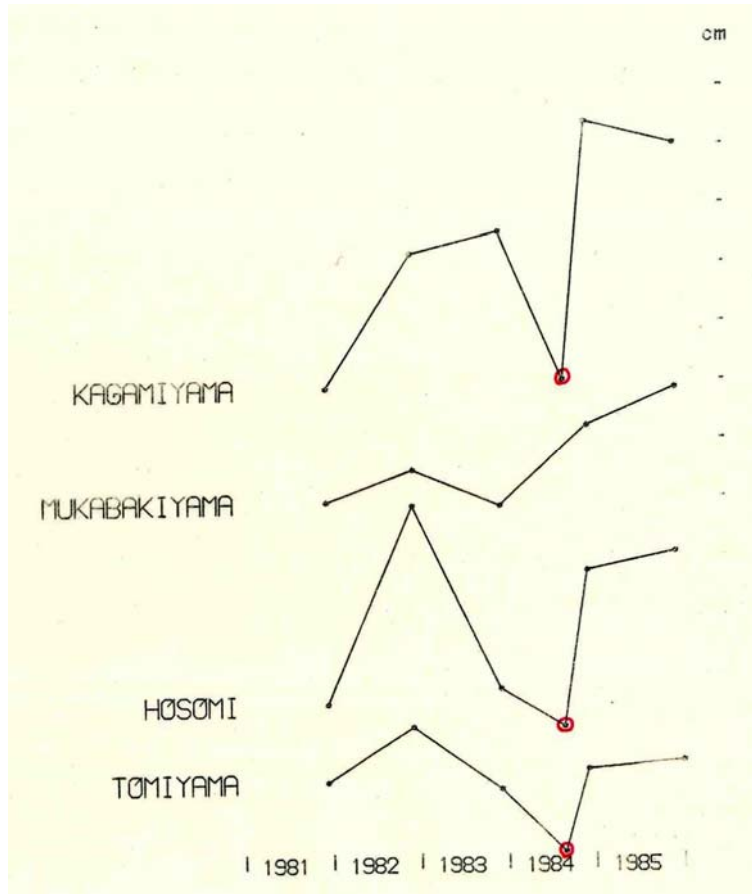
光波データ解析

- 気象補正精度向上による測距精度向上



光波データ解析

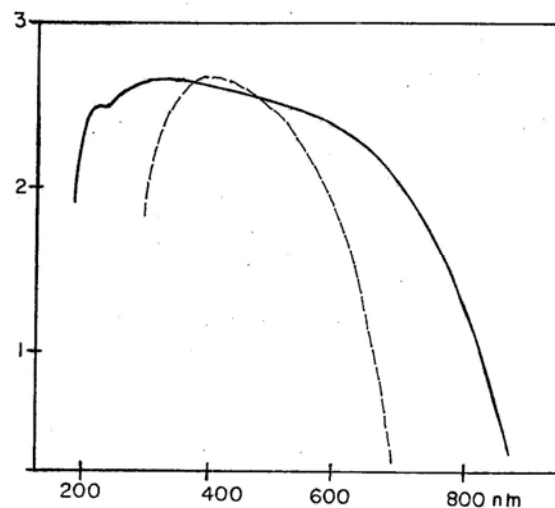
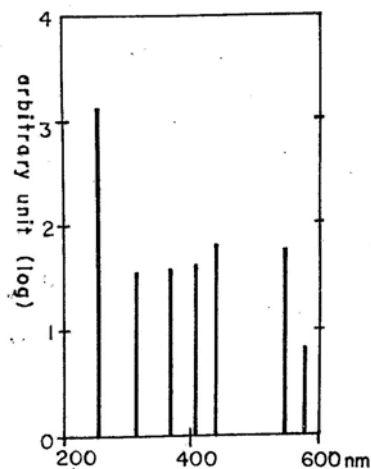
- 気象補正精度向上による測距精度向上

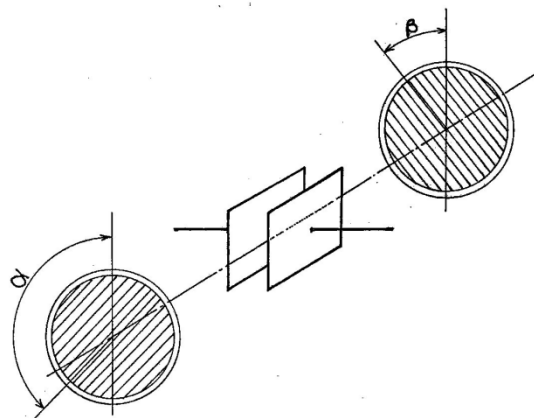


光波測量

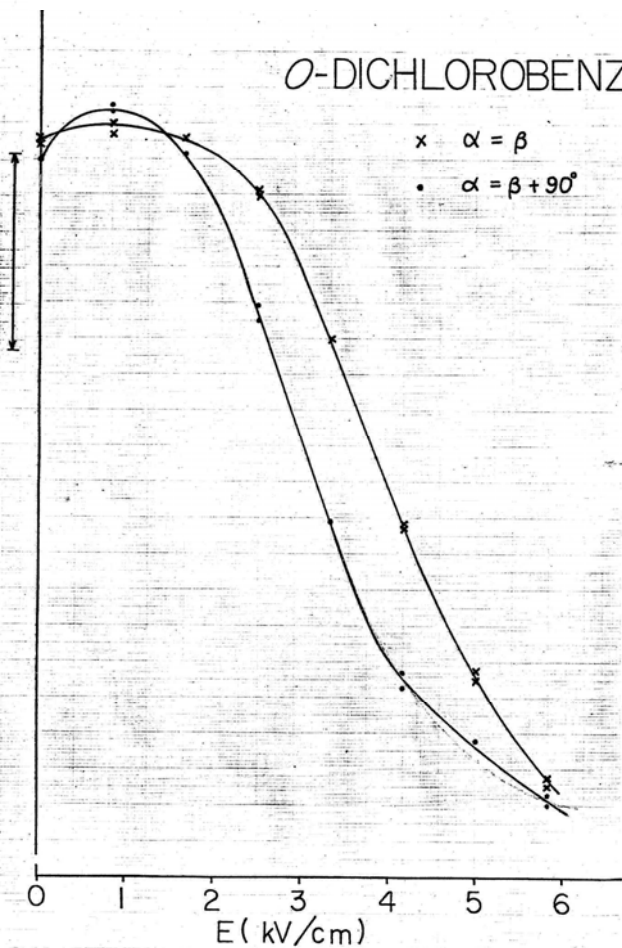
- 気象補正の高精度化
 - 温度依存性の異なる2波の使用
 - 音波
 - 2色光波

