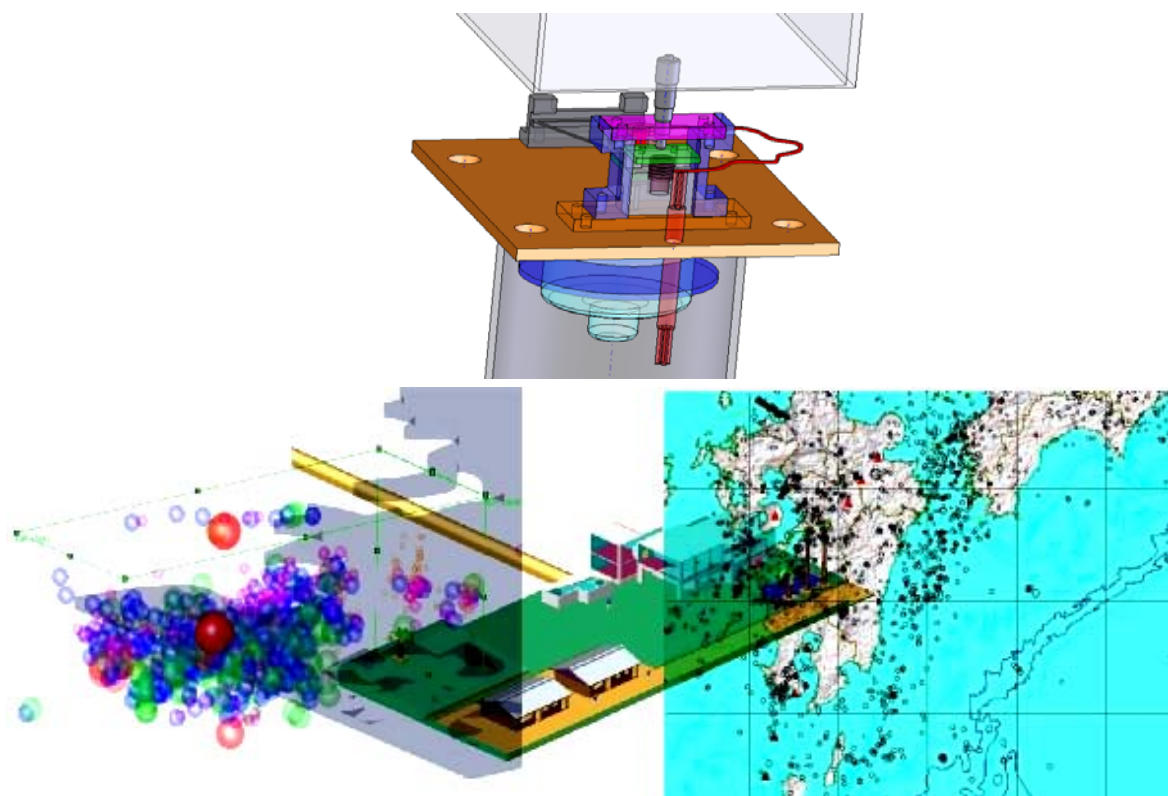


技術室 園田保美の  
物づくり顛末記



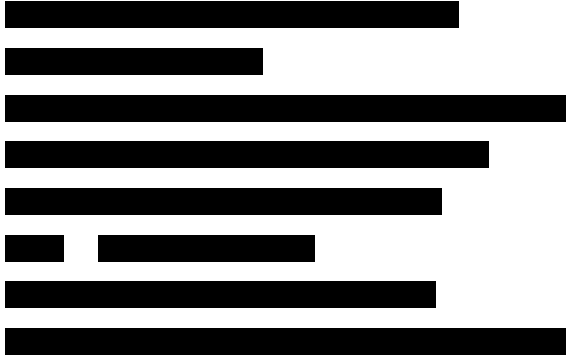
平成 23年 3月  
京都大学 防災研究所 技術室 園田保美

# 目 次

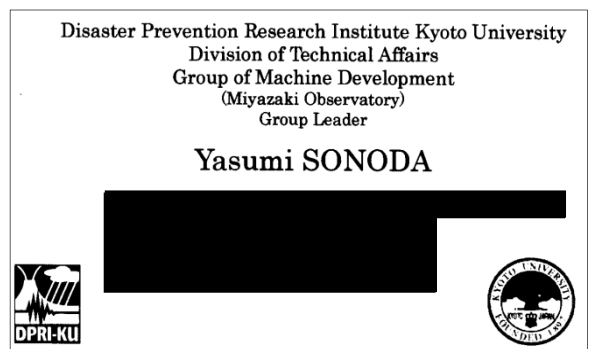
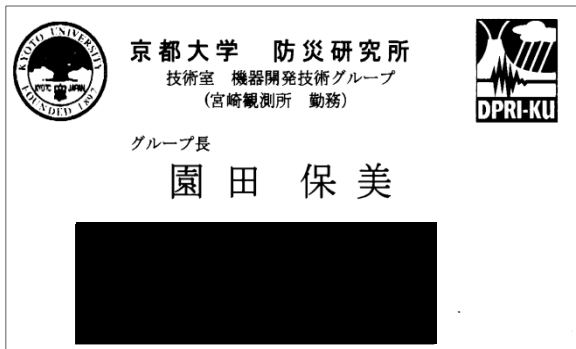
1 : 園田のプロフィール	P1 ~ 3
2 : 地震予知研究センター宮崎観測所の沿革	P4 ~ 7
3 : 鉄鋼マンの5年間 (製鉄所)	P8 ~ 10
3-1 40年前の製鉄所	
3-2 製鉄所思い出写真集	
4 : 2年間の防災研究所地殻変動部門	P11 ~ 16
4-1 地殻変動部門在籍中の行事	
4-2 桜島精密地震観測	
5 : 機械設計観測の2D手書図面集	P17 ~ 49
5-1 地殻変動部門観測メモ	
5-2 機械設計図面メモ	
5-3 機械設計2D図面集	
6 : 防災研究所附属宮崎地殻変動観測所開所式	P50 ~ 54
6-1 開所式	
6-2 開所時の新聞記事と槇峰観測室	
7 : 宮崎延岡における光波測量のあれこれ	P55 ~ 61
7-1 光波測量園田式計算プログラム	
7-2 宮崎観測所における測地観測 : 共著	
8 : 手づくりの水管傾斜計について	P62 ~ 65
8-1 宮崎方式水管傾斜計の製作	
8-2 差動トランス用アンプの製作	
9 : 宮崎観測所“新総合処理解析システム94”の紹介	P66 ~ 69
9-1 テレメータ収録システム	
9-2 新総合処理解析システム94	
10 : 大隅観測室の傾斜計・伸縮計製作設置	P70 ~ 72
10-1 大隅観測室の概要	
10-2 大隅観測室に傾斜計伸縮計を設置	
11 : 白球を追う	P73 ~ 75
11-1 防災研究所野球部	
11-2 少年野球<木花ジャガーズ>	
12 : 野外トレンチ観測用改良型ハーフフィールド水管傾斜計	P76 ~ 83
12-1 水管傾斜計の開発<I. II号機>	
12-2 野外実験	

1 3 : インド ネシア・グントール火山傾斜計設置 -----	P84 ~ 95
13-1 インド ネシア出張前篇：初めての海外出張	
13-2 インド ネシア出張後篇：傾斜計設置	
1 4 : 口永良部島ハーフフィールド傾斜計設置 -----	P96 ~ 99
14-1 口永良部島ハーフフィールド傾斜計設置状況	
14-2 口永良部島火山における地盤変動—2000 年集中総合観測	
1 5 : 3次元CADによる実践的応用設計 -----	P100 ~ 103
15-1 3次元CADによる実践的設計作品（機械編）	
15-2 3次元CADによる実践的設計作品（坑道編）	
1 6 : 3D/CAD実践設計IIと3D震源分布図 -----	P104 ~ 114
16-1 3次元CADによる実践的設計作品II	
16-2 3次元CADによる震源分布図	
1 7 : 3D/CADで構築の園田式3D震源分布図 -----	P114 ~ 122
17-1 日向灘地震の場合	
17-2 福岡西方沖地震の場合	
1 8 : 地震予知研究センター技術継承 -----	P123 ~ 125
18-1 地震予知研究センター業務継承	
18-2 地震予知研究センター人生継承	
1 9 : 70年振りに発見された100年前のドイツ傾斜計の復元 -----	P126 ~ 136
19-1 構造と参考文献について	
19-2 3D/CADで作図のドイツ傾斜計模式図とポスター	
2 0 : 九州東南部における地殻変動連続観測 -----	P137 ~ 140
20-1 九州東南部における地殻変動連続観測：要旨	
20-2 九州東南部における地殻変動連続観測：ポスター	
2 1 : 防災研究所の地殻変動連続観測の現状と展望 -----	P141 ~ 144
21-1 地殻変動連続観測の現状と展望の概要	
21-2 地殻変動連続観測の現状と展望の作図	
2 2 : 地殻変動連続観測における季節変化 -----	P145 ~ 146
22-1 地殻変動連続観測における季節変化（その2）：要旨	
22-2 地殻変動連続観測における季節変化（その2）：ポスター	
2 3 : おわりに -----	P147
23-1 文責：園田	

名前: 園田 保美 (そのだ やすみ)



● 京都大学職員証



園田保美のホームページ

園田 保美(そのだ やすみ)

付属施設	機械工作	地震予知	技術論文	技術支援	ポスター	技術通信	雑務的業務 I	雑業務補足	
宮崎観測線	機械工作	地殻変動 I	年報2000	口永良部 I	ポスター	技術通信93	環境整備	草刈	
宮崎観測所	機械工作 II	地殻変動 II	技術報告01	口永良部 II	ハーフマイル	技術通信94	出勤簿	勤務時間管理委員	
権峰観測室	3D/CAD	地震日向難	技術報告04	INDONESIA I	3D実証設計 I	技術通信95	郵便業務	郵便物搬送	
信毛観測室	伸縮計	地震福岡沖	技術報告05	INDONESIA II	3D実証設計 II	技術通信97	業務報告	一般事務処理	
高城観測室	傾斜計	宮崎雷磁気	技術報告07	INDONESIA III	3D震源分布 I	技術通信98	公用車運転	公用車管理	
車間観測室	湧水計	光波測量	CAD講義 I	由良観測室	3D震源分布 II	技術通信99	付属施設管理	7観測室	
伊佐観測室	2D-CAD	宮崎GPS	CAD講義 II	北陵伸縮計	3D震源分布 III	技術通信108	職員宿舍管理	旧職員宿舍共	
大隈観測室	GPS宮崎	絶対重力			九州東南部	技術通信113	SOHP-Up	園田ホームページ	
由良観測室	アンブ	地殻データ				技術通信116	安全衛生		
		衛星データ					財務会計SIS	京都大学	
							PuttySSH	eos:センター	
							人事シート	京都大学	
■宮崎地震観測ボックス<日 啓り震源分布>								デスクネット	地震予知センタ
日向難地震03/01~03/12	日向難地震06/0701~10/07	日向難地震06/0701~07/0113					日向難プロット0610		

● 園田のホームページ





● 防災研究所地震予知研究センター職員：防災研玄関前 1991年頃



● 防災研究所技術職員：阿武山観測所玄関 1995年頃



● 京都大学全学研修：園田発表



● 地震予知研究センター宮崎観測所全景





● 年度末全体集会後の懇親会

防災研究所技術室では世代交代が進み最後の団塊世代である私を最後に一気に若返ります。



● 京都大学技術職員研修：園田 1 H 講義

1 時間の講義を行なったが、私にとって初めての講義体験であった。このような 1 時間講義は私の能力ではなかなか大変である。このときは何とか無難に講演は終えたが、ネタを仕込むのに勤務時間以外に長時間を要している。残業手当に換算したら高給取りになるかもしれない。1 時間の講義が終って、すがすがしい気持ちになれたので私なりに満足した。

## 1 : はじめに

技術室関係で園田が冊子を作成するのは初めてなので、私の勤務している防災研究所地震予知研究センター宮崎観測所の紹介を少し行いたいと思う。伸縮計・傾斜計による地殻変動観測について、観測計器の開発に関する観測技術の概要を少しではあるが述べてみる。宮崎観測所は、昭和 50 年に防災研究所付属の宮崎地殻変動観測所として設立された。現在では地震予知研究センターの宮崎観測所になっている。設立時との違いは官制があるかないかの違いらしい。宮崎県の沖は日向灘と呼ばれているが、ここは地震予知連絡会の特定観測区域に指定されていて地震の多発地域である。今から 300 年ほど前、江戸時代寛文年間には役所地震と呼ばれる大きな地震があり宮崎県沿岸の 7 つの村 7 里 35 町が海に没したと理科年表には記載されている。宮崎観測所では日向灘における地震発生と地殻変動との関係を明らかにするために昭和 50 年以降、地殻変動と地震の両方の観測を実施している。昭和 60 年より 3 年計画で総計 7 観測線よりなる日向灘地殻活動総合観測線を設置して観測強化を行ってきた。そのころ日向灘地域では微小地震観測網が設置されていなかったので、地震活動の特徴を把握するため本観測線ではすべての観測線で地殻変動と地震の両方の観測を実施している。

## 2 : 沿革

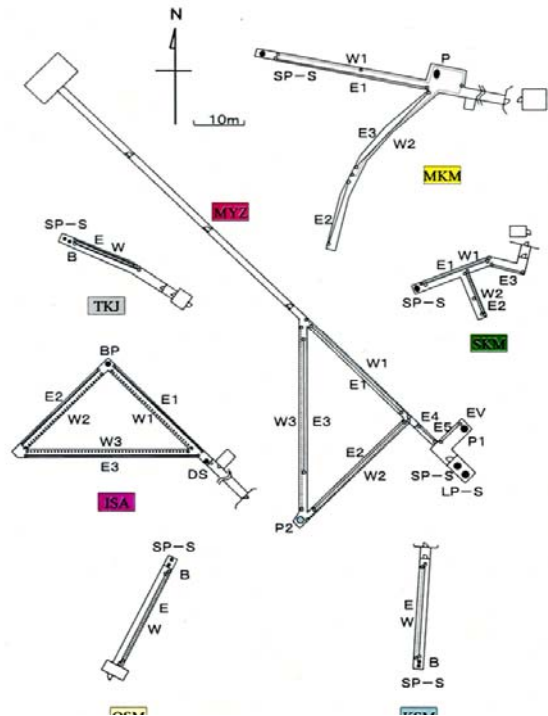
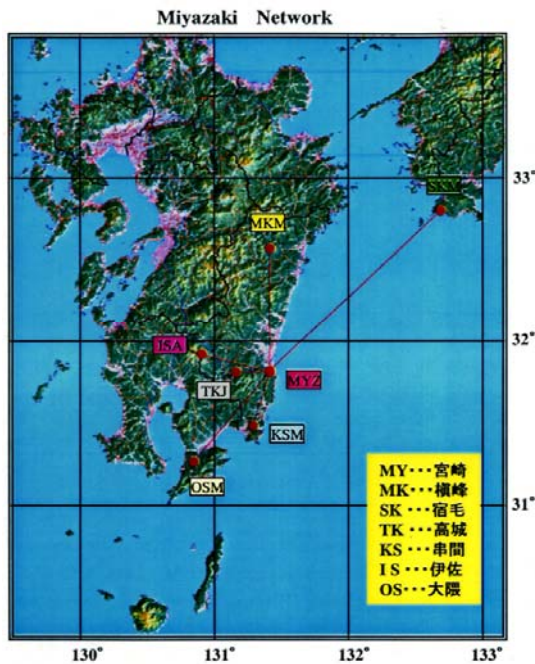
### (1) 日向灘地殻活動総合観測線による地殻変動連続観測

日向灘は九州で最も地震活動が活発な地域の一つであり、10~20 年毎にマグニチュード 6.5 から 7 を超える地震が発生する場所である。1965 年に発足した地震予知計画においても、本地域は全国 8 箇所の特観測地域の一つに指定されている。宮崎観測所は、日本における地震予知研究計画のもと、主に日向灘で発生する大きな地震と地殻変動の関係を研究する目的で

1974 年度に京都大学防災研究所の附属施設「宮崎地殻変動観測所」として設立された。

庁舎のほか、延べ約 260m の観測坑道を持ち、地殻変動・地震の観測を実施している。1984 年からは宮崎観測所を中心に宿毛、槇峰、高城、串間、伊佐、大隅の 7 点よりなる日向灘地殻活動総合観測線を設置して、日向灘を中心に九州東・南部地域の地殻変動と地震活動の関係に関する総合的な研究も開始した。測地学的観測として光波測量基線網、GPS による基線網を宮崎・延岡に設置し反復測量を継続している。1990 年からは、防災研究所に地震予知研究センターが設置されたのに伴い、同センターの附属観測所「宮崎観測所」として地殻変動連続観測および地震観測による大地震の準備過程における地殻活動に関する観測研究を継続している。地殻変動連続観測長期間の地域の歪蓄積過程を明らかにし、地震発生に関係する異常変動検出の background となる経年変動や季節変動について 23 年間のデータに基づき解析し、観測点毎の特徴を明らかにした。これにより、1996 年 10 月 19 日と 12 月 3 日に日向灘で続けて発生したマグニチュード 6.6 の地震に際して、地震前の異常変動は観測されなかったが、長期変動では震源に最も近い宮崎観測所の経年歪変動率が 1995 年 9 月から非常に大きくなり始め、地震後に一旦収まったが、1999 年以降再び増加していることが明らかになった。観測線各点の伸縮ひずみデータ相互の時間的・空間的相関解析の結果、1995 年の日向灘域での歪場変動が日向灘から九州内陸部に向かって 90-140km/year の速度で伝播していることが明らかにされた。

< 日向灘地殻活動総合観測線 >



(2) 測地測量に基づく広域地殻変動の検出

宮崎観測所周辺と延岡市周辺に最長 20 km の長距離光波測量基線網を設け、1981 年以来定期的に改測を行い、連続観測データによる変動と調和的な広域変動を得ている。1996 年 12 月の M6.6 の地震の際には測線長変化も観測した。2004 年以降、国土地理院の GEONET 点も利用した大小 3 つの正三角形を形作る GPS 測線網を構築し、連続観測を行っている。

(3) 日向灘・九州東南部地域の地震活動

九州東・南部の地震活動は日向灘地域が中心であるが、この地域の地震は北部・中部・南部にブロック分けされ、それぞれの地域で塊となって分布している。1996 年に中部ブロックで発生した 2 つの M6.6 の地震では、それぞれの余震活動は急速に減少したが、活動域周辺及び日向灘全域の活動は地震発生前の 1.5 倍の発生率となって活性化が続いた。この地震活動の推移と宮崎観測所の歪経年変動率の変化が時期的に合致することが明らかにされた。また、内陸部においては、1997 年の鹿児島県北部地域で発生した

M 6.3 の地震以後活発になったこの地域の活動が現在も続いている。大地震の震源破壊過程と歪変動の関係を調べる目的で観測線各点に強震計を設置し観測を開始している。

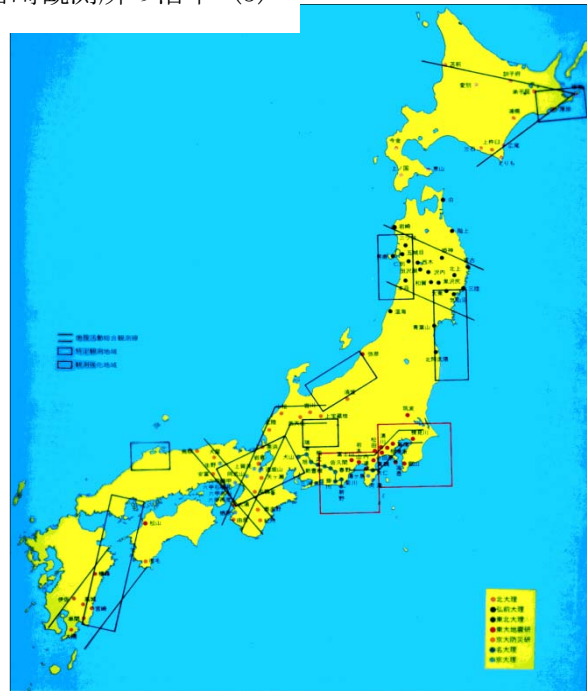
3 : 観測システム

日向灘地殻活動総合観測線を構成する観測室は日向灘地域をはさんで四国側の宿毛、九州側の檳峰、宮崎、高城、串間、伊佐、大隅の 7 観測点より構成されている。宮崎観測所の観測坑道は敷地に接する背後の山に掘られたコンクリート巻き立ての水平坑道で 5 重の扉で仕切られ幅高さとも 2~3m で全長は 300m 程度、奥のほうは直角三角形になっておりさらに奥には 10m の立坑が掘られている。観測室の坑道はすべて横穴方式で坑口部分に送信室を持っている。観測坑道は鉱山その他の廃坑を拡張または間仕切りしたものと新しく掘削したものがある。ライナープレートによる被覆の檳峰以外はすべてコンクリート巻き立てである。地殻変動観測計器としてスーパー インバール棒伸縮計、水管、ボアホール、バブルの各種傾斜計、雨量計、気圧計、



それに地震計を全観測室に設置して観測している。伸縮計および水管傾斜計の変位センサーとして全観測室で差動トランスを用いている。地殻変動観測計器からの出力は、すべて NTT の専用回線を利用し、明星電気テレメータ装置による 2 種類の伝送装置で宮崎観測所へ伝送される。宮崎観測所では、各観測点から伝送されたデータは受領器を通じてインターフェース装置に集められ、さらに JJY によって修正された時計からの刻時信号も加え、すべてのデータが再分配される。昭和 60 年、新たにテレメータ室を増築してそこにテクニカルコンピューターである YHP 社の HP-9000 シリーズ、富士通の A (エース)-50、などを備えて収録解析を行っている。YHP 社の HP-9000 シリーズの収録システムは、地殻変動、短周期地震、長周期地震それぞれに計 5 台のパーソナルコンピュータを使用している。それぞれのパソコンが MT、ハード、光ディスク等を備えていて GPIB インターフェース側と接続して解析用パーソナルコンピュータ全体を制御できる。

このように地殻変動、短周期地震、長周期地震それぞれのデータを独立のパーソナルコンピュータで制御する分散型方式を用いているが、これは地震と地殻変動の性質の違いによる運用のトラブル、またデータの欠測をなくしソフトであるプログラムの開発を容易にするためである。地殻変動データは 20 分ごとにハードに取り込みされ毎日午前 0 時に MT フロッピー光ディスクなどに収録されている。A-50 はおもに京都大学防災研究所、東京大学地震研究所とのデータの伝送に使用されているが、最近では A-50 を使用して桜島、宮崎、徳島、宇治を結び INS 通信によるデータ伝送も行っている。明星電気のテレメータ装置は受量器、GPIB インターフェース、トリガーコントロール、それに時計を備えている。



● 地殻変動観測点分布図



● キックオフミーティング：宮崎観測所

#### 4：観測計器の開発、設計、製作

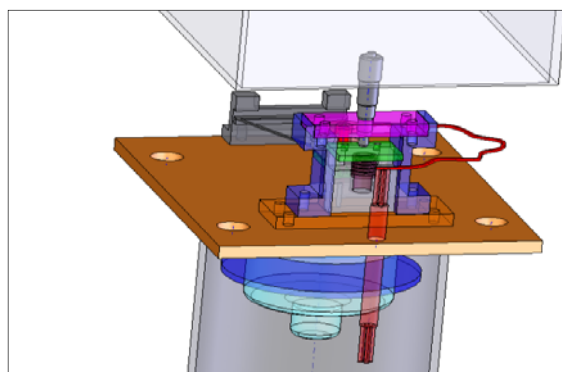
宮崎観測所のデータ収録は、昭和 50 年から昭和 55 年の 5 年間は印画紙に光をあてて感光させ、それを読みとって記録をとるブロマイド方式で行っていた。昭和 55 年以降は光電変換装置でデジタル変換してデータ収録を行うようになった。これは光センサーをモーターで駆動させる方法だが、これは機械的に故障が多くデータの欠測、またデータ量などの問題があった。昭和 60 年から差動トランスによる電気変換に変更することにした。差動トランスは具体的には機械的変位



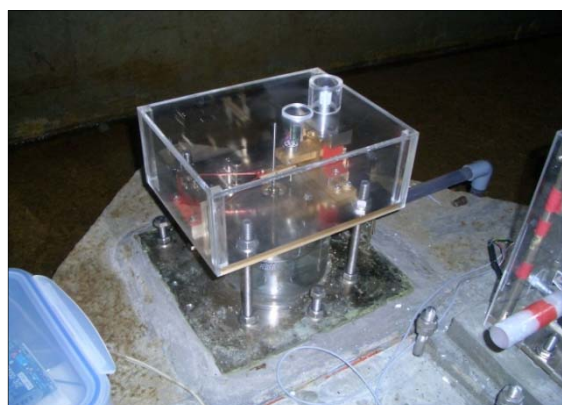
をそれに比例した電圧、または電流に変換する機械電気変換センサーである。この差動トランスで電気変換させる為には適当な変位変換装置を製作しなくてはならない。これらの観測計器を外注にすれば多額の経費がかかる。宮崎観測所では経費を抑える為に宮崎観測所の工作室で全観測線の観測計器を製作した。

伸縮計は熱膨張係数の小さい特殊合金、スーパーインバル棒を使用して岩盤上2点間の伸縮変化を測定する観測計器である。伸縮計の電気変換部に変位センサーとして差動トランスを取り付けテレメータ装置に直接データを入力することにした。全観測線に22台の観測計器を製作して設置した。

