

地震予知計画発足（1965年）以来の地殻変動連続観測の流れ

東濃地震科学研究所 石井 紘

1965年に日本の地震予知計画が開始された。筆者はその年に東北大学の助手に採用され現在まで50年が経過した。当時、東北大学は1か所の地震観測所は運営していたが地殻変動連続観測の観測所はなかった。従って、地殻変動観測所の建設のために東大や京大を訪問し、観測のノウハウをいろいろ教えてもらうことが必要であった。筆者は東北大から東京大学地震研究所、東濃地震科学研究所と職場は変わったが一貫して地殻変動連続観測に関する計器開発、データ解析に携わってきた。この資料は地震予知計画発足以来の地殻変動連続観測の流れについての筆者が関与した流れを述べているが2015年10月に東北大学において「東北大学観測所50周年記念祝賀会」が催されたがその時に講演したパワーポイントに基づいている。

地震予知計画発足(1965年)以来の地殻変動連続観測の流れ

東濃地震科学研究所 石井 紘

東北大学地震・地殻変動観測網の設立とその歩み」
および

東北大以後(1985年以後)の地殻変動連続観測の進展

2015/10/17: 東北大学観測所50周年記念祝賀会

地震予知計画が始まったのが1965年

東北大の観測網設置開始 1965年(昭和40年)

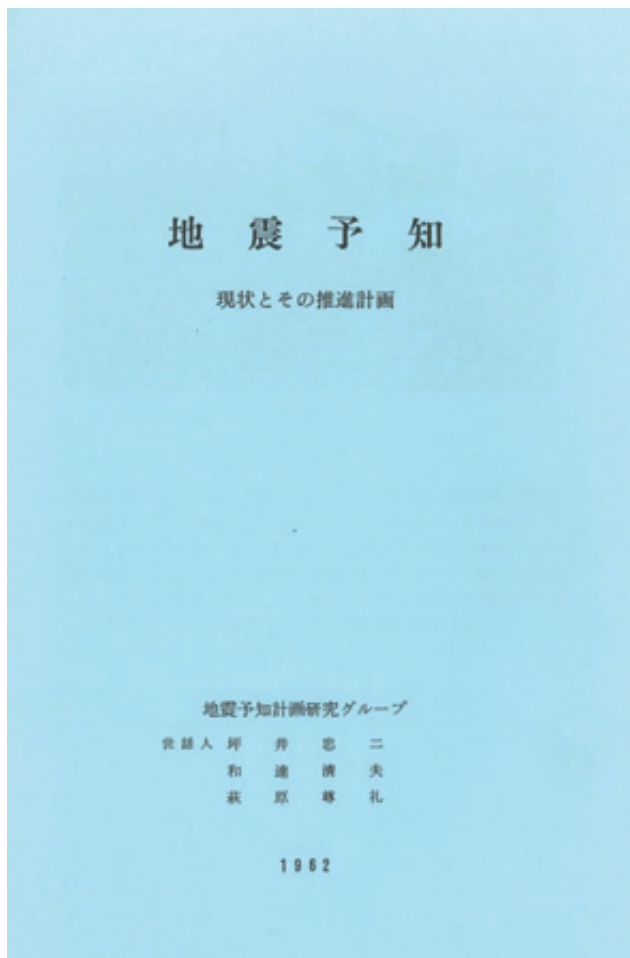
本年は2015年故 50周年

石井が東北大の助手に採用されたのも1965年

* 一部 2012/11/17 100周年記念DVDの資料を使用させていただきました

講演の流れ

1. 東北大学 1965. 4 – 1984. 12 (19年9カ月)
2. 東京大学地震研究所 1985. 1 – 2001. 3 (16年3カ月)
3. (公財)地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所
2001. 4 – 2015. 10 (14年7カ月)
4. 将来の地震学 地震発生前を研究する 地震発生前の地震学



地震予知計画のブループリント表紙

目 次

地震予知計画のブループリント目次

緒 言	1
§1 測地的方法による地殻変動の調査	2
§2 地殻変動検出のための験潮場の整備	8
§3 地殻変動の連続観測	11
§4 地震活動の調査	17
§5 爆破地震による地震波速度の観測	23
§6 活断層の調査	24
§7 地磁気・地電流の調査	25
§8 地震予知計画を推進する機関	28
§9 期待される成果	31

緒 言

地震の予知は、地震学者特に日本の地震学者に課せられた最も重要な責務である。日本における地震研究は、諸外国に比べてはるかに盛んであり、またすぐれているところが多く、且つ豊富な資料に基いている。しかし、それをもつてしても、正確な予知はいまだに不可能である。地震を予知するといえ、時・所・大きさの3つ要素をかなりこまかく指定しなければ意味が少くない。しかも地震現象は他の連続的乃至可逆的自然現象とちがつて突発的、断片的のものであるから、それを予知するには本質的の困難がある。同じく予知・予報といつても、例えば日食・月食の予報や天気予報などは、その内容を真にするのである。

地震に関する研究が日本において始められてから、すでに80年に近く、1891(明治24)年の濃尾地震後には震災予防調査会が、また1923(大正12)年の関東地震後には地震研究所が設立され、地震研究は着実に進歩した。また各大学・気象庁・国土地理院等においても研究・測定・調査が行なわれ、相互の密接な協力の下に地震に関する我々の知見は豊富となりつつある。

この間、特に地震予知に直接関係する問題も多く取り上げられた。そして「地震予知を目的とする測定を行なうとすれば、それはいかなる種類のものであり、いかなる方法によるべきであるか」という点については、日本の研究者は今日ほとんど一致した見解をもつにいたっている。その上「それらの測定は相當に大規模のものであつて、一機関だけの独力では如何ともしがたい。国家的規模において之を効果的に行なうためには、現在の研究業績態勢は必ずしも満足なものではないから、抜本的な検討を必要とする」という点についても一致している。

そこで我々は測定の種類・方法を具体的に検討し実際の計画をたて、その実現をはかるための第一歩をふみだすことがまず必要であると考えた。以来、この問題に特に関心をもつ学界有志數十名よりなる本グループが何回も討議を重ねて、その結果でき上つたのが本書である。

これはいわゆるブルー・プリントではあるけれども、所期の目的を、最も効果的に最も良心的に達成するために、これだけのことはしなければならぬという事項を略述したものである。いわば地震予知問題に関して、我々が現在もっている見解の一応の総決算といふべきものである。

1962年1月

地震予知計画研究グループ

世話人 坪井 忠 二
和 達 清 夫
萩 原 尊 礼

§9 期待される成果

本計画が実施された場合の期待される成果については、それぞれの章において述べてあるので、ここでは全体的に見た成果について述べることにする。また、このような計画によつて何年後に地震予知が実現できるのか、という質問は必ず出ることと思われるので、このことにも触れておかなければならない。

まず、測地的方法による調査は、全国的な測定の反復周期として、水準測量が5年、三角測量が10年を計画しているから、この作業が完全に軌道に乗るのは、大体10年後と考えねばならない。ただし、特殊地域を対象とする反復測量は、5年後にはかなりの測定資料が得られることになる。しかし、最初の5年間は、測量器械の整備、要員の養成などに大きな努力がはらわれることを考慮すれば、作業が順調に軌道に乗るのは5年後とみるべきであろう。狭測場の増設は2年間で完了できるであろうが、観測資料が役立つには数年間の蓄積が必要である。

地殻変動の連続観測は、まず6カ所の基準観測所を3年計画で建設し、ここで観測技術者を養成し、この人たちの手によつて全国100の観測所を8年計画で建設するとすれば、全観測所の設置を早ければ11年後に完了することになる。

微小地震の観測は、20の支所およびその管下の観測所を10年計画で設置する。

極微小地震の観測は6カ所の特殊地域に小観測網を設けることを6年計画で行なう。

遠波地震による地震波速度の観測は6年計画で6カ所の継続作業が順調に引続いて行なわれるようにする。

活断層の調査は、2年間で一応完了するようにする。

地磁気・地電流の調査は、特殊地域における数個の固定観測所を3年間で設置を完了する。

このような早さで計画を進めれば、5年後にはある程度の、10年後にはかなり充分の地震予知に必要な観測資料が得られるようになる。すなわち本計画による測量や観測が完全に軌道に乗るには早くても約10年を要すると言ふことになる。それから後は資料蓄積の時期に入る。しかし、規模等級6以上の地震を予知の対象とするならば、統計上日本の陸地または陸地にごく近い海中で、目標とする地震は毎年約5回の割合で起こることになり、そのうち破壊地震は毎年約1回になる。従つて、本計画による数年間の観測資料蓄積によつても、目標とする地震の発生と観測された現象との関係を明かにできる公算は大へん大きいと言ふ。

地震予知がいつ実用化するか、すなわち、いつ業務として地震警報が出されるようになるか、については現在では答えられない。しかし、本計画のすべてが今日スタートすれば、10年後にはこの間に充分な信頼性をもつて答えることができるであろう。

地震予知計画開始時の地殻変動観測点分布



第14図
既存の地殻変動観測所

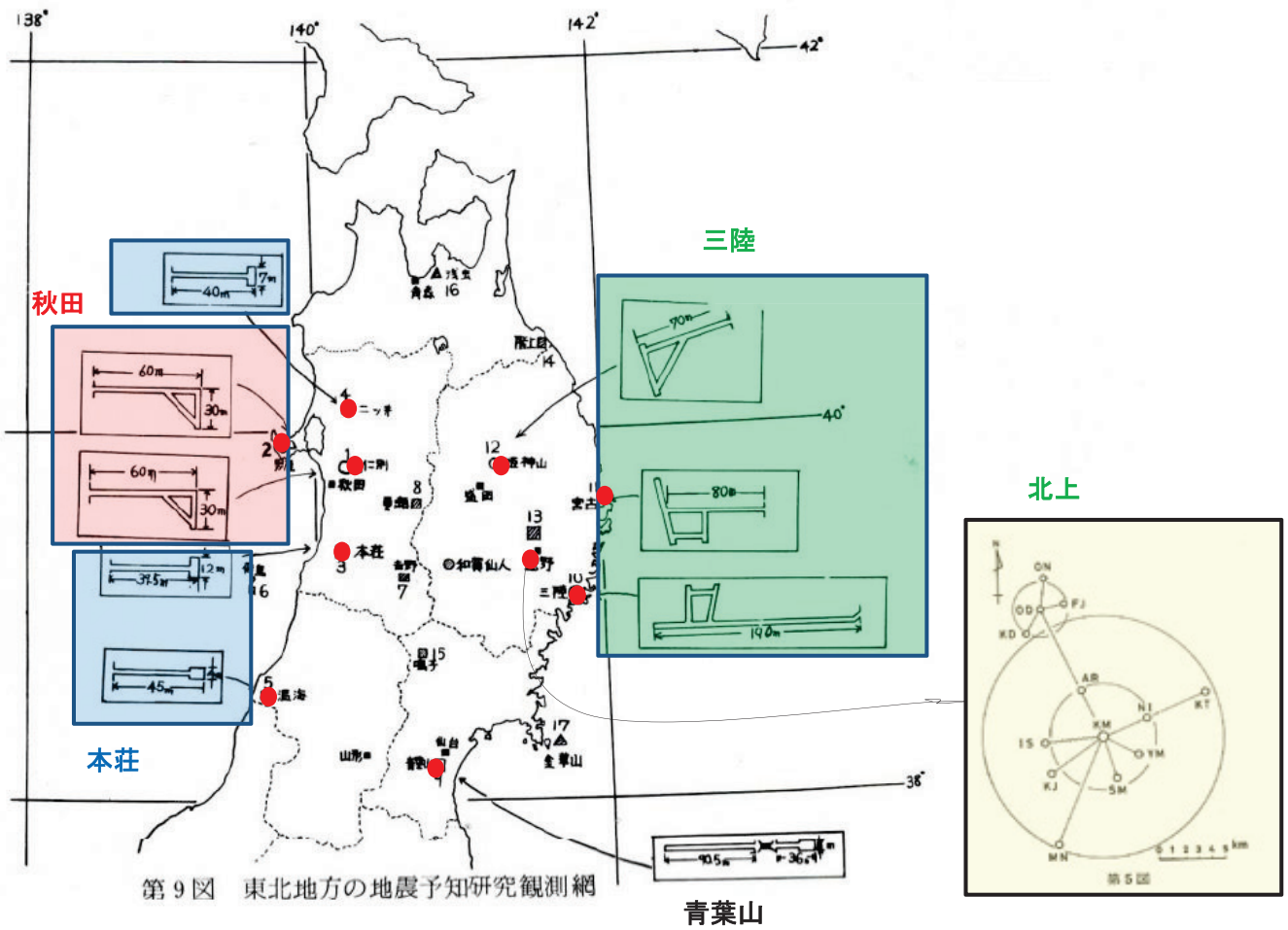
東北大学理学部観測所(1965/4 - 1985/1)				
		観測所等設置	観測計器開発・新方式	メモ
1965	第1次地震予知計画	秋田地殻変動観測所	水管傾斜計、石英管伸縮計、水平振子傾斜計、短周期地震計	1カ所の経費で2カ所建設、石英管を管内で溶接
1966		本荘地震観測所	高感度短周期電磁式地震計、ヘス型電磁式地震計、長周期地震計	1カ所の経費で3カ所建設 反転式ス書きドラムの製作
1967		三陸地殻変動観測所	水管傾斜計、石英管伸縮計、水平振子傾斜計、短周期地震計	1カ所の経費で3カ所建設 ジオジメータ基点の建設
1968				
1969	第2次地震予知計画	北上地震観測所	テレメータ方式の採用	13カ所の群列観測網の構築、プロパン式ドラムの製作
1970				
1971				
1972				
1973		秋田サブセンター		
1974	第3次地震予知計画		地震・地殻変動テレメータによる集中観測方式、XY座標読み取り装置による震源決定	ス書き記録からの脱却 震源決定の時間と精度が格段に向上
1975				
1976				
1977				
1978			無線テレメータを臨時観測に利用	二重深発地震面の発見
1979	第4次地震予知計画			
1980				移動性地殻変動の発見
1981				
1982		地殻活動総合観測線観測点8カ所(五城目、西木、田沢湖、沢内、和賀、黒沢尻、大東、気仙沼)		
1983				
1984	第5次地震予知計画			
1985				

八木山へ移転後の向山観象所

地震予知計画開始時点の東北大学の地震観測所



1930年 仙台市長町字越路19番地(当時) 新観測所が建設され移転。名称は向山観象所の名前をそのまま受けつた。



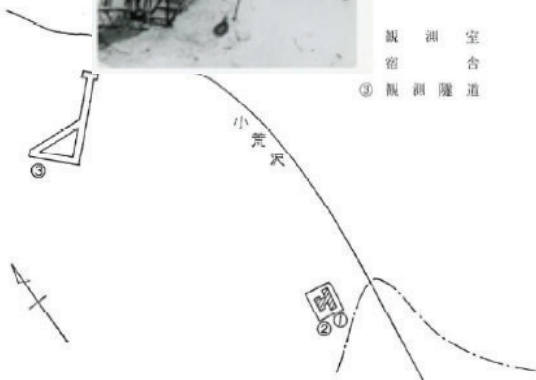
秋田地殻変動観測所

(男鹿・仁別観測所 建物配置図)

(男鹿・仁別・観測所 建物・観測壕 配置図)



男鹿観測点境内



仁別観測点
建物および壕配置図



男鹿観測点
建物および壕配置図



1966 秋田地殻変動観測所(男鹿)