LIGHT SOURCE
OPTICAL SYSTEM
MODULATOR
DETECTOR

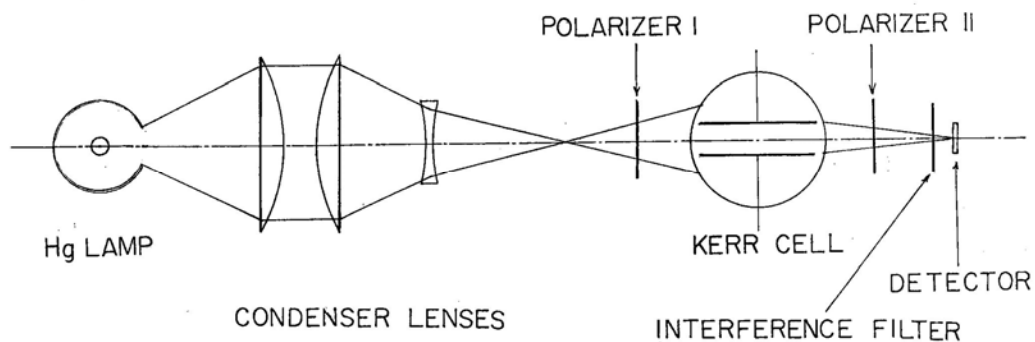




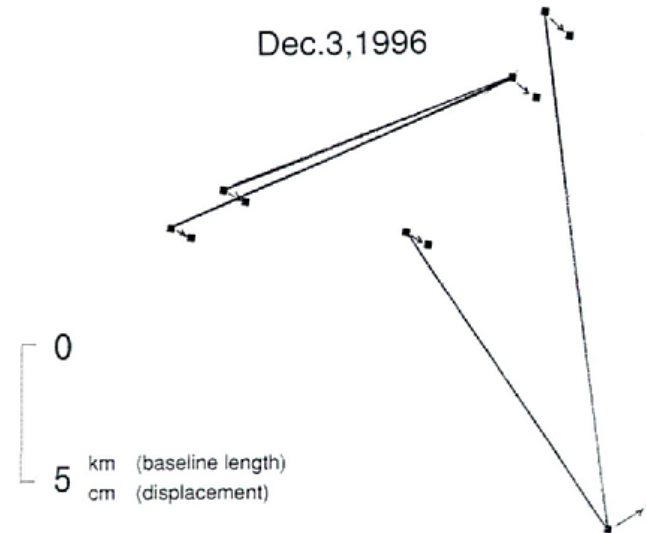
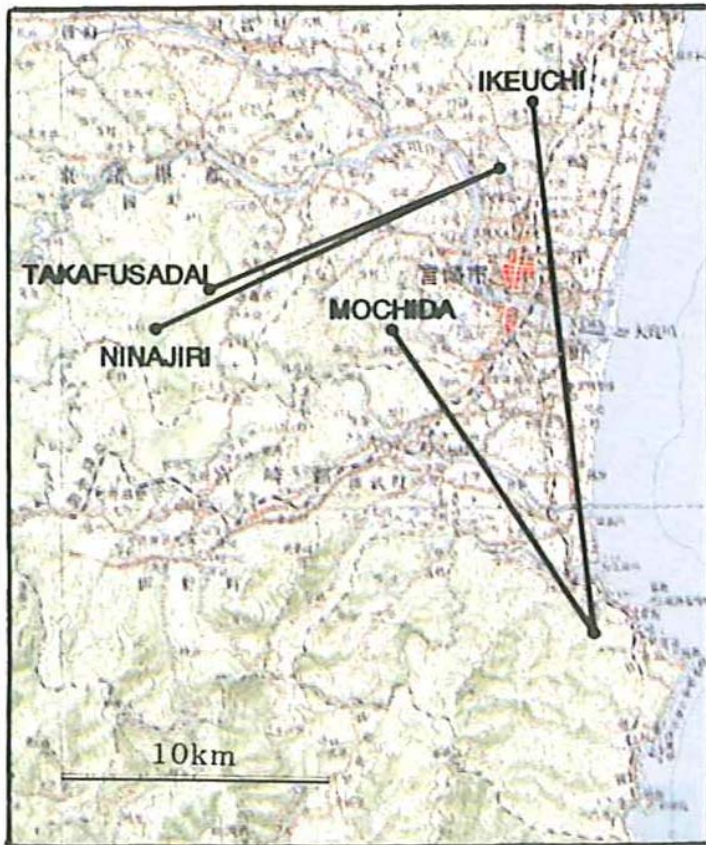
O-DICHLOROBENZENE

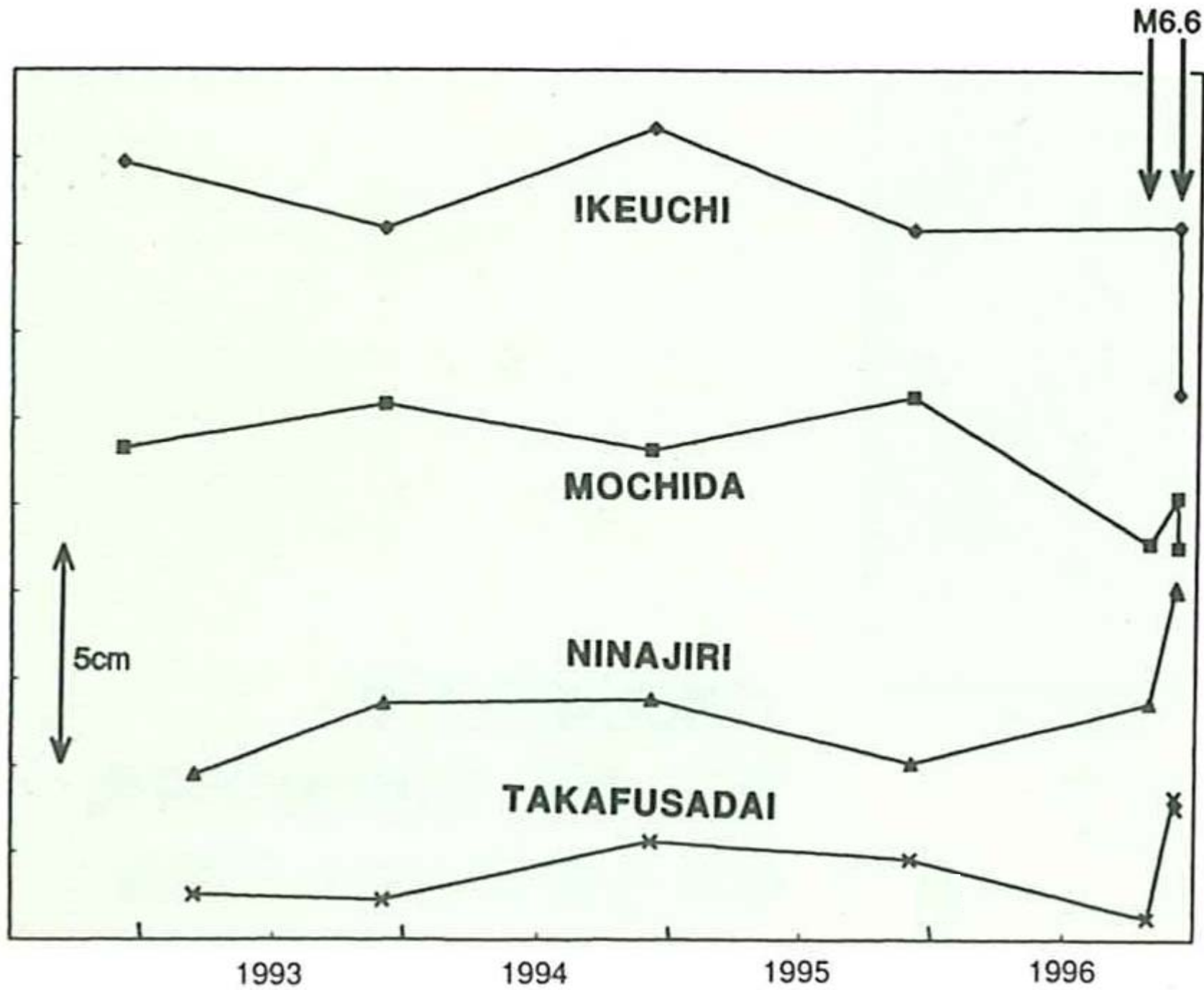


	$T_{546.1}^{(LOG)}$	$T_{435.8}^{(LOG)}$	K
NITROBENZENE $C_6H_5NO_2$ (M=123.11)	.884	.491	$10^{-10} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-2}$ 28.4
o-DICHLOROBENZENE $C_6H_4Cl_2$ (M=147.01)	.869	.875	13.4
o-NITROTOLUENE $NO_2C_6H_4CH_3$ (M=137.13)	.833	.544	9.65
ACETOPHENONE $C_6H_5COCH_3$ (M=120.15)	.851	.845	9.84



1996年12月3日 M6.6





- 地震予知計画
- 宮崎観測所と日向灘観測線
- 連続観測
- テレメータおよびデータ処理
- 光波測量
- GPS
- 近畿北部の異常変動

GPS

ニュースレター第0号

1985年5月30日

全国のGPSに関心のある皆様方、

はじめまして。このたび、GPS (Global Positioning System) の測地利用に関する情報交換の場として、このようなニュースレターを発行すること

物理学に多大の貢献をすることは明らかであります。既に欧米では測地測量用のGPS受信器が続々市販されはじめており、かなりの実験的成果が蓄積され

日本国内においても最近各地でGPSに関する勉強会が行われ、またいくつかの具体的な開発・導入計画も検討されはじめました。そのなかで、地殻変動の研究者を中心としては、4月はじめの地震学会の折に開催された地殻変動懇話会においてGPSに関する勉強会が行われました。引き続いて5月の測地学会において“GPS購入を考える会”（仮称）がもたれ、ここではGPS受信器

世話人：田中寅夫（京大防災研）

村田一郎（東大地震研）

平原和朗（京大防災研）

加藤照之（東大地震研）

GPS

1986年度 科研費 東大にGPS1台(38,000千円)