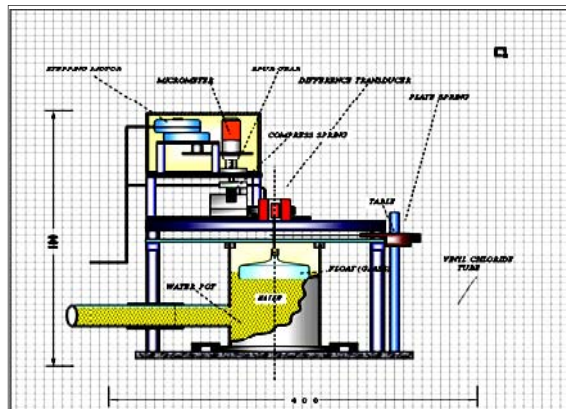
水管傾斜計は水を入れた二つの容器を岩盤に固定し、これをパイプでつないで容器の水面の高さを測定し両端の差をとって傾斜変化を求める観測計器である。宮崎観測所で使用していた従来の水管傾斜計3成分に変位センサーとして差動トランスを取り付けた。また新しく差動トランスを用いた水管傾斜計を製作して13成分26台を製作して設置している。これらの観測計器に付属する差動トランス用アンプも宮崎観測所で製作している。これらの地殻変動観測計器は宮崎観測所の工作室で製作したので超低価格でできている。坑道内での高感度連続観測だけでなく、屋外での観測に実用的な感度を有する地殻変動観測計器として野外トレンチ観測用ハーフフィールド水管傾斜計の開発を行い、火山活動研究センターに協力して、インドネシア、グントール火山及び鹿児島県口永良部島の山頂部に設置し、地盤変形の連続観測を実施している。現在のところ、1マイクロラジアン以下の変動を十分検出可能な結果を得ており、火山活動の監視等への有効性を示す。



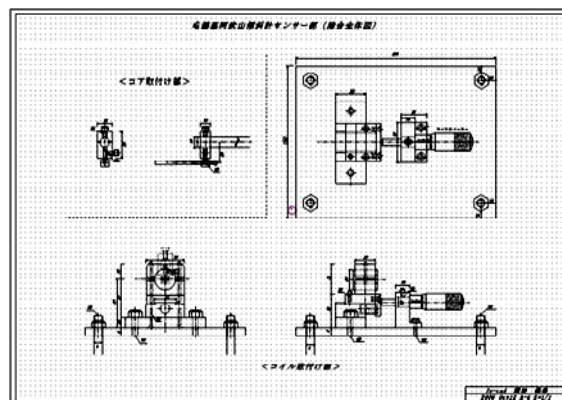
● 傾斜計 3D：阿武山観測所



● 傾斜計：阿武山観測所



● 傾斜計：宮崎観測所



● 伸縮計：JWW/CADによる図面

### < 民間大手企業5年間の思い出 >

今をさること42年前、1970年ごろ私は東京湾を埋め立てて建設された某製鉄所にいた。東京タワーみたいな溶鉱炉が4基あり、敷地は京都市ぐらいで、端から端まで車で30分かかった。労働者が協力会社含めて1万人ほどで、朝の朝礼ラジオ体操に一つの部署で400~500人いた。「日本で一番大きな製鉄所で働きませんか？」ひょんなご縁で、大企業に就職が決まり、俺にしてみりゃ夢の高収入、地方公務員の3倍ほど高く安定した職場で評判も高かった。だが現実にはそう甘くはなく、3Kそのものでそのころはきつい、危険、汚い、の3拍子揃っていると思ったものだ。工場、製鉄所。鉄をひっぱたく事早や5年、その頃に故郷の宮崎で京都大学技術職員募集うんぬんの話が迷い込んできた。採用されなくても時期は高度成長まただ中、資格20種類取得と大企業5年の技術畑経験でなんとかなるだろうの思いで退職したのが1974年である。5年間鉄を作る現場でいたわけだが、実際にはラインが稼働しているところの作業現場では無く、ラインが停止している間に設備の整備を行う業務である。写真は東京湾にある某製鉄所の圧延ラインである。ここは、溶鉱炉から出てきた鉄を一旦固め、デカイ羊羹みたいな鉄を潰して任意の大きさの製品にするところである。厚さにすると数十ミリから数百ミリ。先々では車の車体あるいはタンカーの船体に使用される。この時には10mmとか、10cmとかそんなサイズの鉄板を相手に格闘していた。そのころの自分に見れば見るものすべてが大きかった。小さいころデカイ橋や舟やらその他色々、デカイ鉄は、どこかで作っているだろうとは、思っていたが目の前にスゲー音をさせて走っている、このデカイ鉄がそうなのだと感動したものだ。厚生関係では製鉄所サッカー部に所属していて、名フォワードでならしたかどうかは定かでないが運動はよくやっていた。職場の製鉄所山岳部にも所属し、おもたい荷物を担いでよく長野の



● 製鉄所東京湾所有地・高炉・転炉



日本アルプスに登っていた。穂高、槍ヶ岳、名を聞いただけで40年前の登山風景が思い出せる程、強烈な体験であった。なぜ山に登るのか！そこに山があるからだ！登り終わって山頂に立つともうそこは別世界である。雲の上に立っているような感覚で、今までの肉体的な苦痛は忘れて気分爽快である。冬の日本アルプス山頂でネコの額ほどの処でビバークすると、周りは絶壁なので恐怖の世界であるが、これを経験すると下界は天国である。人間一度これを体験すればふだんの物事のありがたさが解るのではないだろうか。そのまえに転落して地獄に行くかも！今京都大学のこの職場で自分が普段使うのは、太さ1～10mmくらいの真鍮棒か薄い真鍮板であるが、それを旋盤、ボール盤、切断機等を使いある部分はハンマー片手にコンコン加工している。会社の大きさと規模の大きさは比較にならないほど、あまりの仕事の違いに最初は戸惑ったものだ。製鉄所の溶鉱炉修復は戦艦大和の船体を修理するようなものである。現場ではいろんな技術を要求されるのでいろんな資格を取得しそれに対応した。そこでの幅広い知識と体験があったから、それから38年つづく京都大学技術職員としての仕事を全うすることができたと思う。継続は力なりの格言があるが今までの経験を振り返ってみてなるほどと思う。

現在園田業務報告書の冊子を書いているが、40年ほど前の出来事を思い出せずに大変苦労している。なんでもいつかは忘れ去るものであると云う事を、思い知らされるここ最近である。

それでも、若い頃の社会人生スタートである職場体験は印象深く、特に花の都である東京の近くでしたのでいろんな思い出が脳裏に焼き付いている。その中で会社の職場体験だけをここでは書いている。



● 圧延ラインと構内鉄道





● 製鉄所サッカー部：MAFCクラブ



● 製鉄所サッカー部：後方左から5人目園田



● 製鉄所サッカー部：手前園田のヘディング



● 製鉄所運動会：青ジャージ園田



● 製鉄所山岳部：アルプス穂高連峰縦走上高地カッパ橋のたもと、これからが地獄である。



● 穂高連峰にて：後方は夏山の穂高連峰、冬は積雪で大変である。





● 京都大学防災研究所 (旧)

1974年11月に私は京都大学の技術職員として採用された。採用がその年度の途中だったので採用条件は中途採用である。それまで5年間民間の某製鉄所に勤務していたが京都大学が技術職員を募集していたので受験し採用された。宮崎観測所勤務の地元雇用である。まだ宮崎観測所は建設中だったので京都宇治の防災研究所に2年間勤務する事になった。私は高校機械科卒であるが、その頃の技術職員は大半が高卒であった。前職が日本の基幹産業と云われた鉄鋼産業その中でも一番の大きな会社であり、設備管理を担当していた私の横にはビールの様な機械、東京タワーの様な溶鉱炉が4基もあり、京都市がすっぽりはいるくらいの敷地で勤務していた。当然工具部品は大きなものばかり、ボルトを廻すのに人間位のスパナを使用していた。それから、防災研究所地殻変動部門の技術職員になったからサー大変、顕微鏡の世界とはいわれないが機械的にミクロンの世界である。傾斜計の吊り線が $30\mu$ これを暗い坑道で、それも懐中電灯の明かりで吊り直す、周期まで測定すると1日かかりである。トンネルが暗い、人間関係が暗い、えらいここに来てしまった。そんな訳で、最初はどうなるかと心配したが、先輩の山田さん、市川さん、先生の松波さんにお世話になりながら、防災研究所宇治の2年間を無事に過ごせた。ありがとうございました。

防災研究所地殻変動部門の技術の仕事として古澤先生、赤松先生と行った桜島総合集中観測の地震観測、宮崎観測所の槇峰観測計器設置などがあった。思い出に残る厚生行事として宇治久世駅伝大会 (準優勝) 京都大学バレーボール大会 (準優勝) 5 研究所野球大会などがあり。組合のメーデー参加と広島での原爆禁止大会参加もあった。



● メーデー宇治：宇治の塔ノ島



● 海水浴福井：砂浜のない海水浴場は初めて

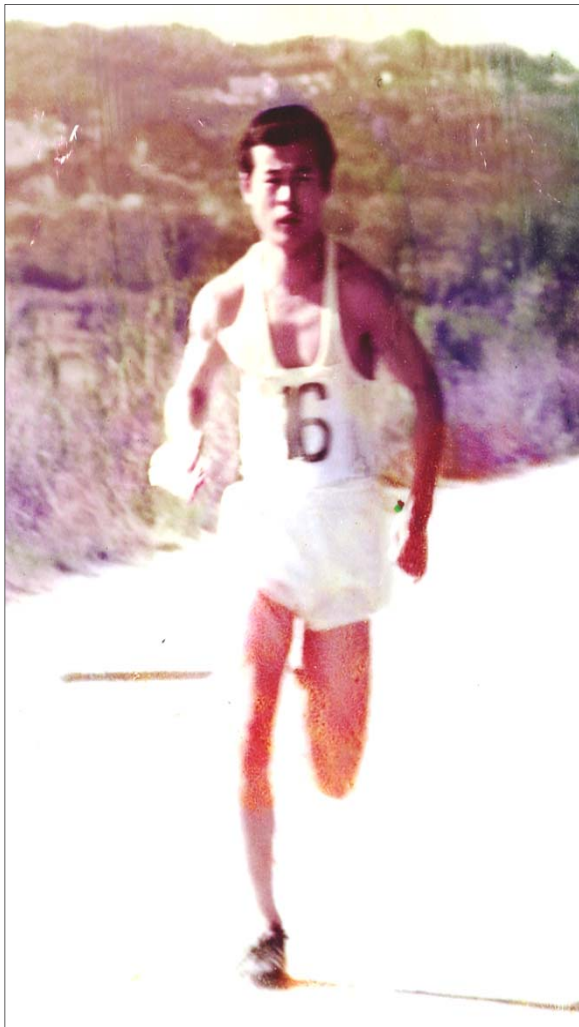


● 防災研究所野球部 (技術・事務職員・教官)



<宇治・久世駅伝大会 (準優勝)>

宇治・久世市町長杯争奪駅伝大会が京都・宇治市、城陽市、久世郡、久御山町の労働者、青年など 22 チームが参加し久御山町役場～宇治市役所間 24.5Km で行われた。宇治のユニチカ実業団が優勝したが京都大学は堂々の準優勝であった。私は駅伝の経験はないが、高校山岳部のとき山で鍛えた脚力と、以前勤めていた民間会社でサッカーをやっていたので無事完走できたのだろう。京都大学防災研究所技術職員になって1年後 24 才の師走である。その関係した技術職員、事務職員、教官もすでにみんな定年になってまわりはないが、私も今年で還暦定年です。ので駅伝でいえばさしずめアンカーでしょうか！



● 園田が木津川堤防を力走中



● 京都大学職員チーム



● 園田完走タスキは安田さん



● 代表園田



● 準優勝楯

1975年桜島観測所の桜島精密地震観測が関係する研究機関研究者が一堂に会して桜島でそれぞれの観測が行われた。私達京都大学防災研究所地震観測グループは桜島の黒髪分室を起点に地震観測を開始した。もちろん、私は地震観測初めてですので戦力になるかどうか定かでない状況だったが、ただ宮崎観測所が新しく出来るのでそこに所属する技術職員とすれば、否応なくマスターせねばならない観測でもあった。最初の地震計設置で野外にケーブルをはる事と車の運転以外は、黒髪分室に沈殿する毎日であった。黒髪分室の中での地震データ収録の為のシステム構築は、ベテランの先生2人が居られるので私の居場所はなかった。赤松先生は防災研究所強振動部門のプロ、古澤先生は地震学のプロなのでシステム構築は簡単にできた。ここでの通信ケーブルの自衛隊結び等、いろんな観測技術は、私のそれから37年間の地震観測に大いに役立ったと思う。

## 桜島の火山性地震のparticle motion について

京都大学防災研究所 古澤 保・赤松 純平

### 1. はじめに

桜島火山で発生する火山性地震の波動の性質を調べるために、京大桜島火山観測所の中域地震観測網権現観測点を中心に、3成分多点の臨時観測網を設置し、1975年2月に地震観測を実施した。この観測で、A, B, C各型の地震波記録が得られ、磁気テープ上に、アナログおよびデジタルの両方の形で編集されている。ここでは、band pass filterを用いて、周波数成分ごとのparticle motionsを描くことにより、地震波のphase identityを試みる。

### 2. 観測とデータ

観測点の配置を図1に示す。G, N, Y点は、wave type(P, S, 表面波等)の識別ができるように、3成分の地震計が設置してある。G点(中域観測網権現観測点)は権現山の中腹、N点は鍋山の山際にあるが、Y点は地獄河原(昭和熔岩)の熔岩上にあり、先の2点とは条件が異なる。K点は伝播速度を求めるためのもので、上下動成分の地震計のみ設置した。

観測装置のブロック図を図2に示す。観測の中心となるG, N点は、I Cシフトレジスタを用いた信号遅延装置と、信号判定およびデータレコーダーの制御のための回路により、データレコーダーへのため込み方

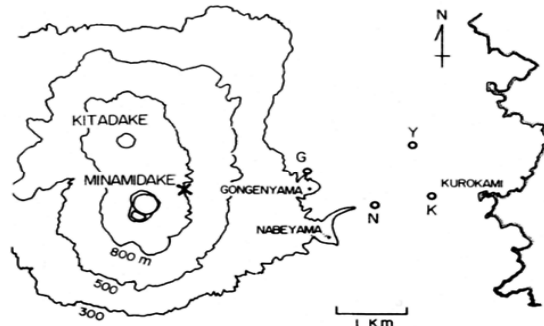


図1 観測点の配置 ○：観測点、×：解析した地震の震央位置

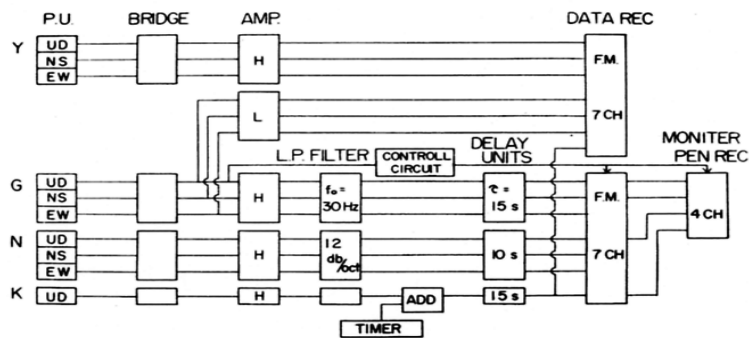


図2 観測装置のブロック図

表1 観測期間と直流増巾器の感度

Obs.	Periods	Stations	Gain of D. C. Amp
Feb. 17	21:00—Feb. 18 07:38	G (H), N. K.	300×
Feb. 18	07:40—Feb. 24 08:05	G (H), N. K.	120×
Feb. 19	08:15—Feb. 24 08:05	Y	100×
Feb. 24	08:10—Feb. 27 14:30	G (H), N. K.	60×
Feb. 24	08:10—Feb. 27 08:00	Y	50×
Feb. 19	08:15—Feb. 27 08:00	G (L)	10×
P. U.	$f_0 = 1.0\text{Hz}$	$G = 3.3\text{v/kine}$	$h = 1.0$

式で記録した。各観測点とも同一の増巾度で観測したが、G点は火口に近く、他点に比べて、波の減衰が小さいと考えられたので、低感度でも同時に記録し、装置全体としての dynamic range を広げた。観測期間と計器の感度を表1にあげる。

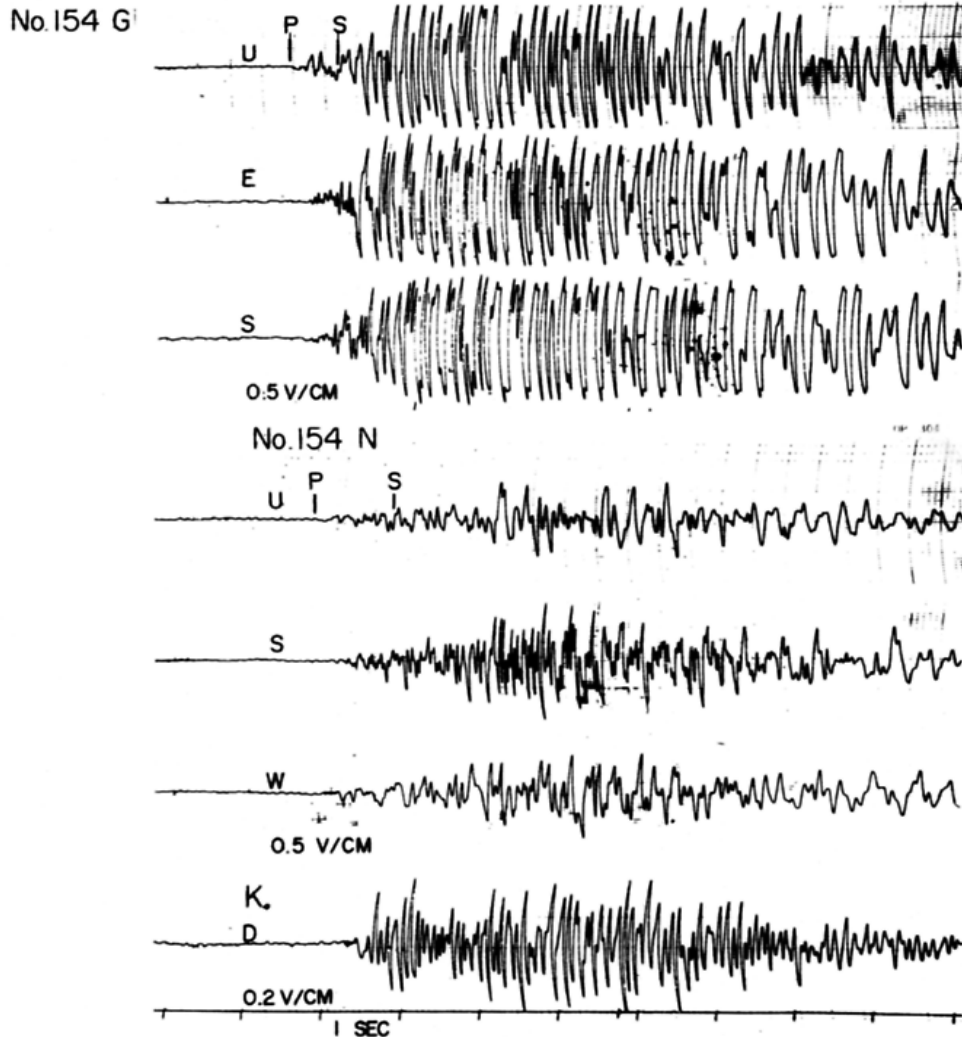


図3 再生記録の例, A型地震, Feb 22, '75, 02H40M, 震央は図1の×印, G, N点の上下動成分に示されたP, Sの位置は, 図4の particle motions の始まりの位置である。

- 桜島の火山性地震の particle motion について (古澤 保・赤松 純平)





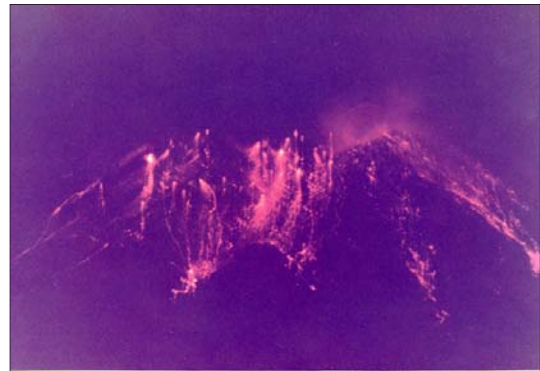
● 桜島火山の山頂部



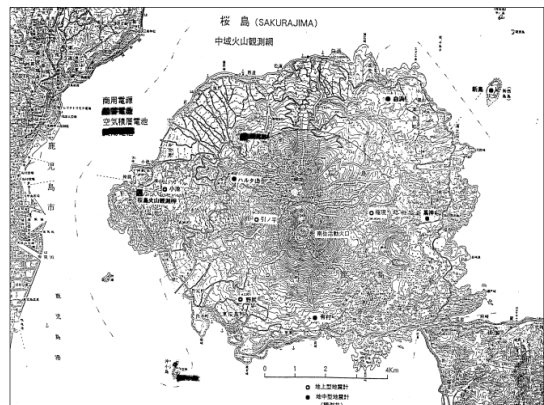
● 桜島南岳の噴火



● 桜島集中観測時の噴火と積雪



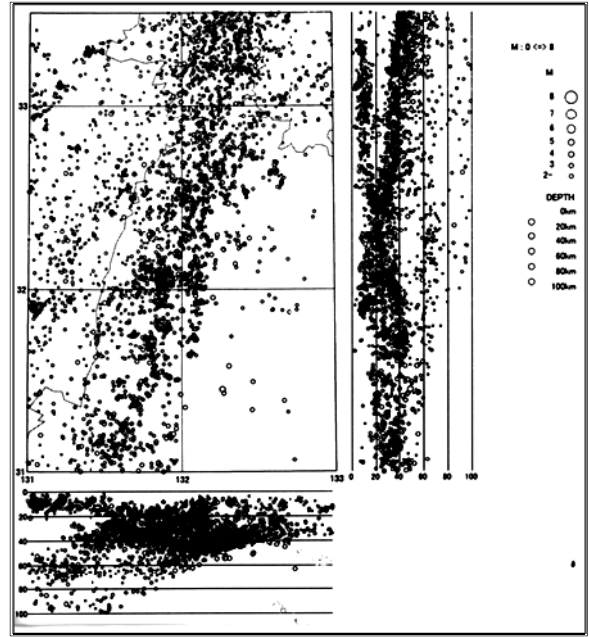
● 桜島噴火夜景



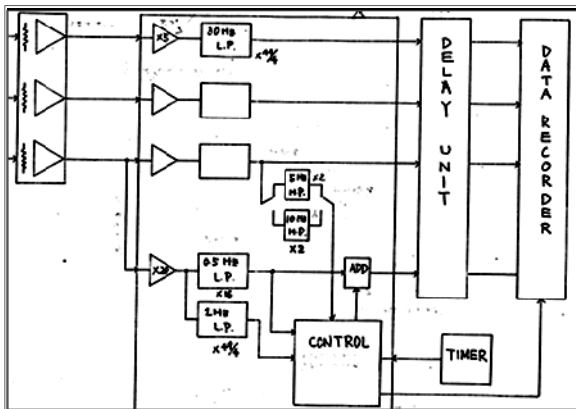
● 桜島集中観測時の噴火・焼けた噴石・桜島

< 古澤地震観測システム：宮崎観測所 >

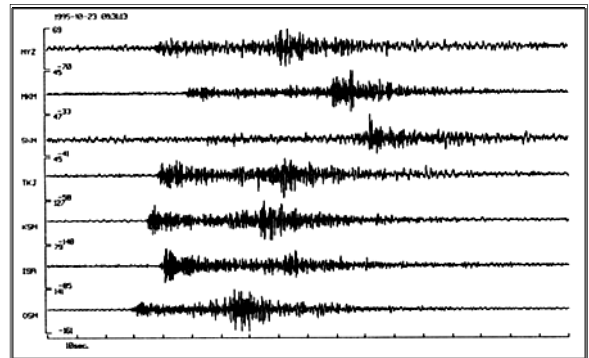
古澤先生の地震研究として宇治の研究室からスタートした地震データ観測システムも宮崎バージョンになり、昭和60年、新たにテレメータ室を増築してYHP社のHP9000等を備えて収録解析を行っていた。この収録システムは地殻変動、短周期地震、長周期地震それぞれに5台のパーソナルコンピュータを使用していて、それぞれのパソコンがインターフェースでテレメータ側と接続していた。そのテレメータ地震収録システムも古澤名誉教授退官とともに終了する事になった。現在はサターンシステムによる地震観測、桜島観測所の南九州地震観測、地震予知研究センターの地震観測によるレシーバ関数の研究が行なわれている。