経費節約のため階段と橋を
設置



1965年 秋田地殻変動観測所設置

当初は助手と技官が宿舎に居住した。遠隔地の山の中であることから遠隔地手当で16パーセント、薪炭手当で10パーセントが支給された。

豪雪地帯

秋田地殻変動観測所

Akita Geophysical Observatory



東北大学理学部
Faculty of Science, Tohoku University
1966



仁別観測所



男鹿観測所壕内



仁別観測所観測小屋

2008年

従来の庁舎・宿舎はデータ
送信施設のみに改築され
た

男鹿観測所観測小屋



1974： 秋田市内にサブセン
ターが建設された

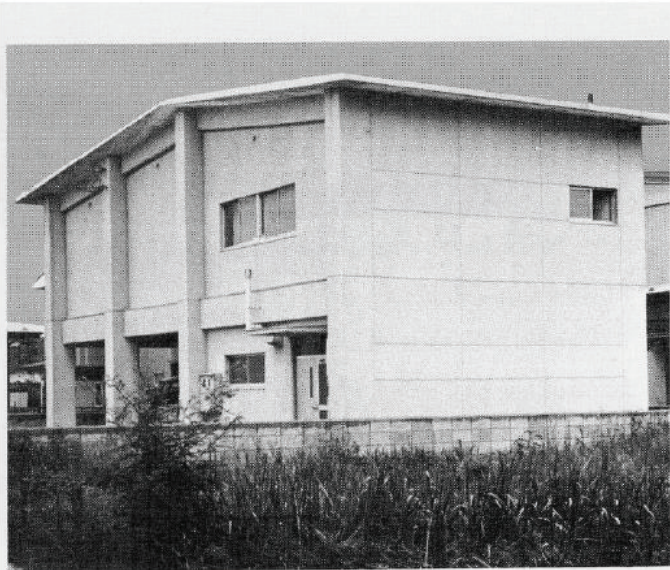


写真2 秋田サブセンター
Photo. 2 Akita Sub-center





現在の本荘観測所

本荘地震観測所 観測計器

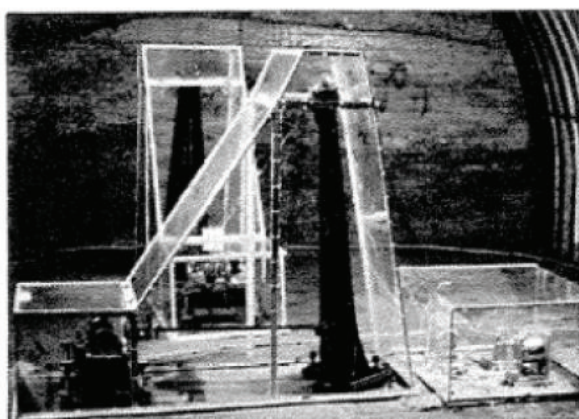


写真5. 地震計室（本荘）
左 長周期地震計（2成分）
右 3サイクル電磁式地震計（3成分）

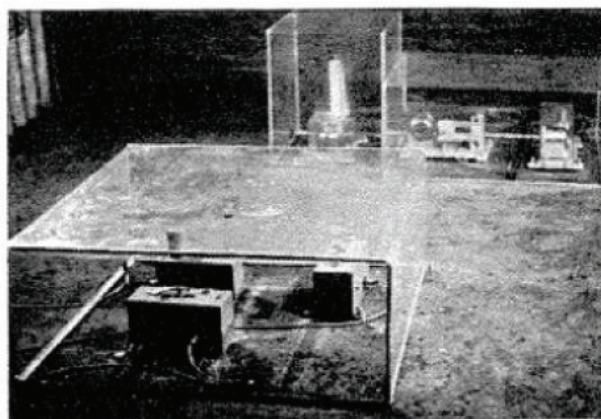


写真6. 地震計室（本荘）
左 HES型電磁式地震計（3成分）
右 4秒電磁式地震計（3成分）

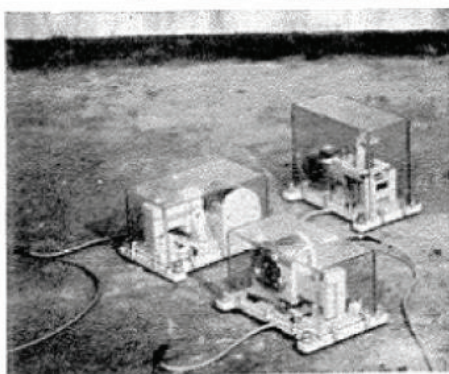


写真7. 地震計室（温海）
1秒電磁式地震計（3成分）

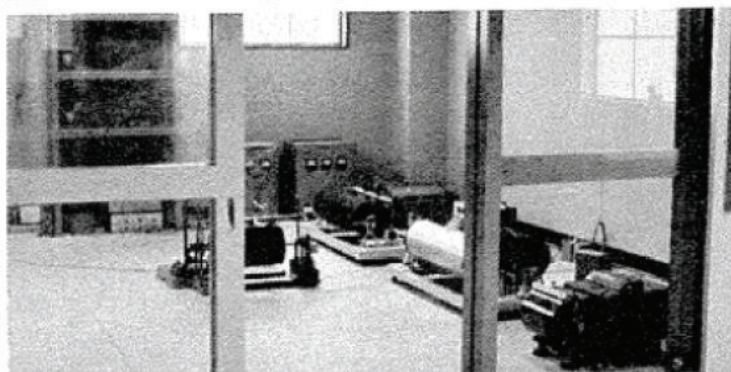
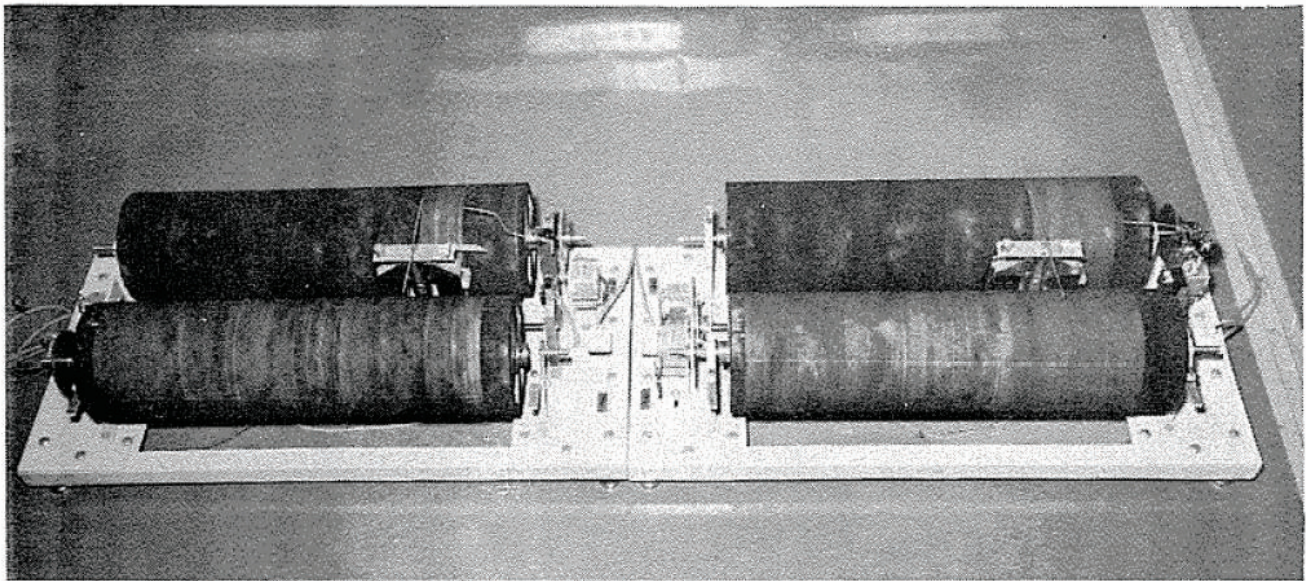


写真8. 観測室（本荘）
各種記録計

本荘地震観測所



反転式 8日巻きドラム

本荘地震観測所(温海観測所)



三陸地殻変動観測所(1967年設置)



岩手県姫神観測点 壕入口
1999.3.9

北上地震観測所(1969年設置)

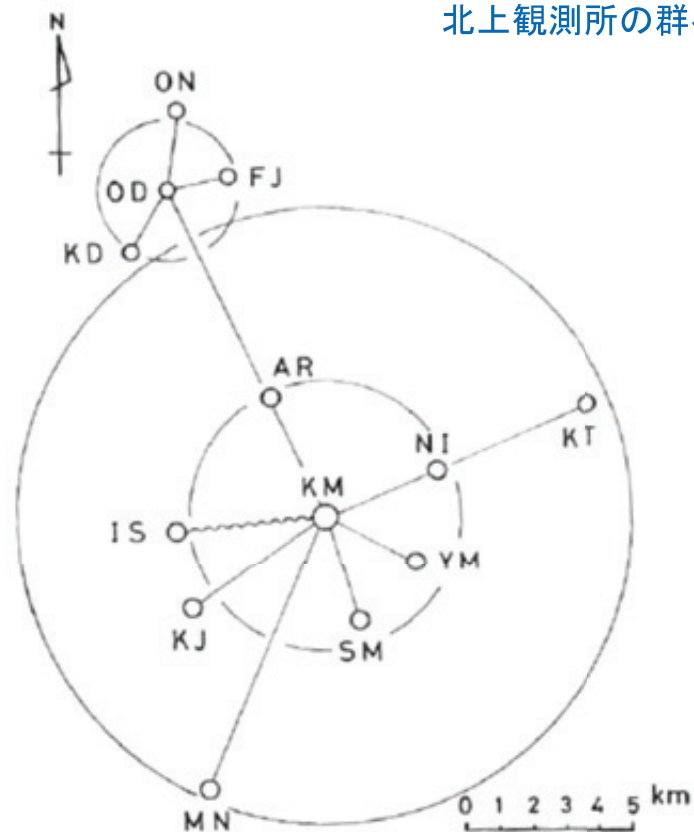


写真1 中央観測所観測壕入口

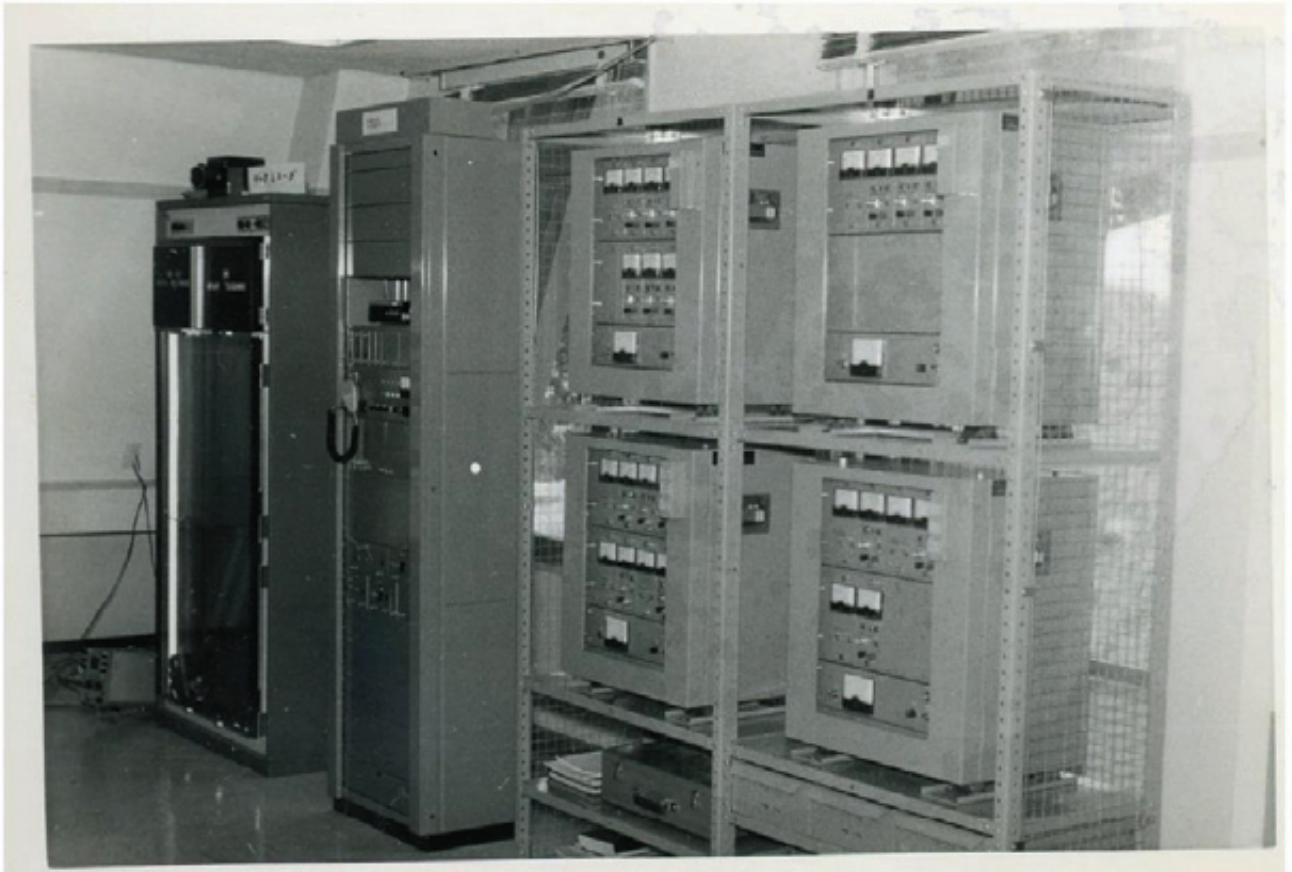


写真2 衛星観測所観測壕(物見山)

北上観測所の群列観測点分布



北上地震観測所



左から磁気テープ式遅延装置、無線、有線テレメータ受信機

北上地震観測所



写真5 送信装置（端末器3成分）

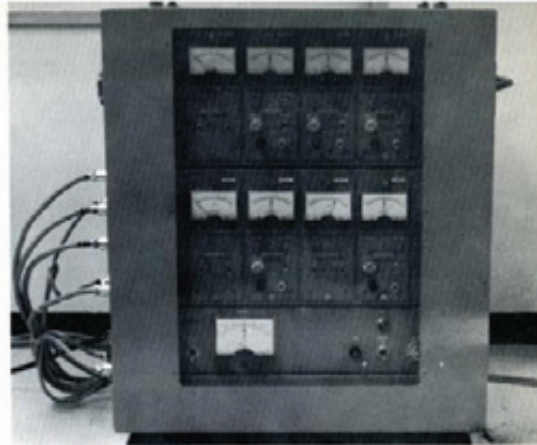


写真6 受信装置（5成分）



写真7 磁気テープ遅延装置

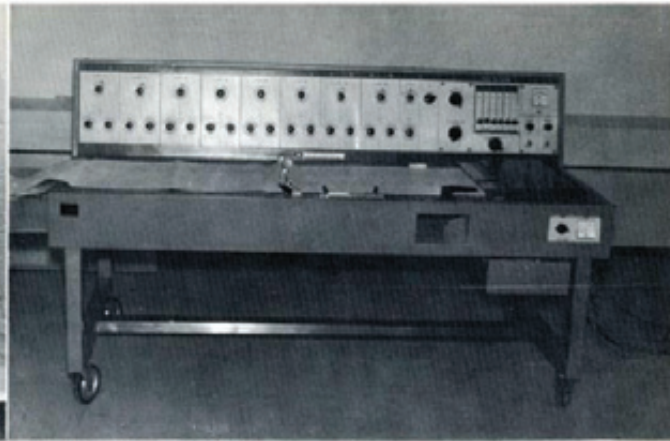
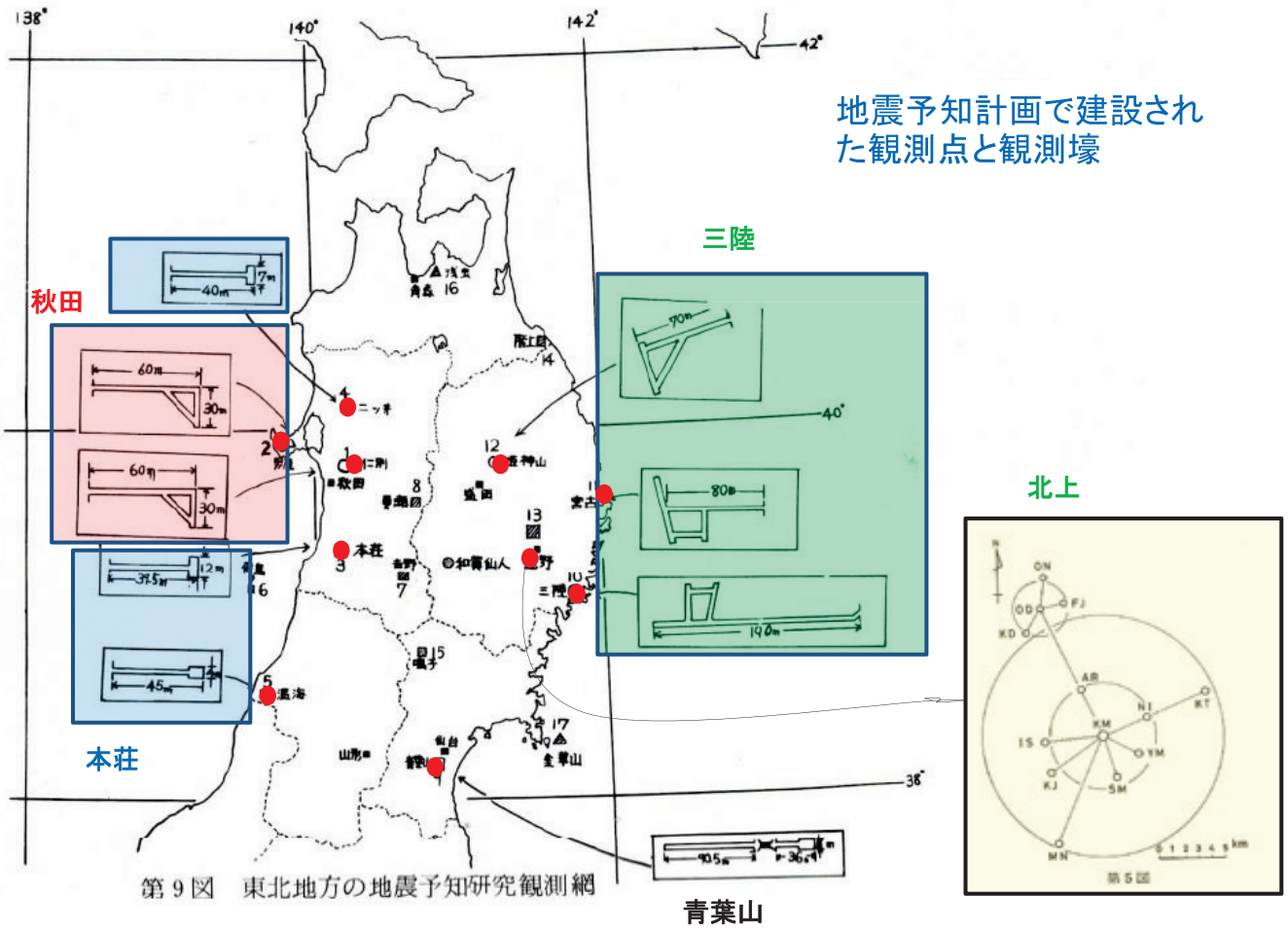
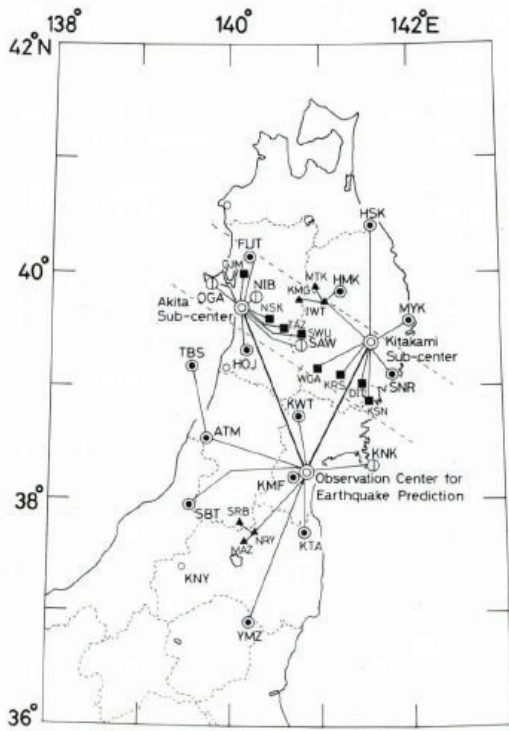


写真8 カセニム記録計（17成分）



1970 職員一同

第4次地震予知計画までに完成された観測点とテレメータによるデータの流れ



第1図 観測点配置、点線は地殻変動総合観測線を示す。

- Fig. 1 Location of observation stations
- seismic and crustal movement station
 - seismic, crustal movement and geomagnetic station
 - geophysical station
 - ▲ volcanic station
 - temporary station

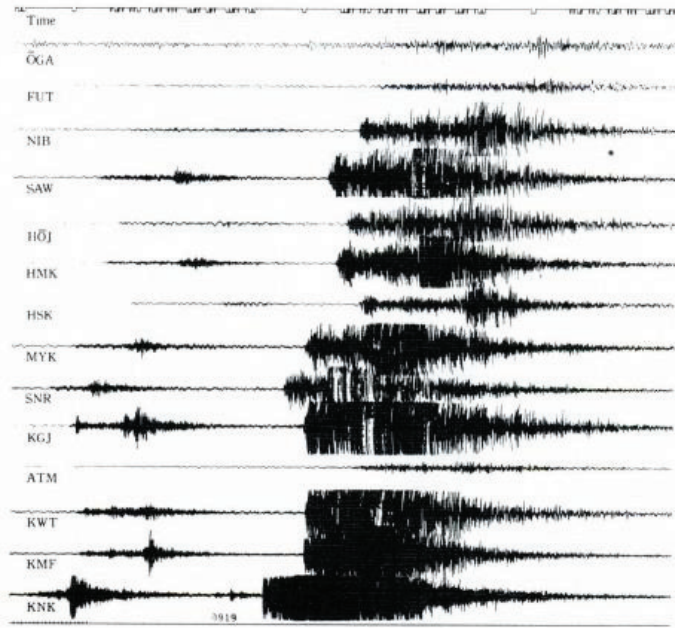


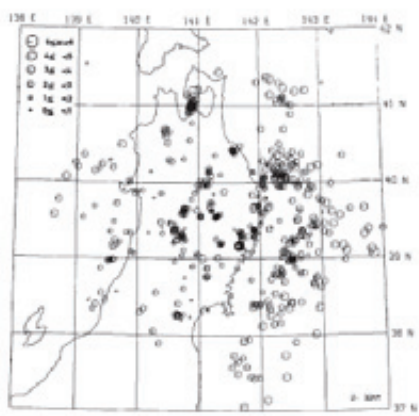
写真3 モニター地震記録の一例
Photo. 3 An example of earthquake monitored by pen recorder

予知計画(1974-1978)で導入されたシステム:

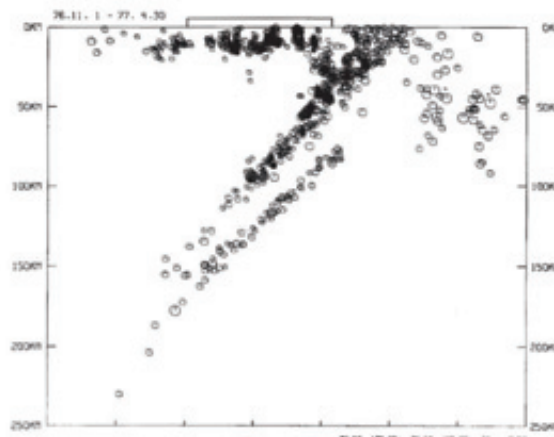
X-Y座標読み取り装置による半自動処理システムにより震源決定精度が飛躍的に向上した。



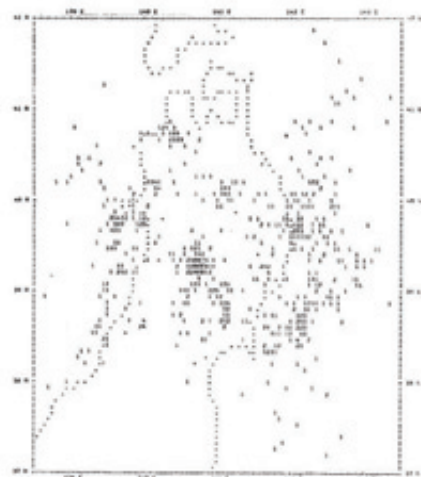
第3次地震予知計画前後の震源決定分布の比較



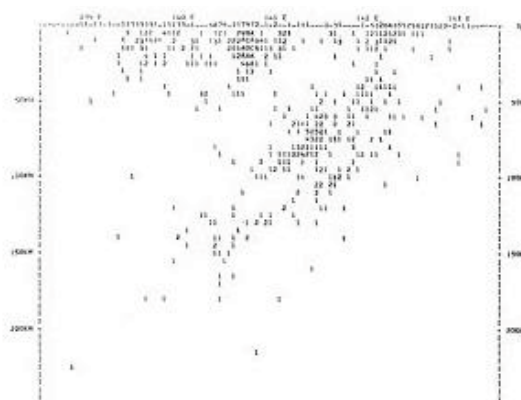
1976.11 - 1977.1 (3カ月)



1976.11 - 1977.4 (5カ月): 39N - 40N



1969.12 - 1972.12 (13カ月)

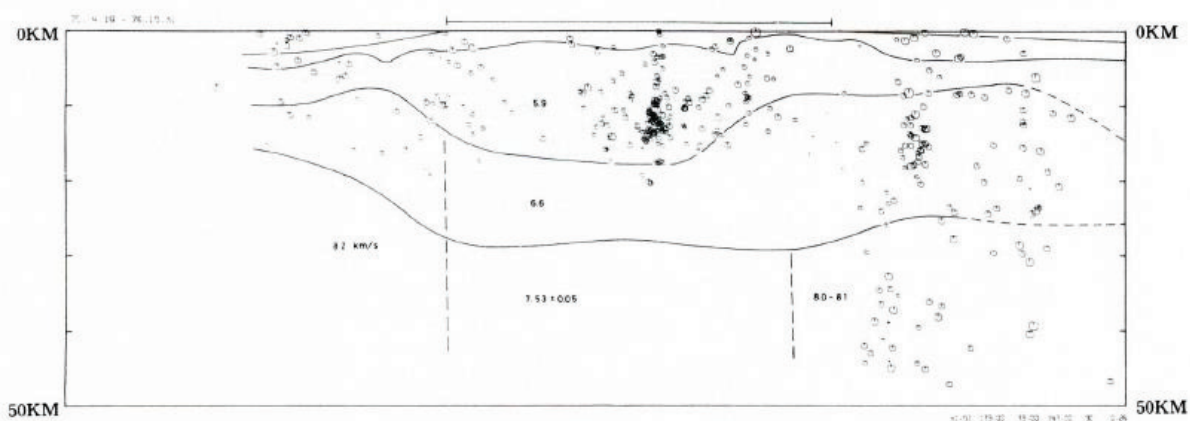


1969.12 - 1972.12 (13カ月): 39N - 40N

高精度観測の重要性

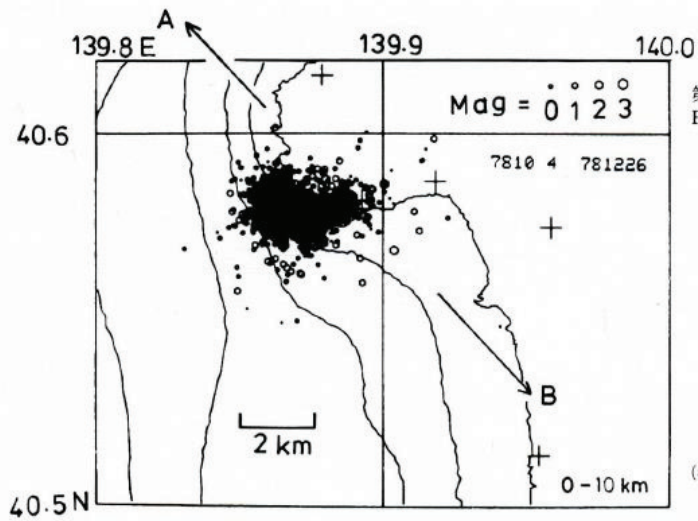
地殻構造と震源分布

4. 解析結果の例



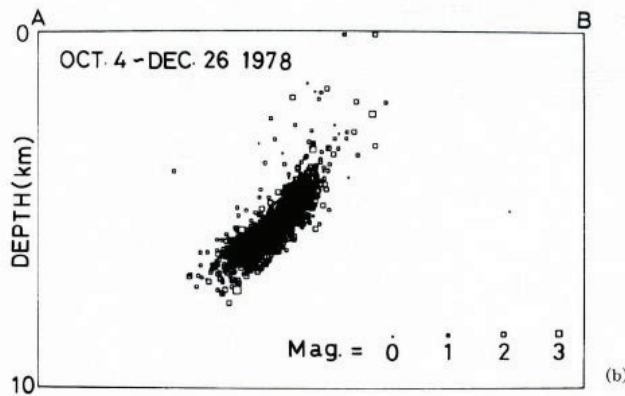
第8図 男鹿—気仙沼線に沿った微小地震の震源鉛直分布と地震波速度構造
 Fig. 8 Focal depth distribution of microearthquakes projected on the vertical section along the Oga-Kesenuma profile and the crust and upper-mantle structure derived from explosion seismic observations.

+



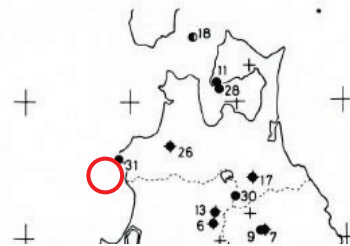
第 13 図(a) 岩崎付近で起きた地震の震央分布
Fig. 13(a) Epicenter distribution of micro-earthquakes occurring near IWASAKI.

(b) 地震の A-B 方向の鉛直断面分布
Focal depth distribution of microearthquakes projected on the vertical section in the A-B direction.



(a)

初めて適用した無線テレメータによる臨時観測：これにより深さも500m以内の精度で決定



伸縮計記録の解析から、石井紘・高木らは 地殻歪が陸と海のプレートの相対運動方向に年38kmの速さで伝播していることを見出した。移動性地殻変動の発見として学会で大変な反響を呼んだ

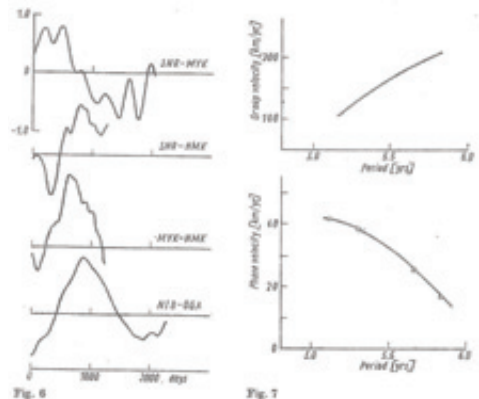
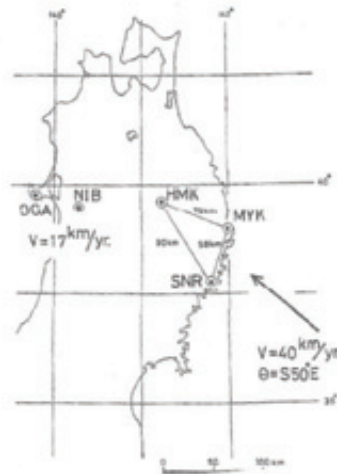
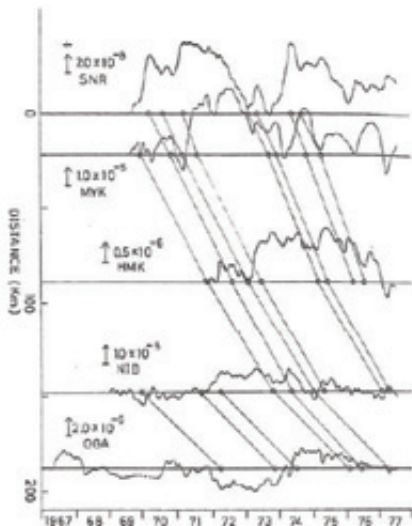


Fig. 6. Cross-ovariance of maximum shear strain
Fig. 7. Dispersion curves of maximum shear strain

移動性地殻変動の発見

Ishii, Sato and Takagi (JGSJ 1980)

Ishii, Takagi and Suzuki (Gerland Beitr. Geophysik 88, 1979)

1969



第9図 東北地方の地殻変動研究観測網

1975



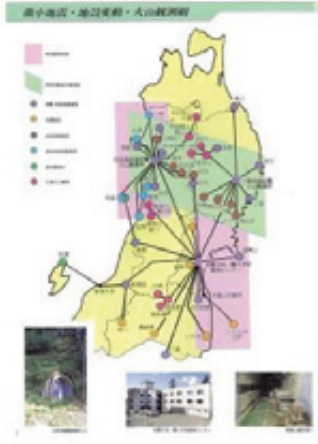
第10図 観測点配置 (〇印は協力観測点)

1983



第11図 観測点配置。点線は地殻変動総合観測網を示す。

1992



第12図 地殻変動・地殻変動・火山観測網



地震・地殻変動観測網の変遷

113

地震予知計画が始まる前の地殻変動観測点分布



第14図 既存の地殻変動観測所

石井の勤務地変遷

東北大学

1965. 4 — 1984. 12 (19年9カ月)

昭和44年11月 カナダ国University of British Columbia のPh.Dを取得
学位論文 "Reflected Wave Propagation in a Wedge"

昭和46年7月 東北大学の学位論文を取得 学位論文
"Elastic Wave Propagation in Wedges"

東京大学地震研究所

1985. 1 — 2001. 3 (16年3カ月)

(公財)地震予知総合研究振興会

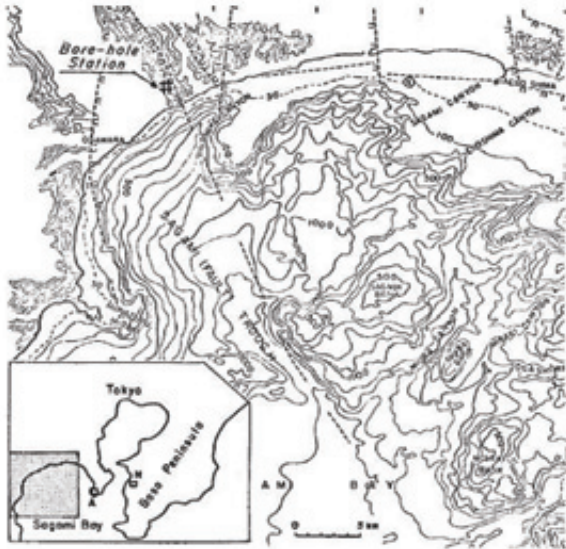
東濃地震科学研究所

2001. 4 — 2015. 10 (14年7カ月)



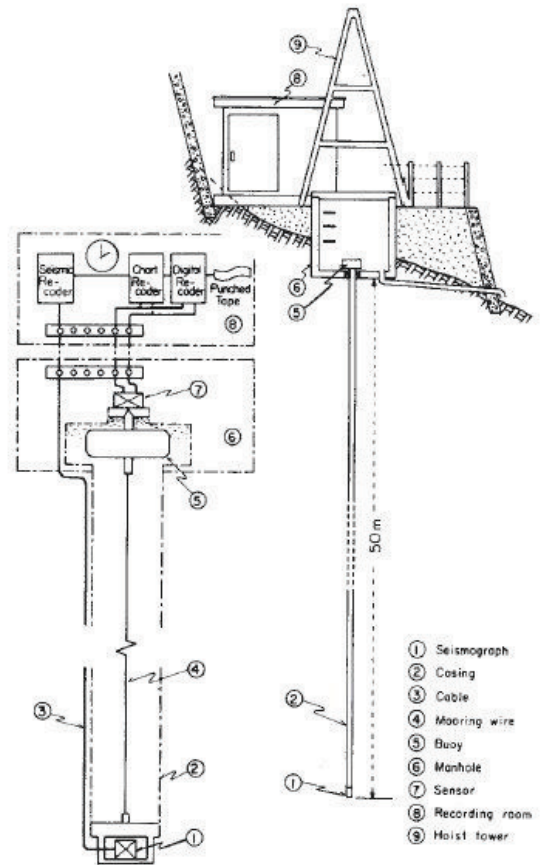
		東京大学地震研究所(1985/1 - 2001/3)		
		観測所等設置	観測計器開発・新方式	メモ
1985	第5次地震予知計画			
1986				地震研の観測体制の整備 および開発準備
1987				
1988				
1989				
1990	第6次地震予知計画		震研90型水管傾斜計	中国(宜昌)に傾斜計設置
1991		小型ボアホール歪計(油壺、内浦、長坂)		
1992			小型多成分歪計(震研92型)	南アの深度3kmの金鉱山にも20台程度設置、ロシア、カムチャッカにも設置
1993		六甲高尾にボアホール歪計(京大共同)	震研93型傾斜計	カムチャッカに傾斜計・歪計設置
1994	第7次地震予知計画 見直し 新たな観測研究計画の推進	錫山地殻変動観測所		
1995				
1996		ボアホール観測点(伊東、相良、潮岬、小諸、小田原)、淡路島300m深度ボアホール観測点、室戸地殻変動観測所	ボアホール地殻活動総合観測装置(アナログタイプ)	群発地震の前兆変動(伸縮、傾斜)観測 北海道駒ヶ岳小噴火に伴う変動観測
1997		ボアホール総合観測点 BH-1(深度:160m、東濃地震研) ボアホール総合観測点 97FT(深度:167m、東濃地震研)		群発地震の前兆変動(伸縮、傾斜)観測
1998		ボアホール総合観測点 TGR350(深度:350m、東濃地震研)		群発地震の前兆変動(伸縮、傾斜)観測
1999				
2000		ボアホール総合観測点 TGR165(深度:167m、東濃地震研)		
2001				

地震研究所の総合観測線に設置されていた観測システム



第1図 相模トラフ断層（推定）と観測坑井の位置
Fig. 1 Location of the station and the Sagami Trough fault

気象や温度の影響を受けやすい、
感度は10⁻⁵程度



第2図 観測坑井とブイ傾斜計（略図）
Fig. 2 A bore-hole station equipped with a bouy tiltmeter

従来の水管傾斜計

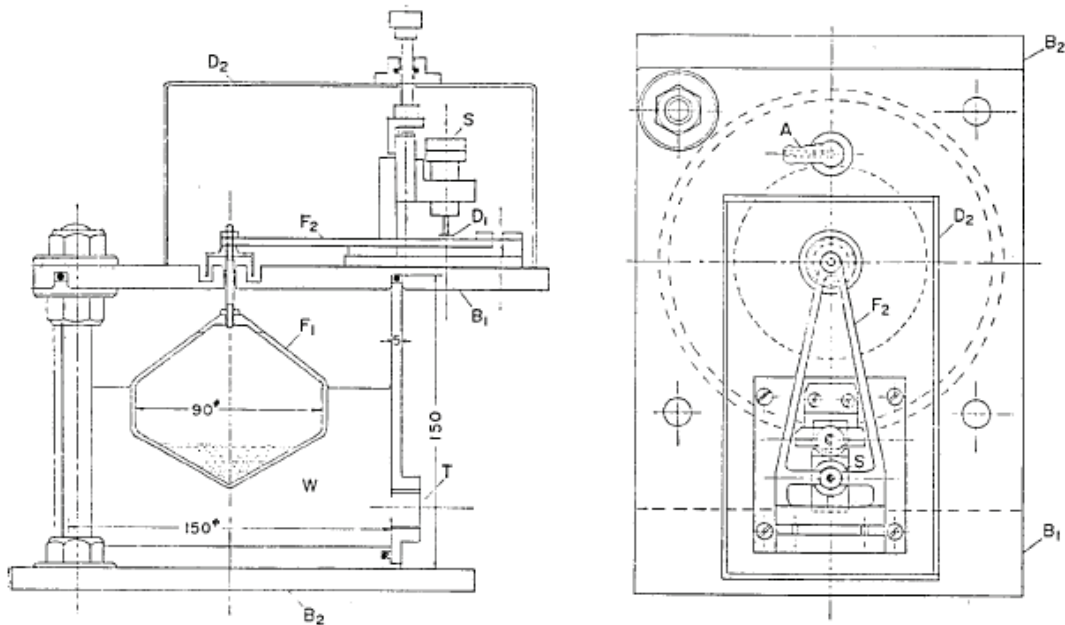


Fig. 2 Schematic view of a float-type water-tube tiltmeter,

- A: air pipe joint
- B_{1,2}: B₁... upper base, B₂... lower base
- D_{1,2}: D₁... dust core, D₂... dust cover
- F_{1,2}: F₁... float, F₂... float lever
- S: sensor
- W: water reservoir.

開発された震研90型水管傾斜計と自動感度検定システム
伸縮計用の自動感度検定システムも開発

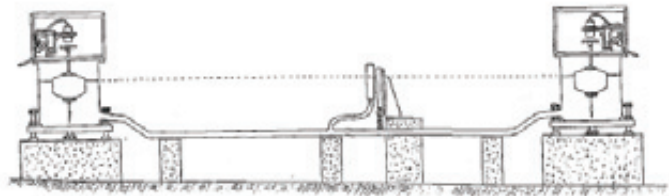


Fig. 2. Schematic view of ERI-90 type water-tube tiltmeter system.