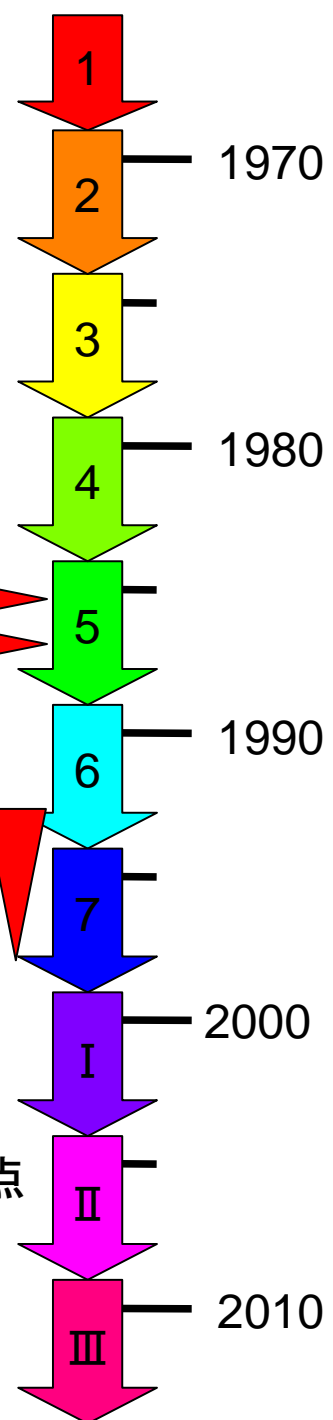
WM101 3台で同時測定(防災研究所屋上-中心山荘)
1987年3月3日

GPSニュースレター発刊
GPS大学連合発足

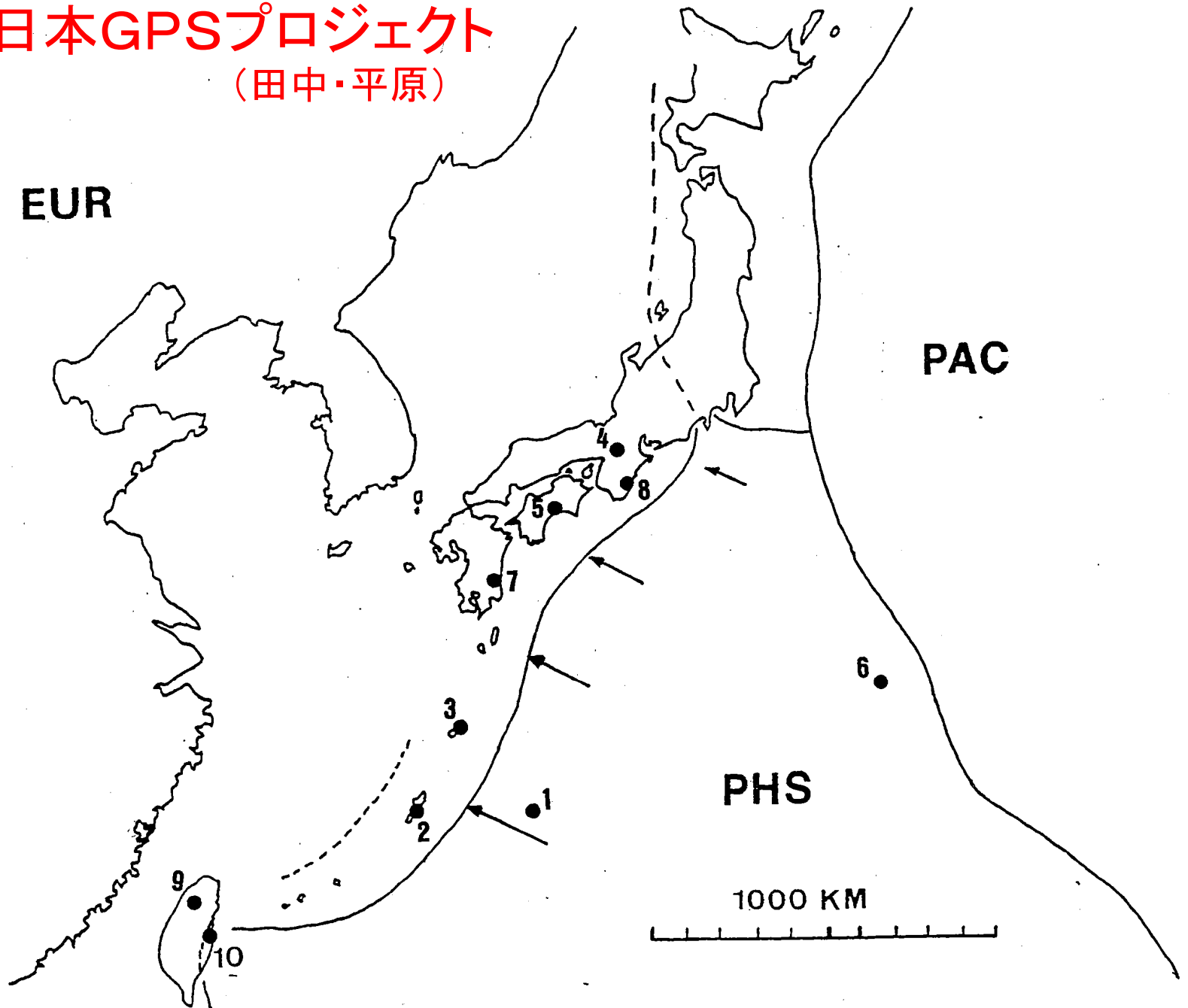
1987年度
GPS受信機 WM101 8台 224,540千円
Minimac 3台
火山でも WM101 9台
“中曽根特需”「内需拡大と貿易摩擦解消」

国土地理院
GEONET

約1200点



西南日本GPSプロジェクト (田中・平原)



GPS

花折断層

紀伊半島

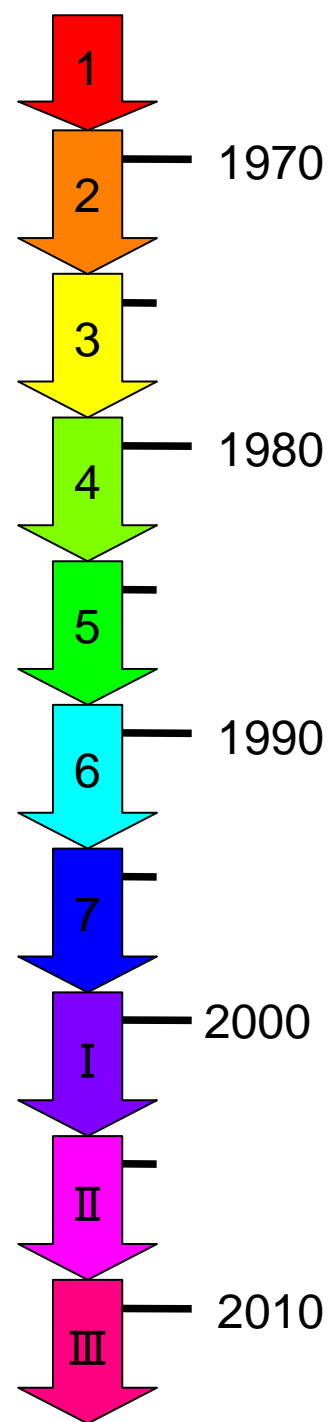
地震後の緊急観測(大学連合)