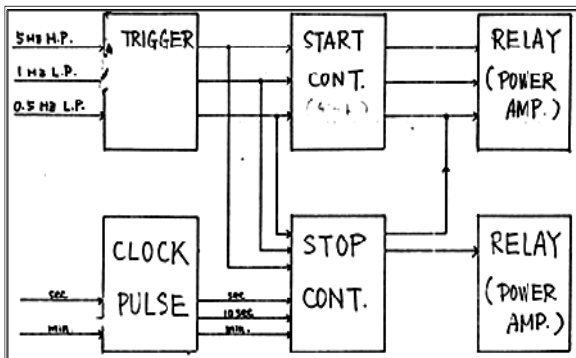
● 宮崎県日向灘沖地震



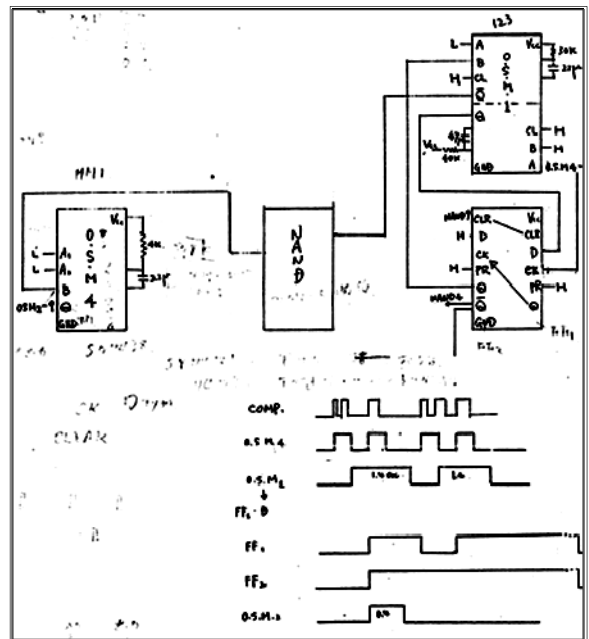
● 桜島集中観測（地震観測システム）メモ



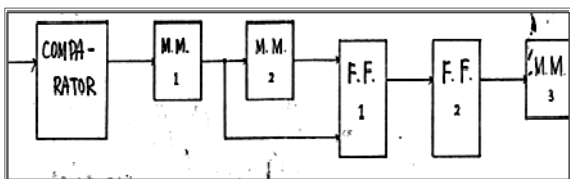
● 日向灘観測網の地震波形



● 遅延回路Aメモ



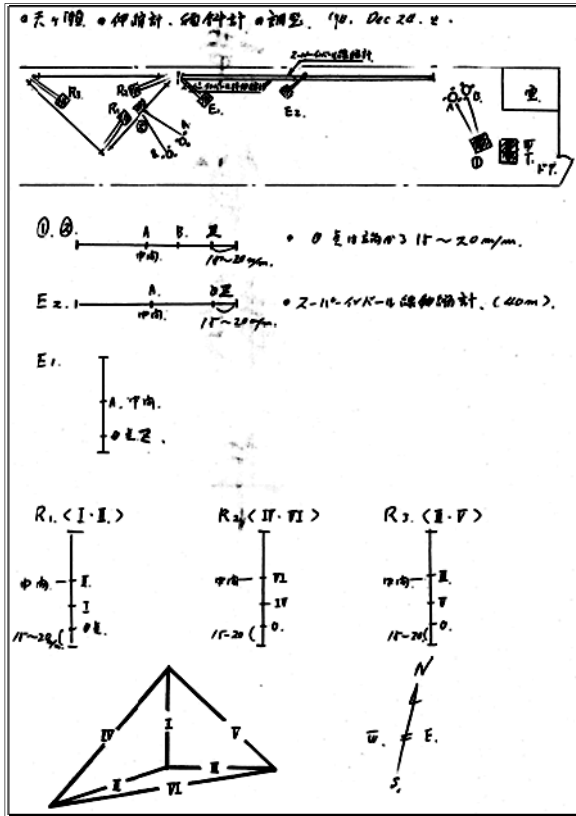
● 遅延回路Cメモ



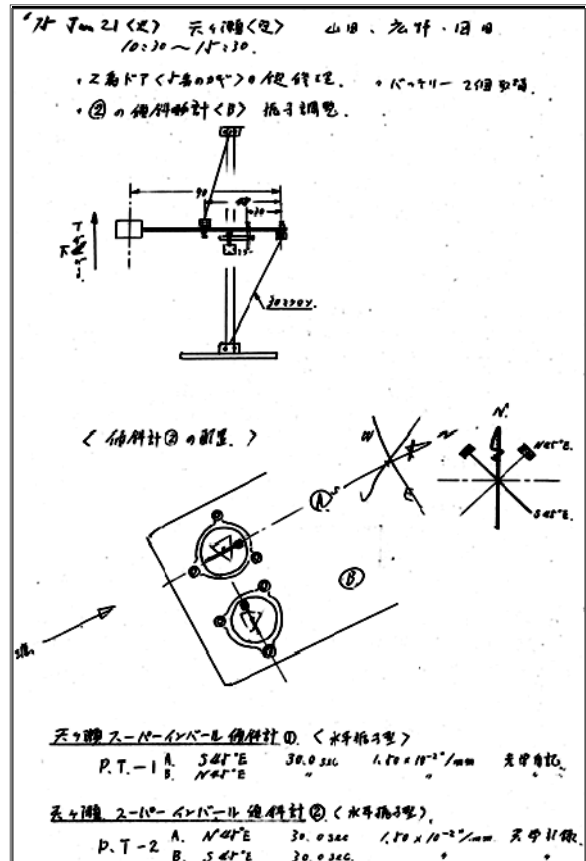
● 遅延回路Bメモ



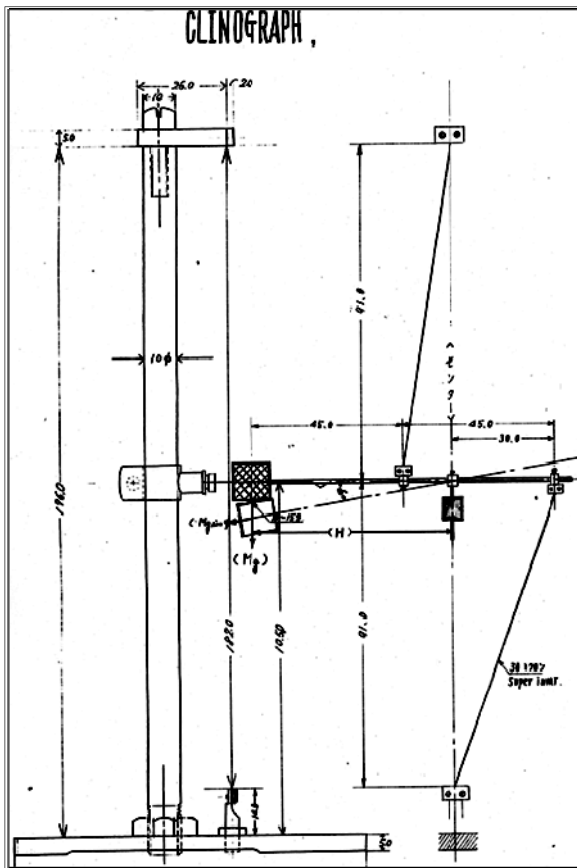




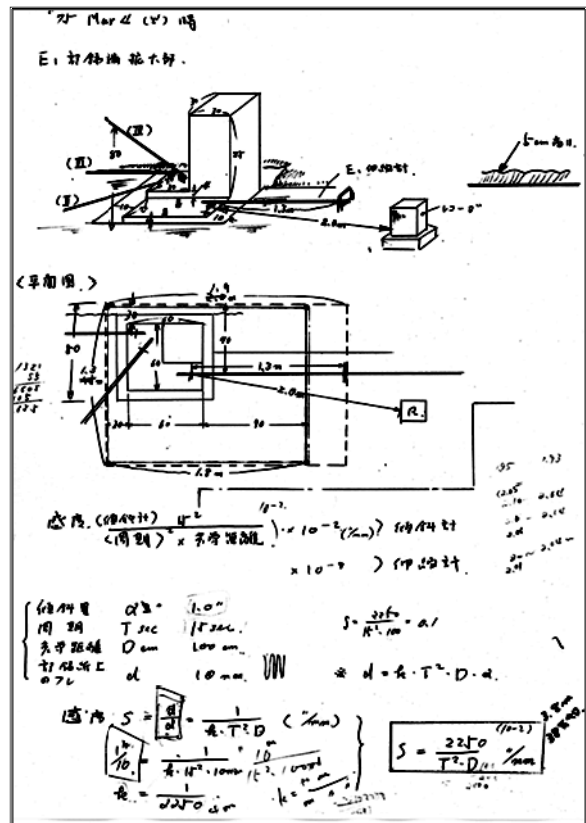
● 天ヶ瀬観測室坑道：伸縮計・傾斜計配置図



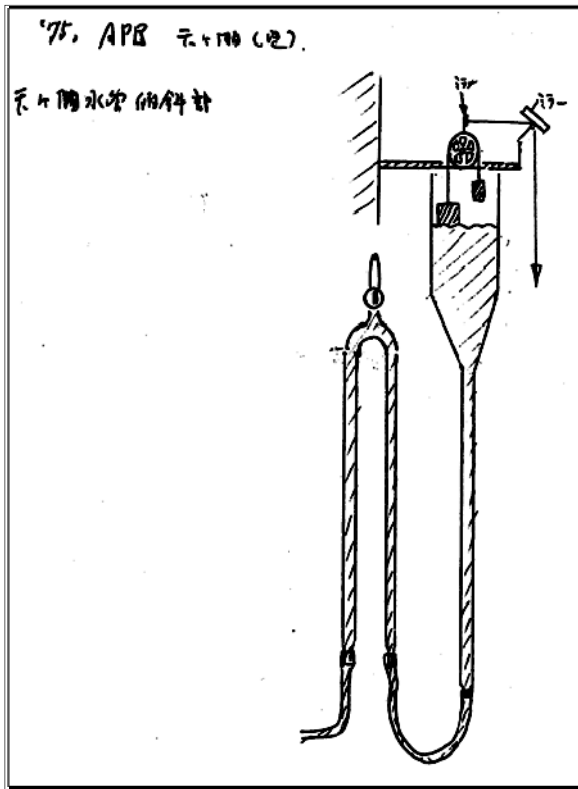
● 天ヶ瀬観測室：スーパーインパール傾斜計



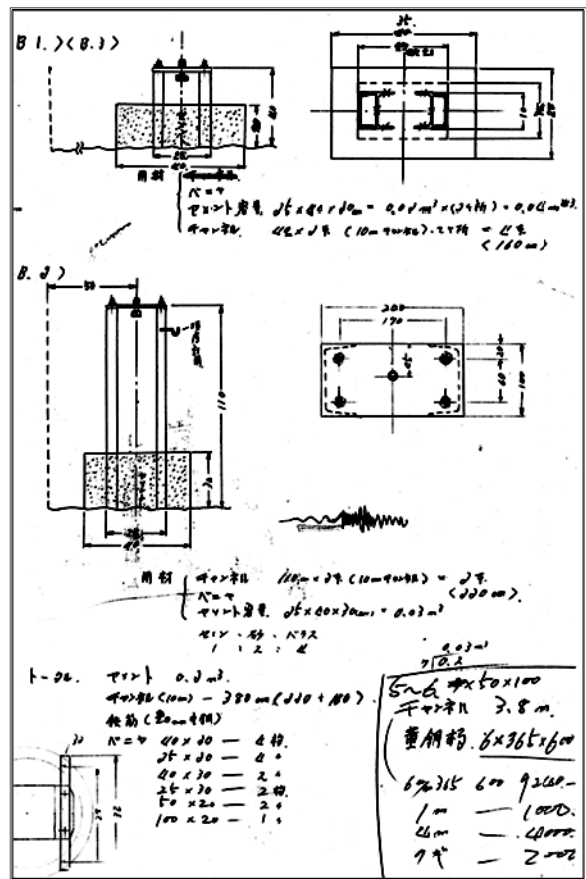
● 天ヶ瀬観測室：スーパーインパール傾斜計



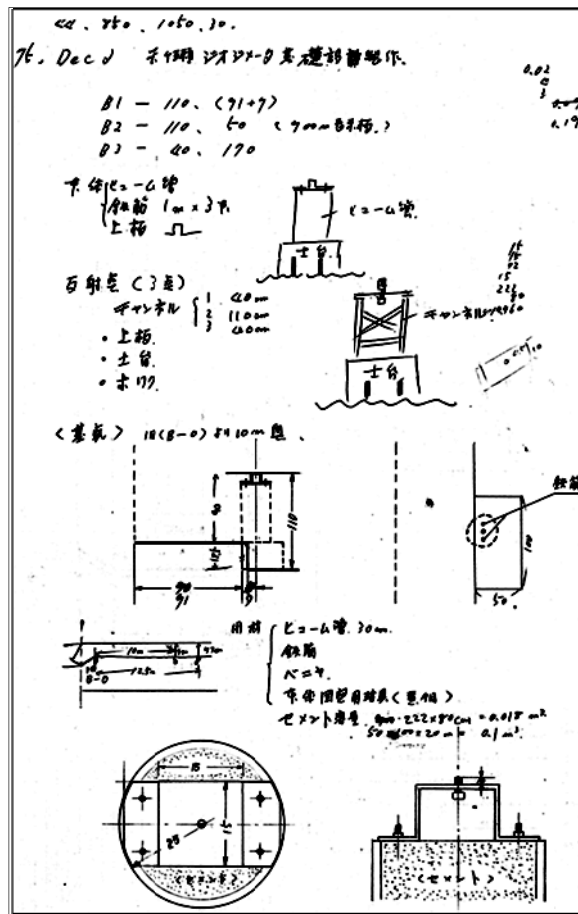
● 天ヶ瀬観測室坑道：伸縮計記録端成分メモ



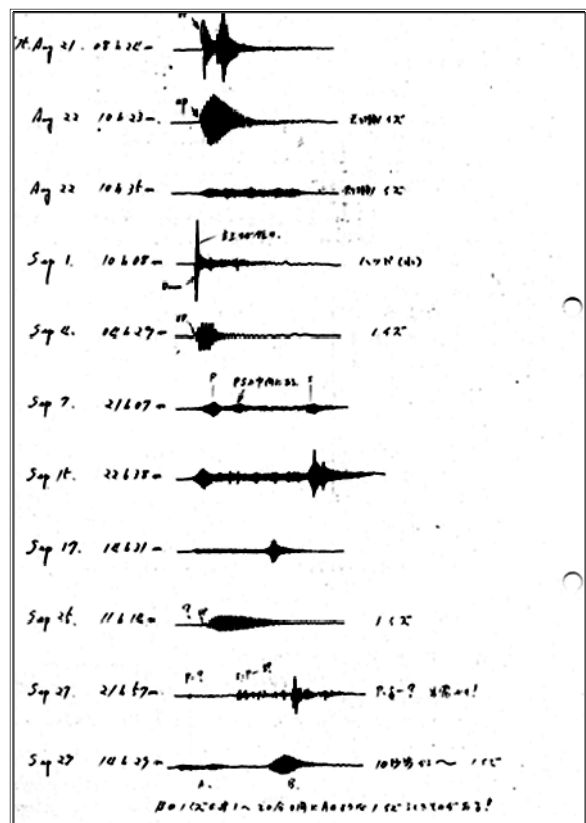
● 天ヶ瀬観測室坑道：滑車式水管傾斜計



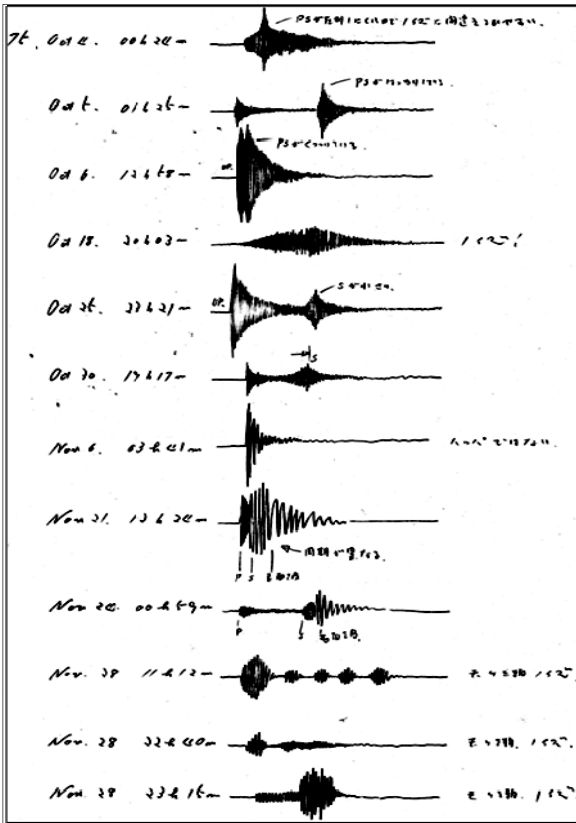
● 天ヶ瀬観測室：ジオジメータ測量基点工事



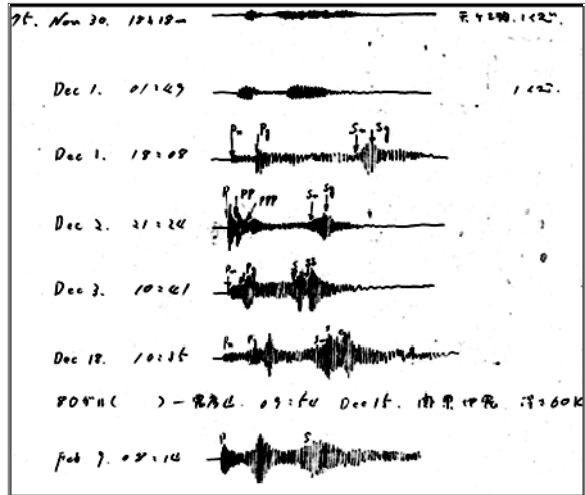
● 天ヶ瀬観測室：ジオジメータ測量基点工事



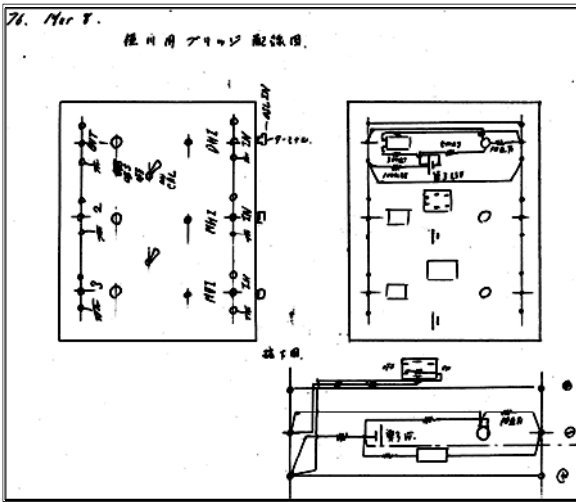
● 天ヶ瀬観測室：地震観測煤書記録読取波形



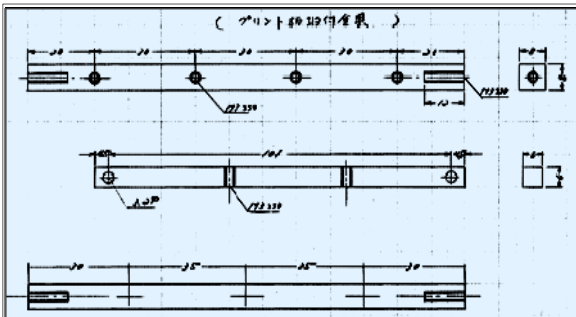
● 天ヶ瀬観測室：地震観測煤書記録読取波形



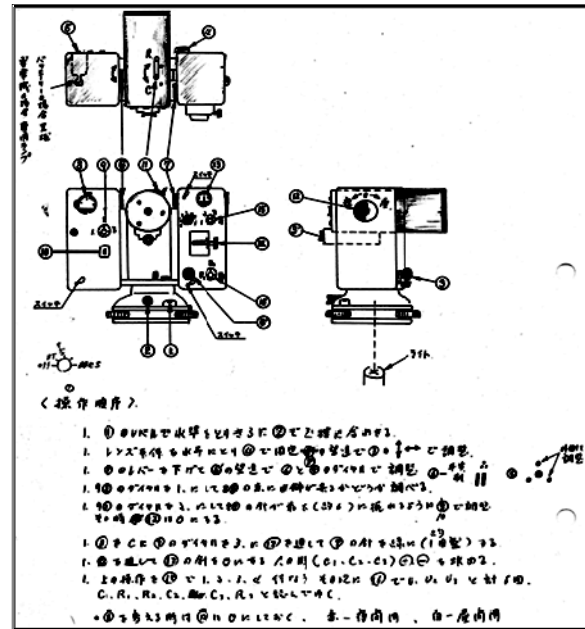
● 天ヶ瀬観測室：地震観測煤書記録読取波形



● 横川用ブリッジ配線図：シャント抵抗値



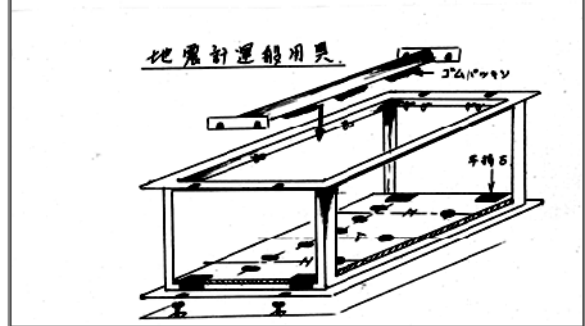
● アンプケース用固定金具



● 光波測量ジオジメータ測定機器操作手順

＜インボール＞— Ni 36%, Fe 残り、弾性率約  $3 \times 10^{10}$  の間で  $1 \sim 2 \times 10^{-6}$  の材料、断面直径  $2 \sim 3$  mm の。

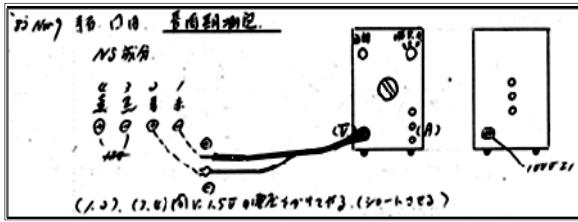
＜エリソール＞— Ni 36%, Cr 12%, Fe 残り  
 A27 の弾性率約  $8 \times 10^{10}$  の  $2 \sim 3$  mm の断面直径の材料に用い、時計針の他の精密材料の中心に用い、実際に用いたものは Cr 量は  $10 \sim 15\%$ 、 $Mn, Si, C$  は  $1\%$  以内の含有量。