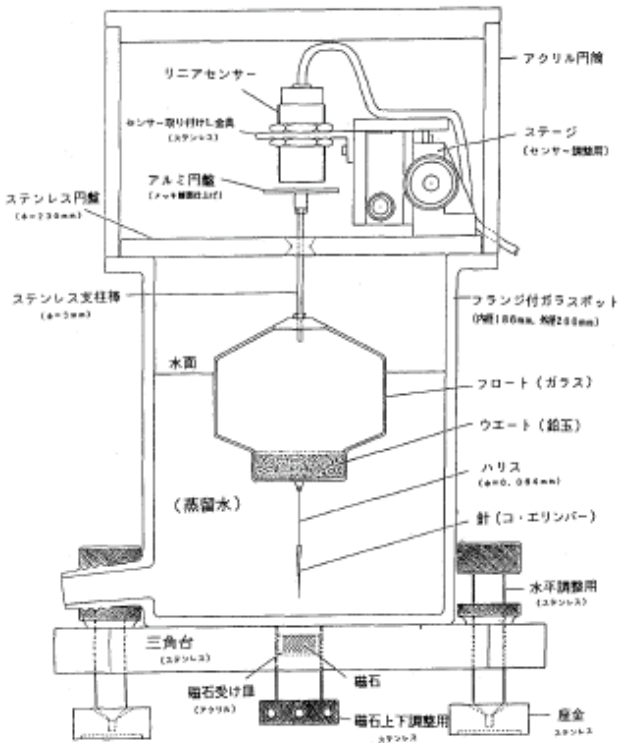
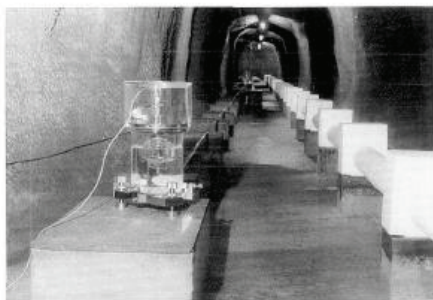
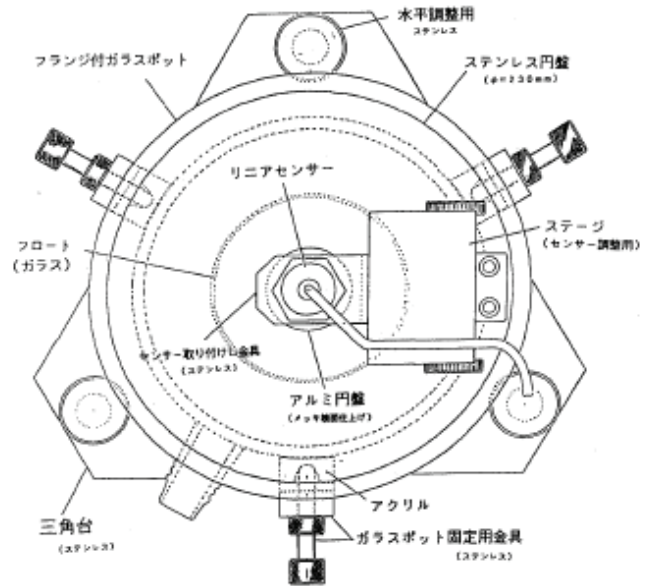


Fig. 3. Schematic view of observation pot of ERI-90 type water-tube tiltmeter.



従来型水管傾斜計と震研90型水管傾斜計の写真

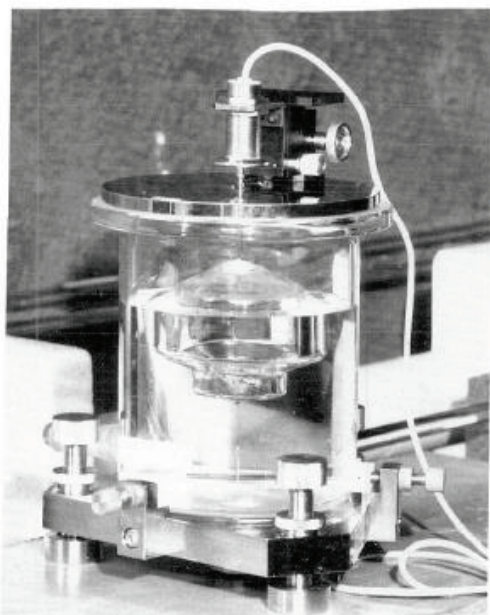


Photo 2. Newly developed water-tube tiltmeter.

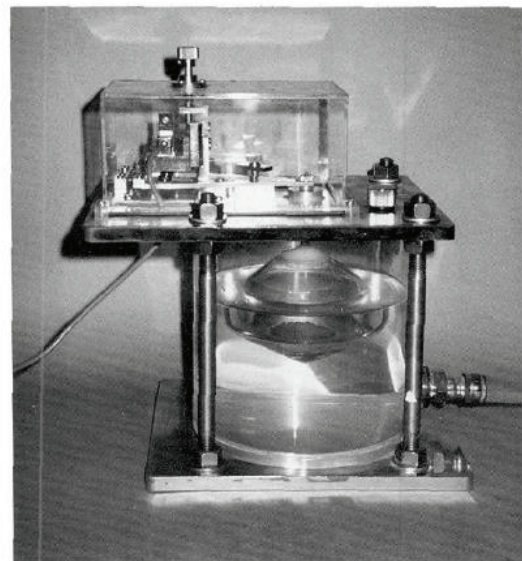
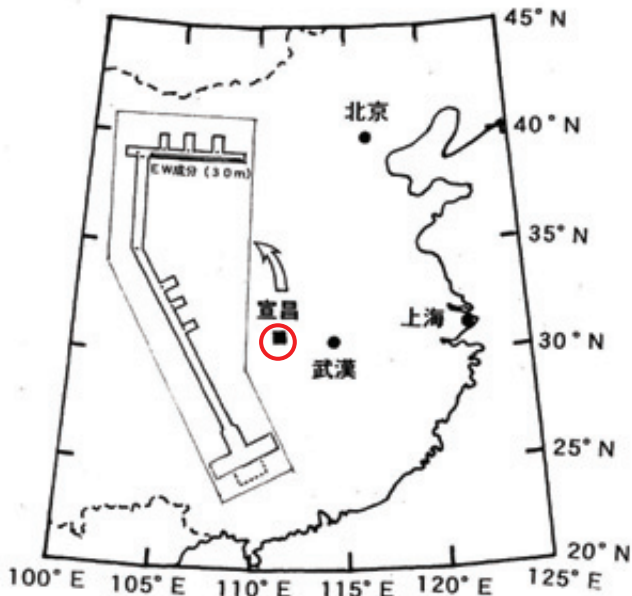
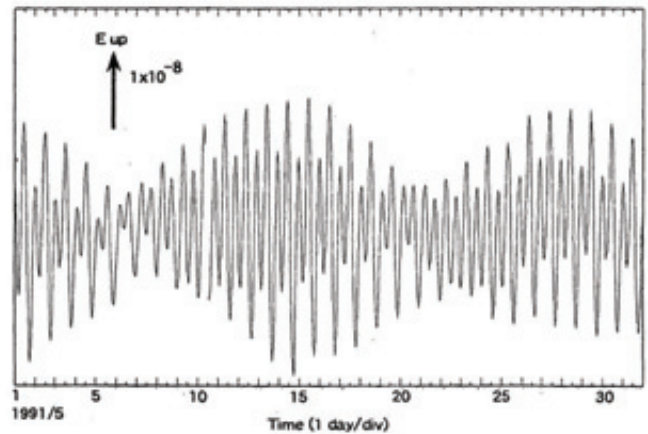


Photo 1. Water-tube tiltmeter employed in the past by Earthquake Research Institute, The University of Tokyo (after ERI, 1973).

中国における震研90型水管傾斜計の設置



第1図 観測点の位置図と観測装置の平面図。震研90型水管傾斜計は宜昌観測点(■)の東西方向に設置されている



第3図 震研90型水管傾斜計による観測データ(1時間値)の例(1991年5月と1991年9月)

1993 予知連会報 49
p551-554

ボアホール計器開発の重要性と必要性

S/Nの良い観測 → 深部ボアホール観測の重要性

- 震源に近い観測が重要な情報を知らせる
例えば 天文学:高山や宇宙での観測
- 地表は人工的なノイズが大きいですが深部では人工的なノイズが激減し地震に関連した小さなシグナルもキャッチできる。聴診器での診断と胃カメラによる診断に相当する。



Fig. 2. Horizontal displacement vector caused by the Kanto earthquake derived from the second order triangulation stations (NAKANE [4]). A fault plane projection obtained by MATSU'URA [7] *et al.* is drawn by a dotted line.

変位観測より歪観測の方が
二桁以上検知能力が高い

Table 1. Observation value and capability of three observation items for the 1923 Kanto earthquake.

Observation Items	Change caused by the Kanto earthquake	Change divided by 100 (hypothetical precursory change)	Detectability
Continuous Strain Observation	$\approx 10^{-4}$	$\approx 10^{-4}$	$\approx 10^{-4} \sim 10^{-9}$
GPS Survey (several km~several hundreds km)	≈ 300 cm	≈ 3 cm	\approx several cm
EDM Survey (several km~several tens km)	≈ 100 cm	≈ 1 cm	≈ 1 cm

観測された変動量
前兆変動が観測された変動量の1/100とした場合
検知能力

歪の連続観測はまたらデータの余裕がある

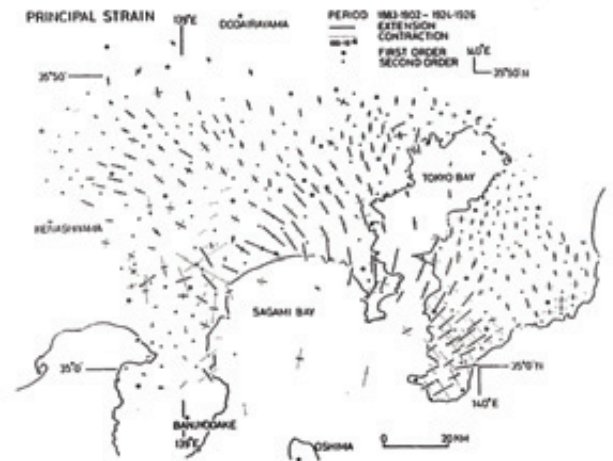


Fig. 8. Principal strain caused by the Kanto earthquake (after NAKANE [4]).

開発した小型ボアホール歪計

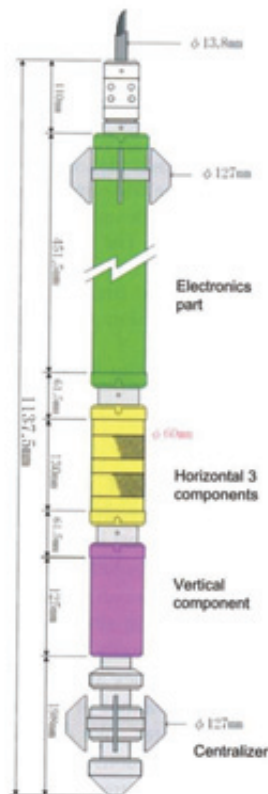
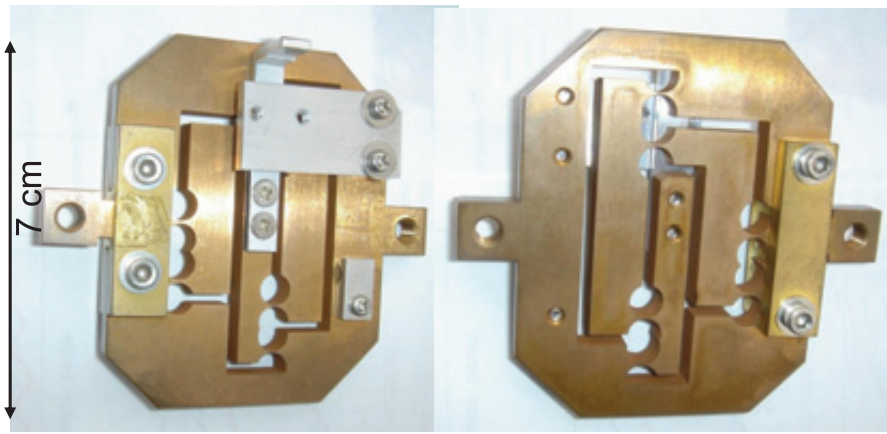


Fig. 2. Strain meter used for continuous strain observation.

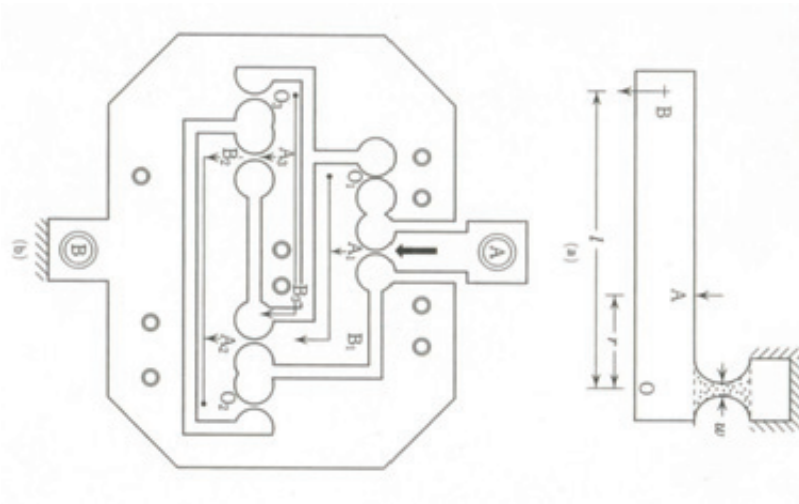


表

裏

円筒容器の変形を拡大するシステム

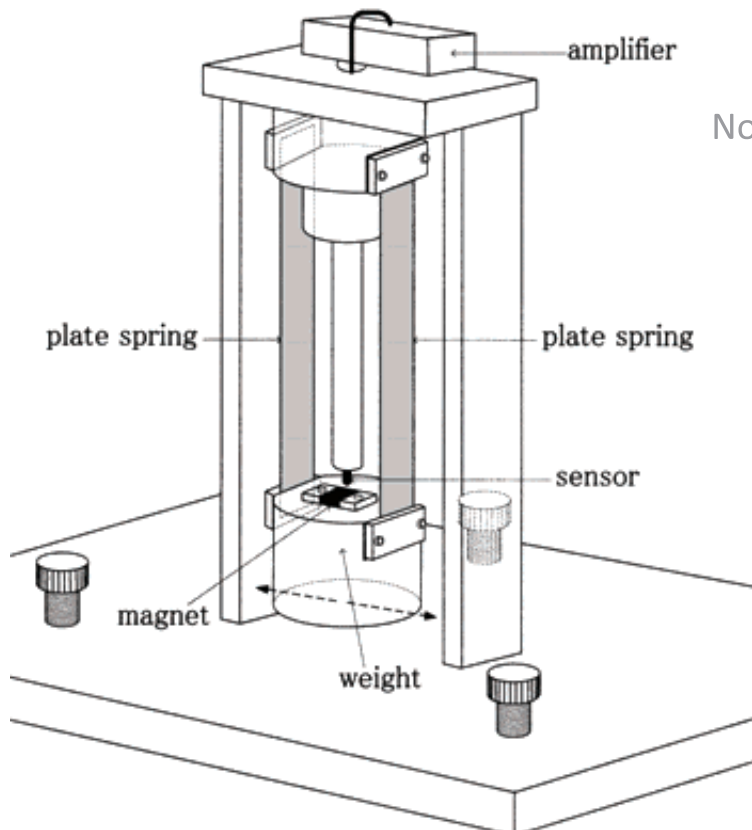
Amplifying Mechanics
Lever principle is employed



震研93型傾斜計

ERI-93 type tiltmeter

Principle of tilt meter

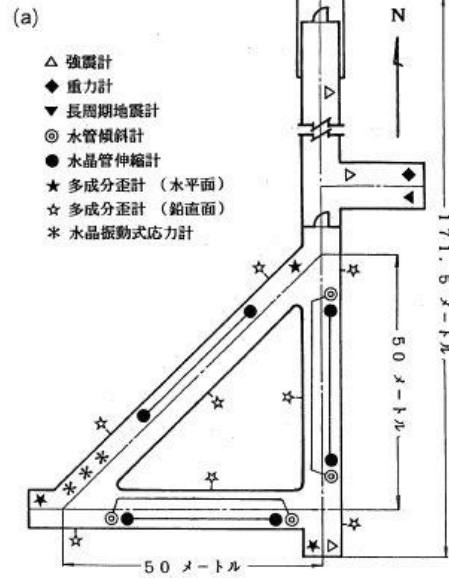
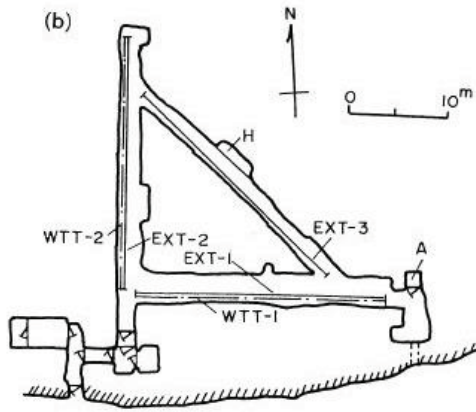


No mechanical damping but by electric filtering

この傾斜計はボアホール総合観測装置に組み込まれた

1999 Seismogenic Process Monitoring, 365-377, BALKEMA

鋸山地殻変動観測所の移設



第3図 新旧観測坑内の観測計器配置図。(a)新観測坑。(b)旧観測坑。
Fig.3 Plan view of the vaults. (a) New vault. (b) Old vault.



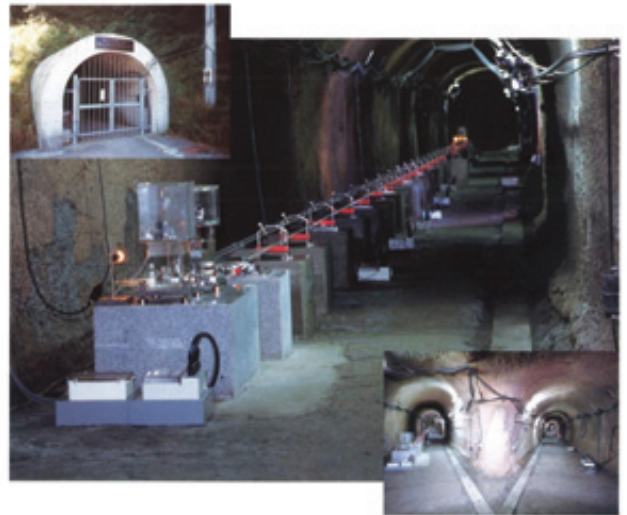
第1図 観測点位置図
Fig.1 Location map.

1994 予知連会報 52
p176-179



鋸山地殻変動観測所

Nokogiriyama Geophysical Observatory

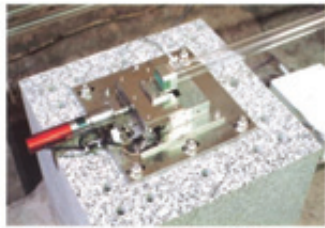
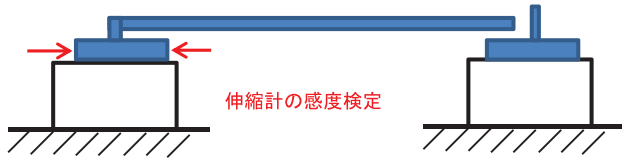


東京大学地震研究所

Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

1994年3月

表紙題字：東京大学名誉教授 森原尊禮先生筆
写真：観測所の内部の様子（観測計の設置状況）。観測所の内部の様子（観測計の設置状況）。



伸縮計の固定端と感度検定用アクチュエーター
Fixed end of an extensometer and actuator for calibration



伸縮計の中間センサー
An in-between part sensor of an extensometer

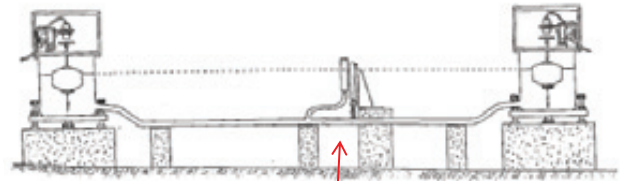


Fig. 2. Schematic view of ERI-90 type water-tube tiltmeter system.