跡津川断層

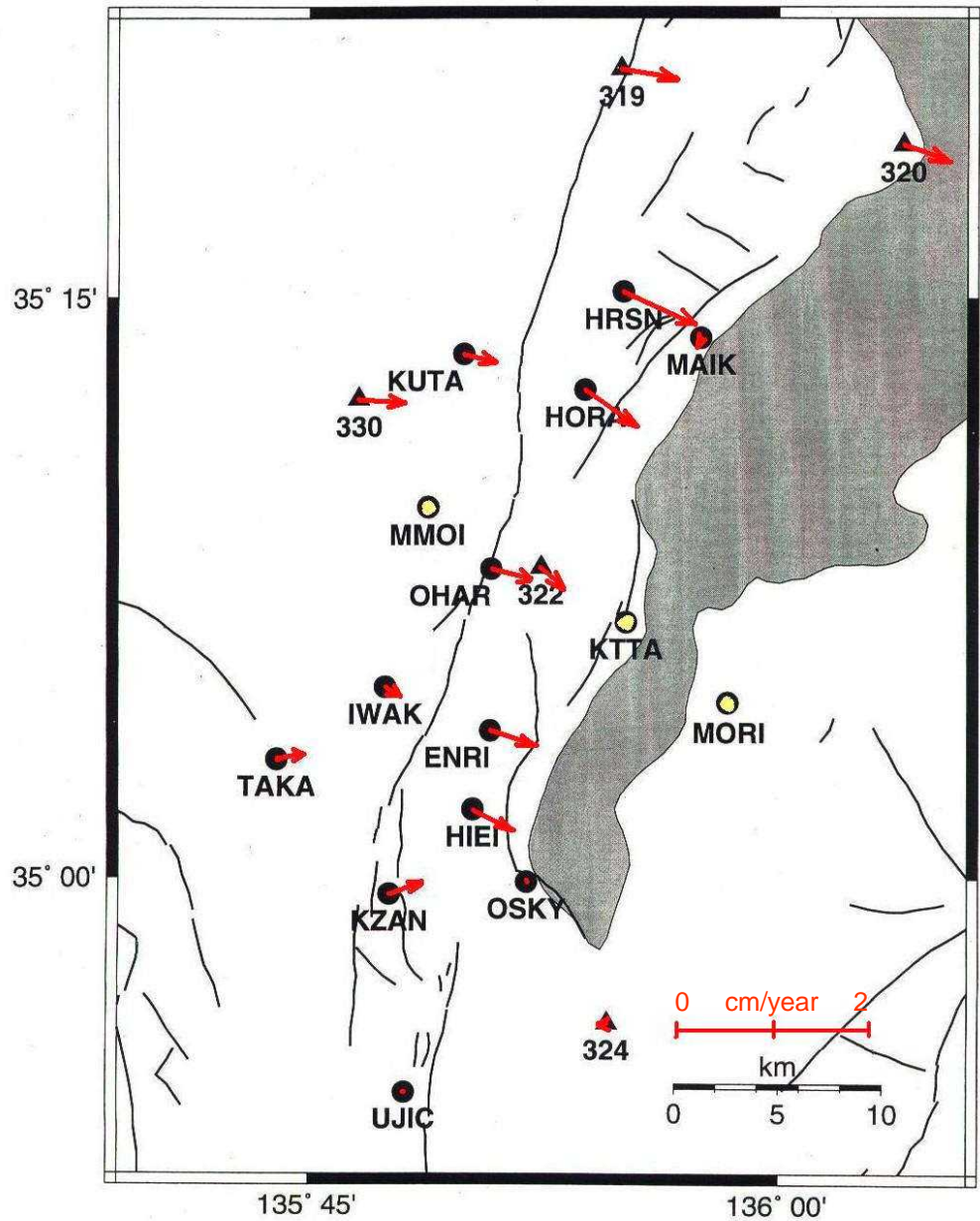
MTL-East

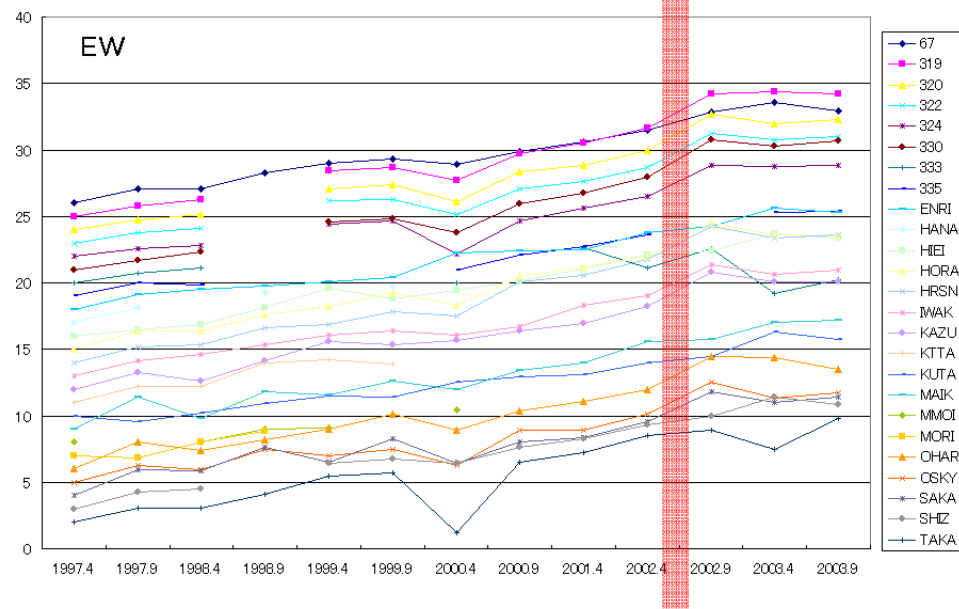
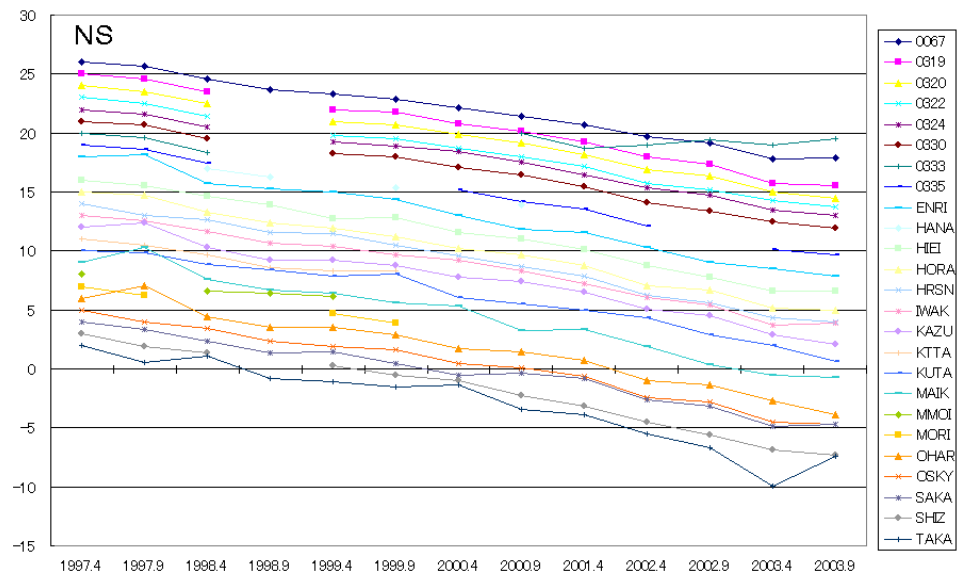
インドネシア

タイ(橋本)

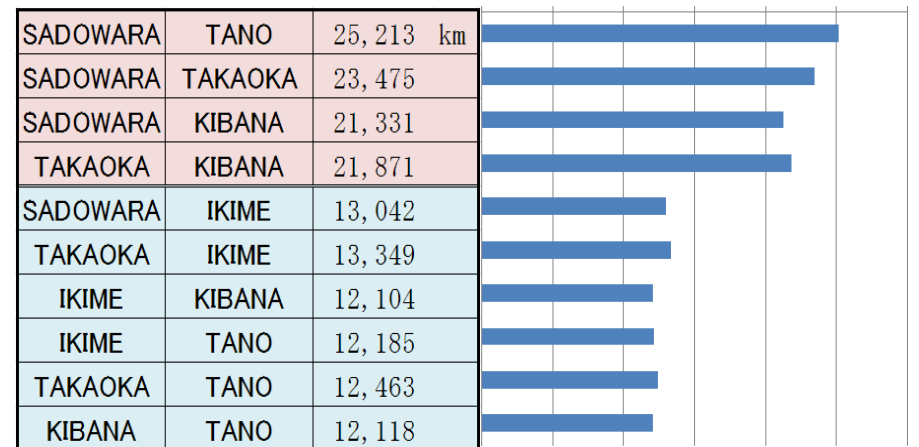
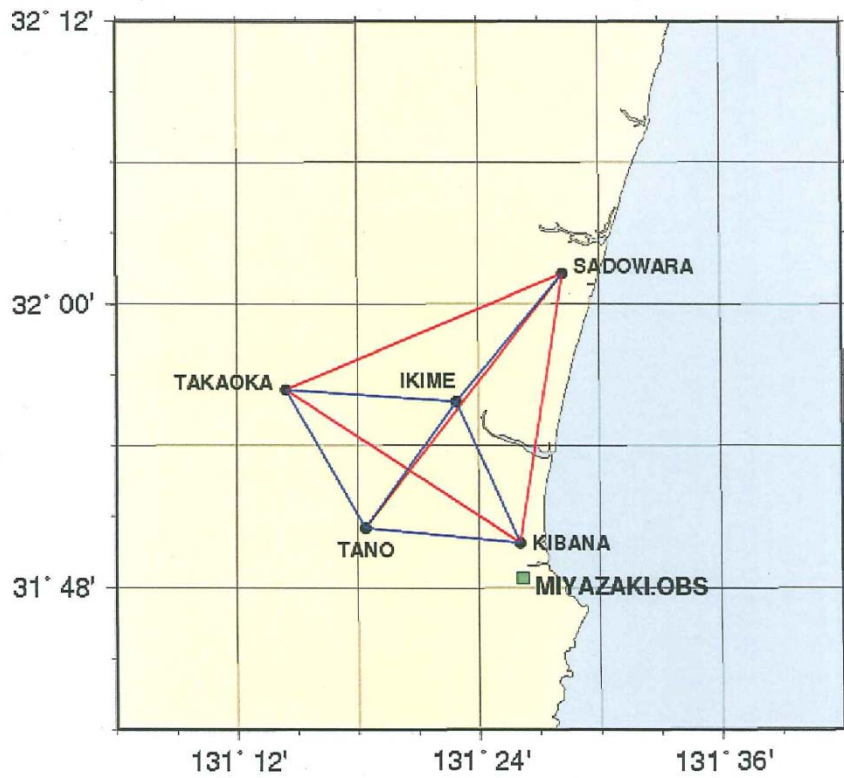