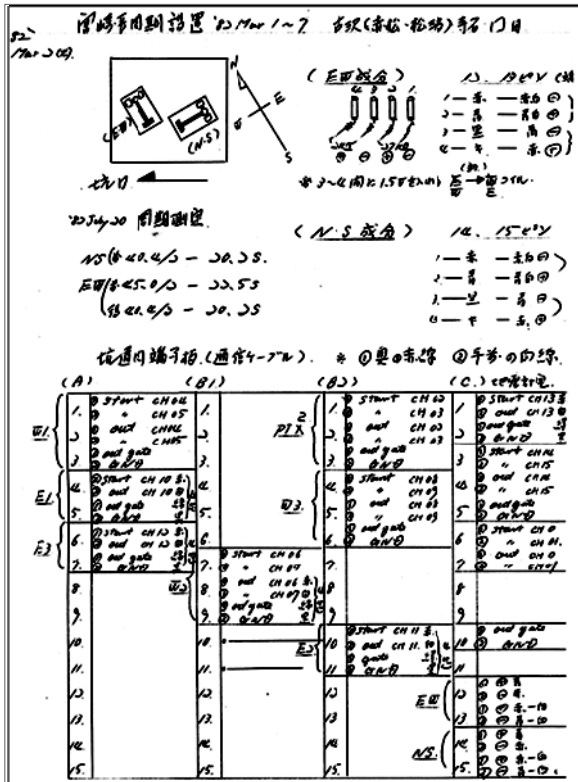
● 宮崎観測所：勝島短周期地震計移動用具



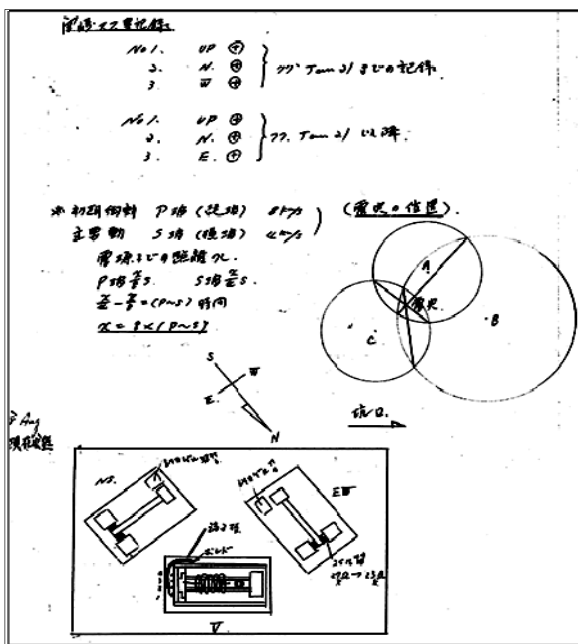




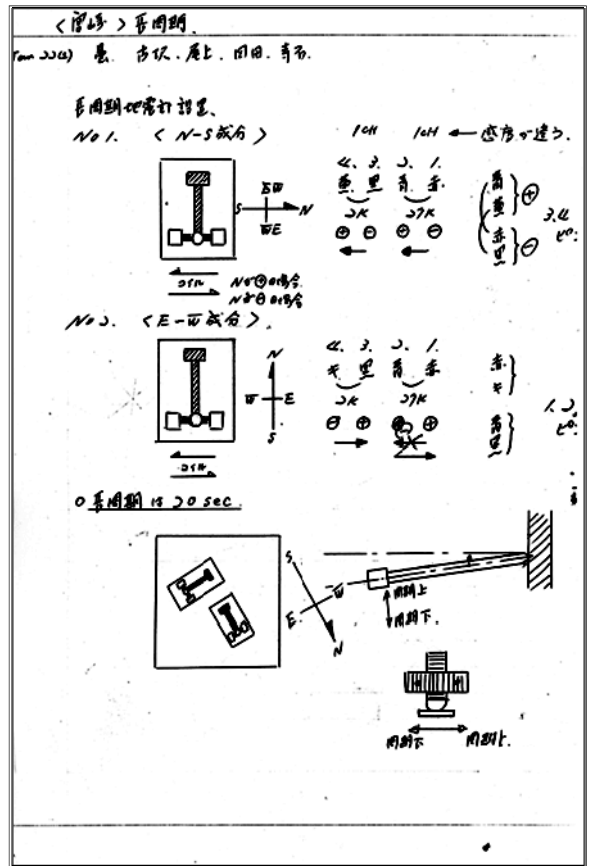
● 長周期地震計電源



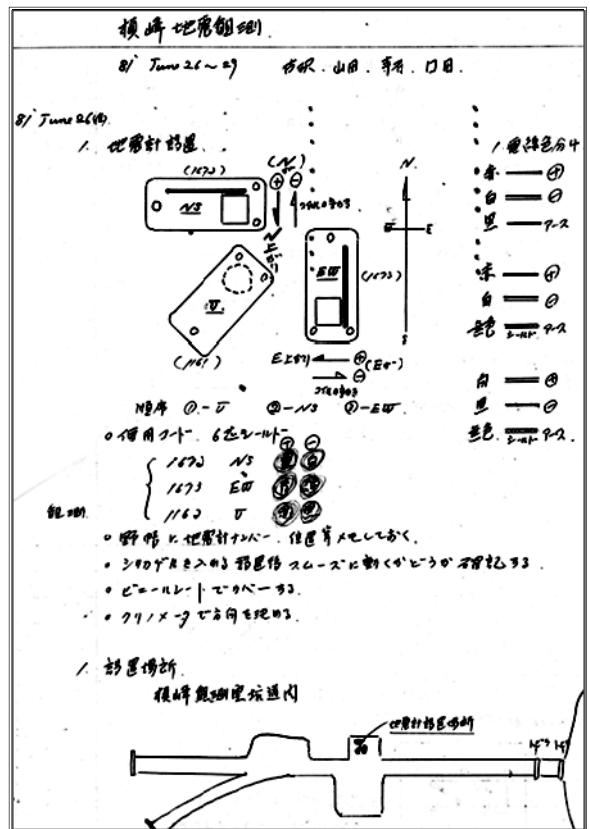
● 宮崎観測所坑道：長周期地震計設置と端子板



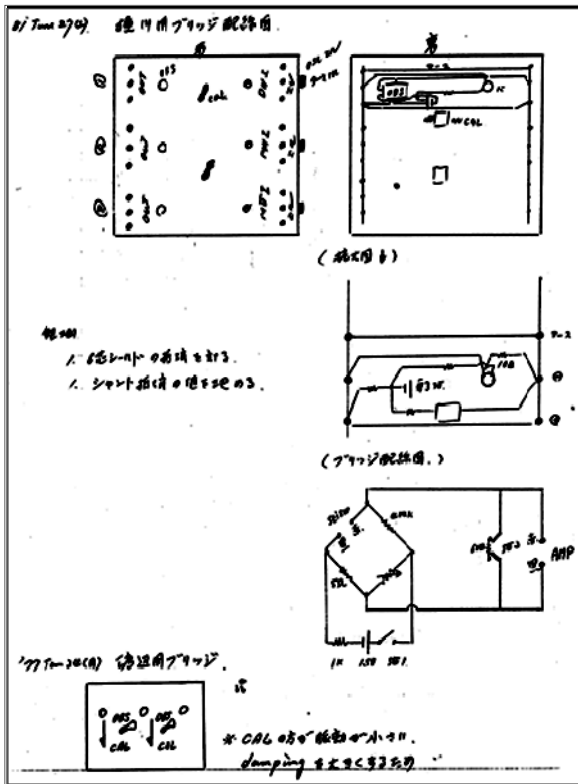
● 宮崎観測所坑道：長周期地震計設置 3 成分



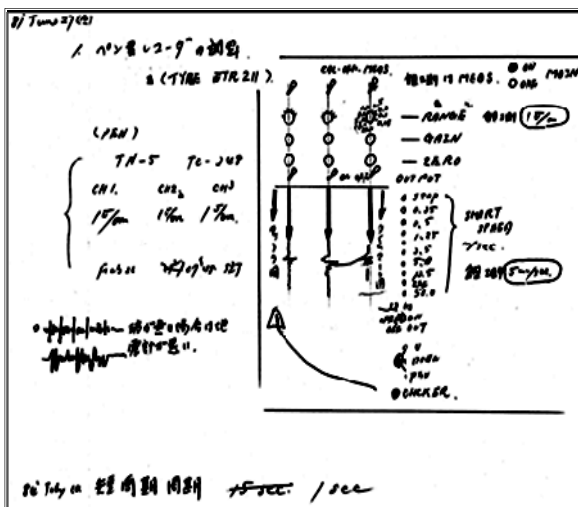
● 宮崎観測所坑道：長周期地震計設置状況図



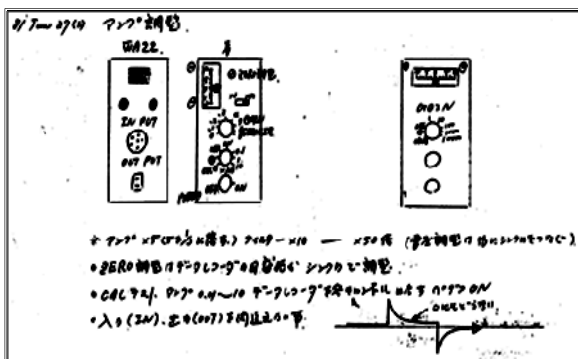
● 槇峰観測室坑道：短周期地震計設置場所



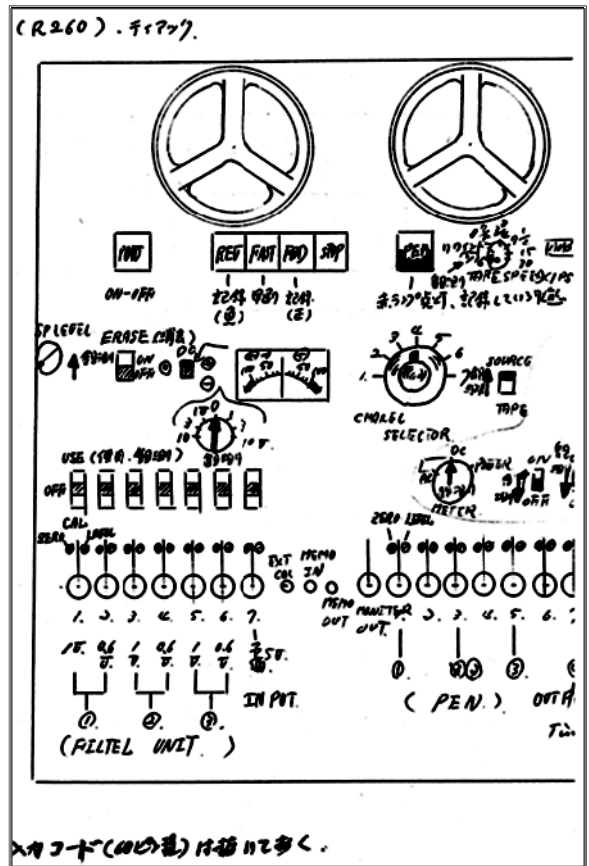
● 横川用ブリッジ配線図・渡辺用ブリッジ



● ペン書レコーダの調整 : CH1, CH2, CH3

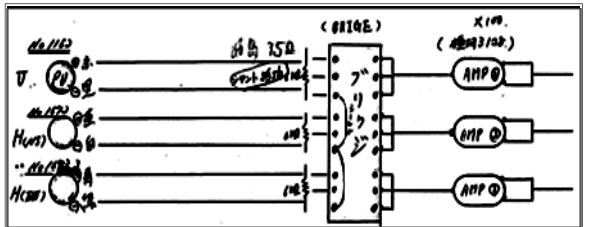


● アンプの調整手順 : アンプ・フィルター

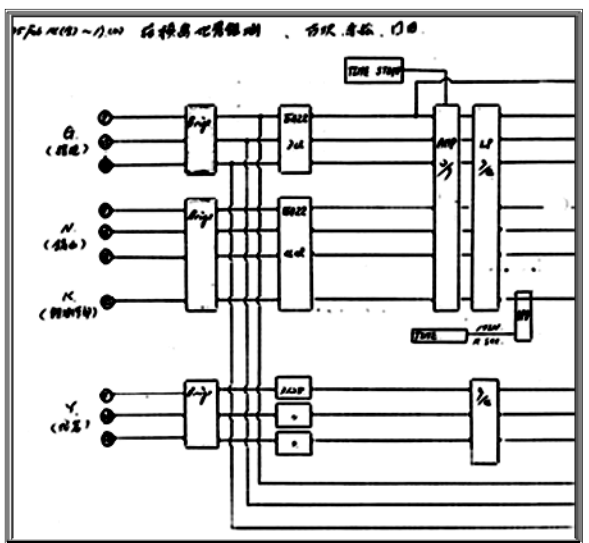


● 入力コード(00の値)は多く

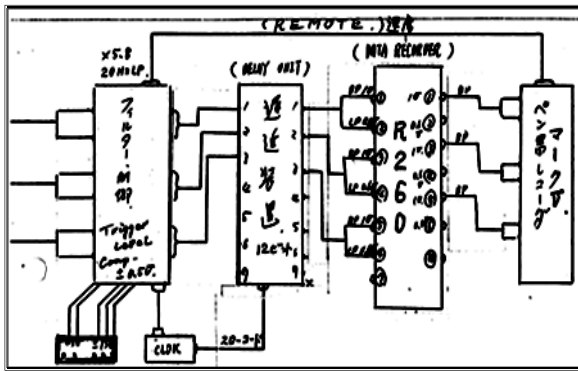
● 地震データ収録装置調整 : ティアック (R260)



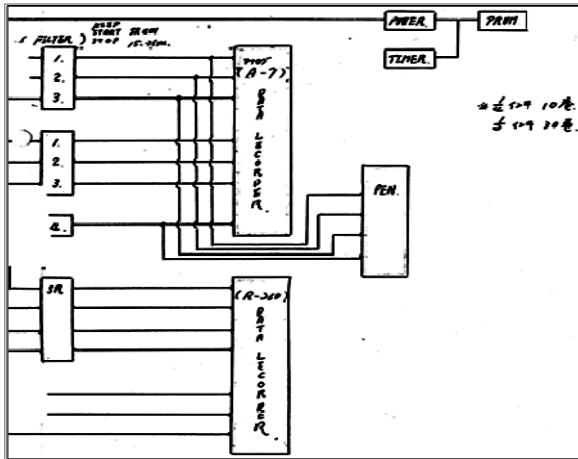
● 地震計とブリッジのシステム図 : 3CH



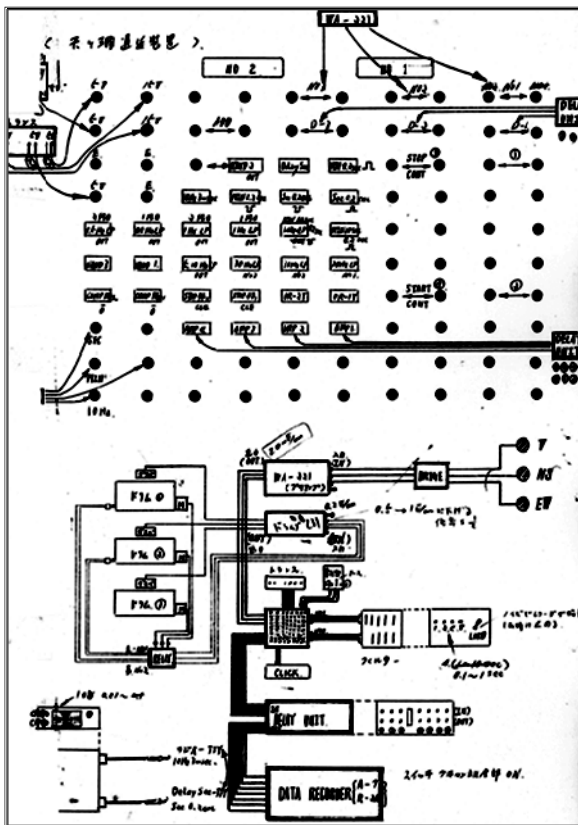
● 地震データ収録システム図 :



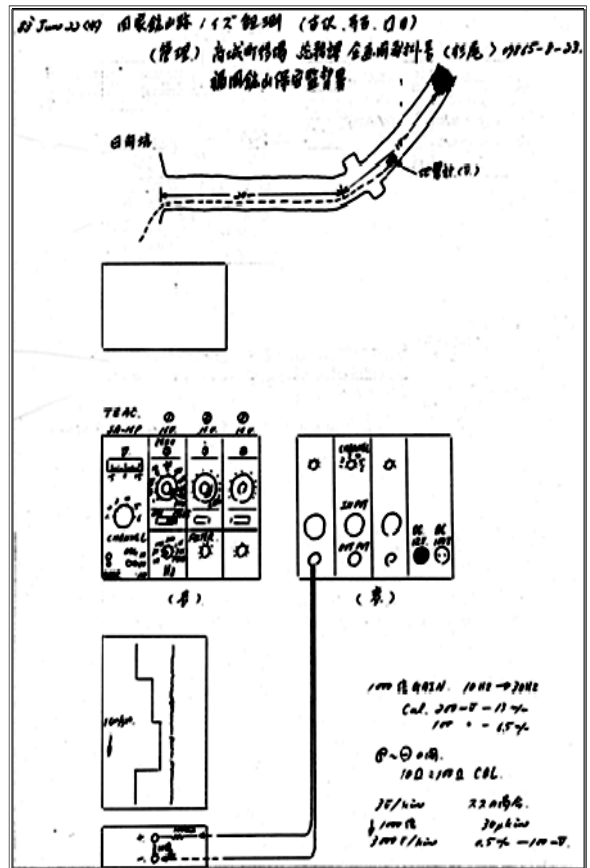
● 地震データ収録システム：遅延装置、R260



● 地震データ収録システム：桜島精密地震観測



● 天ヶ瀬観測室：煤書ドラム遅延装置システム



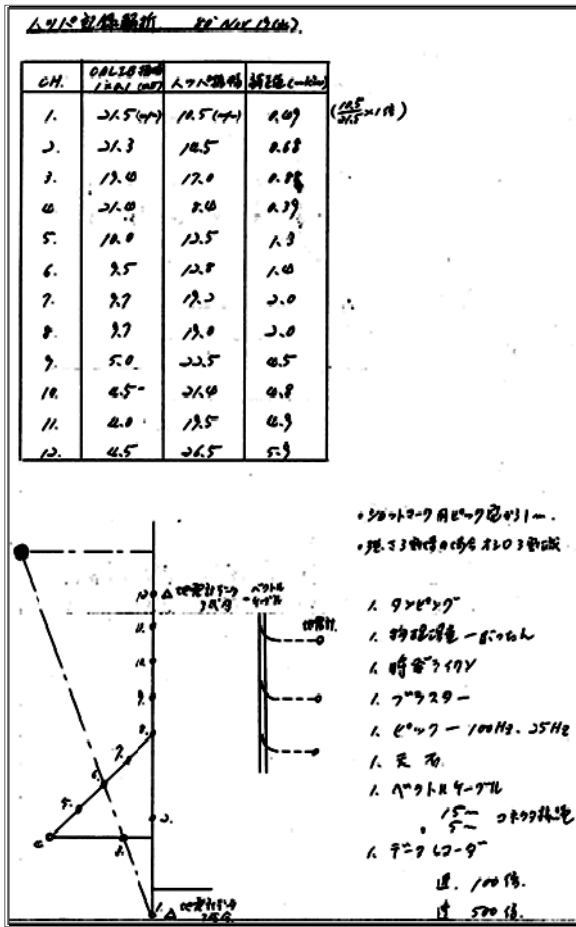
● 高城観測室：旧四家坑道内でのノイズ観測

砂防ダムハツパ観測

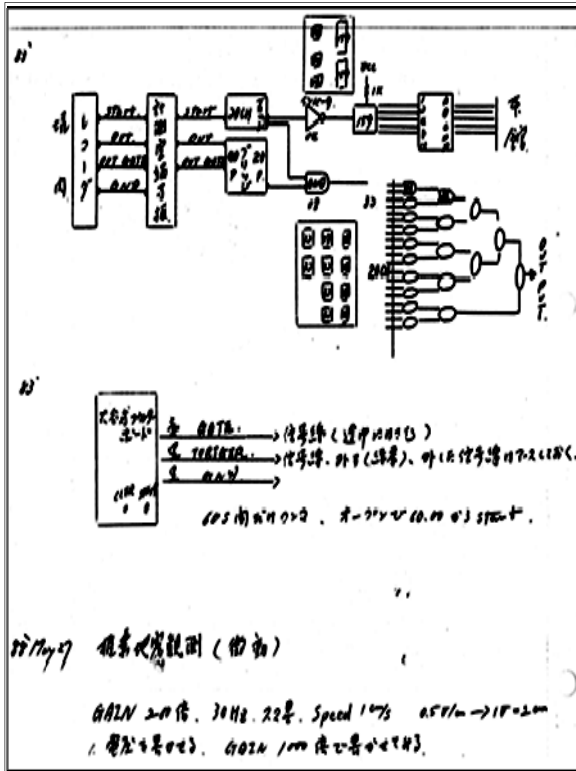
番号	時刻	CH	Range - Fin	COLIB (-5)	換算値
1日目	5:09 5:12	1	1 x 0.7	0.1 x 0.5	1000 x 1000
		2	2 x 0.7	0	"
		3	3 x 0.2	0	"
		4	4 x 0.2	0	"
2日目	5:09	1	2 x 0.2	1 x 0.1	
		2	3 x 0.2	0	
		3	3 x 1.0	0	
3日目	10:07	1	2 x 0.2	0.1 x 1.0	0.7 x 0.2
		2	3 x 0.5	0	
		3	2 x 0.7	0	
		4	2 x 0.5	0	
4日目	2:07	1	2 x 1.0	1 x 0.2	
		2	2 x 0.5	0	
		3	2 x 0.2	0	
		4	2 x 0.2	0	
5日目	8:07	1	2 x 0.7	1 x 0.2	
		2	2 x 0.2	0	
		3	2 x 0.2	0	
		4	2 x 0.2	0	
6日目	8:07	1	2 x 1.0	1 x 0.2	
		2	2 x 0.5	0	
		3	2 x 0.2	0	
		4	2 x 0.2	0	