水管傾斜計の感度検定

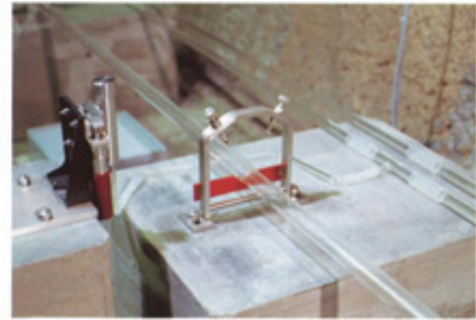
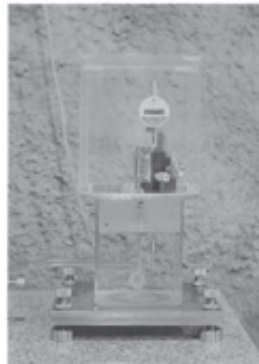
読取式水管傾斜計
Reading type Water-tube Tiltmeter

設計者 石津 純

使用開始 1991年

特 性 感度 2.5×10^{-4} ラジアン

特 長 この読取式水管傾斜計は台石にボルトで取り付ける従来方式とは違い、撮影石の台石に置くだけでよい。水準あわせの針も従来のボルト調整から方式ではなく、ボルト上からU字型にしたので、ボルト調整の水漏れ用に使用した水銀も不要になった。また、読み取りもメモリ盤を読むのではなくデジタルマチックラインジケーターに表示させる方式に変えた。



震研90型水管傾斜計の感度検定部分と吊金具
Calibration part of ERI-90 type water-tube tiltmeter and a suspension part of an extensometer

開発された震研90型水管傾斜計と自動感度検定システム
伸縮計用の自動感度検定システムも開発

1992 地震研究所彙報 67 p79-87

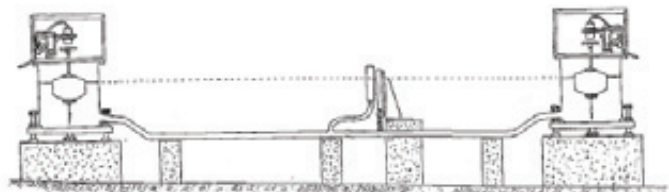


Fig. 2. Schematic view of ERI-90 type water-tube tiltmeter system.

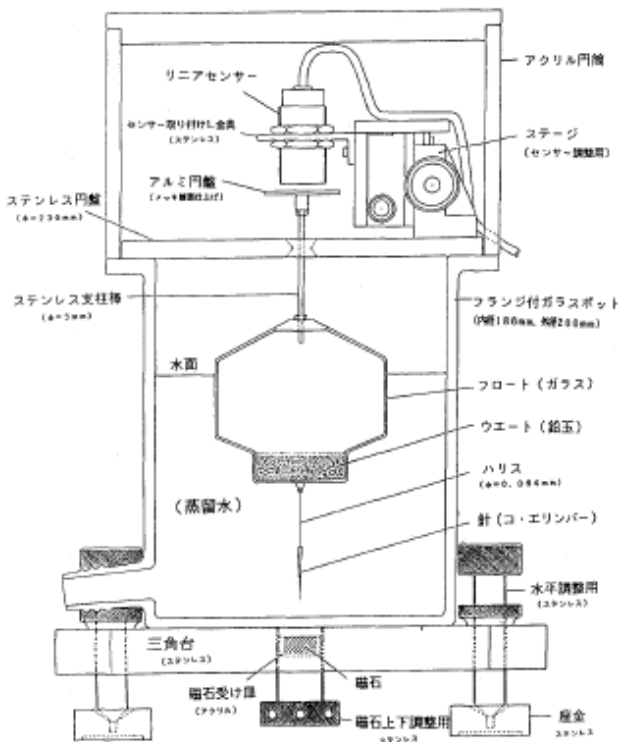
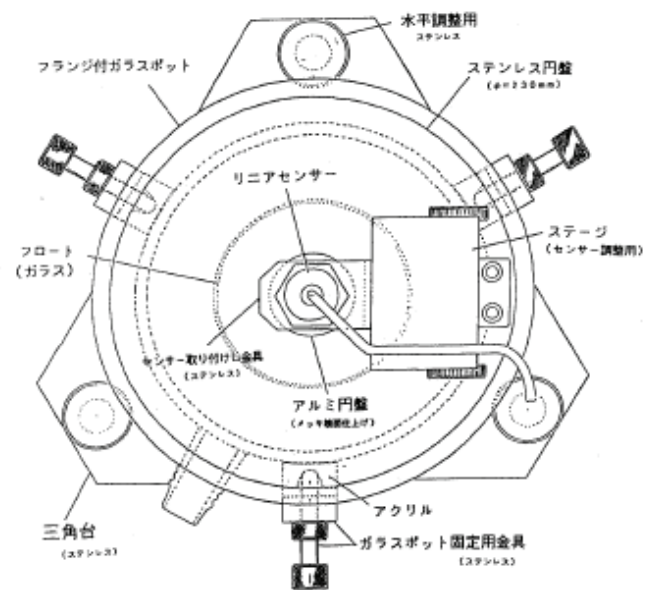
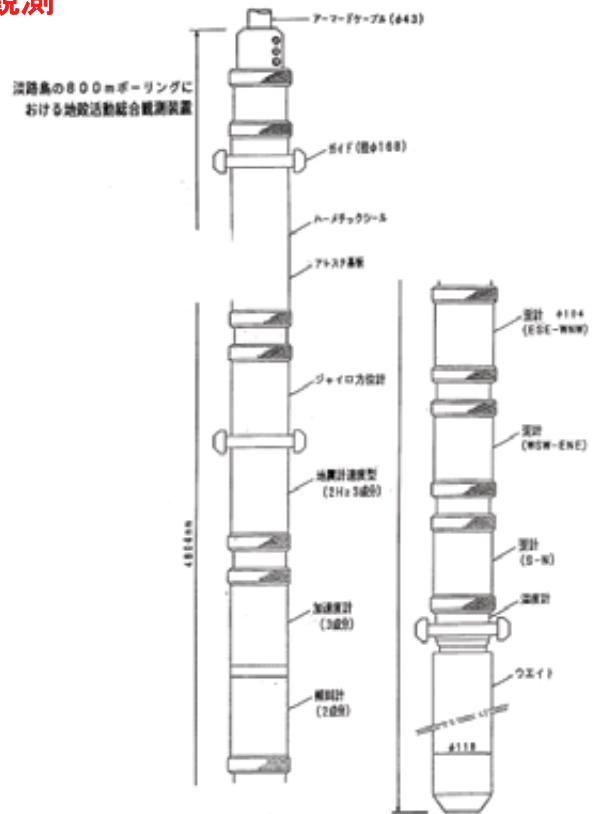
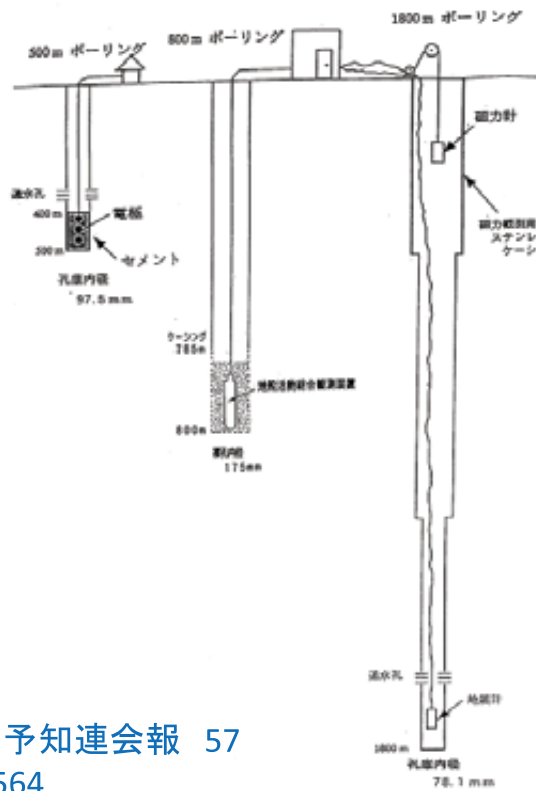


Fig. 3. Schematic view of observation pot of ERI-90 type water-tube tiltmeter.



淡路島800m深度ボアホールへの総合観測装置の設置(1996.5)



第2図 設置された地殻活動総合観測装置

Fig. 2 Multi-component borehole instruments installed at the bottom of 800m borehole. The instrument was developed by Earthquake Research Institute, the University of Tokyo.

1997 予知連会報 57
p559-564

第1図 掘削された3本のボーリング
Fig. 1 3 boreholes dug in this area for various purposes.

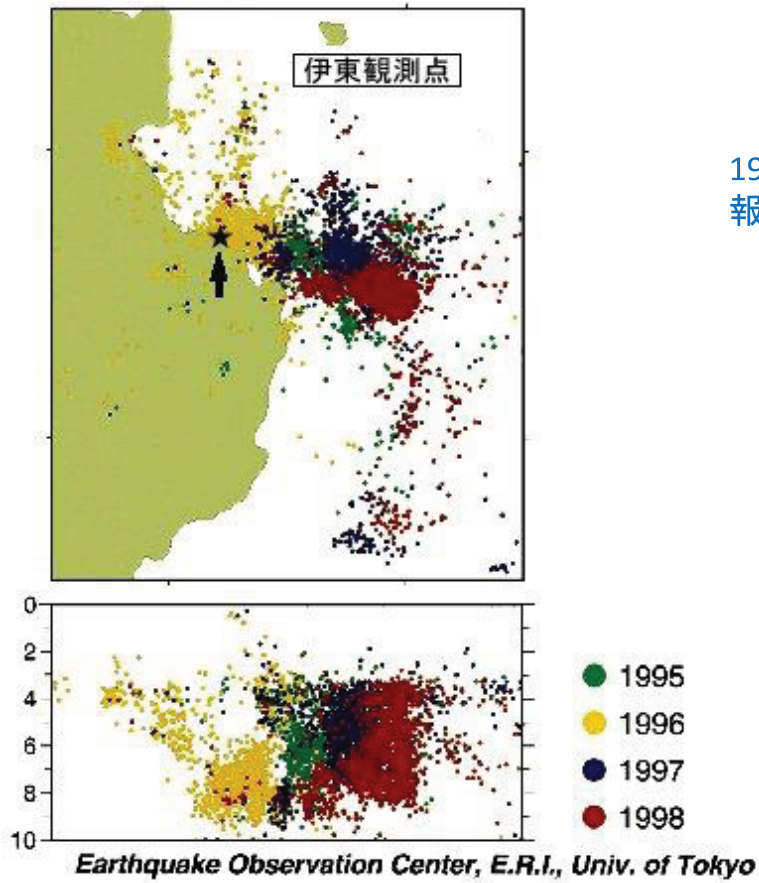
総合観測装置の設置

2000 予知連会報 p472-476
p477-481



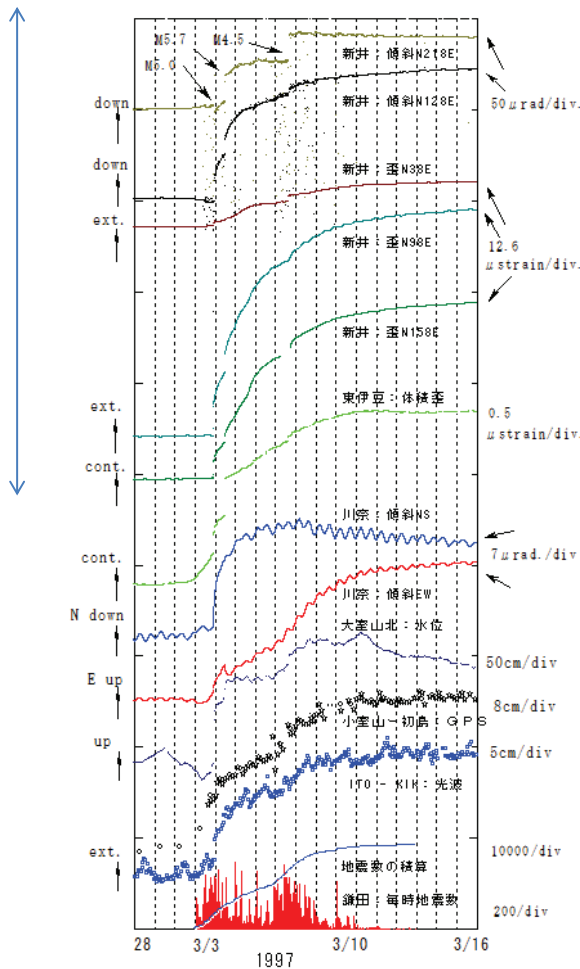
第1図 観測点配置図。
Fig. 1 Location map of the observation station

伊豆に発生した群発地震の震源分布



1999 地震研究所広報 No. 25-2

総合観測装置



1997年3月の群発地震に伴って観測された変動

総合観測装置による観測が成分数も多いし、感度もよい

1997年3月に発生した群発地震の前兆的
傾斜変動

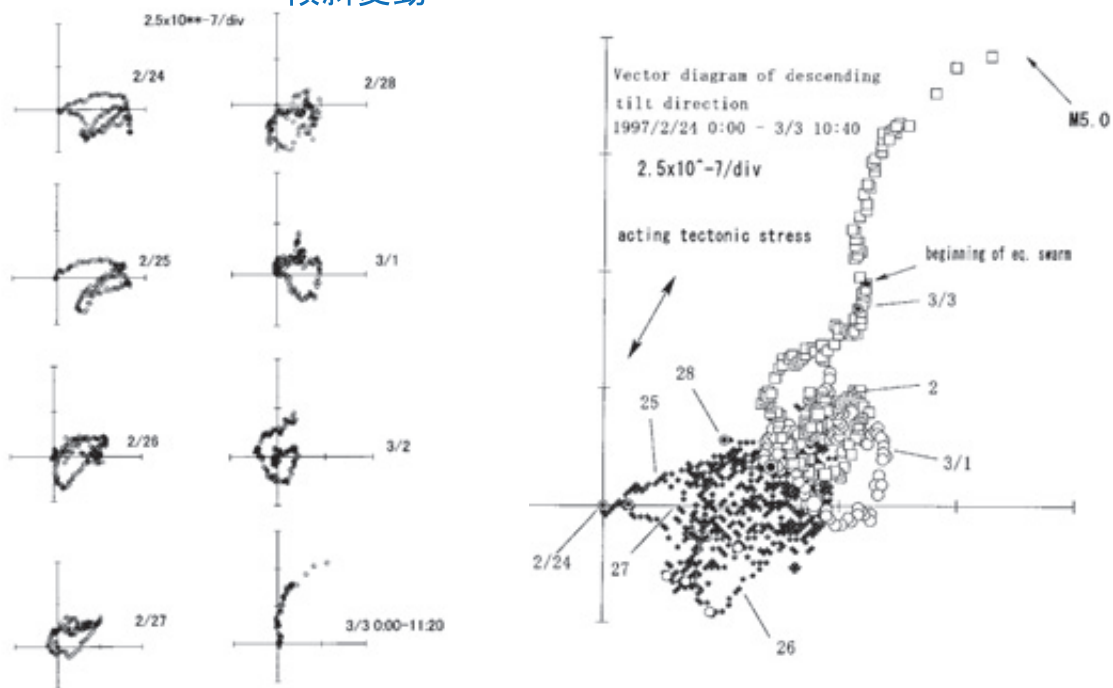
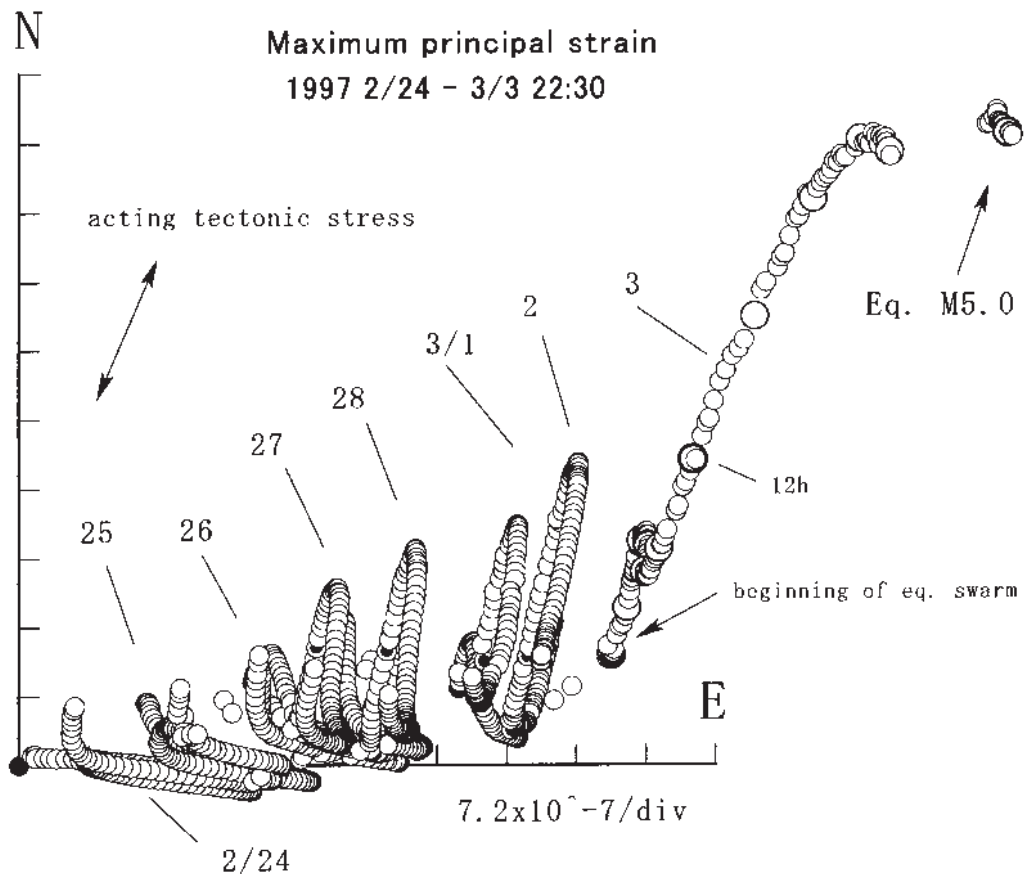
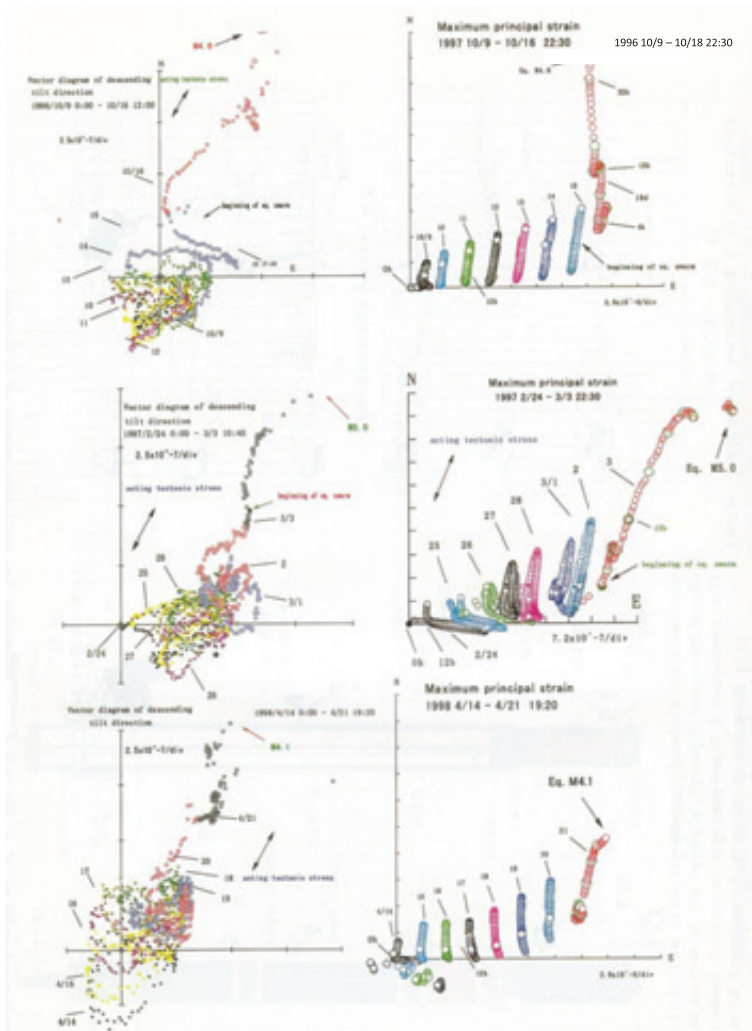


Figure 7. Daily vector diagram of descending tilt direction from 2 / 24 to 3 / 3.