花折断層





宮崎

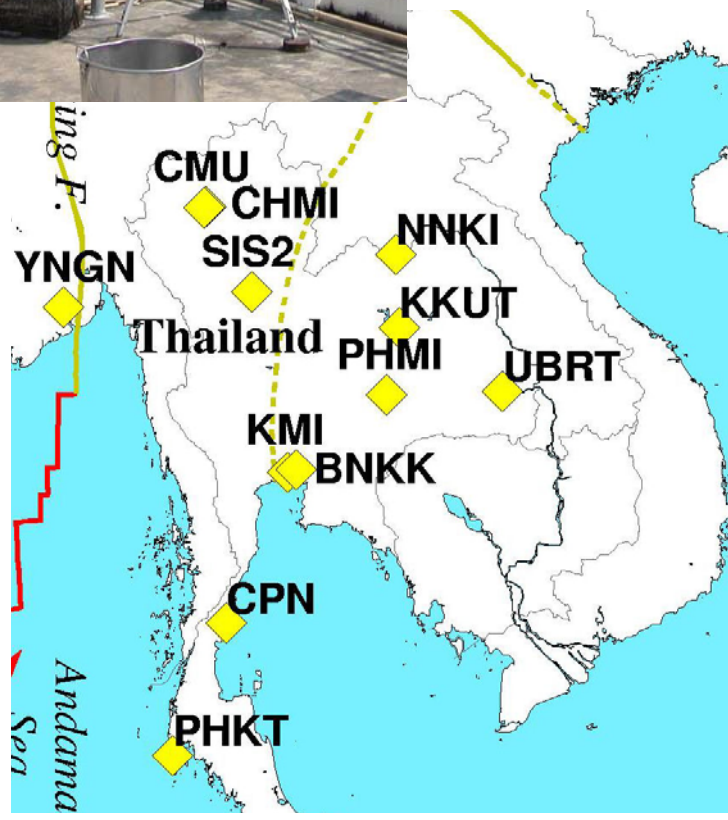


宮崎

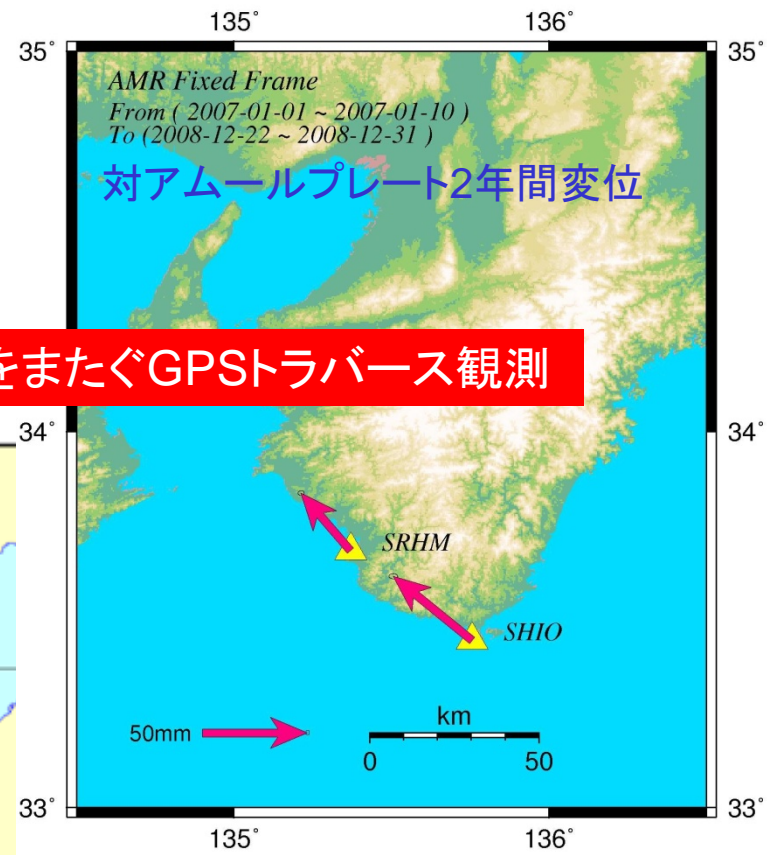




GPS (橋本)



ヒンジラインをまたぐGPSトラバース観測



- 地震予知計画
- 宮崎観測所と日向灘観測線
- 連続観測
- テレメータおよびデータ処理
- 光波測量
- GPS
- 近畿北部の異常変動

近畿の地殻に異変？ 岩盤縮み2倍／地下水位上昇

京都大が観測
1年半前か

地殻変動を調べるため
に京都大防災研究所地震
予知研究センターが置く
近畿地方の観測所4カ所
で、岩盤の「ひずみ」な
どに1年半余り、異変が
続いている。岩盤が南北
に縮むひずみが顕著で、
95年1月の兵庫県南部地

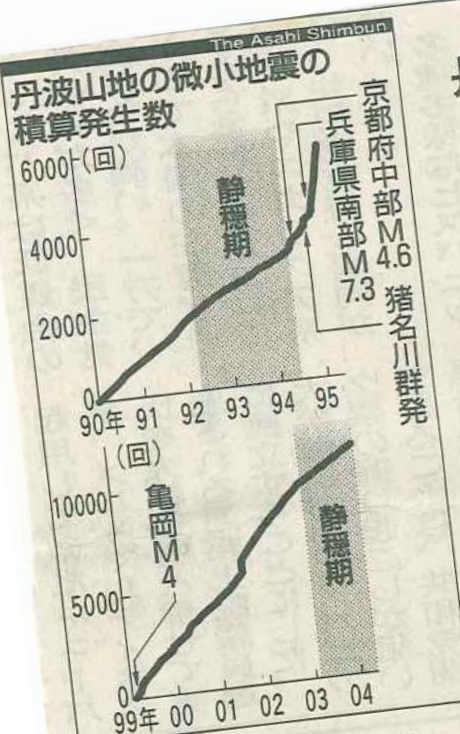
震（阪神大震災）の前に
も同じような異変があっ
たという。同センターは
地震予知連絡会に報告
し、地震につながりかね
ない変動の可能性もある
とみて慎重に検討してい
る。

一部がひずみ、限界に達
すると破壊されて地震に
なるとされる。同センタ
ーは、ひずみなどを測る
伸縮計を30年以上前から
近畿地方に置き、現在は
5カ所で観測している。
異変が見られる観測所
は、天ヶ瀬（京都府）、
阿武山（大阪府）、屯鶴
峯（奈良県）

縮んでいたのが、2・2
うずつになったという。
阿武山でも同じ頃から
「伸び」が「縮み」にな
るなどの変化を観測。屯
鶴峯では02年末ごろから
異変が現れ、逢坂山では
03年2月ごろから地殻変
動が原因



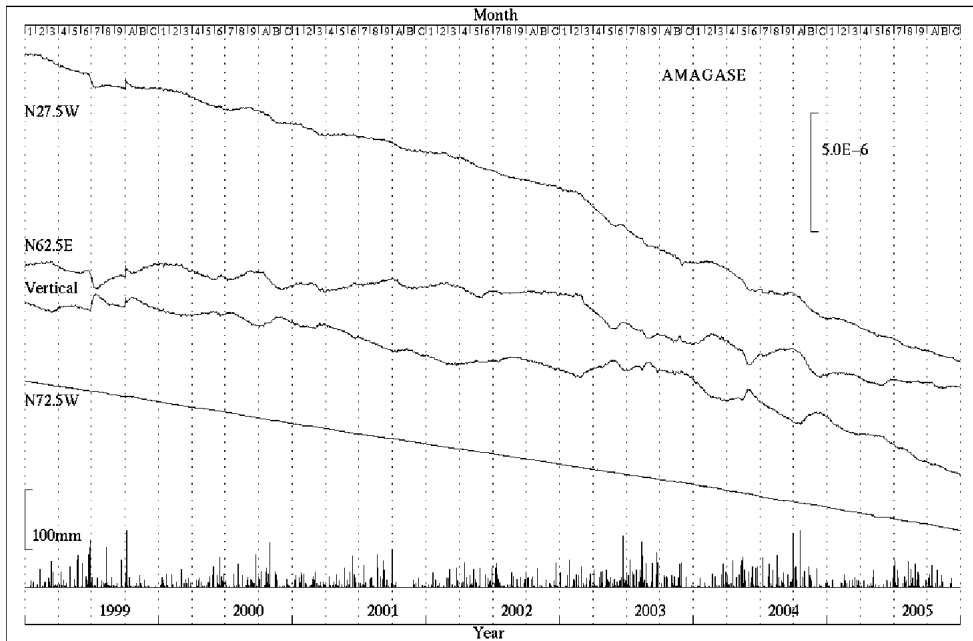
2004年(平成16年)7月20日



丹波山地 地震「静穏期」1年半 京大防災研 震災前も活動減る

近畿地方北部の丹波山
地一帯で、「静穏期」と
呼ばれる地震活動の少な
い時期が1年半近く続い
ている。京都大防災研究
所地震予知研究センター
によると、95年1月の兵
庫県南部地震（阪神淡路

年初
兵
山地
初期
感
た
に



2003年からの異常変動

連続観測データ(天ヶ瀬・森井 亘)
 地震活動度は
 防災研究所地震予知研究センター データ
 (片尾 浩)