● 宮崎観測所：砂防ダムハツパ観測—計6回

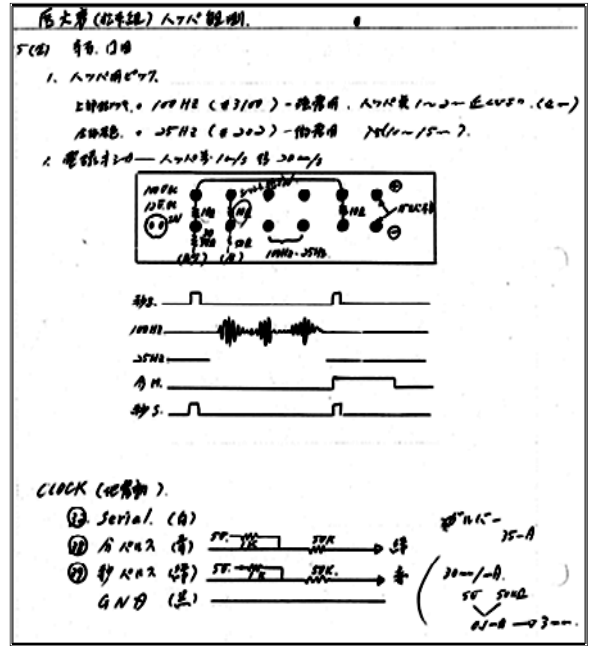




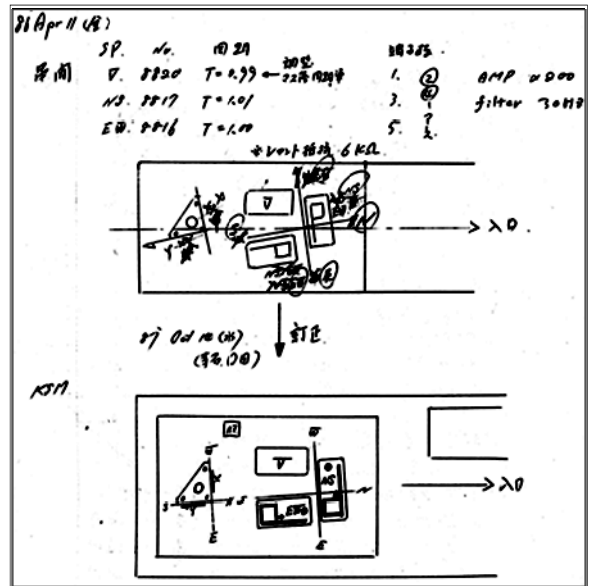
● 宮崎観測所：砂防ダムハッパ記録解析



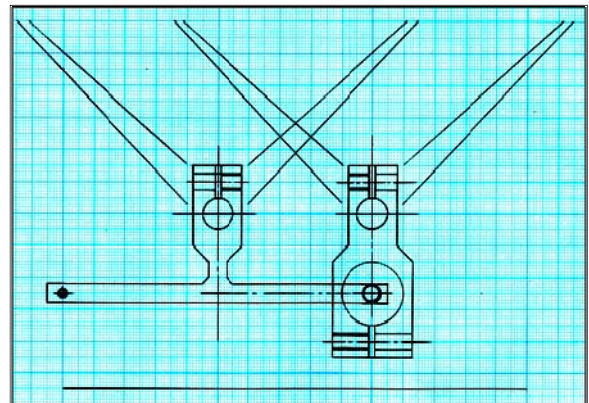
● 宮崎観測所本館坑内：大谷カウンターボード



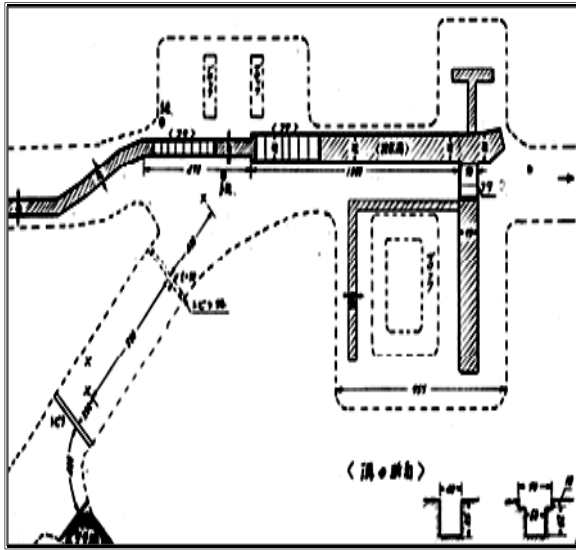
● 宮崎医大裏：ハッパ観測・ピック電磁オシロ



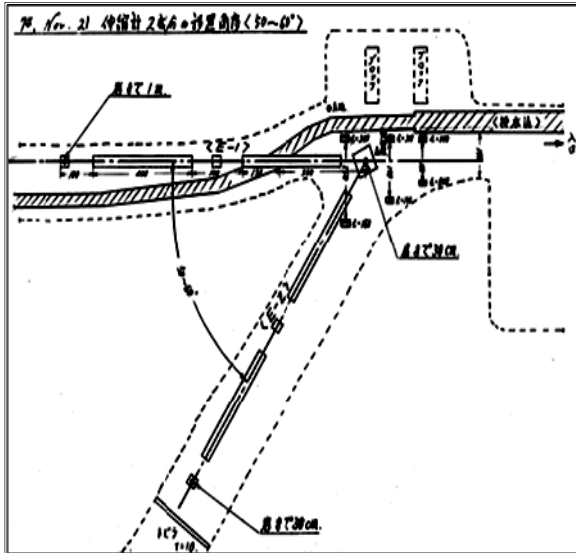
● 串間観測室：短周期地震計・傾斜計設置図



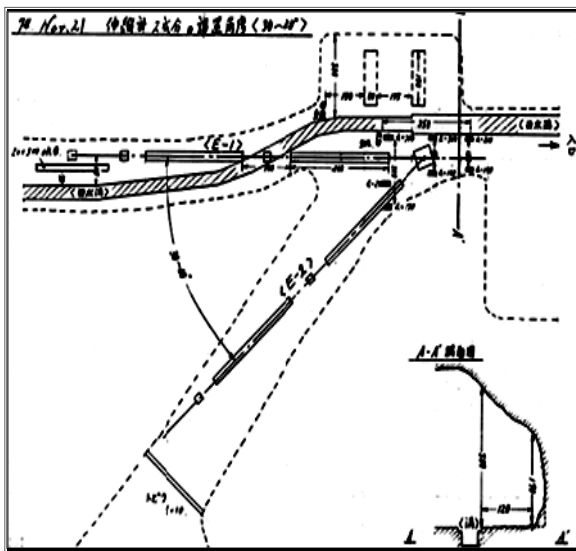




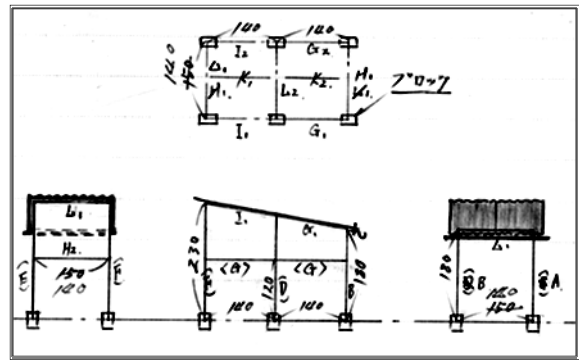
● 槇峰観測室坑道内：側溝全体図



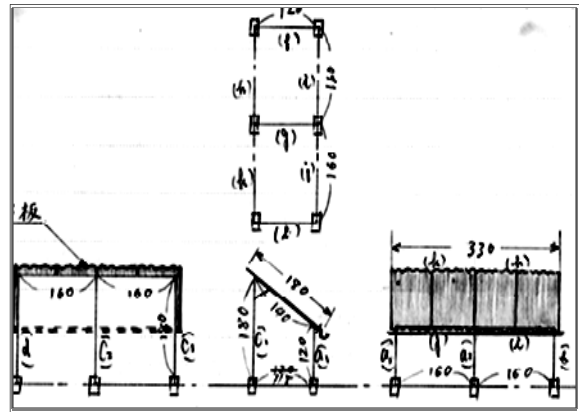
● 槇峰観測室坑道：伸縮計設置 60 度の場合



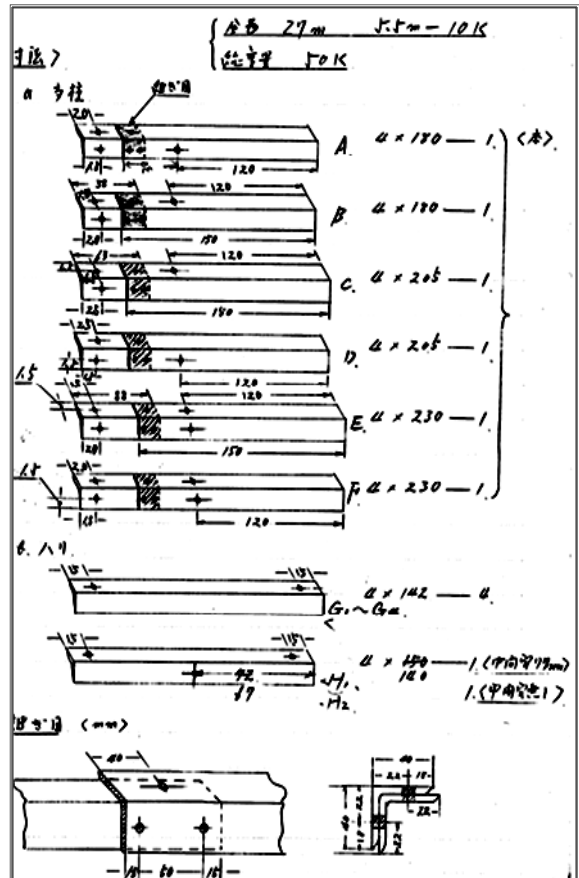
● 槇峰観測室坑道：伸縮計設置 45 度の場合



● 槇峰観測室坑道：観測計器用屋根全体図

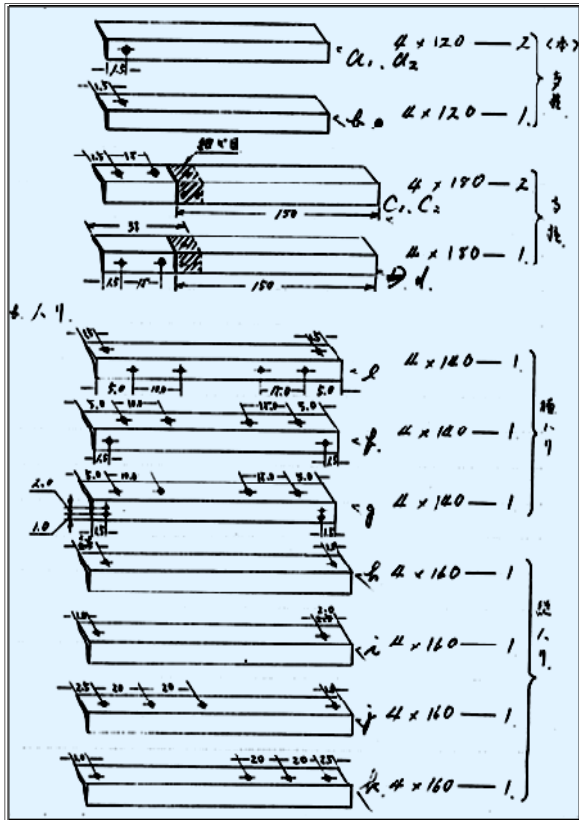


● 槇峰観測室坑道：観測計器用屋根全体図

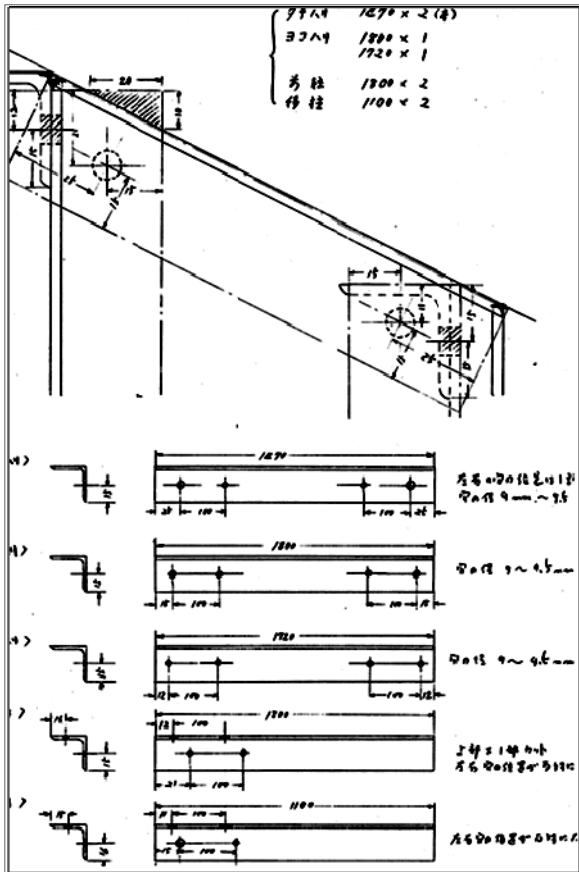


● 槇峰観測室坑道：観測計器用屋根チャンネル

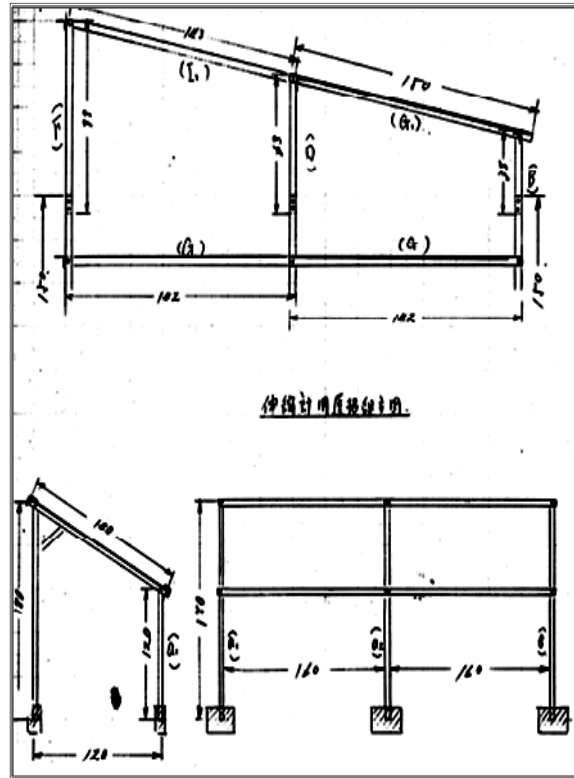




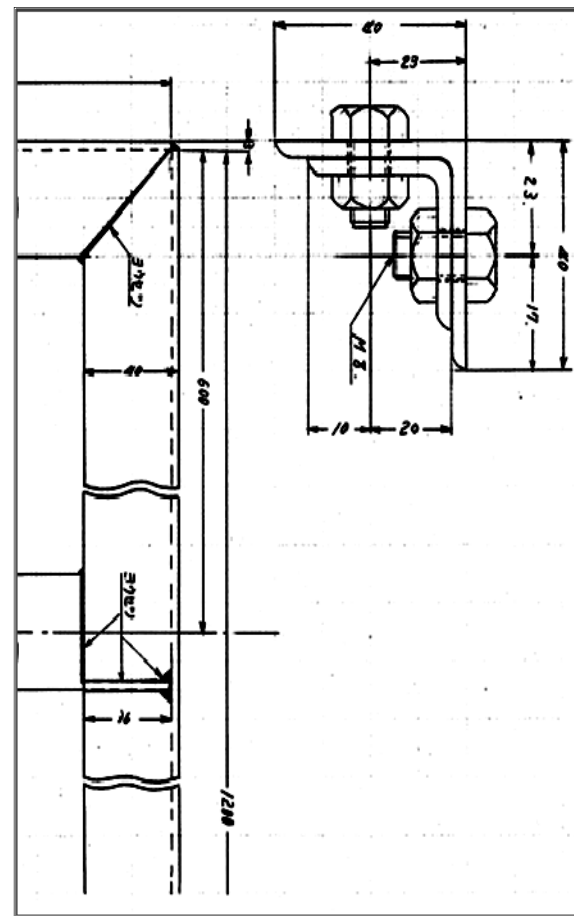
● 槓峰観測室坑道：観測計器用屋根L形鋼



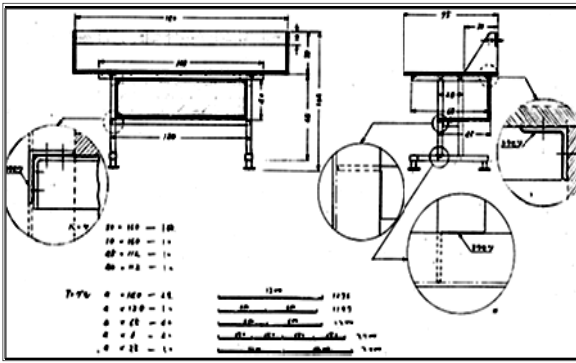
● 槓峰観測室坑道：観測計器用屋根L形鋼



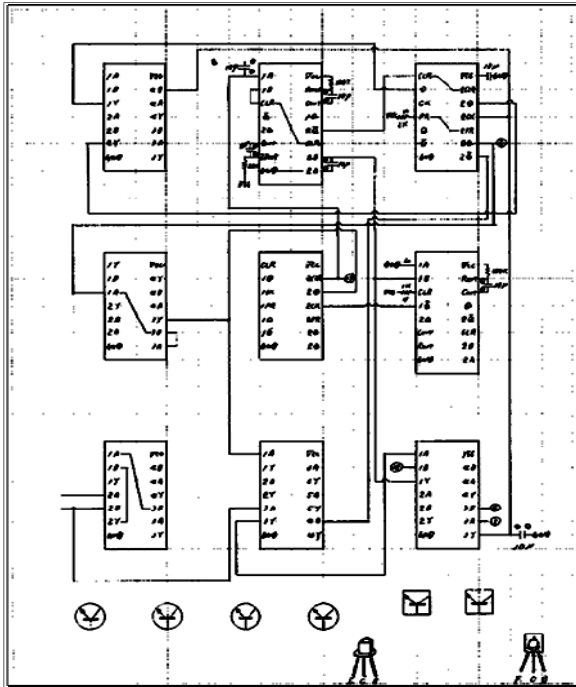
● 槓峰観測室坑道：観測計器用屋根支柱



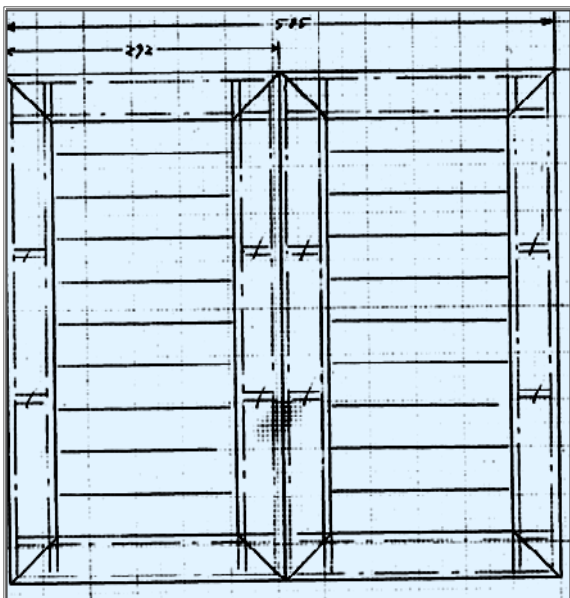
● 槓峰観測室坑道：観測計器用屋根止め金具



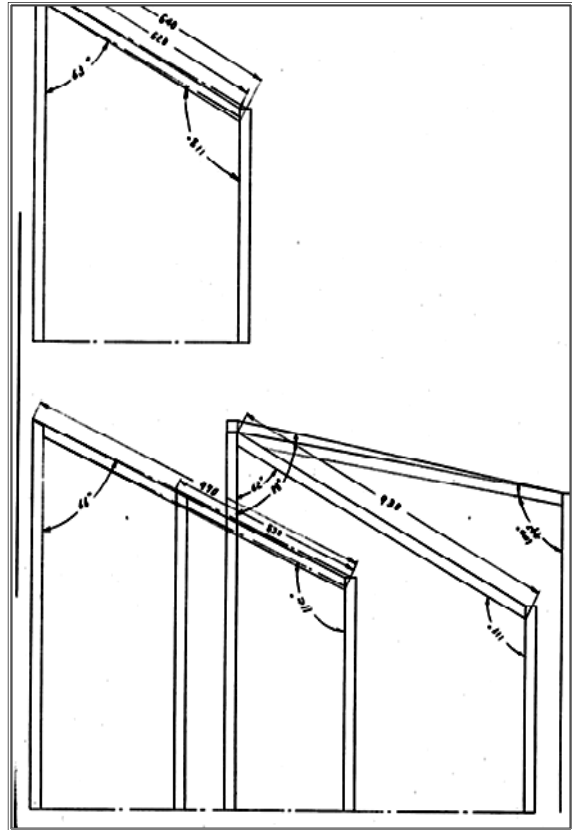
● 槇峰観測室作業台を宮崎観測所で製作



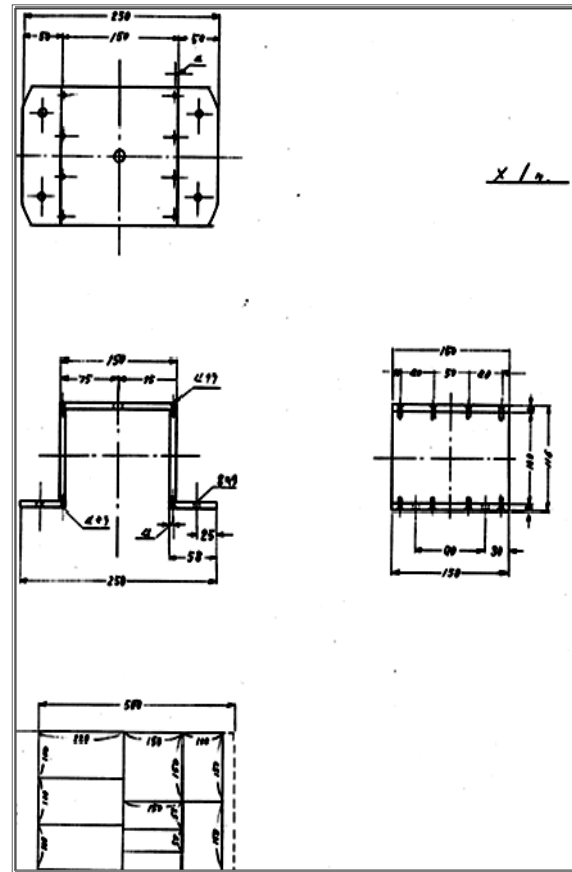
● IC 基板回路図



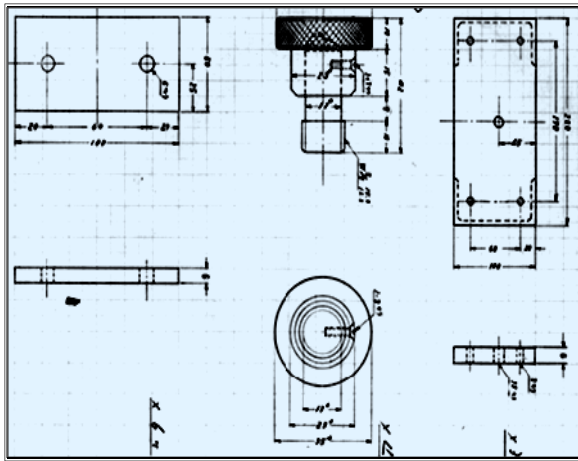
● 宮崎観測所：百葉箱正面とびら設計製作



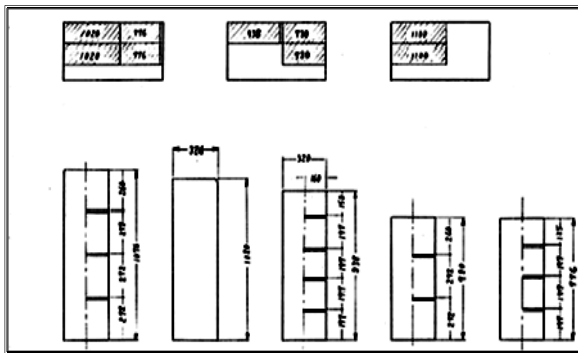
● 槇峰観測室坑道：観測計器用屋根金具



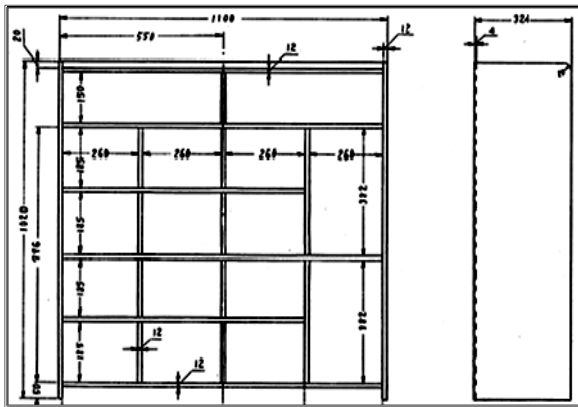
● 天ヶ瀬観測室坑道：光波測量基礎金具



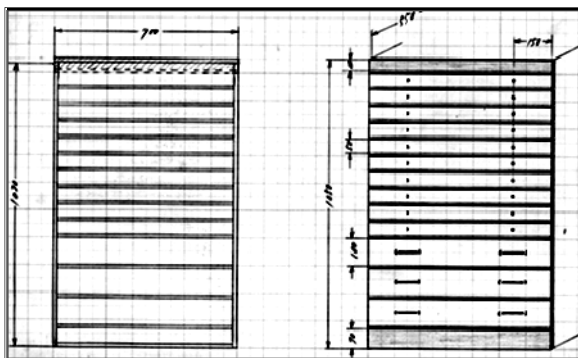
● 天ヶ瀬観測室坑道：光波測量基礎止め金具