Figure 8. Vector diagram of descending tilt direction from 2 / 24 to 3 / 3.

1997年3月に発生した群発地震の前兆的
歪変動





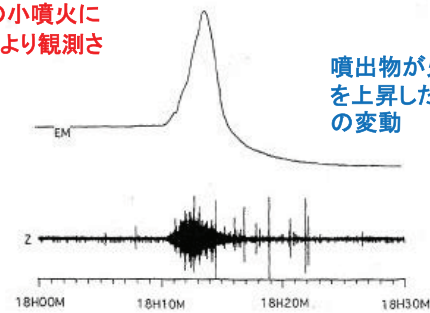
3回発生した群発地震全てに前兆的傾斜・歪変動が観測された

震源近くに掘削した深部ボアホールに総合観測装置を設置したことによる

予知連会報 52 176-179



1996年 北海道駒ヶ岳の小噴火に伴って総合観測装置により観測された歪変動、地震動

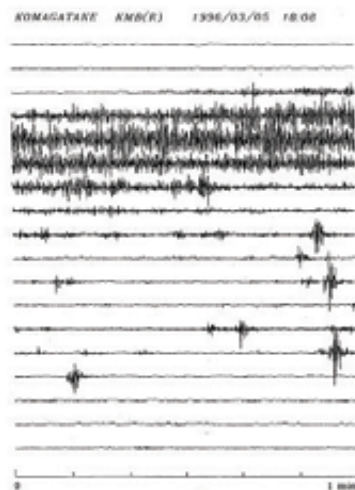


噴出物が火道を上昇した時の変動

第2図 地震計と伸縮計による北海道駒ヶ岳の噴火の記録、小噴火に対応して地震計には噴火微動と群発地震が、伸縮計(N131°E方向)には、 1.6×10^{-8} の伸びと 0.5×10^{-8} の永久収縮室で特徴づけられる長周期パルス変動が観測された。



1996 噴火予知連会報 66 p1-17



第3図 総合観測井孔底の地震計でみた噴火微動と地震群(観測点KMB)
Fig. 3 Seismic record of the eruption tremor and eruption-triggered small earthquakes (Z-component accelerometer, at KMB)

アメリカにおけるボアホール観測：一つのボアホールでそれぞれの計器を別々に設置

PBO BOREHOLE INSTRUMENTATION

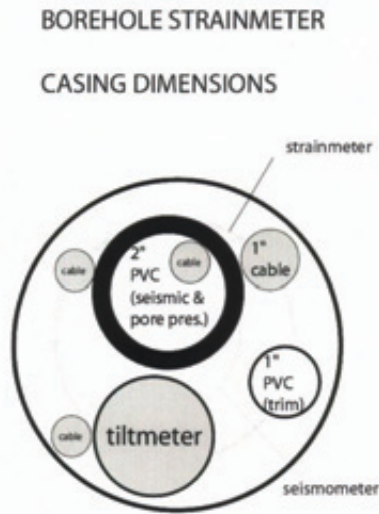


Figure 2. Cross cut of 6.625 (5.07 ID) borehole strainmeter casing showing approximate location and size of instrument cables.

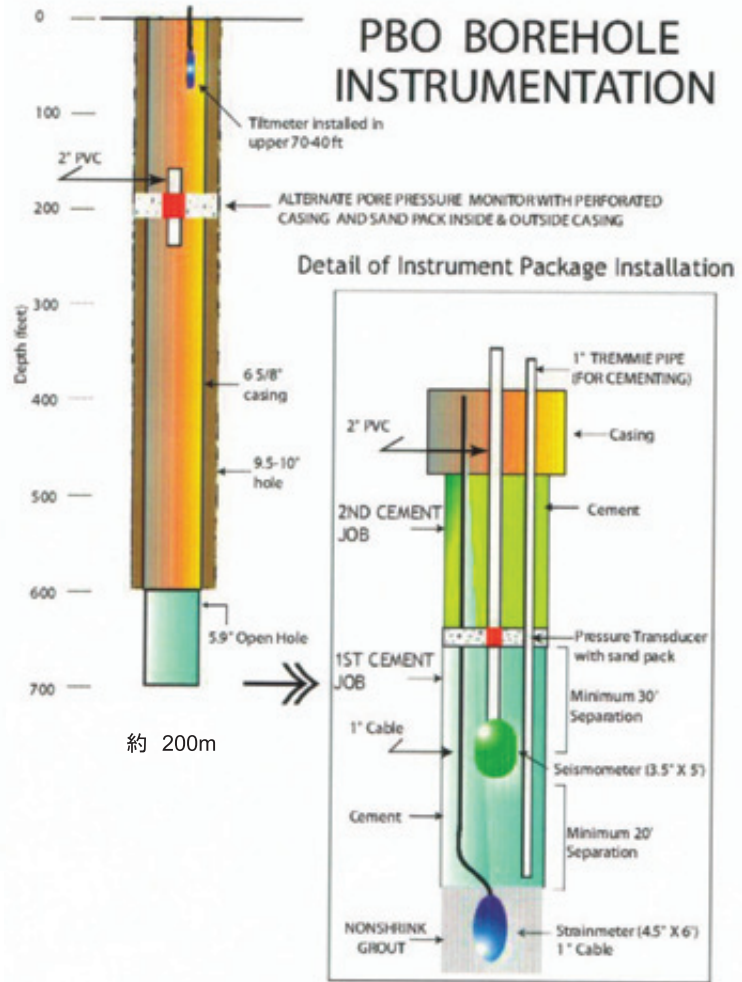
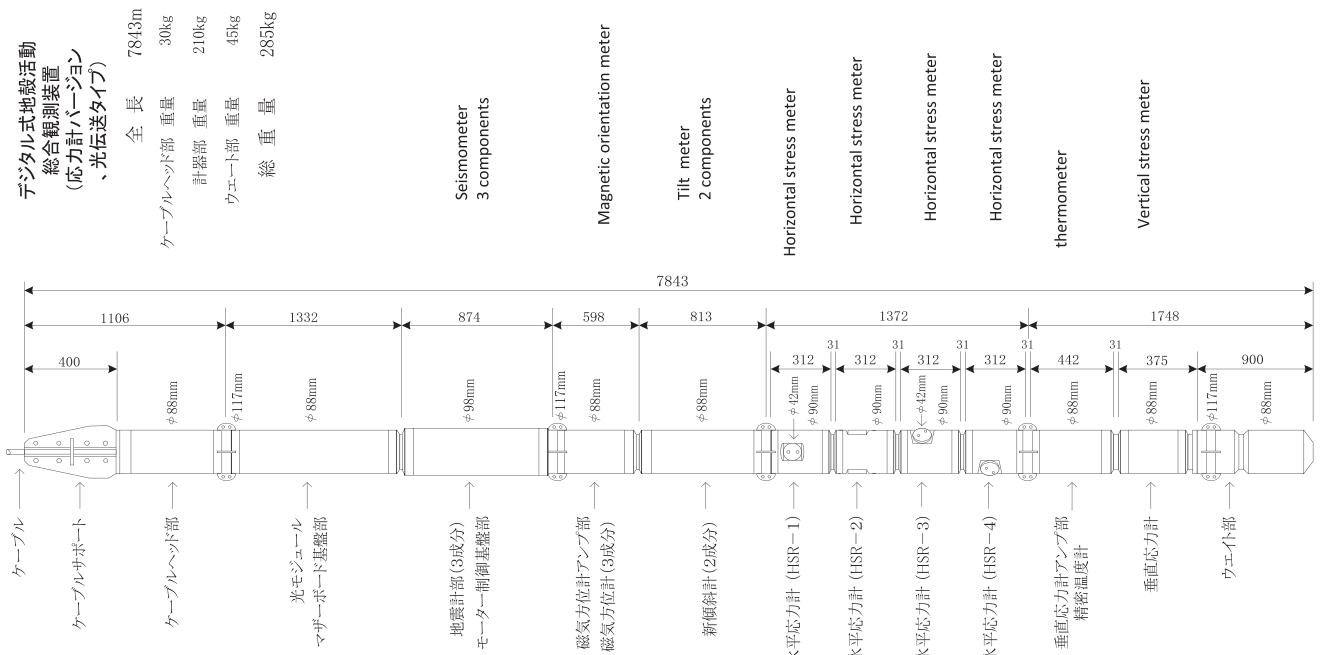


Figure 1. Schematic drawing of borehole strainmeter installation based on PBO zero-order plan.

東濃地震科学研究所 (2001/4 - 現在)				
	観測所等設置	観測計器開発・新方式	メモ	
2001				
2002				
2003	ボアホール総合観測点BYB (深度:1020m) ボアホール総合観測点SNG (深度:520m,名古屋大学と共同)	デジタル、同軸ケーブル方式	世界最新・最深のボアホール総合観測	
2004				
2005	ボアホール総合観測点JRJ (深度:1030m)		世界最新・最深のボアホール総合観測	
2006				
2007	ボアホール総合観測点TRIES (深度:505m)		地震に伴う地下水位上昇メカニズム解明	
2008			水位変化と断層運動の関連を解明	
2009	ボアホール多成分応力計観測点STG200 (深度200m横坑から20m)	ボアホール応力計		
2010	ボアホール総合観測点TOS (深度:512m)	デジタル、光ケーブル方式		
2011	ボアホール総合観測点HYS (深度:515m)			
2012			観測地域の間隙弾性的ふるまい解明	
2013				
2014	ボアホール多成分応力計観測点SBS105 (深度:105m) ボアホール多成分応力計観測点STG300 (深度300m横坑から20m)	小型多成分ボアホール応力計	弾性体の不変量を用いた計器の信頼性確認	
2015	ボアホール多成分応力計観測点STG200N (深度200m横坑から20m)		気圧地震動と上下変動の関連解明	

デジタル式地殻活動総合観測装置(応力計バージョン、光伝送タイプ)



世界最深い地殻活動総合観測

(岐阜県瑞浪市 屏風山観測点 深度1km) (財)地質学総合研究センター 東海地殻科学研究所

地質学知研究や地下深部の研究を進めるためには、地下深部における地球物理学的観測を可能にすることが重要である。高層構造地帯 (1995、マダニチード72) において観測が4個しか観測できず、観測的変動が観測されなかったのも観測点が地表近くにあり人工的なノイズが大きく信号の小さな変動が隠されてしまったためである。地下深部において高感度の観測が可能になればこのような問題は解決する。このため1本の深部コアホールにおいて多項目の観測を可能にする計器の開発および計器の埋設設置方法を確立するための研究を数大学および東大地質院と共同で進め、屏風山断層の立地し屏風山地殻活動総合観測点を建設した。

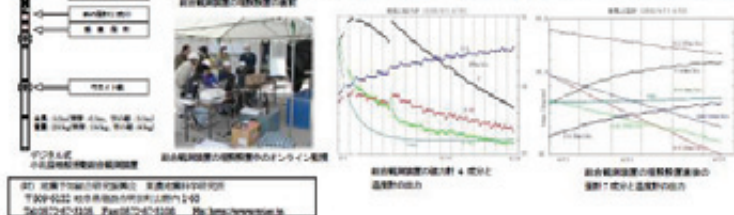
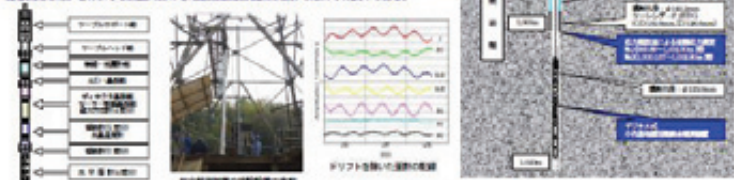


広角観測による地殻応力測定
本コアホール掘削は1層において、開発したインテリジェント取芯装置を使用したオーバーコアリング法により地殻応力を測定した。地殻応力は地殻発生の特ランシタルを示す重要な観測項目である。本観測点では、1,000m 級の応力観測計による測定を世界で初めて実施し、確立した。



デジタル式小型地殻活動総合観測装置の建設・設置

本観測点では、厚1mm、幅約2mm、長さ約4mmの小型観測計を複数個を一度に埋設する地殻活動総合観測装置を開発し、5005-530に1,000mの深部に埋設設置しデータの連続記録を開始した。このような深部における地殻活動総合観測は世界で初めての試みである。



(財)地質学総合研究センター 東海地殻科学研究所
〒509-0422 岐阜県瑞浪市中央町1-4-5
Tel: 0574-21-1111 Fax: 0574-21-1116 E-mail: info@geosoc.or.jp

総合観測装置の埋設・設置

深部ボアホールの観測： 計器の開発、データ伝送技術の開発、深部ボアホールへの設置技術の開発



ボアホール総合観測装置の埋設・設置チーム

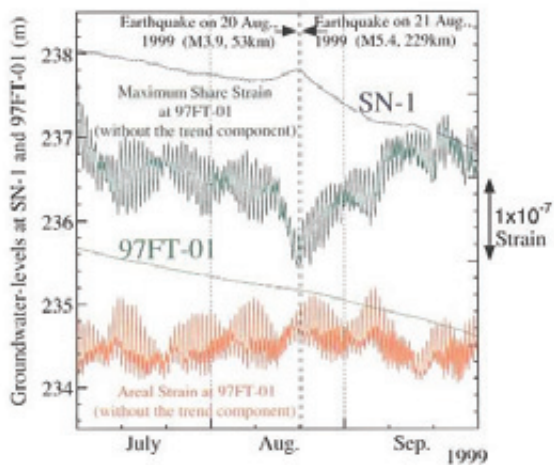
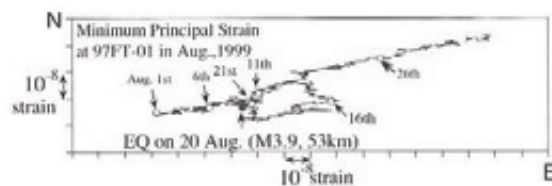
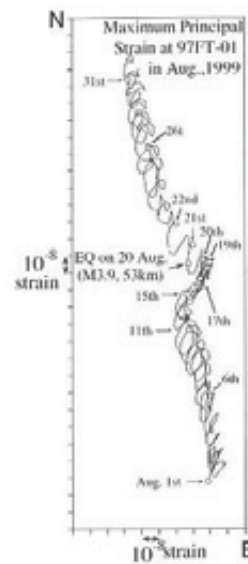


Fig. 11. Changes in groundwater-levels in SN-1 (blue line) and 97FT-01 (yellowish green line), maximum share strain (green line), and areal strain (red line) in 97FT-01 from 1 July to 30 September 1999. After Yamauchi *et al.* (2005).

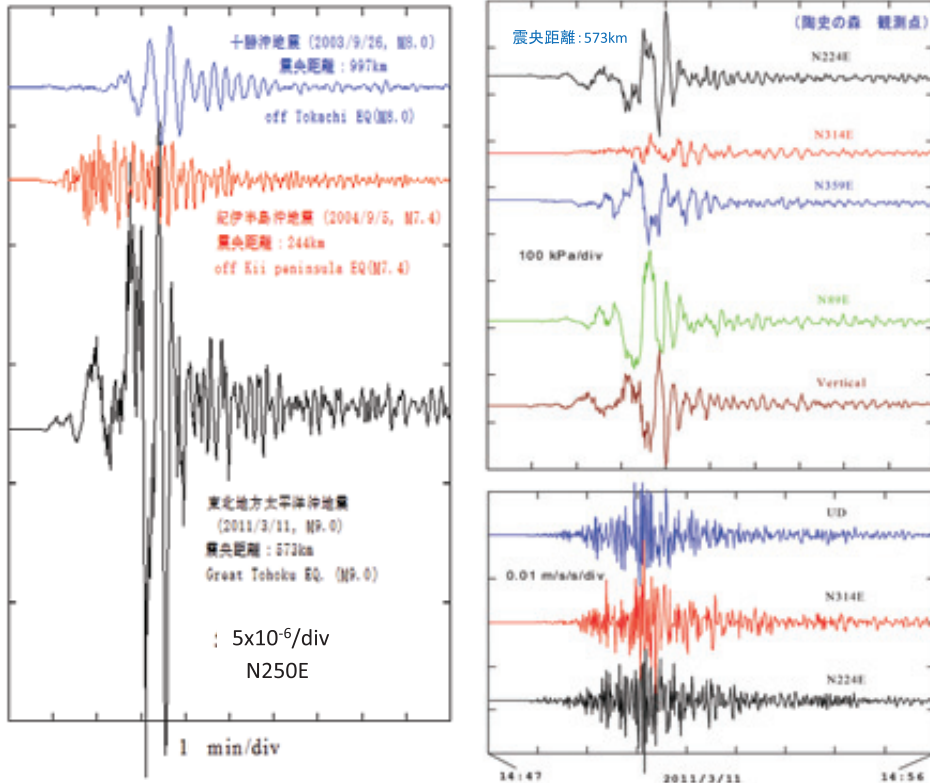
head regions by low permeable boundaries, our model, as mentioned in a previous paragraph, could be a more suitable explanation for the changes in groundwater level 'drop' and spring flow 'increase' after the earthquake. An increase in the hydraulic conductivity at the boundaries by seismic shaking would result in a rush flow of groundwater from



ボアホール観測網で観測された応力・歪地震波形

Examples of seismic wave records by borehole system

東北地方太平洋沖地震(M9.0) 応力地震動 & 地震動



ボアホール応力計・歪計は東北地方太平洋沖地震の波形をスケールアウトせずに記録しているが防災科学技術研究所の広帯域地震計は全てスケールアウトしていた。
津波発生の予測にとって重