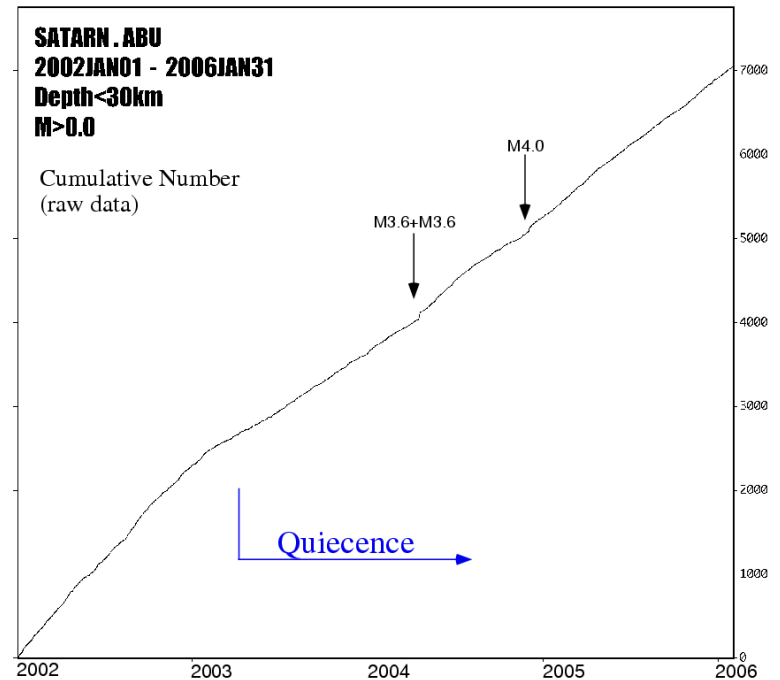
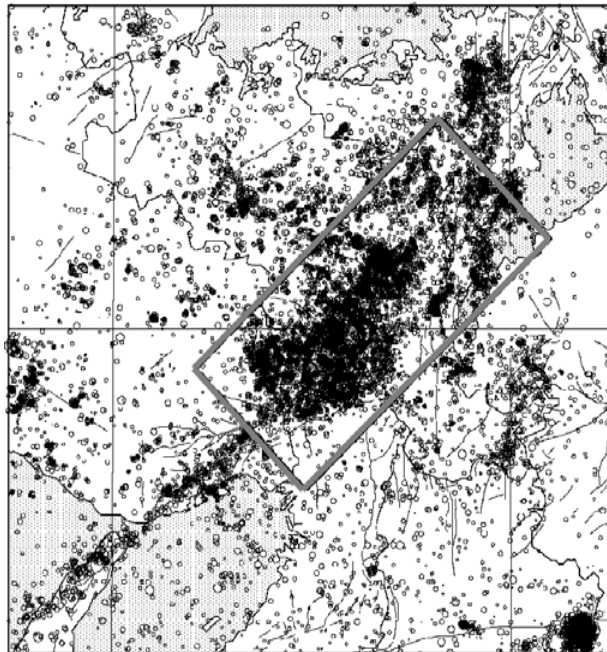
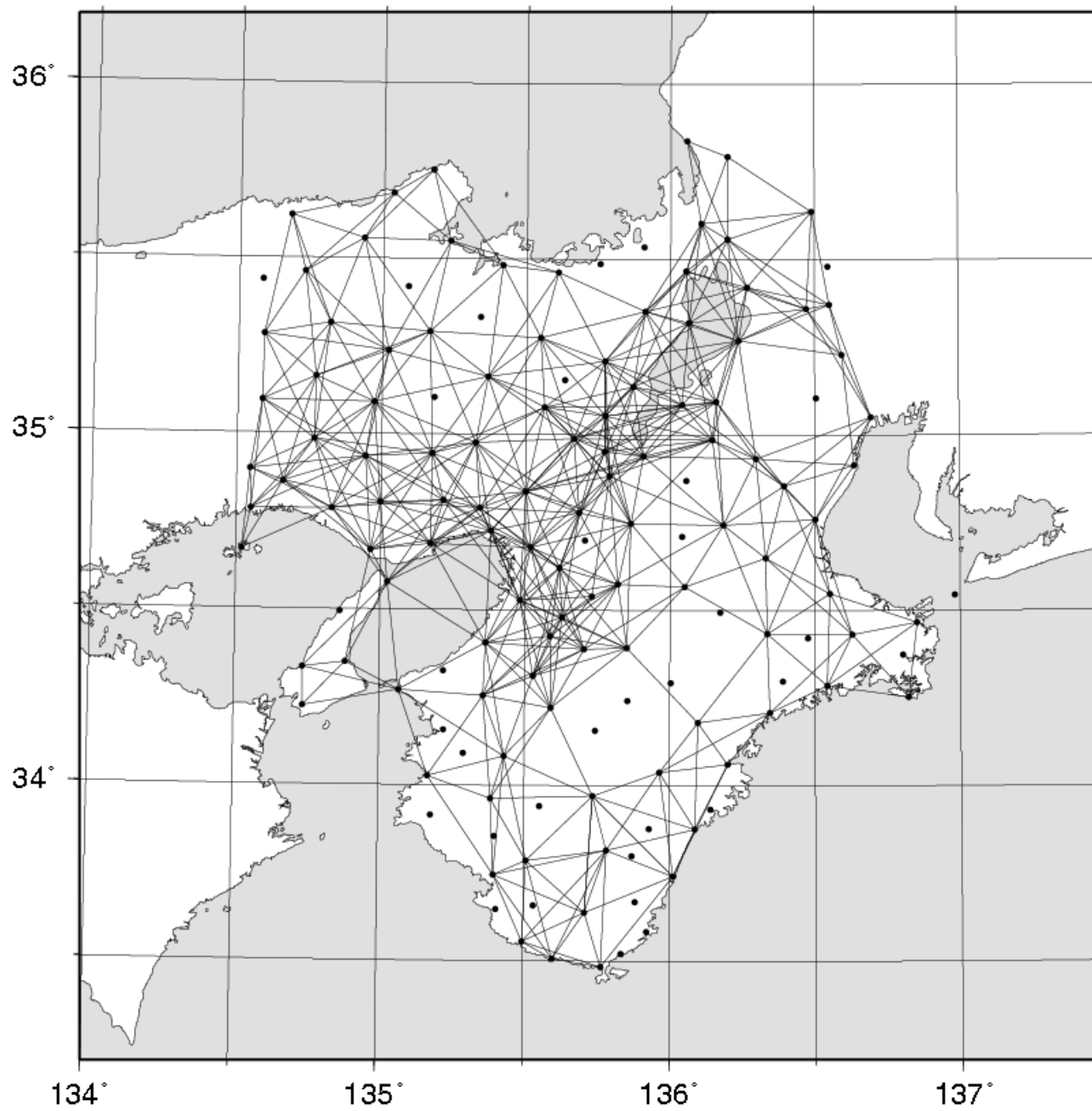
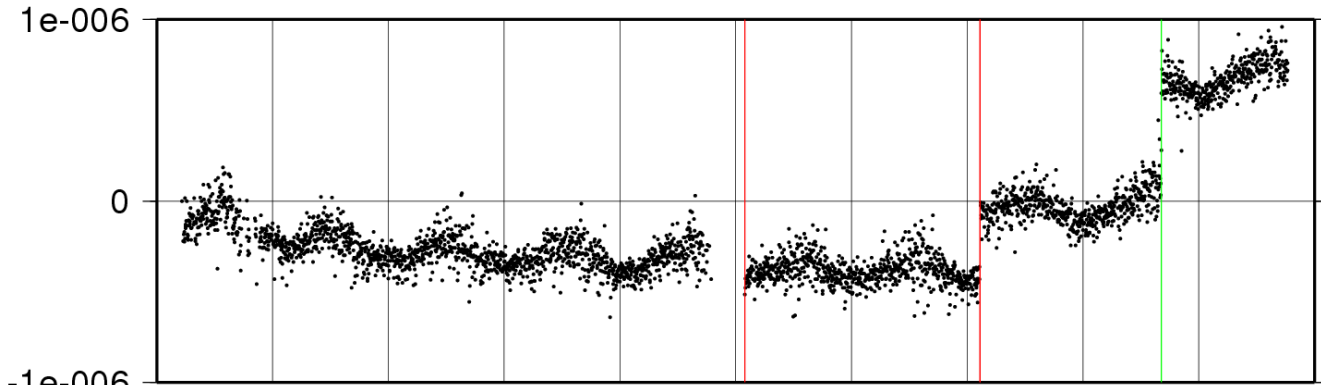


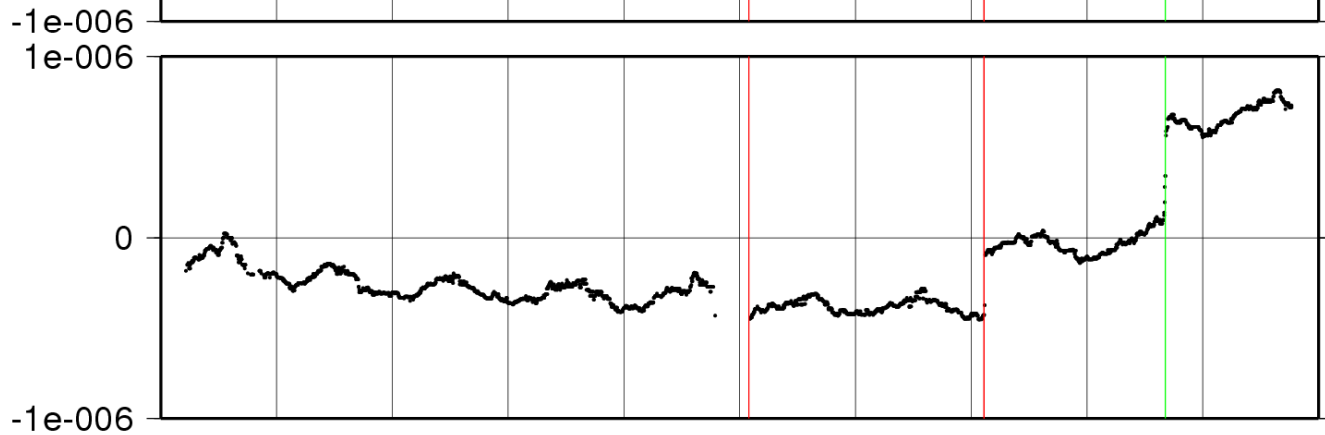
図3 (上) 図1中と同じ空間範囲における積算地震発生数。2002年1月～2006年1月。30km以浅。京都市
 防災研究所地震予知研究センターによる。