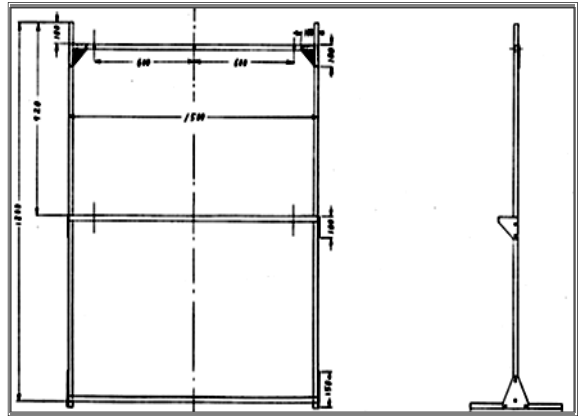
● 宮崎観測所：玄関靴箱設計製作 A



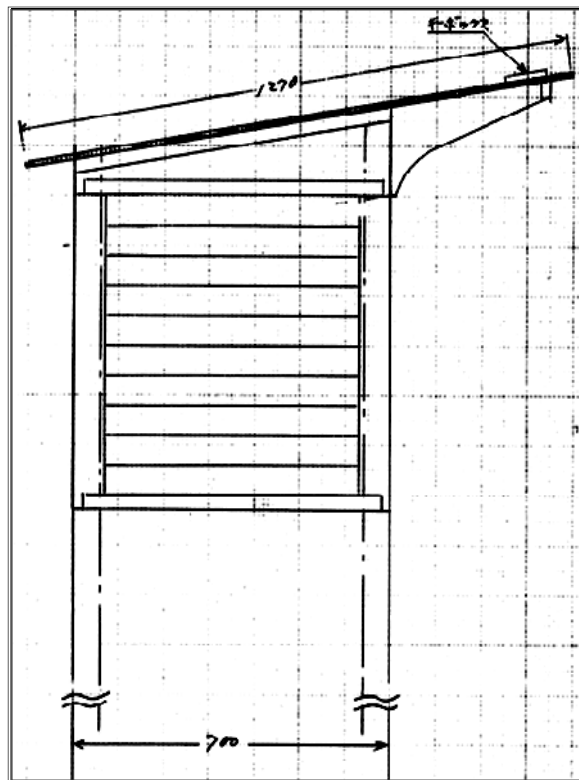
● 宮崎観測所：玄関靴箱設計製作 B



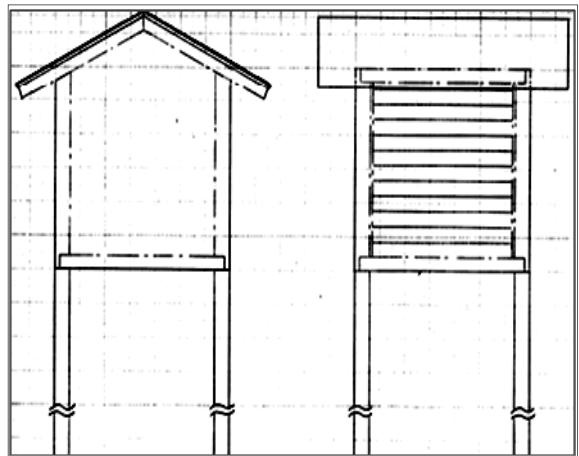
● 宮崎観測所：玄関靴箱設計製作 C



● 宮崎観測所：テレメータ用アクリル端子板

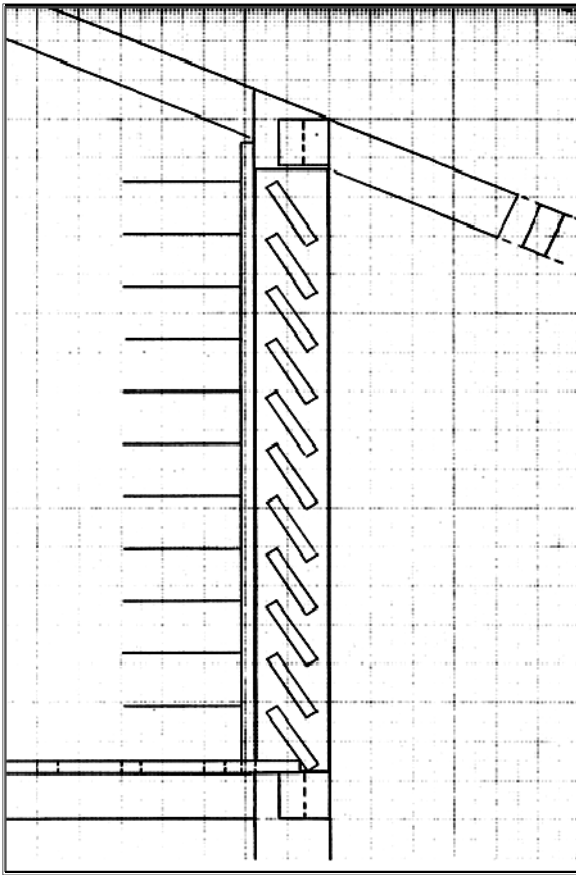


● 宮崎観測所：百葉箱設計製作全体図 A

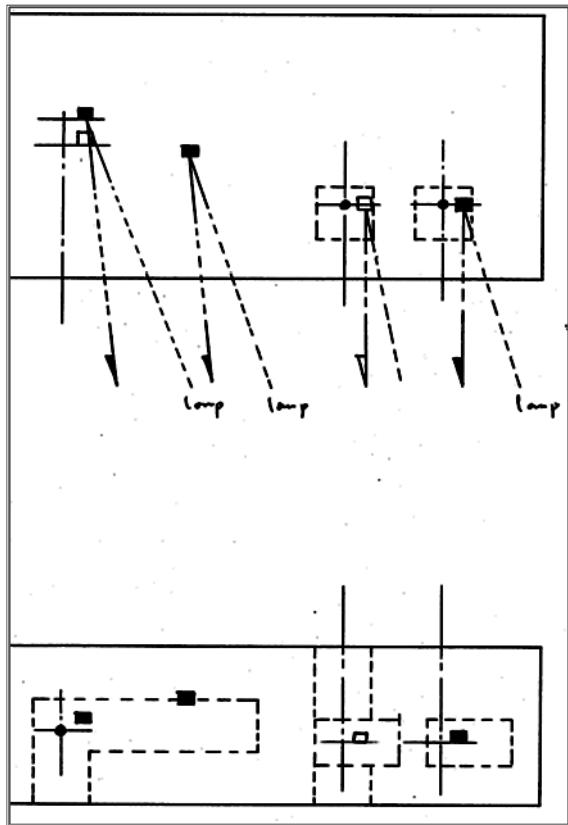


● 宮崎観測所：百葉箱設計製作全体図 B

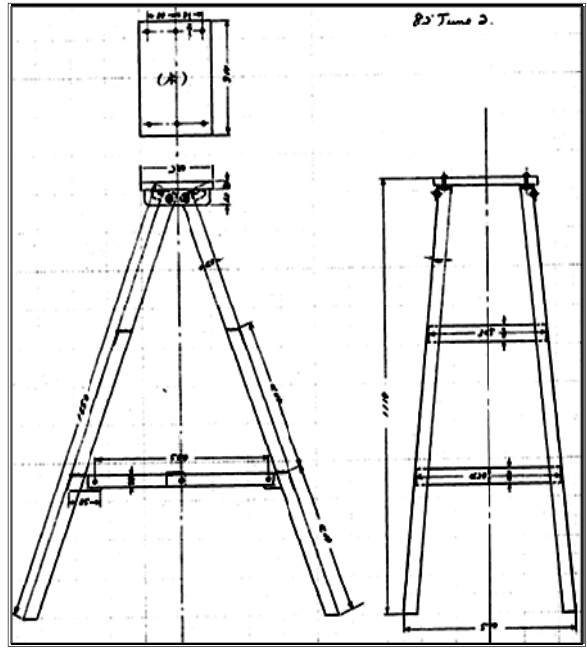




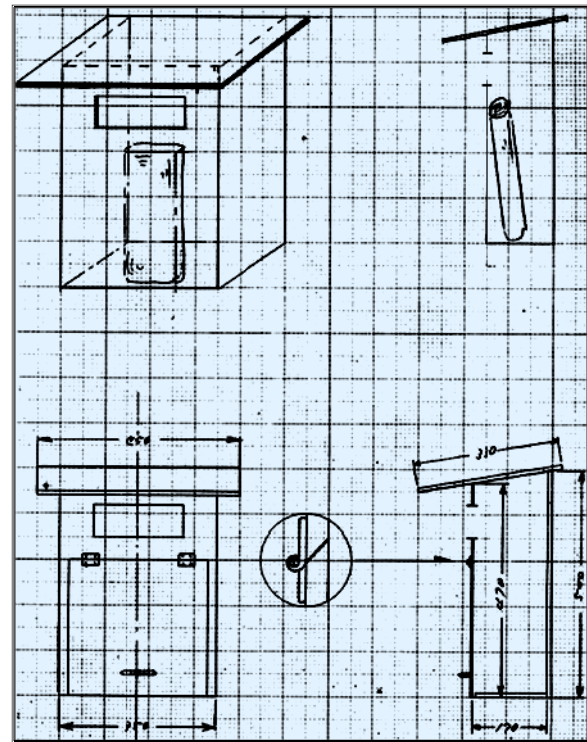
● 宮崎観測所：百葉箱設計製作全体図 C



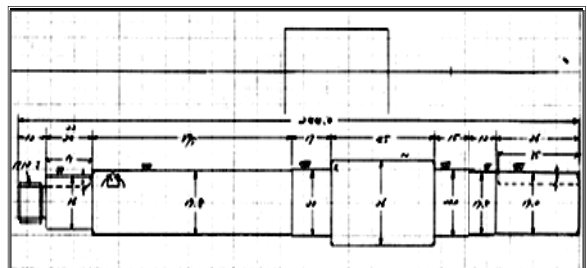
● 天ヶ瀬観測室：傾斜計光学記録ランプ配置図



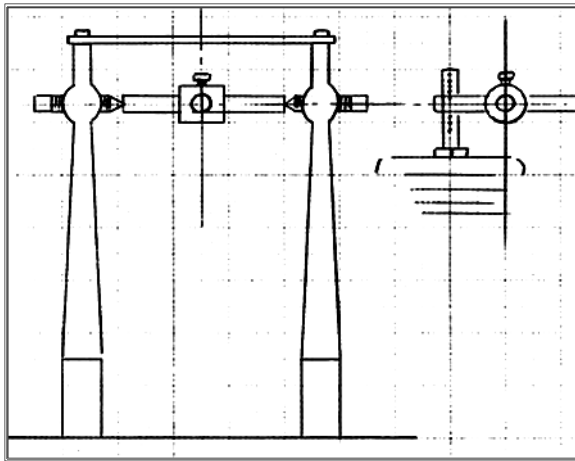
● 宮崎観測所：脚立設計製作全体図



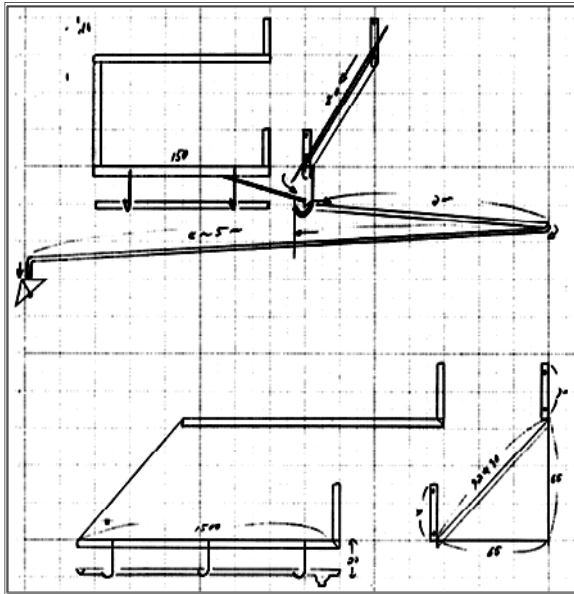
● 宮崎観測所郵便箱：全体がオールアルミ



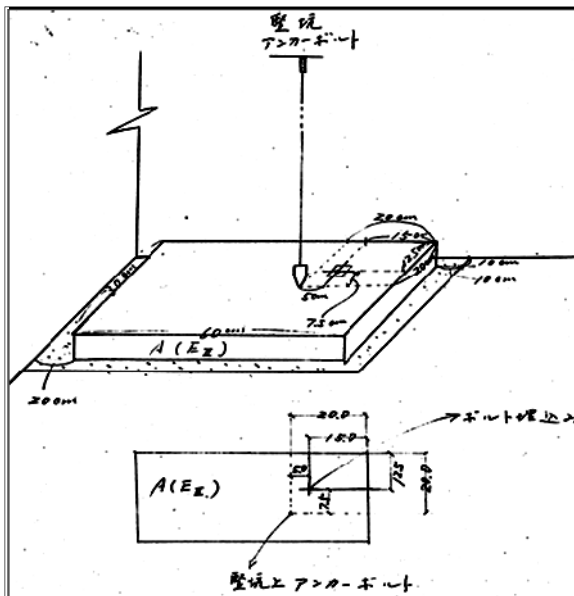
● 機械工作：回転軸の端を旋盤で加工



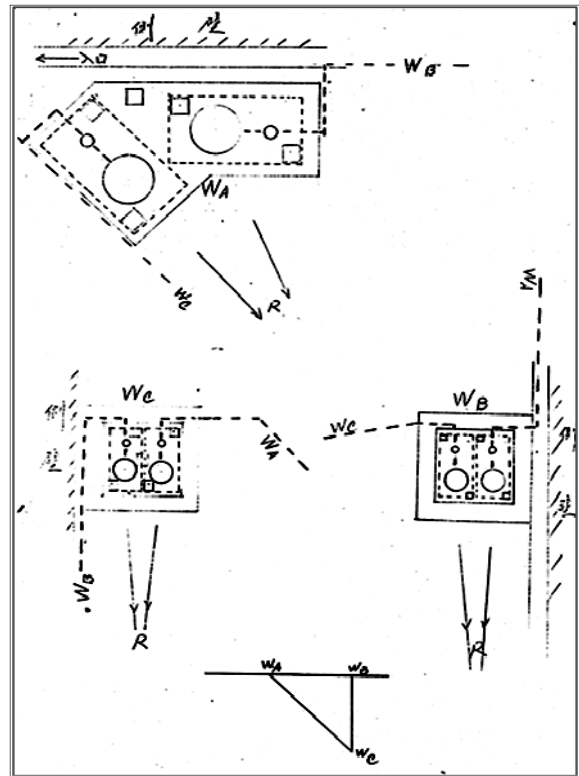
● 伸縮計センサー部ミラー固定設計製作



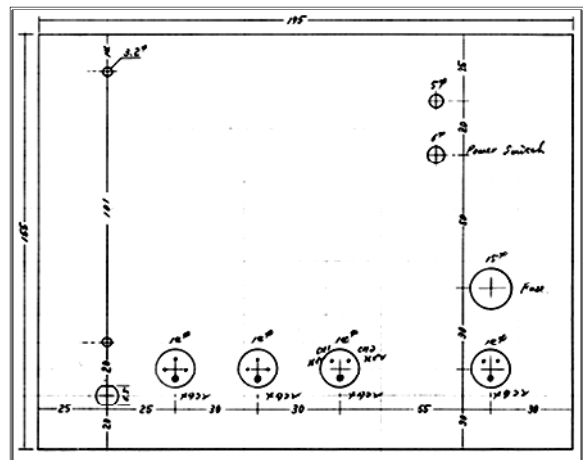
● 宮崎観測所坑内：縦抗水量観測湧水トイ製作



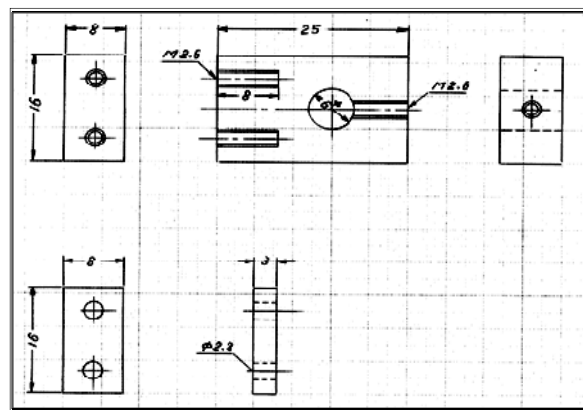
● 崎観測所坑道：縦抗伸縮計基礎台



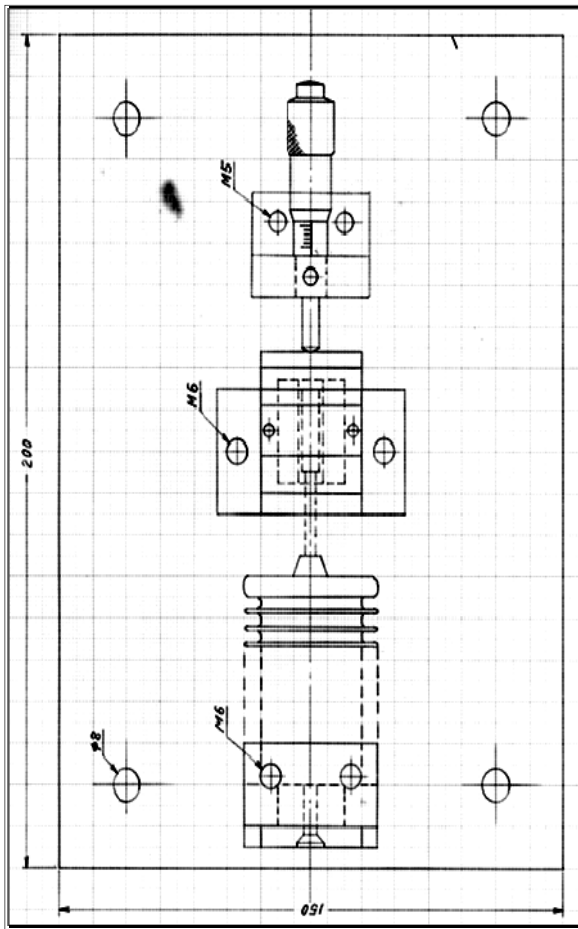
● 宮崎観測所坑道：水管傾斜計3成分配置図



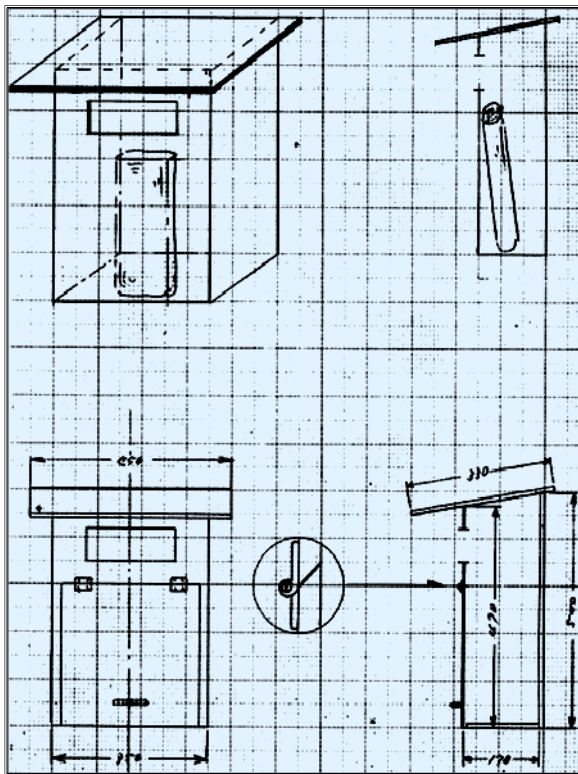
● 傾斜計センサー部差動トランスアンプ



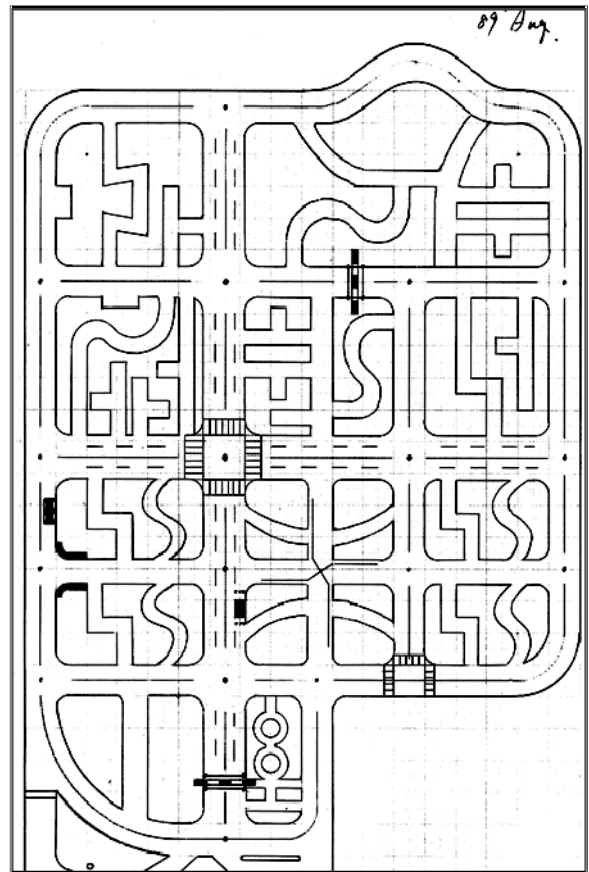
● スーパーインバール伸縮計：吊線止め金具



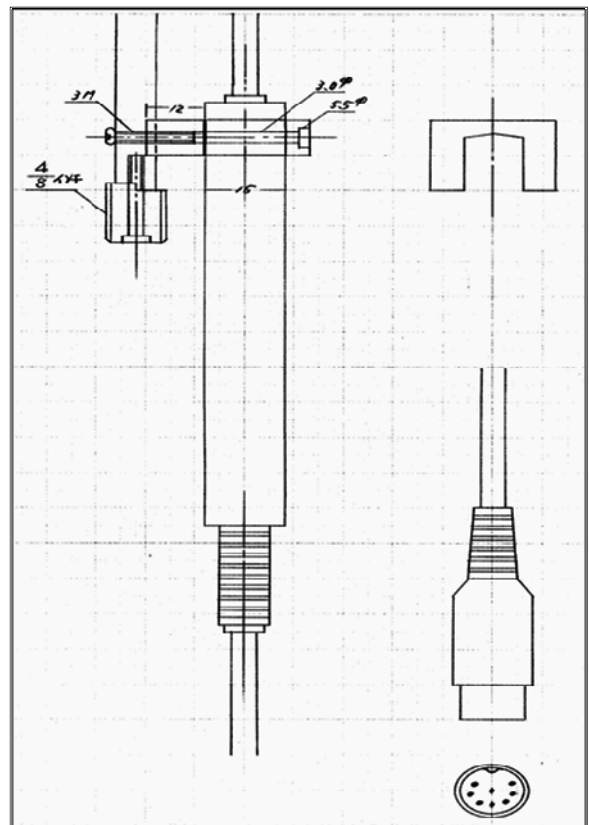
● 槇峰観測室坑道：ベローズ気圧計設計製作



● 郵便箱：全体をアルミニウムで製作

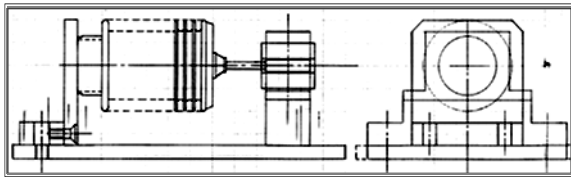


● 大型自動車免許取得の試験コース

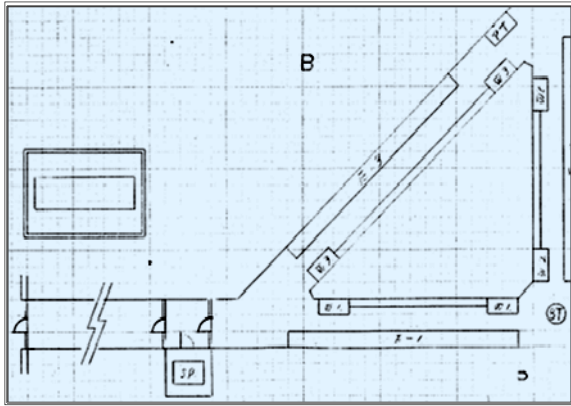


● 光波測量観測：ファン付温度計設計製作

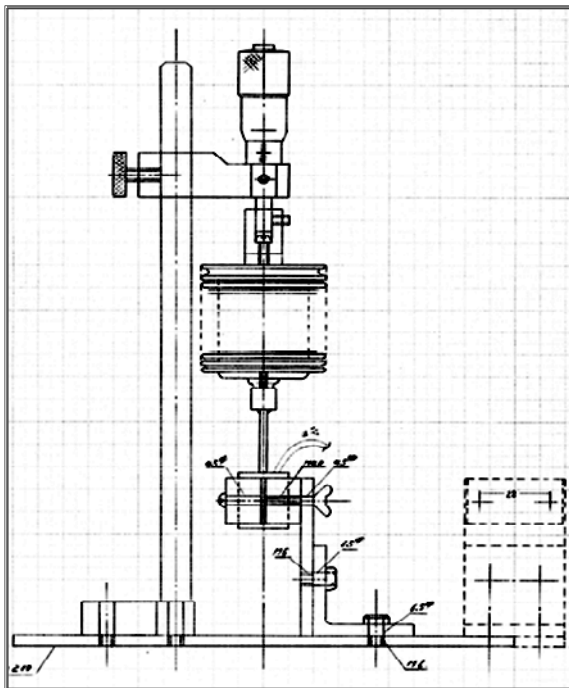




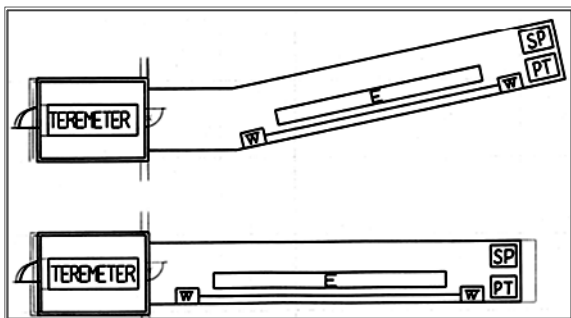
● 坑道内設置のベローズ気圧計 (2)