屏風山ボアホール観測点(深度 1020m)で観測された異なる地震の歪地震波形

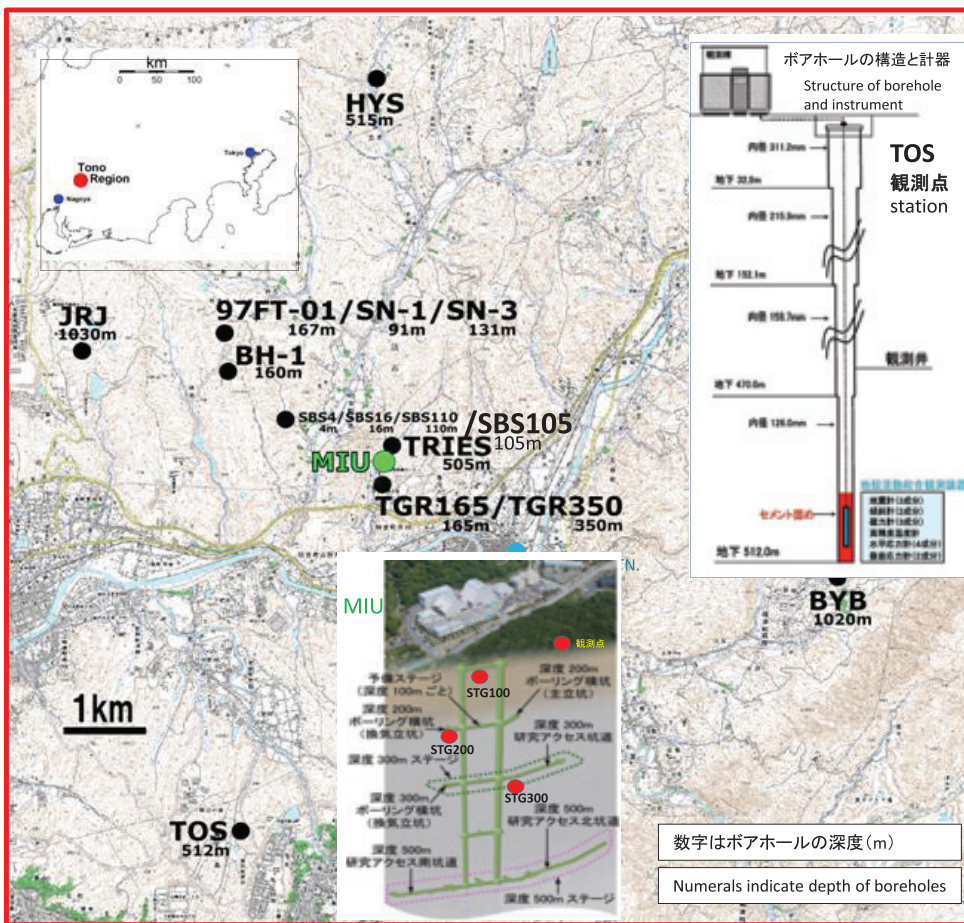
Comparison of strain seismograms observed in BYB borehole station (depth 1020m)

Stress seismogram and seismogram observed at TOS borehole station in the case of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (M9,0)



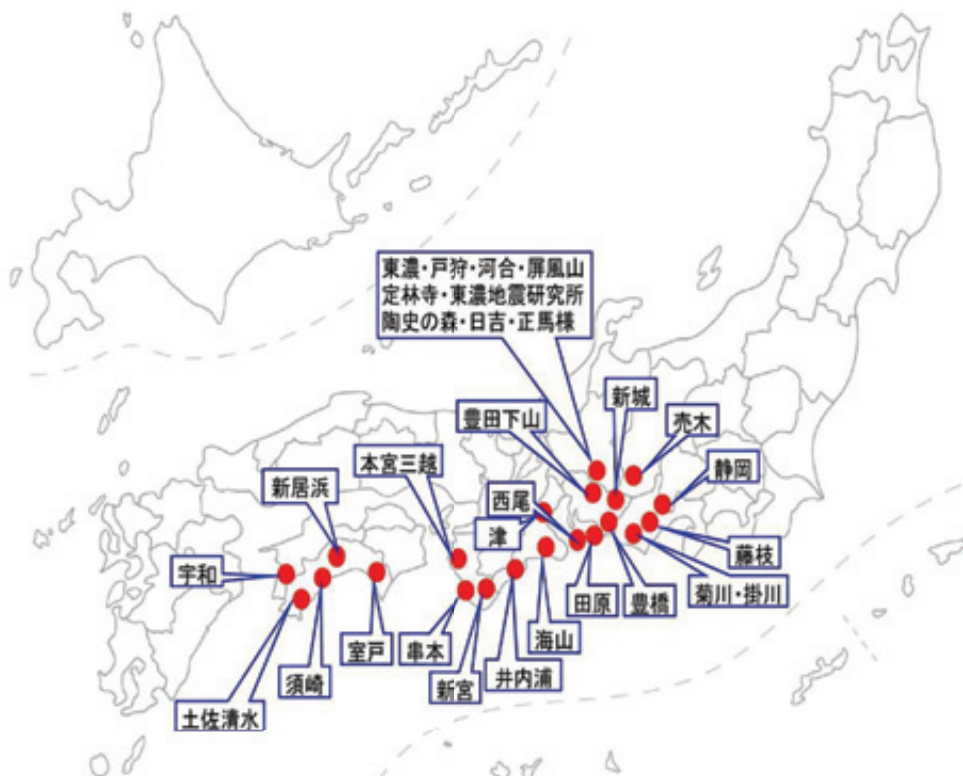
総合観測装置の実物大模型

東濃地震科学研究所のボアホール観測網



東濃地震科学研究所のボアホール観測網, MIU: 瑞浪超深地層研究所
 MIUの図は、日本原子力研究開発機構(JAEA)のホームページから引用
 Borehole observation net of Tono Research Institute of Earthquake Science (TRIES)
 MIU: Mizunami Underground Research Laboratory

東濃地震科学研究所タイプの計器が設置されている観測点の分布 最近の例

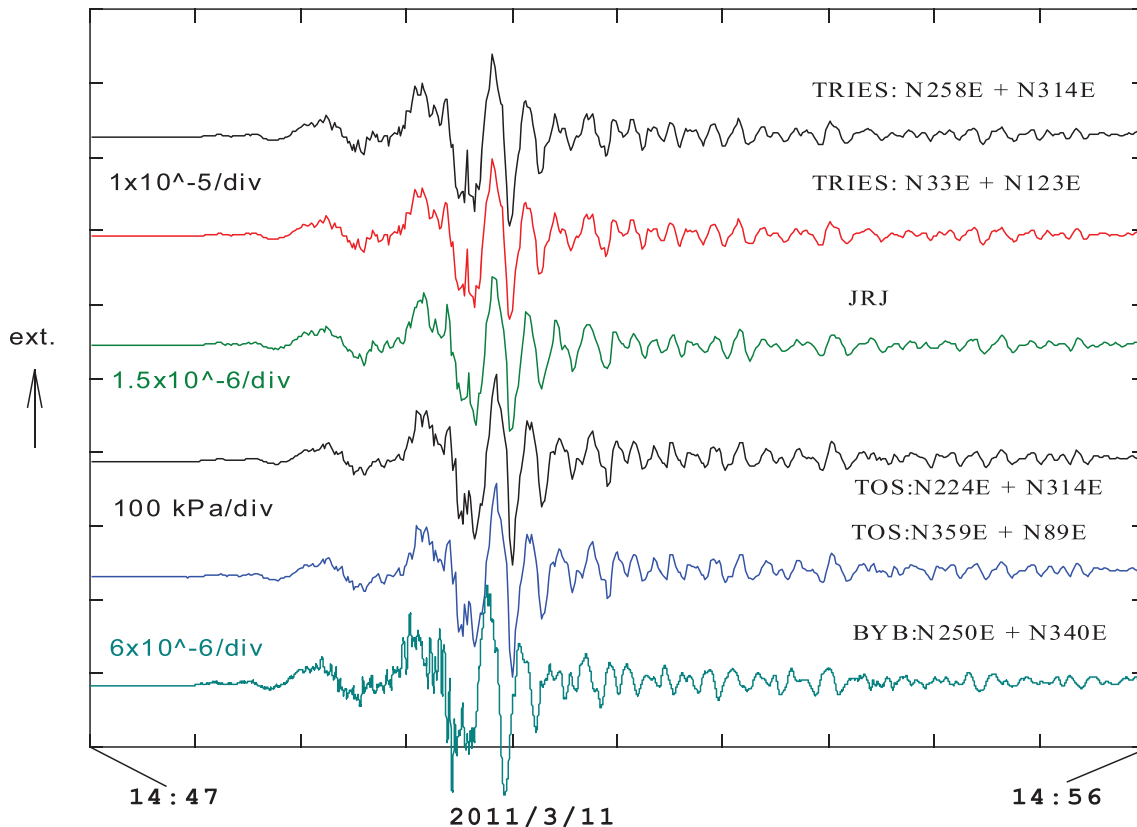


地点名	年度	発注者	観測深度(m)
東濃97FT-01	H9	地震予知総合研究機構	164.5
戸狩 TGR 350	H10	地震予知総合研究機構	350.0
河合 KW 1	H12	地震予知総合研究機構	307.0 (306.0)
戸狩 TGR 165	H12	地震予知総合研究機構	165.0
高山	H13	国土交通省中部地方整備局 高山河津工事業団	187.2
屏風山 BYB	H14	地震予知総合研究機構	1020.0
新宮 TRIES	H15	燃料サイクル開発機構	520.0
豊橋	H16	水産庁	230.5
定林寺	H17	地震予知総合研究機構	1020.0
豊川	H17	静岡県土木事務所	502.0
井内浦	H17	東濃国土地研究所	606.1
本宮三越	H17	東濃国土地研究所	376.0
豊田下山	H18	東濃国土地研究所	606.0
海山	H18	東濃国土地研究所	606.5
串本	H18	東濃国土地研究所	601.5
土佐清水	H18	東濃国土地研究所	606.1
笠戸	H18	東濃国土地研究所	601.15
宇和	H18	東濃国土地研究所	601.5
東濃地震科学研究所	H19	地震予知総合研究機構	505.0
須崎	H20	東濃国土地研究所	606.0
津	H20	東濃国土地研究所	601.0
陶史の森	H21	地震予知総合研究機構	512.0
新川風天神	H22	東濃庁	520.0
静岡国土地研究所	H22	東濃庁	506.0
新城	H22	東濃庁	506.0
赤木	H22	東濃庁	506.0
田原	H22	東濃庁	506.0
藤枝	H22	東濃庁	502.0
日吉	H23	地震予知総合研究機構	515.0
新居浜	H24	東濃国土地研究所	485.0
西尾	H25	東濃国土地研究所	606.0
正馬様	H26	地震予知総合研究機構	116.0

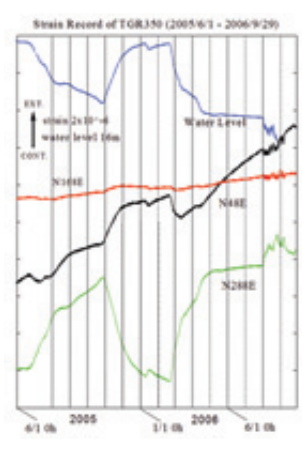
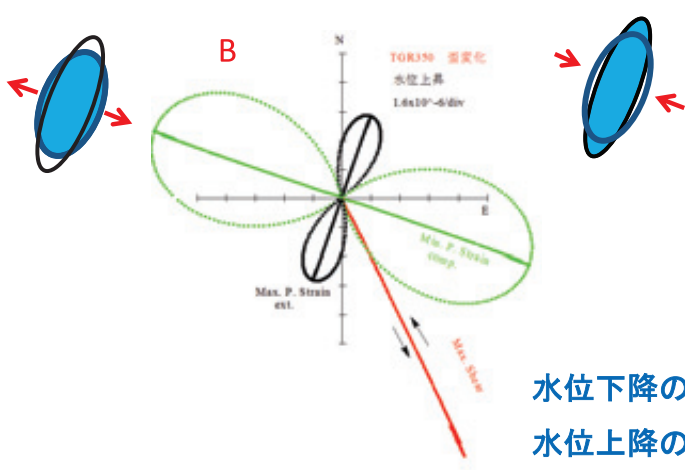
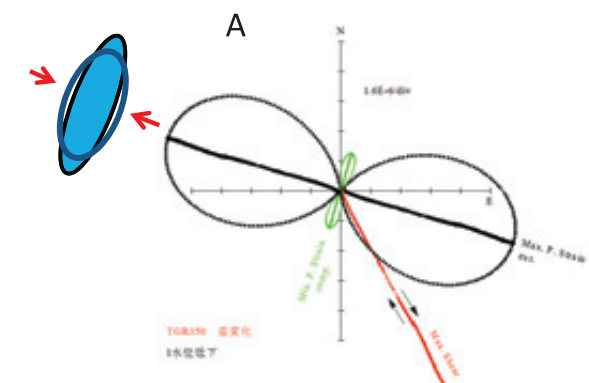
弾性体力学の不変量による計器および岩盤とのカップリングのチェック

計器の埋設・設置および観測が正常の確認

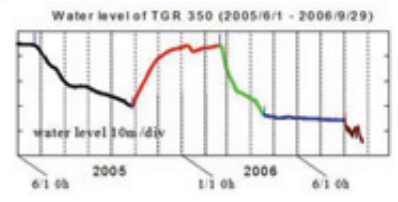
3.11地震の不変量 地震波形の比較



水位変動と断層の関連

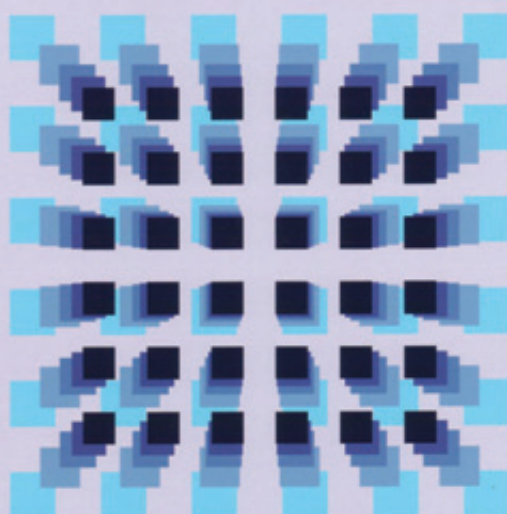


水位下降の時: 右横ずれ
 水位上昇の時: 左横ずれ



文部科学省 デルファイ調査

2035年の科学技術



文部科学省科学技術政策研究所 編
財団法人 未来工学研究所

2035年の科学技術予測

2005年発行

表6. 7-1 重要度指数上位20課題

	課題	重要度指数	技術的 実現時期	社会的 適用時期	領域
1	52 災害監視衛星、通信衛星、GPS、無人飛行機などを活用して、災害の監視、発生後の災害状況の把握および迅速な対応(必要なところに必要な情報を配信する)を可能にする危機管理システム	97.6	2009	2014	安全・安心社会の宇宙・海洋・地球技術
2	58 火山噴火に至る火山体内部のマグマの状態の推移をリアルタイムに観測・評価し、噴火の時期、規模を予測する技術	97.6	2014	2022	安全・安心社会の宇宙・海洋・地球技術
3	57 プレート境界地震と内陸地震それぞれについて、被害の発生が予想されるマグニチュード 7 以上の地震発生の切迫度(場所と時期)を人的災害の軽減につながるような高精度で予測する技術	97.6	2021	2030	安全・安心社会の宇宙・海洋・地球技術
4	60 地震予知に利用される地震・地殻変動総合観測装置を大都市、山間部、大陸棚等に均質に密に配置するための技術	96.1	2010	2016	安全・安心社会の宇宙・海洋・地球技術
5	59 二酸化炭素等温室効果気体放出の国際規制についての、発展途上国における削減も含めた全地球的な合意形成	95.6	—	2014	安全・安心社会の宇宙・海洋・地球技術
6	61 降雨・積雪、集中豪雨等のメカニズムの解明	95.4	2013	2020	安全・安心社会の宇宙・海洋・地球技術
7	45 地震発生域規模での地殻内の広域応力場の測定を可能とする技術	95.0	2015	2026	地球深部観測技術
8	23 実用的な数年規模の気候変動予測技術	94.3	2014	2022	地球環境高精度観測・変動予測技術
9	55 高レベル放射性廃棄物の地層処分安全性に関する評価技術	93.2	2013	2021	安全・安心社会の宇宙・海洋・地球技術
10	53 海洋を含む日本全土をカバーする一元的なデジタル国土管理・利用システム(地球観測衛星のデータと GPS、通信衛星、GIS 等を活用して土地利用、海洋情報、地図等の情報をデジタル化する)	93.2	2009	2014	安全・安心社会の宇宙・海洋・地球技術
11	24 大気・海洋の組成や生態系そしてこれらにまたがる物質循環も同時に扱う地球システムモデルによる数十年規模の地球環境変動予測技術	90.3	2018	2027	地球環境高精度観測・変動予測技術
12	71 メタンハイドレート採掘利用技術	88.2	2015	2025	科学技術革命を先導する宇宙・海洋・地球技術



重要度上位の20課題

3. プレート境界地震と内陸地震それぞれについて、被害の発生が予想されるマグニチュード7以上の地震の切迫度(場所と時期)を人的災害の軽減につながるような高精度で予測する技術

技術的実現時期: 2021年、 社会的適用時期: 2030年

4. 地震予知に利用される地震・地殻変動総合観測装置を大都市、山間部、大陸棚等に均質に密に配置するための技術

技術的実現時期: 2010年、 社会的適用時期: 2016年

7. 地震発生域規模での地殻内の広域応力場の測定を可能とする技術

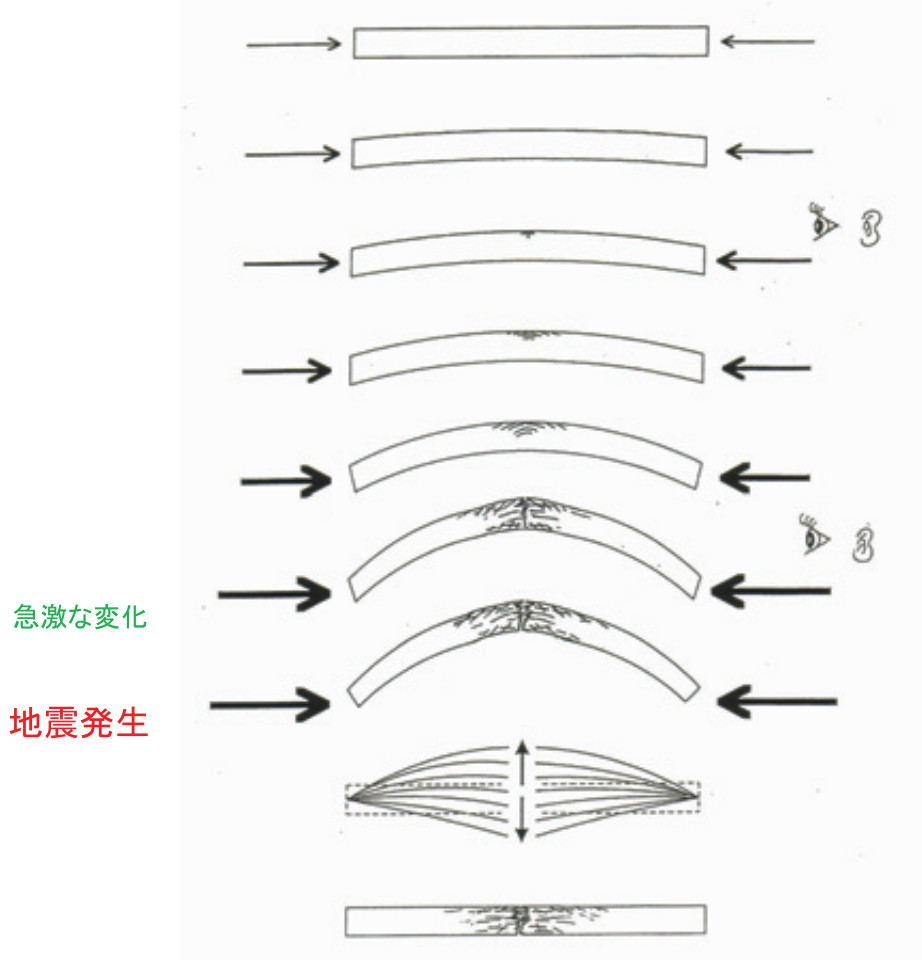
技術的実現時期: 2015年、 社会的適用時期: 2026年

将来の地震学

地震発生前を研究する

地震発生前の地震学

物質が壊れる前には必ず変化が発生する(割り箸の破壊)