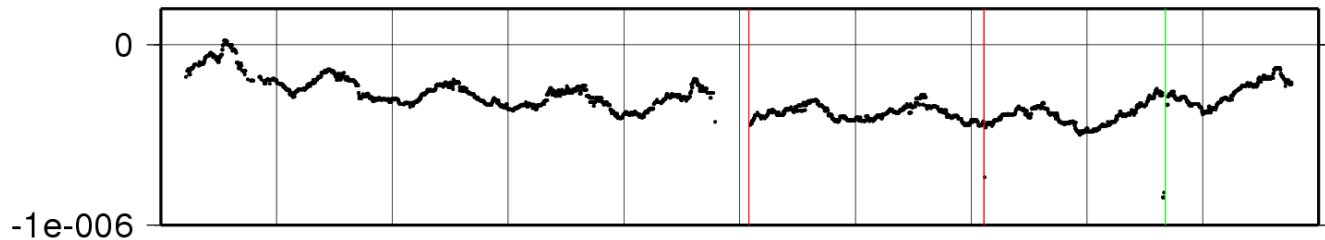
-0065-0314-



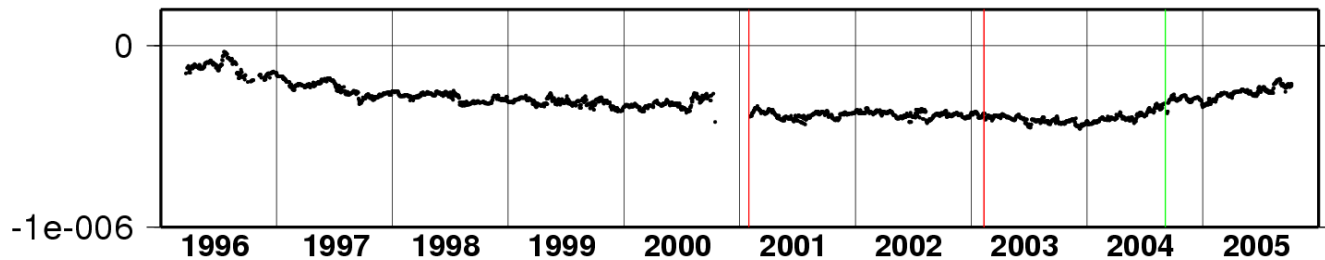
original strain
data



median



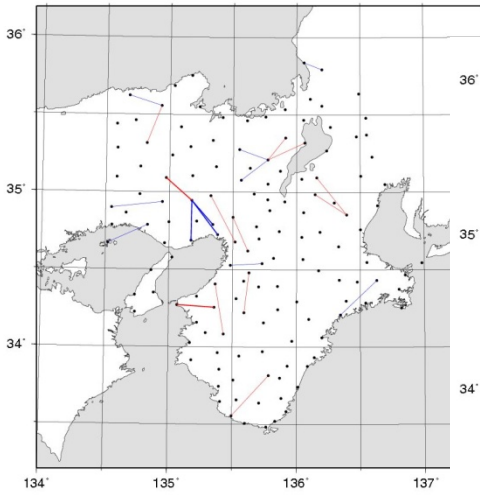
step correction



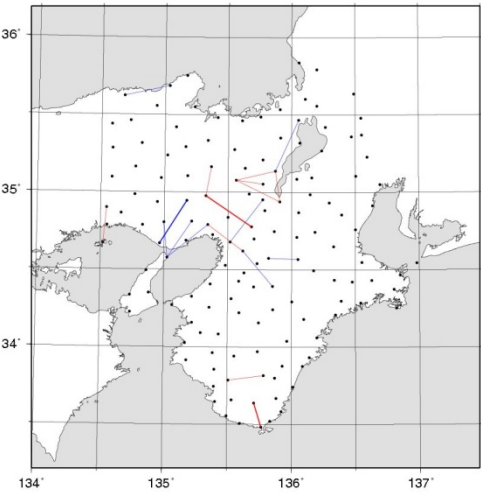
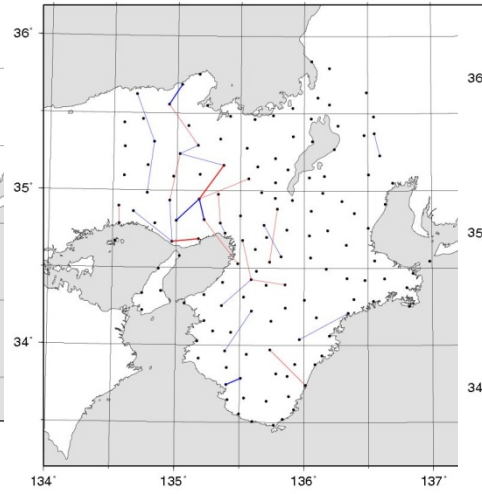
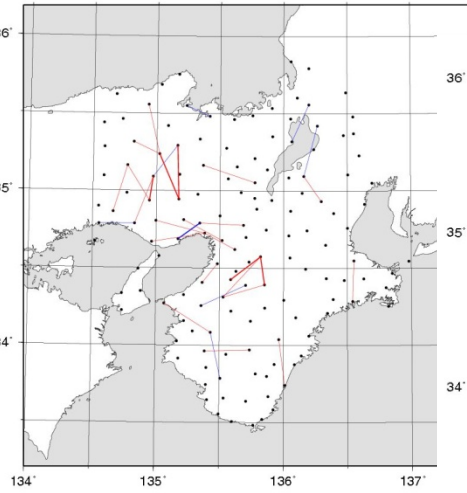
seasonal variation
removal

trend

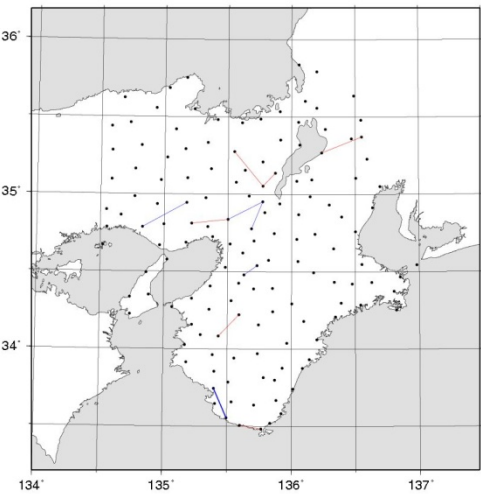
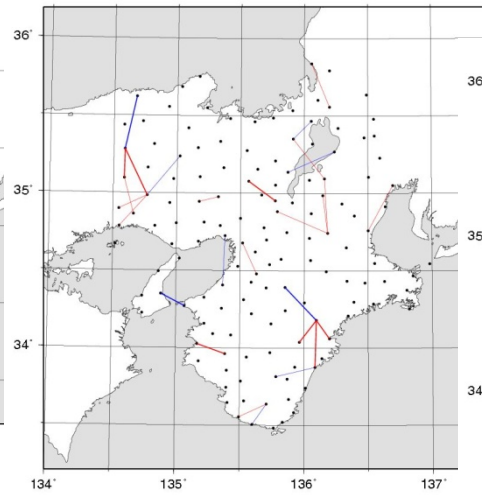
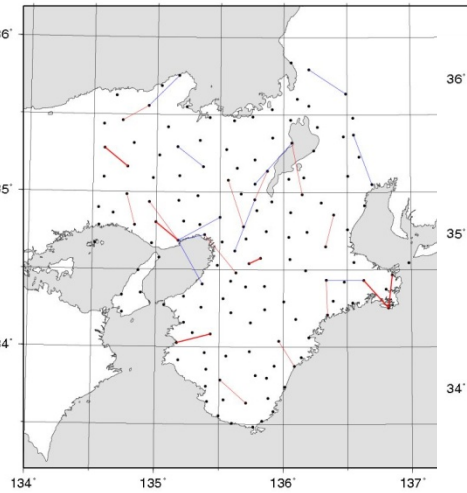
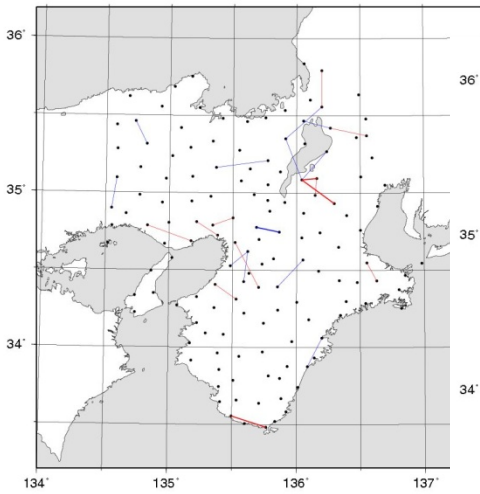
1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005