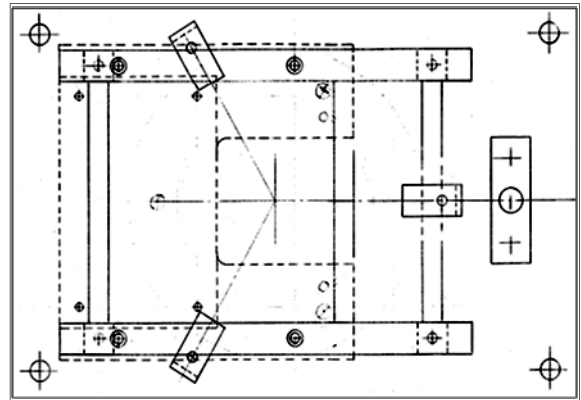
● 伊佐観測室坑道：伸縮計・傾斜計配置図



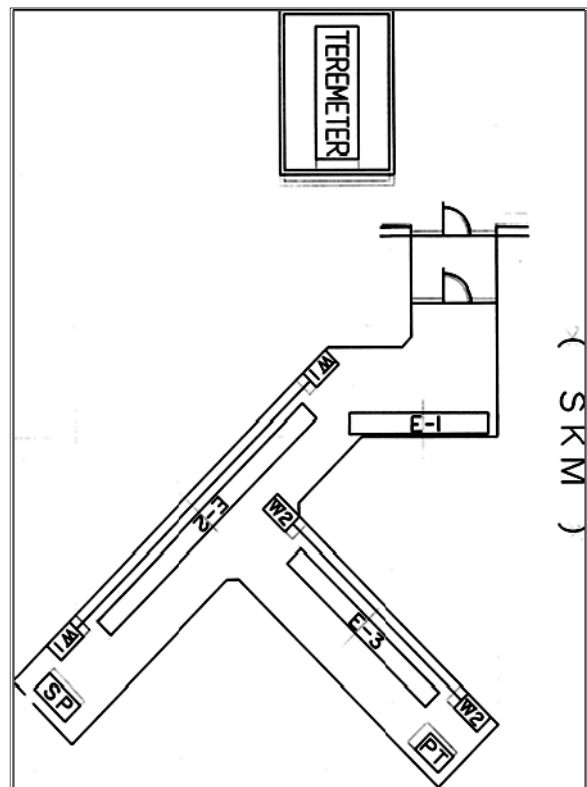
● 槇峰観測室：ベローズ気圧計・差動トランス



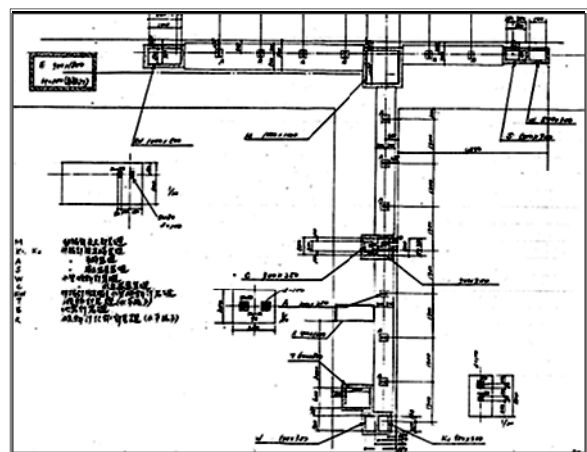
● 高城・串間観測室坑道：伸縮計傾斜計配置



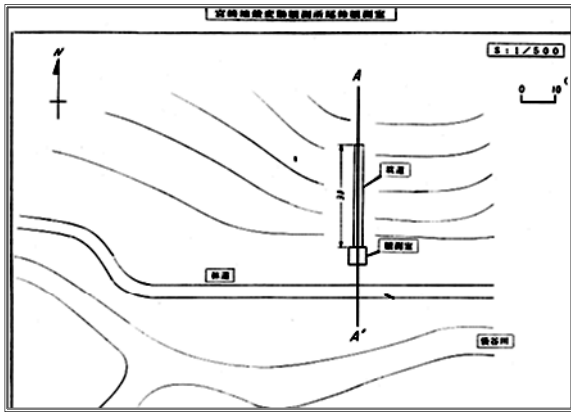
● 水管傾斜計センサー部：基板・支柱



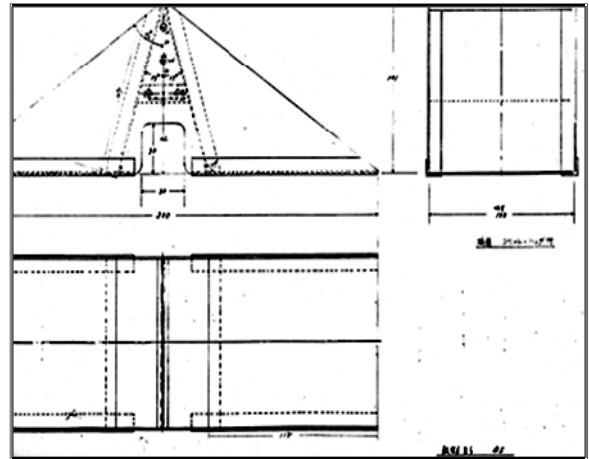
● 宿毛観測室：坑道：全体見取図



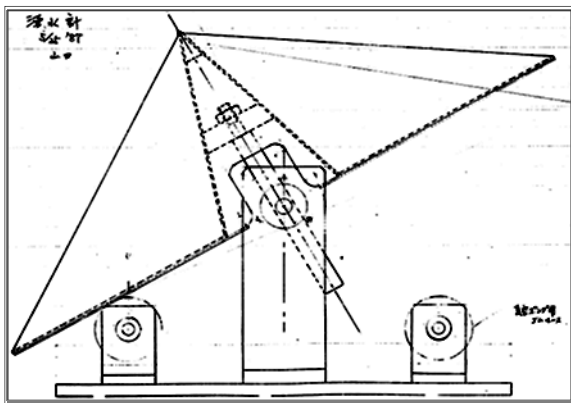
● 宿毛観測室坑道：坑道 2 成分詳細図面



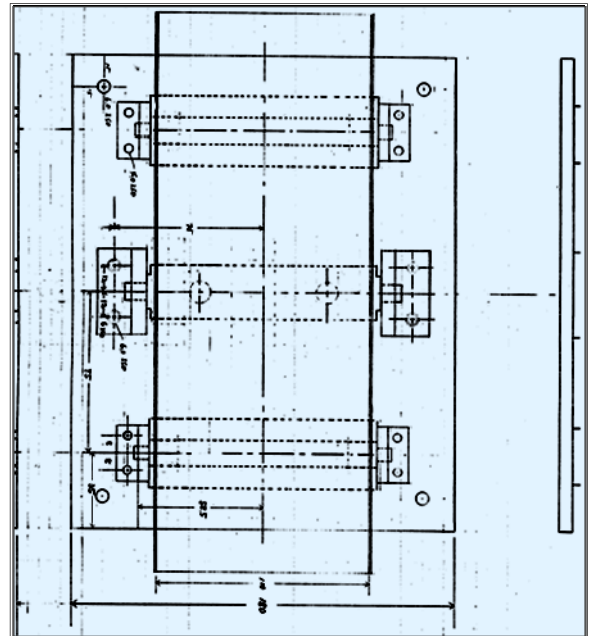
● 串間観測室と坑道：林道横山の斜面に掘削



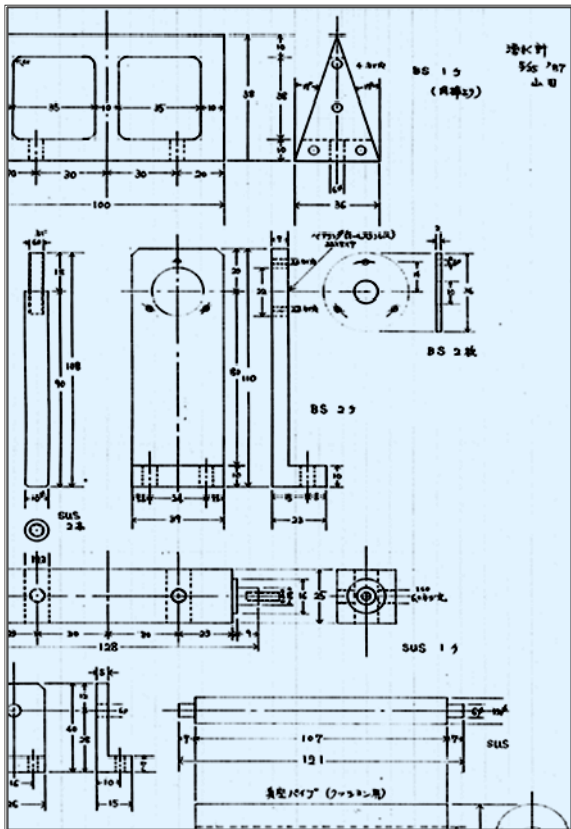
● 伊佐観測室坑道：湧水計・リードスイッチ



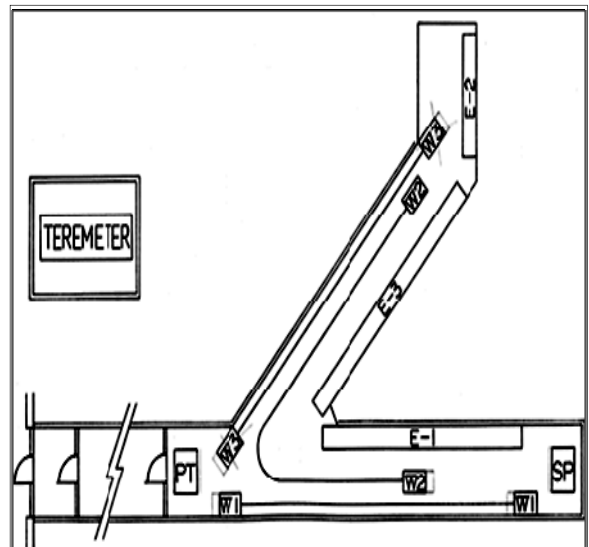
● 伊佐観測室坑道：湧水マス単独正面図



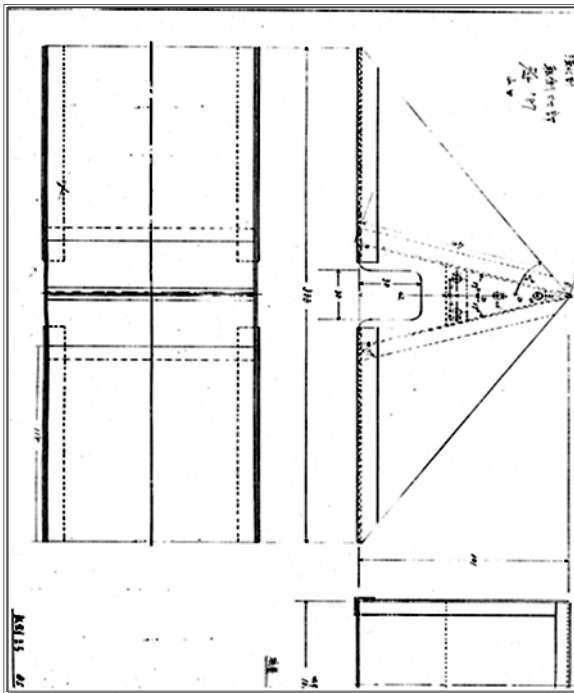
● 伊佐観測室坑道：湧水計基板平面図



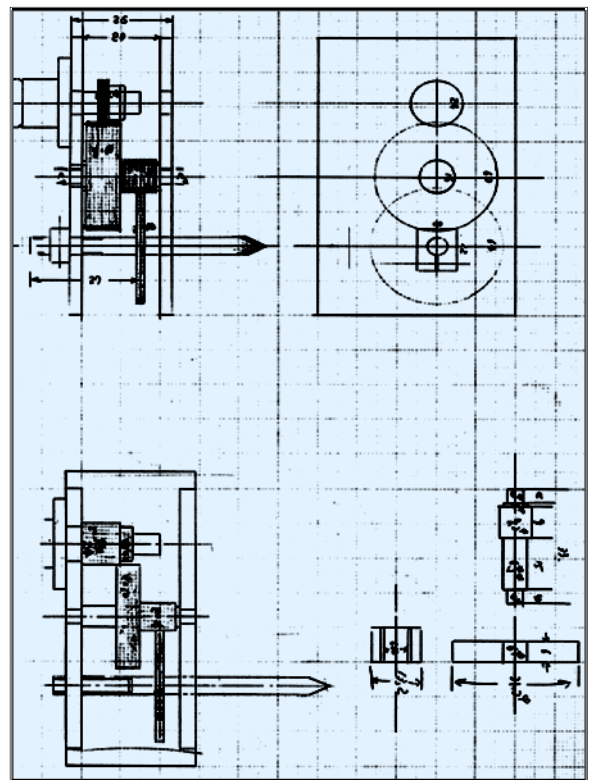
● 伊佐観測室坑道：湧水マス関係部品群



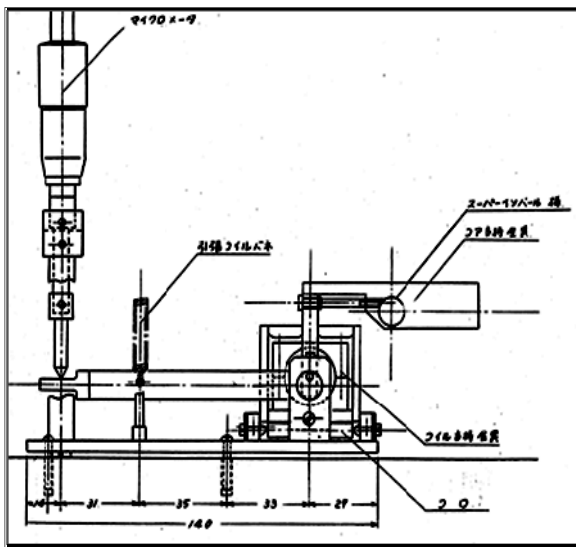
● 槇峰観測室坑道：地震地殻変動観測計器配置



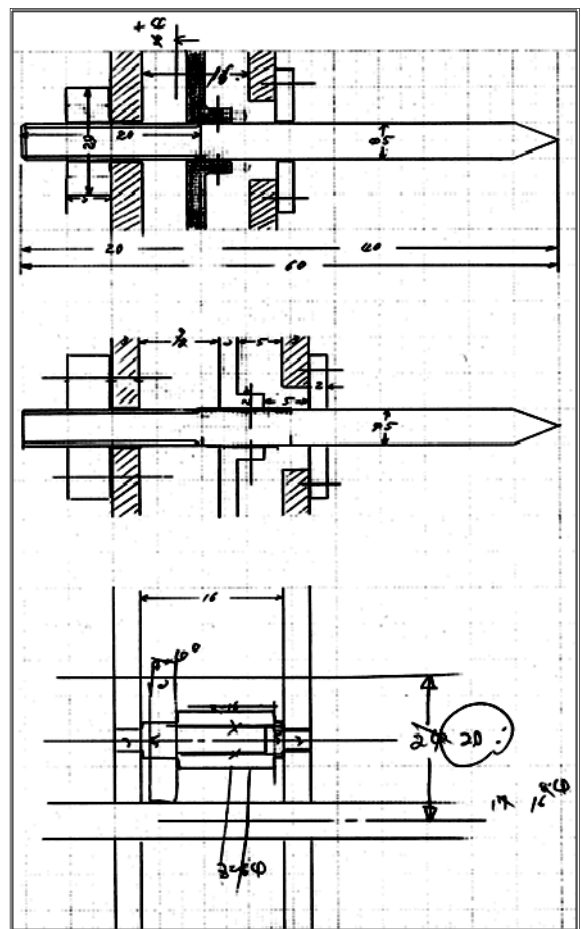
● 伊佐観測室坑道：リードスイッチ式湧水計



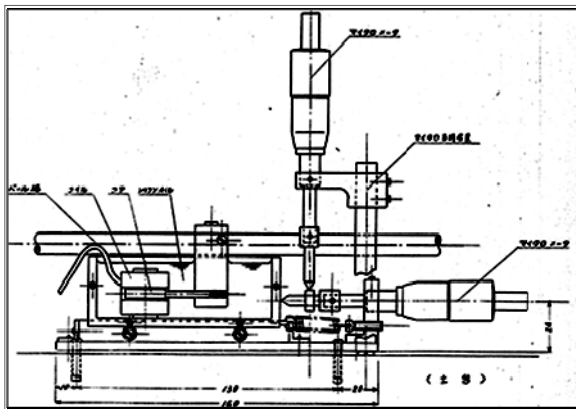
● 伸縮計調整用変速ギヤ試作品



● 伸縮計センサー差動トランスマイクロ正面図

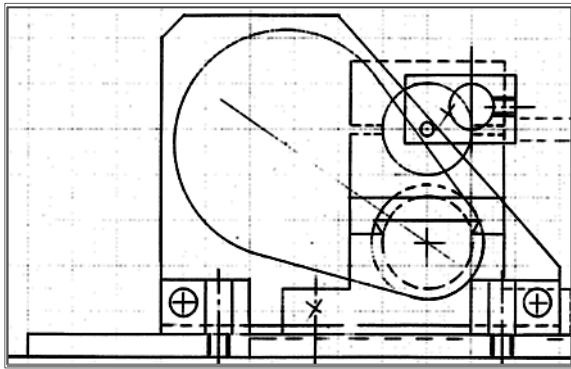


● 伸縮計調整用変速ギヤ試作品拡大

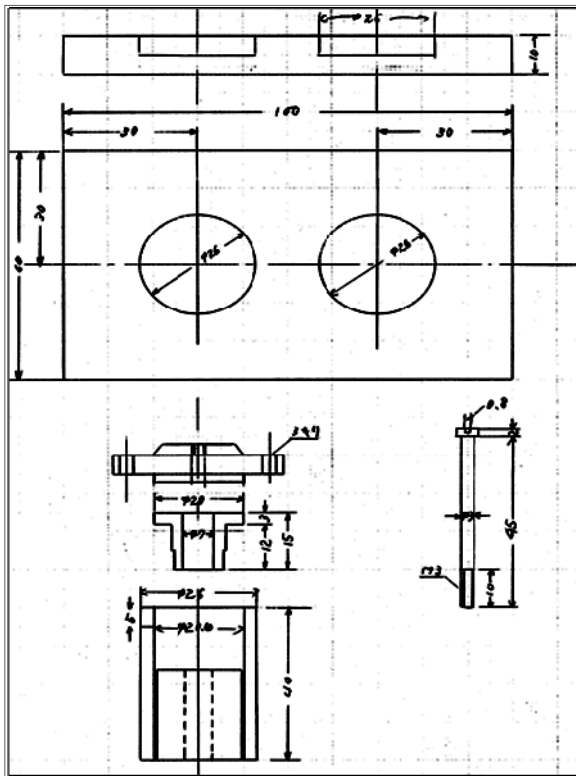


● 伸縮計センサー差動トランスマイクロ側面

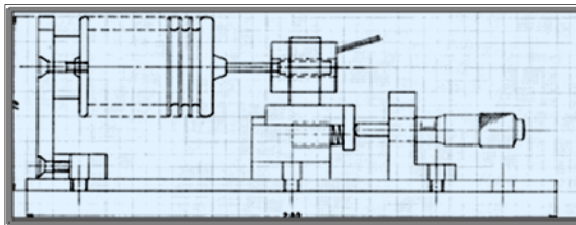




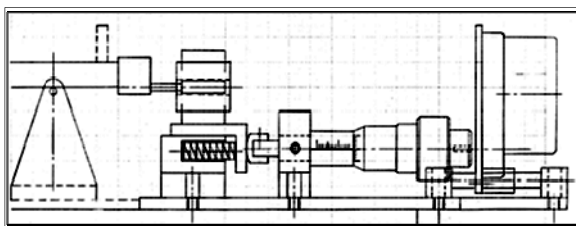
● 伸縮計センサー部パルスモーター起動部



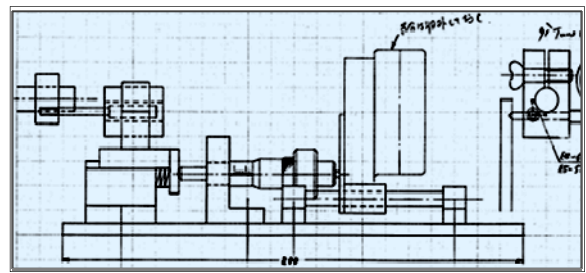
● 伸縮計調整用変速ギヤ部マイクロ保持金具



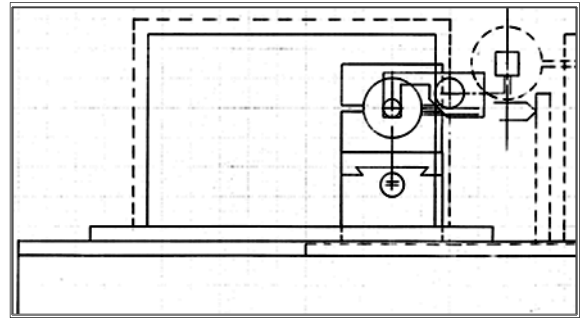
● 宮崎観測所坑道：ベローズ気圧計スライド



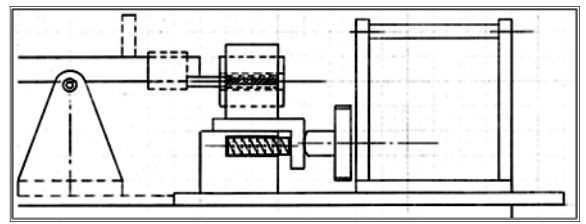
● 伸縮計：差動トランス・スライド・マイクロ



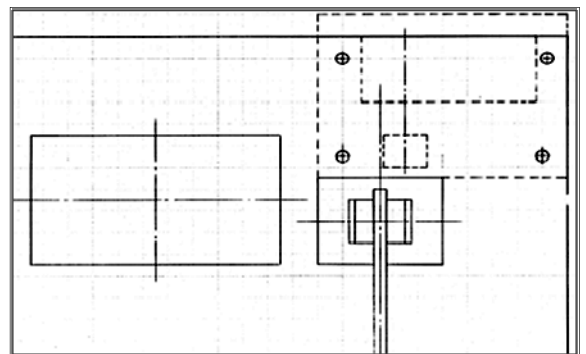
● 伸縮計センサー部パルスモーター側面図



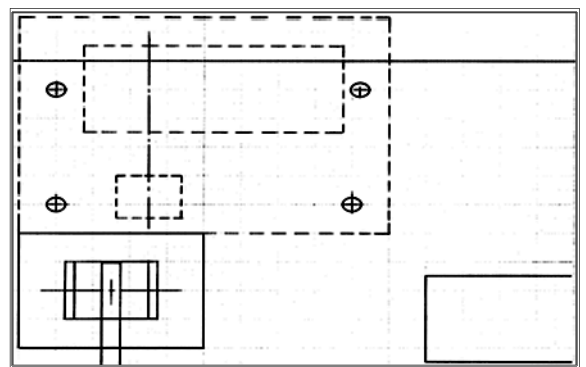
● 伸縮計：差動トランス固定 XY ステージ



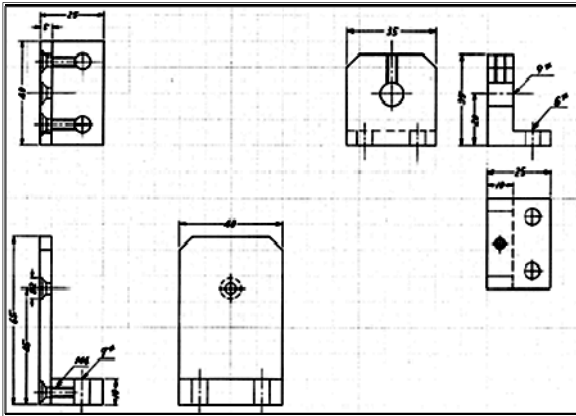
● 伸縮計：差動トランス固定 XY ステージ



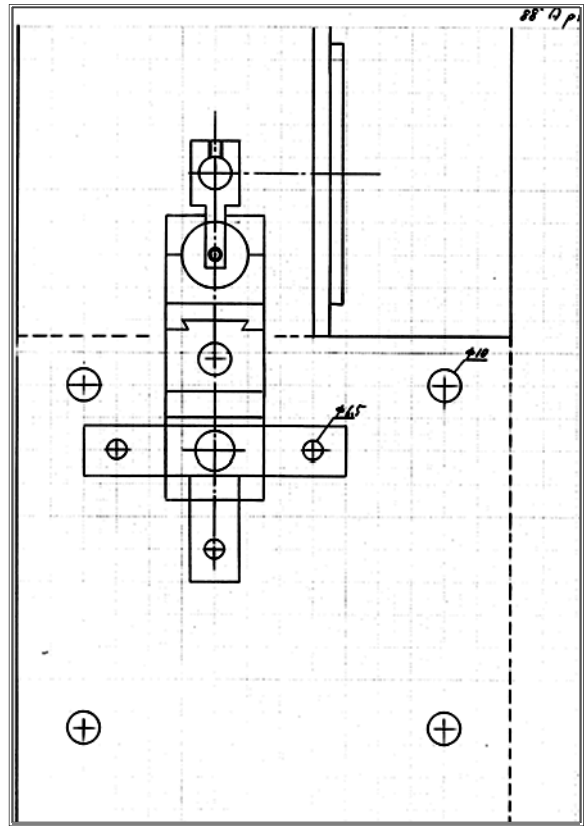
● 伸縮計：差動トランス固定 XY ステージ



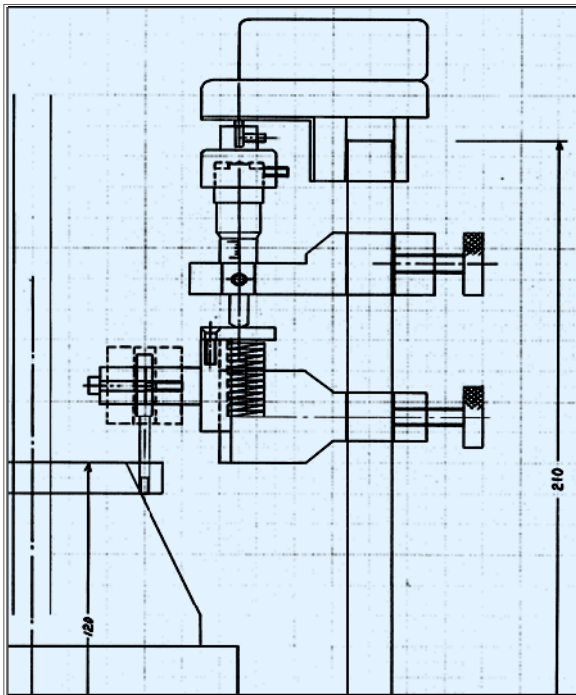
● 伸縮計：差動トランス固定 XY ステージ



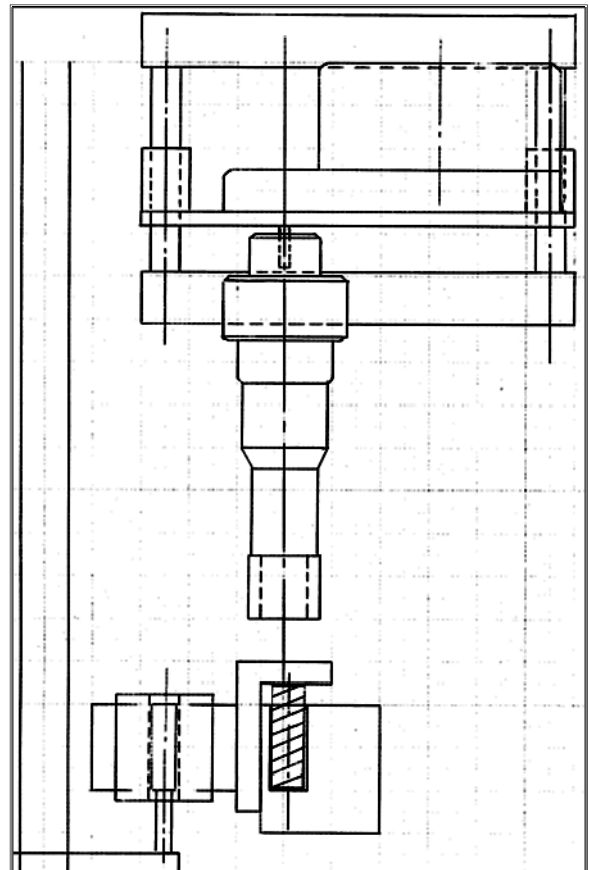
● スーパーインバール伸縮計ケース止め金具



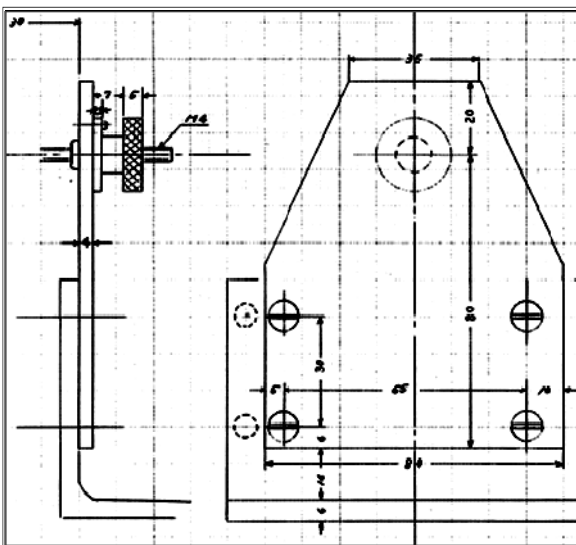
● 宮崎観測所坑道：立坑伸縮計スライド部



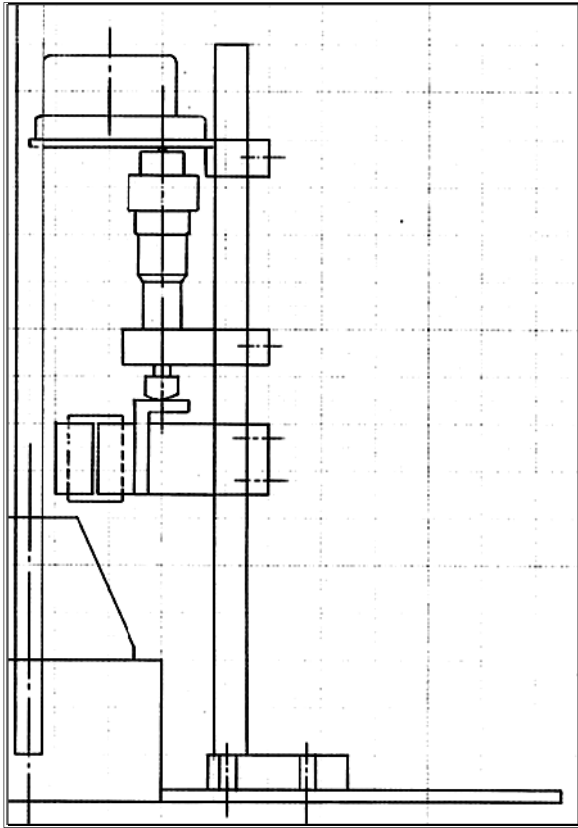
● 宮崎観測所坑道：立坑伸縮計スライド部



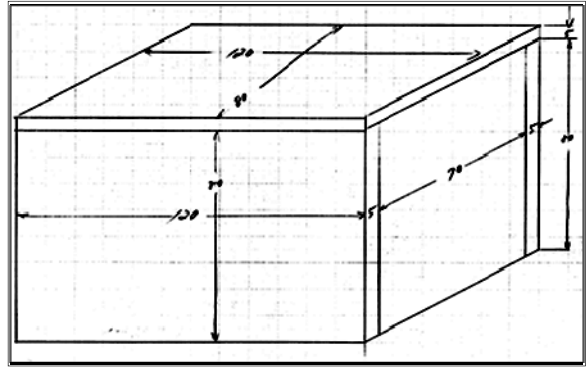
● 宮崎観測所坑道：立坑伸縮計スライド部



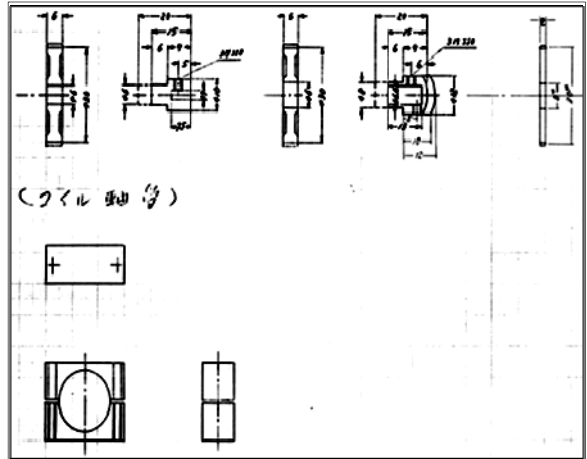
● 宮崎観測所坑道：立坑伸縮計センサー部



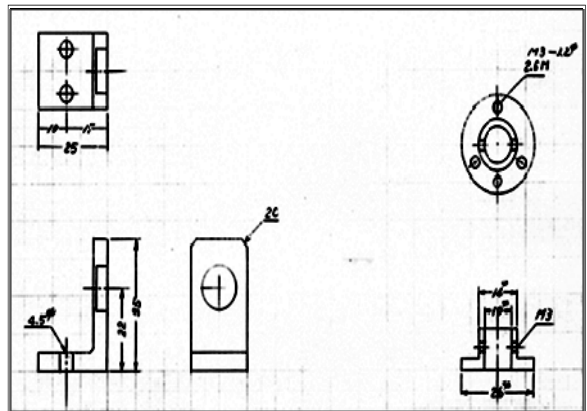
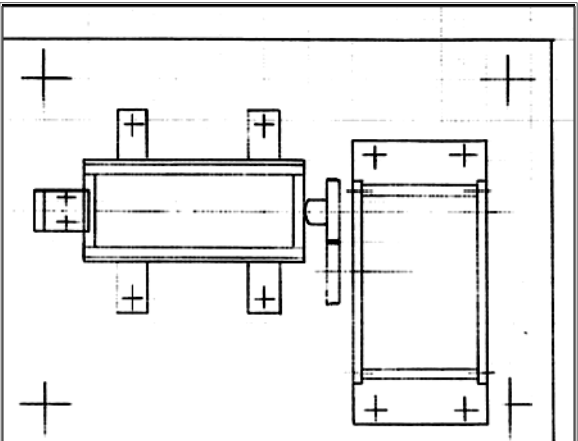
● 宮崎観測所坑道：立坑伸縮計スライド部