「ミシミシ」という音が**前震**に相当し「変形」が**地殻変動**に相当する
 地震予知研究の現状 ノイズの大きいところでは音が聞こえないし、
 すりガラスを通してみると変形もよくわからない

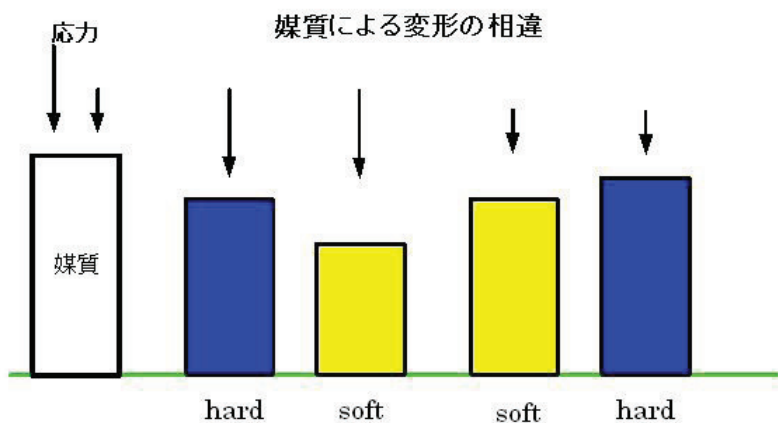
地震・地震予知研究の困難な点

地震予知と病気と気象		
地震予知	病気の診断: 癌	気象予報
深部で発生 直接調査困難(S/Nが悪い) 大地震の研究の機会が少ない	患者が症状を教える 患部の直接調査が可能 研究や診断結果を知る機会が多い	直接の観測可能機会が多い
高度な社会システム 予知の失敗は重大な混乱	処方効が効かなければ別を試みることも可能	予報に失敗しても別のモデルを試みる

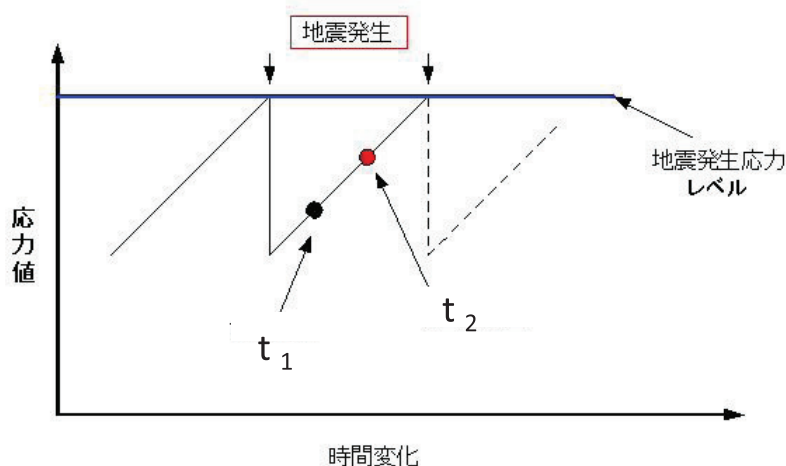
地震発生に関連した基本的な測定量は応力である

現在の地震の断層理論は力源モデルや変位の食い違いモデルに基づいている。
これは応力の観測が出来なかったことによる。

日本の断層パラメーターハンドブック 佐藤良輔 編著:
食い違いモデルでは、面を境にした変位の不連続を人為的に与えることによって断層運動を起こす。現実には外部から力が加わって変位の不連続が発生するのではなく、媒質に蓄積された応力の開放に伴って断層が形成されるという物理的な過程を考えるべきである。 **主役のパラメーターは応力になる。**



応力と変形



発生時期の予測
(多数の応力計による信頼性向上)

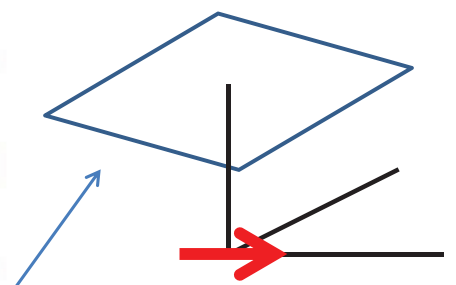
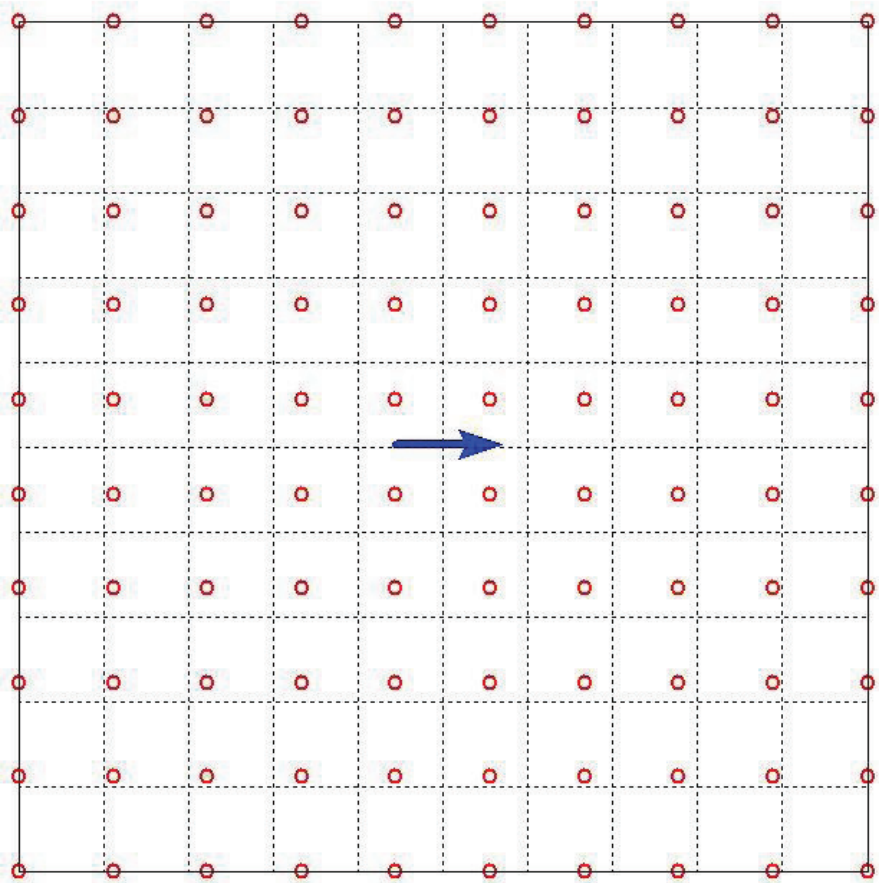
1. 長期的予測
2. 短期的および直前の予測

地震発生前の地震学

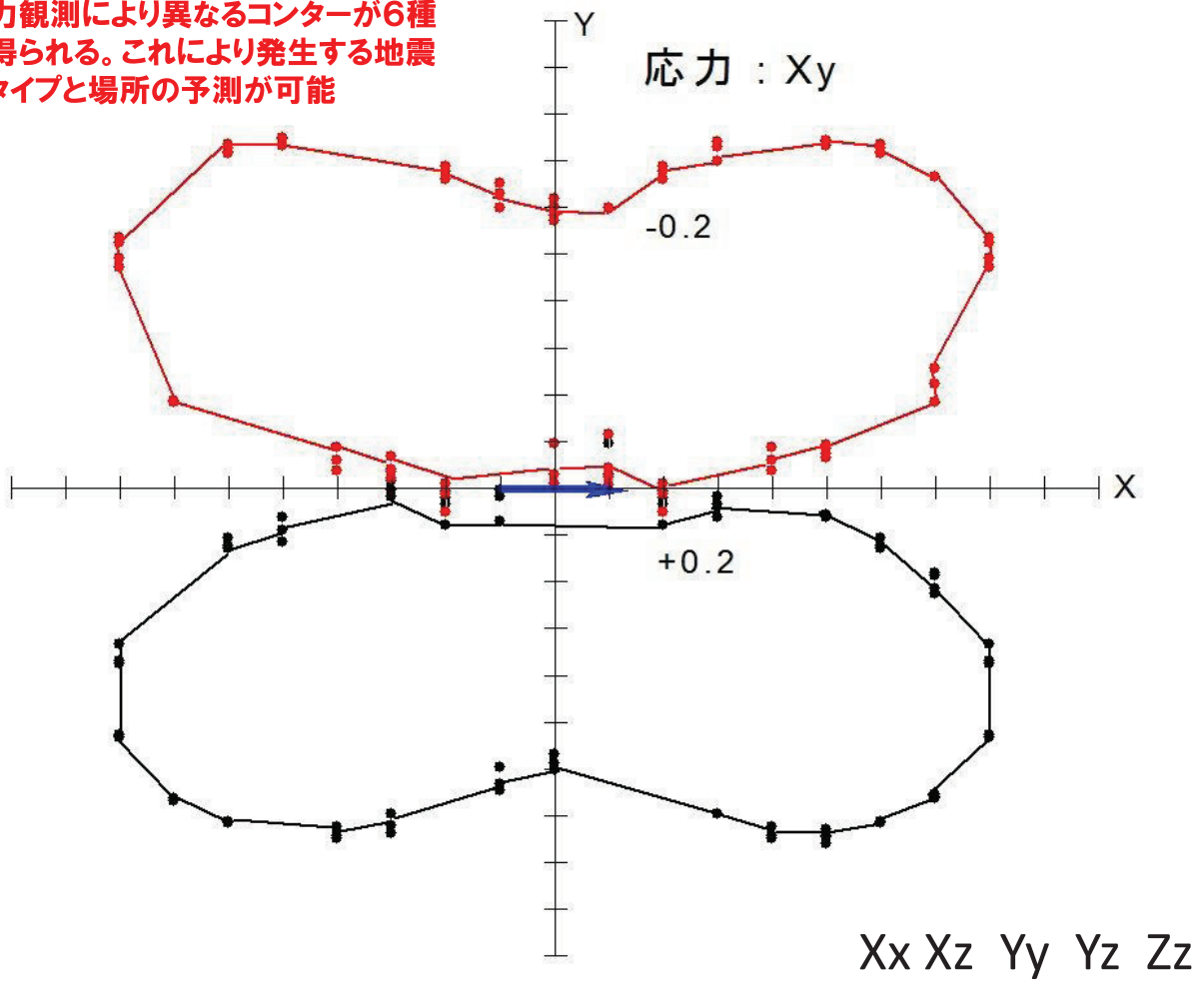
ボアホール応力計の配置と今後の展開

1. 応力分布のコンター作成により発生する地震のタイプと場所を予測する可能性
2. 発生時刻予測の可能性(複数の配置により信頼性向上)

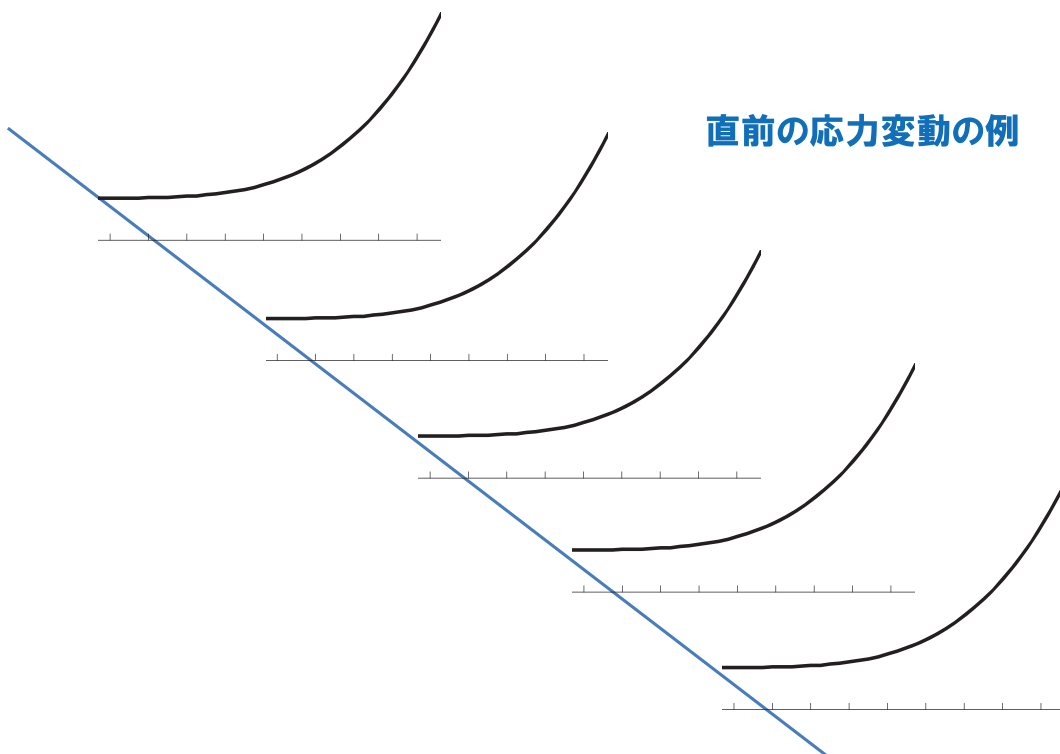
地下岩盤に応力計を密に設置する



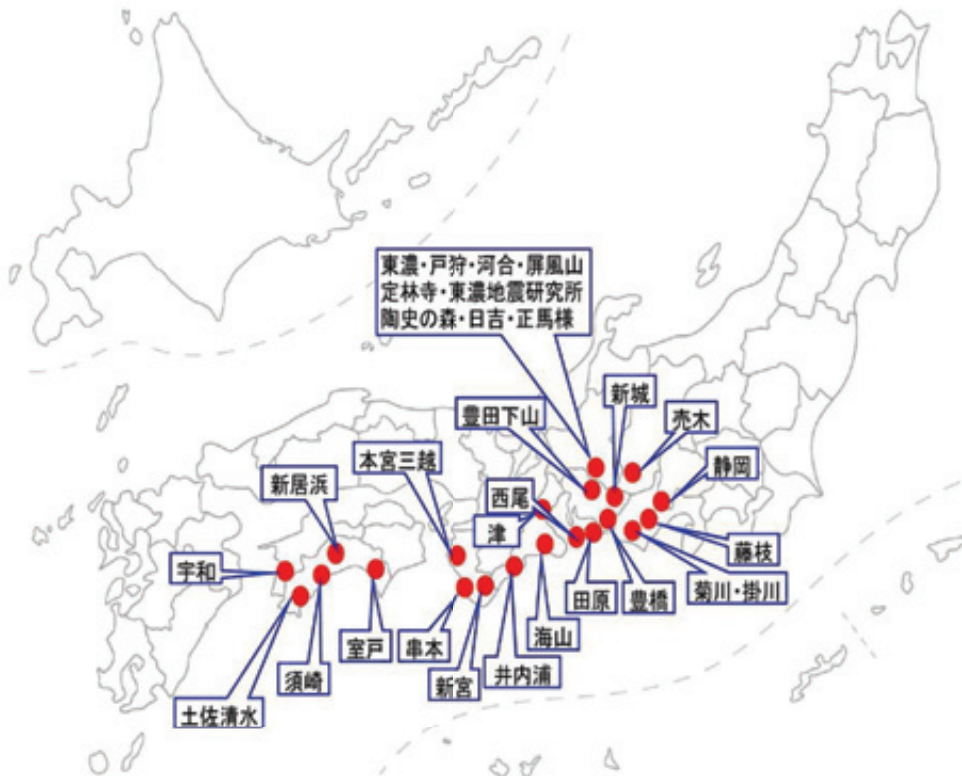
応力観測により異なるコンターが6種類得られる。これにより発生する地震のタイプと場所の予測が可能



異なる観測点の応力計の時間変化から地震発生前の異常変動を検知する



○東濃地震科学研究所タイプの計器が設置されている観測点の分布 最近の例



石井式空振計設置観測点一覧

地点名	年度	発注者	観測深度(m)
東濃HFT-01	H9	地震予知総合研究機構	194.5
戸狩 TGR 200	H10	地震予知総合研究機構	306.0
河合 KW 1	H12	地震予知総合研究機構	357.0 (356.0)
戸狩 TGR 185	H12	地震予知総合研究機構	136.0
黒山	H13	国土交通省中部地方整備局 高山国道工事業務所	187.2
屏風山 01B	H14	地震予知総合研究機構	1020.0
新宮 TR025	H15	核燃料サイクル開発機構	526.0
豊橋	H16	水資源機構	236.5
定林寺	H17	地震予知総合研究機構	1030.0
美川	H17	静岡県国土土木事務所	512.0
井内浦	H17	産業技術総合研究所	606.1
本宮三越	H17	産業技術総合研究所	376.0
豊田下山	H18	産業技術総合研究所	606.0
海山	H18	産業技術総合研究所	606.5
赤木	H18	産業技術総合研究所	601.5
土佐清水	H18	産業技術総合研究所	606.1
笠戸	H18	産業技術総合研究所	601.15
宇和	H18	産業技術総合研究所	601.5
東濃地震科学研究所	H19	地震予知総合研究機構	595.0
清崎	H20	産業技術総合研究所	606.0
津	H20	産業技術総合研究所	601.0
陶史の森	H21	地震予知総合研究機構	512.0
新川風天祥	H22	気象庁	526.0
静岡総合	H22	気象庁	506.0
新城	H22	気象庁	506.0
赤木	H22	気象庁	506.0
田原	H22	気象庁	506.0
藤枝	H22	気象庁	512.0
日吉	H23	地震予知総合研究機構	515.0
新宮浜	H24	産業技術総合研究所	485.0
西尾	H25	産業技術総合研究所	606.0
正馬様	H26	地震予知総合研究機構	116.0

○ 海で発生する大地震は地震発生よりも津波の予測が重要

○ 陸域で発生する大地震はボアホール観測点が複数近傍にあれば応力分布のコンターから予測できる可能性が大である。

将来的に実用的な地震予知は可能