2001年



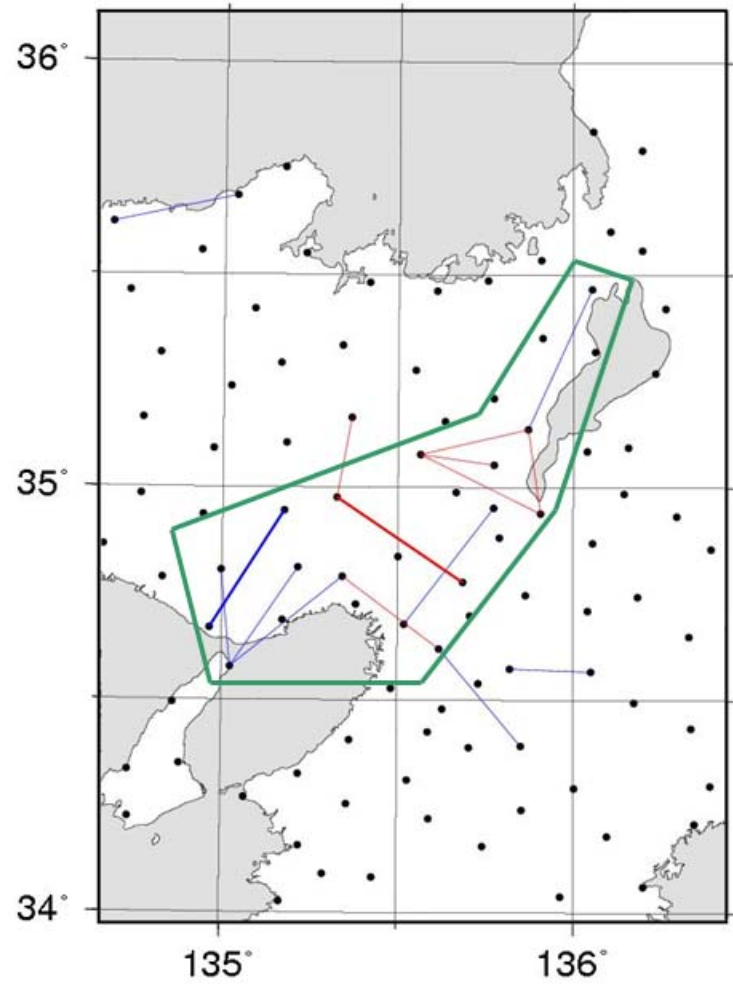
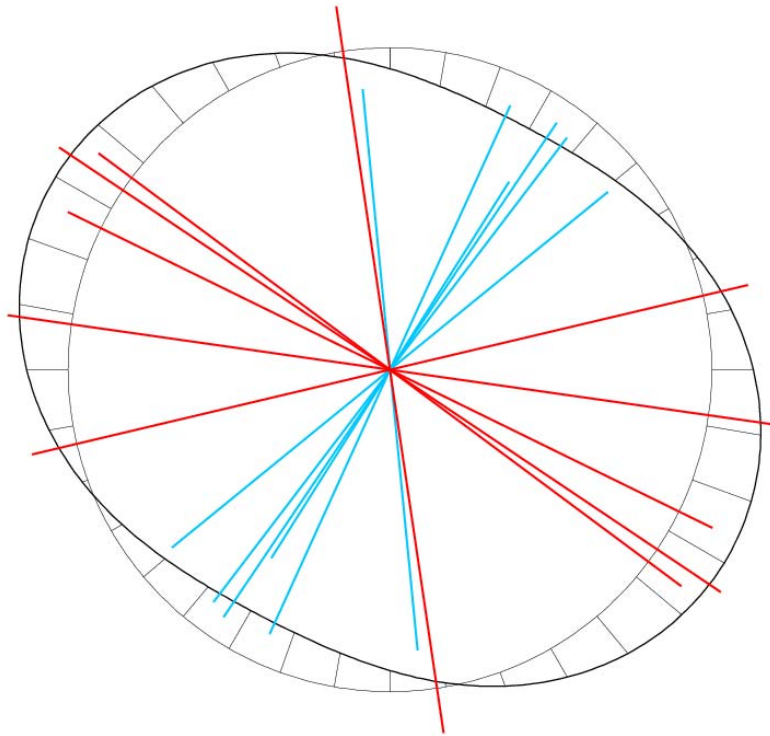
2002年

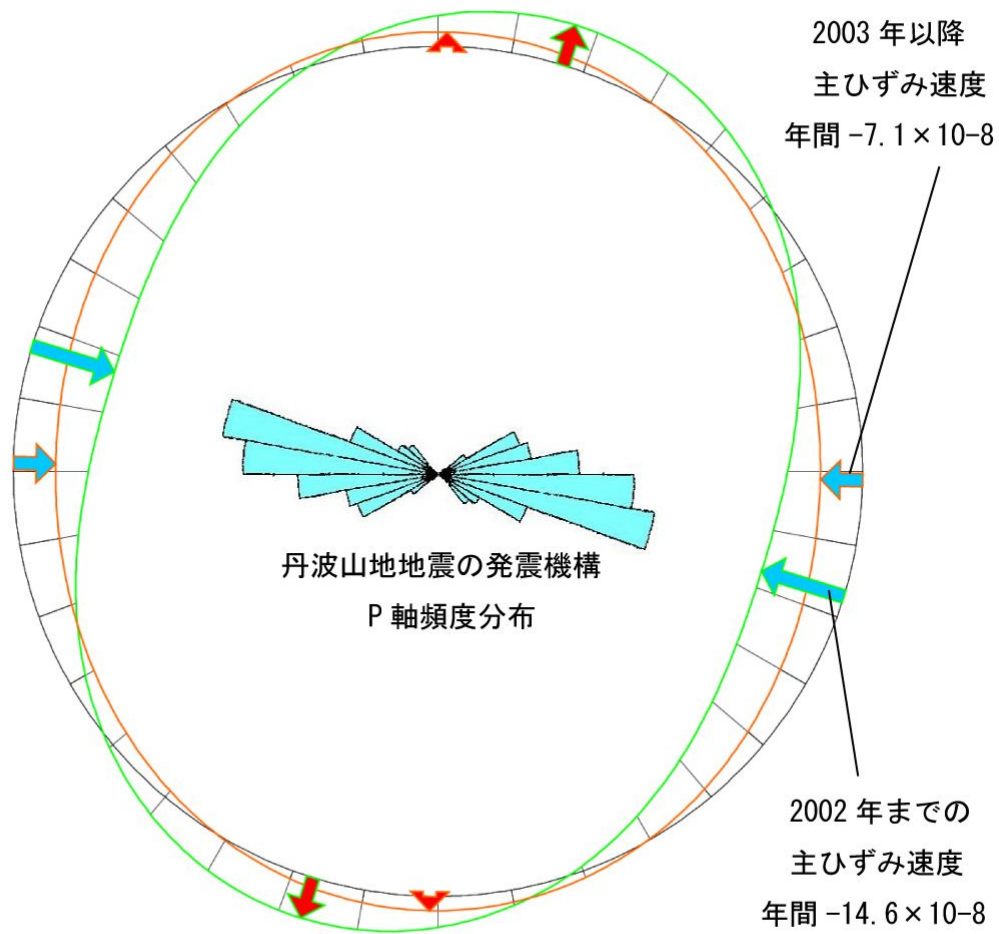
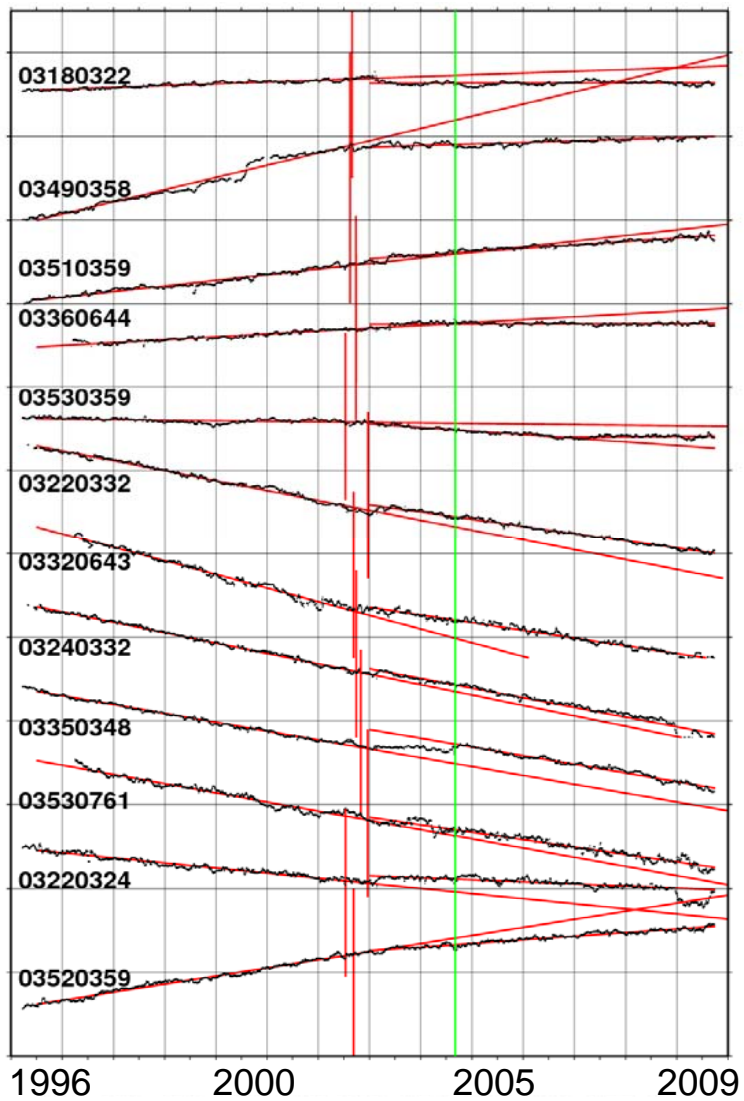


2003年

2004年

2002年後半





わが国の地震予知研究計画が発足したとき、京都大学にはすでに長年の地殻変動観測データの蓄積があった。しかし、上宝観測所とその衛星観測点は一戸時雄流、屯鶴峰観測所関係は高田理夫や田中寅夫流、逢坂山観測所は小澤泉夫流とそれぞれの観測所ごとに流儀が違い、計器の特性も微妙に異なっていた。そのため、多数の観測所のデータをつき合わせ、広域の地殻変動を統一的にながめることが、なかなか難しかった。わが国の地震予知研究計画が発足してから40年以上が経過し、発足当時のメンバーも既になくなったので、過去のしがらみから開放され、京都大学の理学研究科と防災研究所の地殻変動研究者が有機的に協力し、新たな京大方式の地殻変動研究を推進してほしいと願っている。

(竹本修三)

ありがとうございました