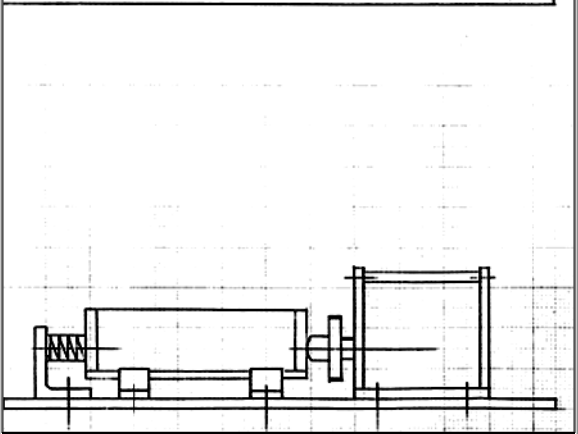
● 水管傾斜計パルスモーターアクリルカバー



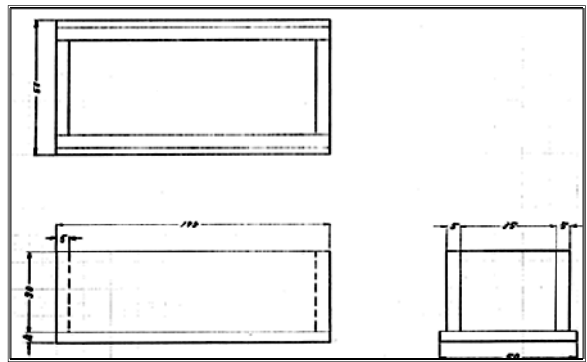
● パルスモーター連結変速ギヤー・コイル固定



● 伸縮計：マイクロメータ固定金具

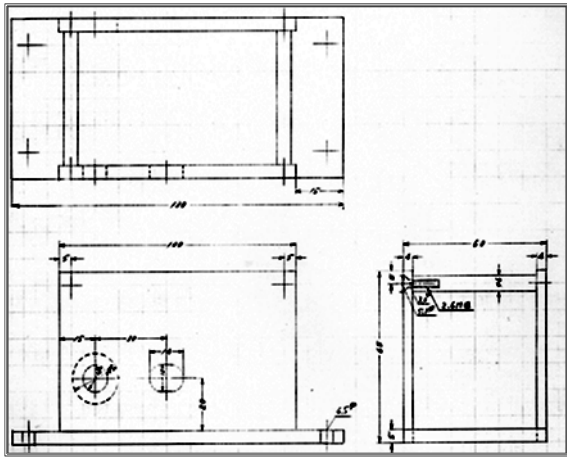


● 伸縮計センサー部アクリルケース・連結歯車

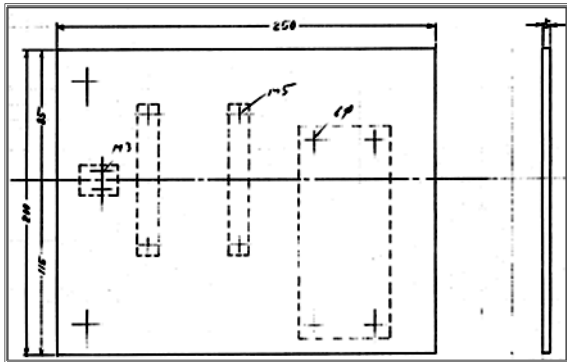


● 伸縮計：シリコン液注入アクリルケース

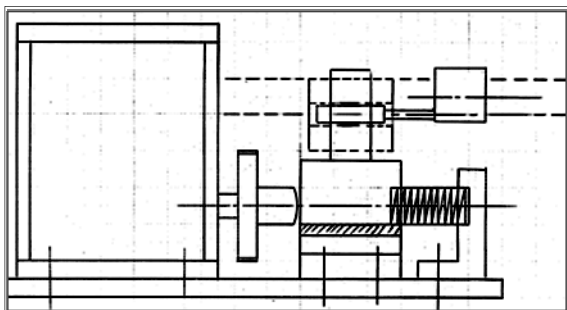




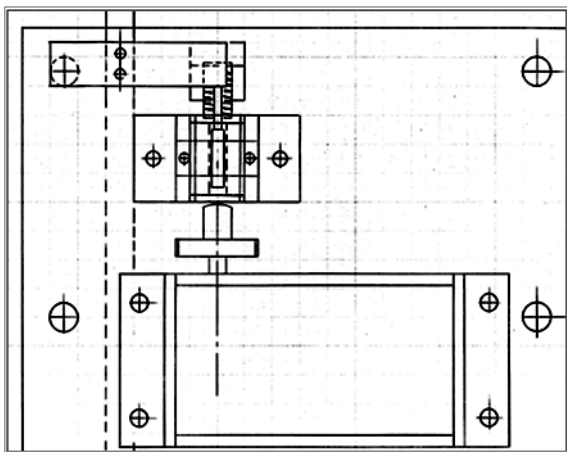
● 伸縮計：マイクロメータ変速ギヤカバー



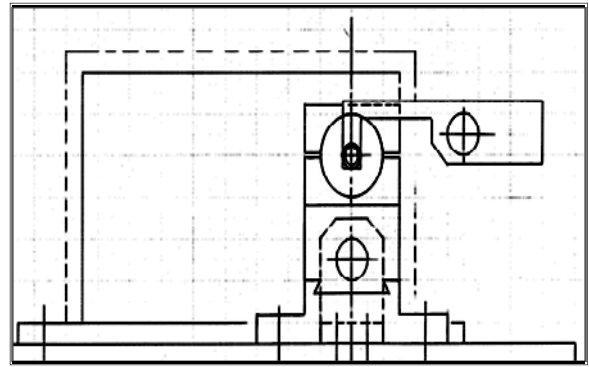
● 伸縮計：マイクロメータ変速ギヤ部基板



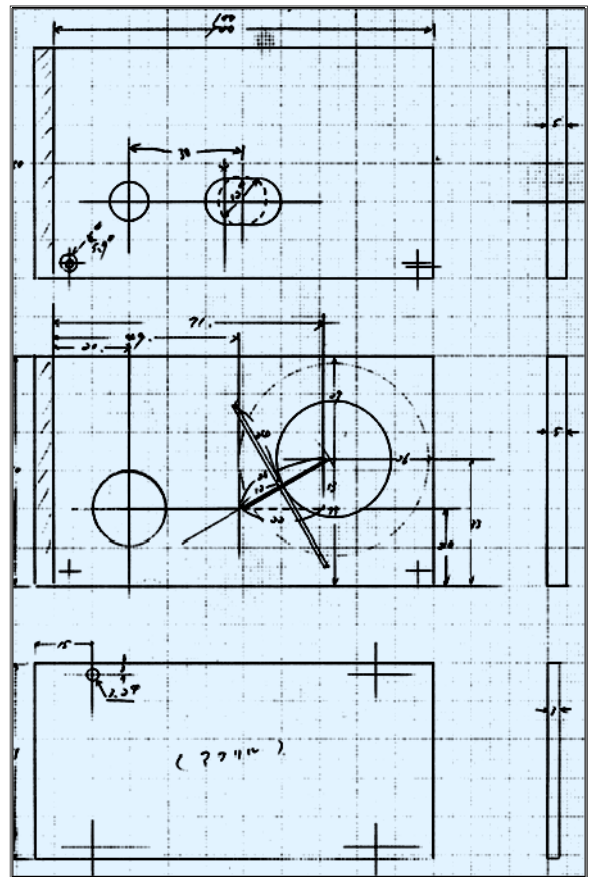
● 伸縮計センサー部：差動トランス側面図



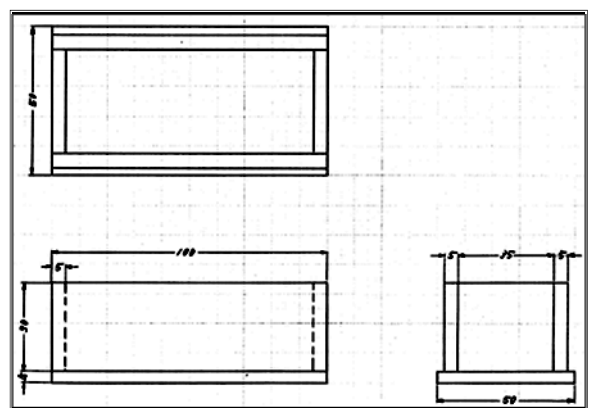
● 伸縮計センサー部：全体図



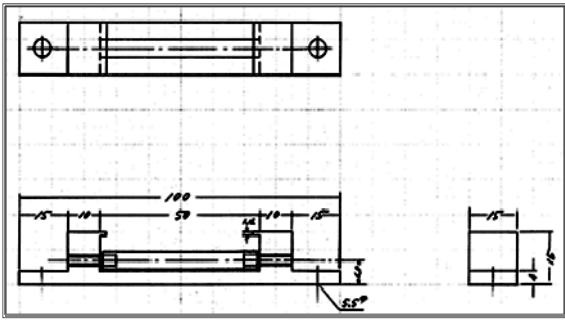
● 伸縮計センサー部：差動トランス



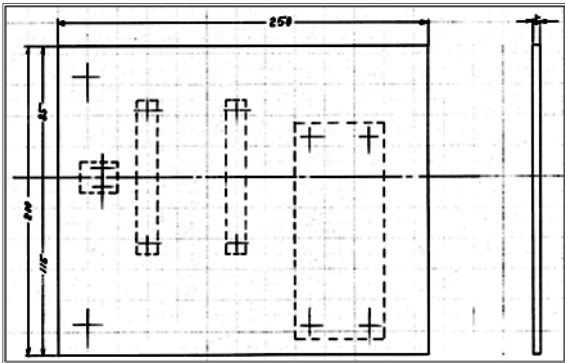
● 伸縮計：マイクロメータ変速ギヤ部基板



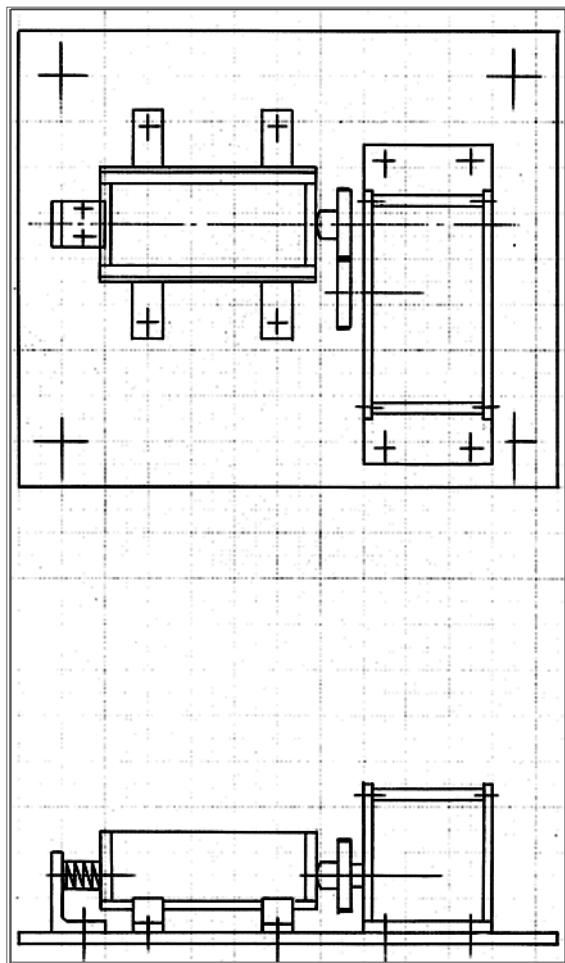
● 伸縮計：アクリルケース



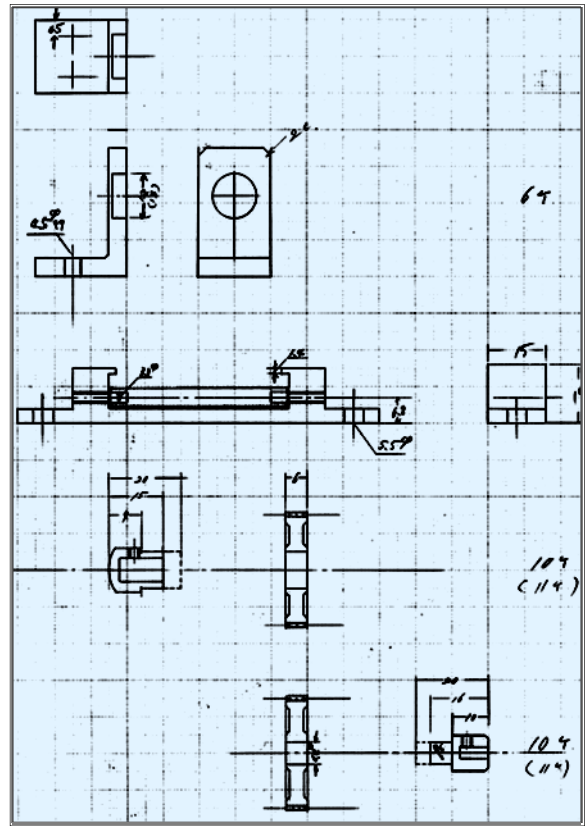
● 伸縮計センサー部：アクリルケース軸受



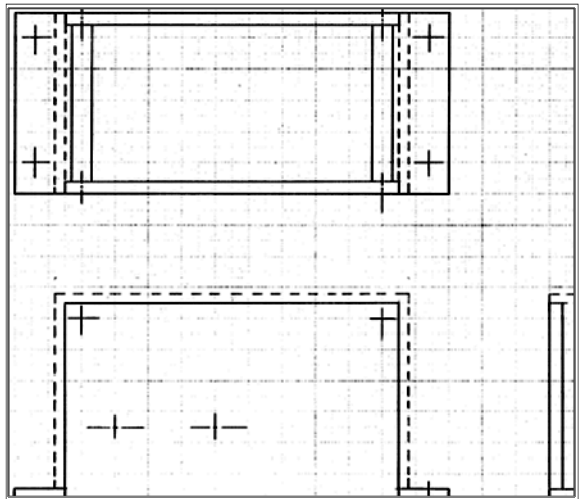
● 伸縮計センサー部：ステンレス基板配置図



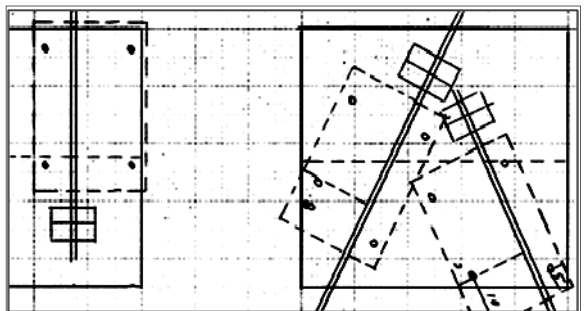
● 伸縮計センサー部全体側面図



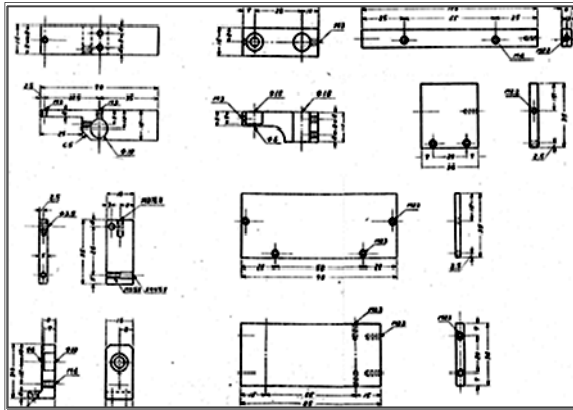
● 伸縮計センサー部：ケース軸受・歯車バネ受



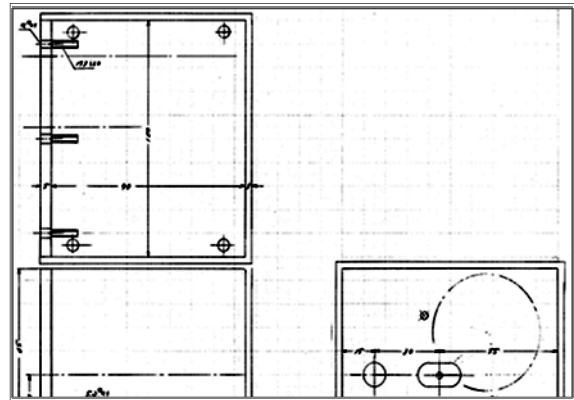
● 伸縮計センサー部：ケース軸受・全体図



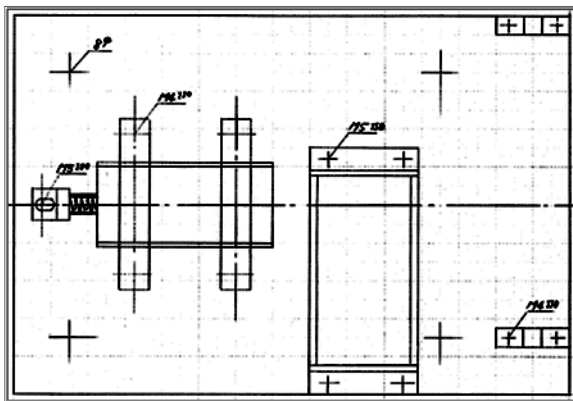
● 槇峰観測室坑道：伸縮計基礎台基板配置図



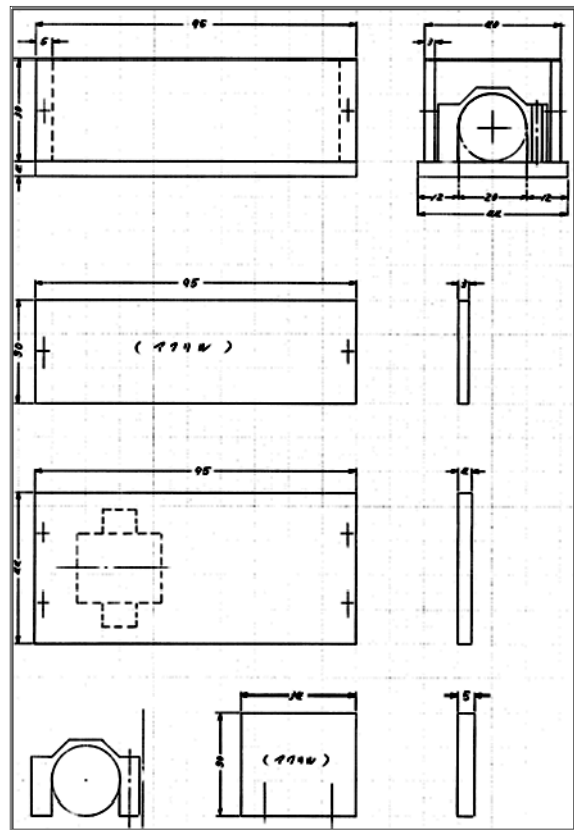
● 伸縮計センサー部品図：ケース軸受・ケース



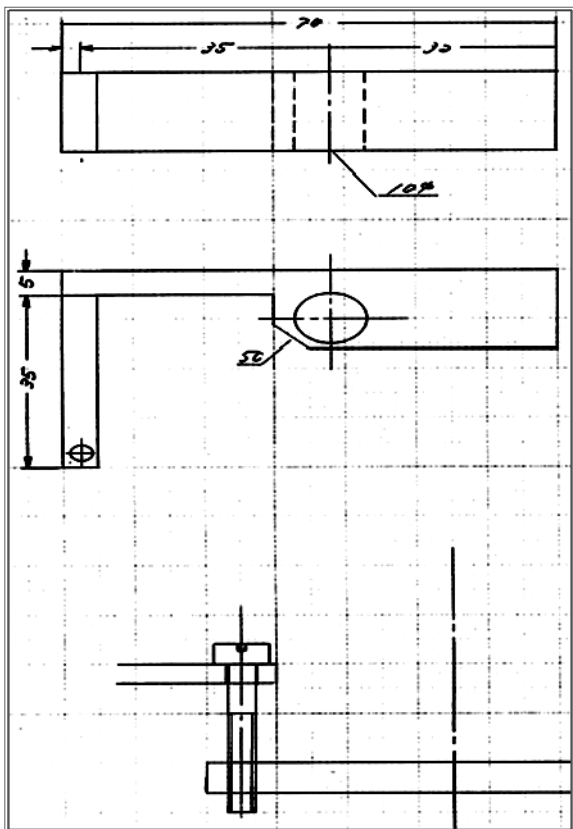
● 伸縮計センサー部：マイクロ変速ギヤ基板



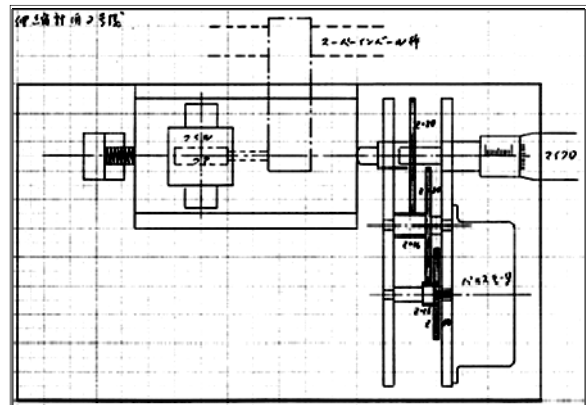
● 伸縮計センサー部：基板センサー部品配置図



● 伸縮計センサー部：ケース・コイル固定図



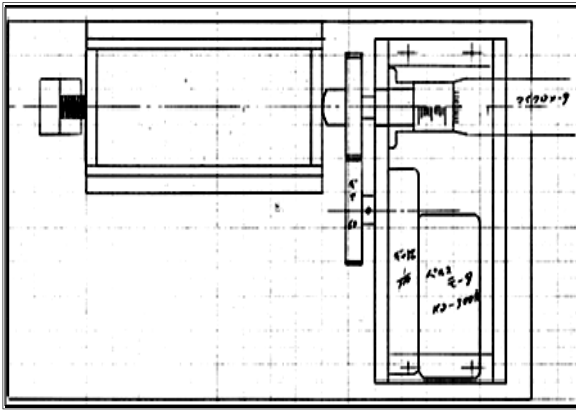
● 伸縮計センサー部：差動トランスコア固定



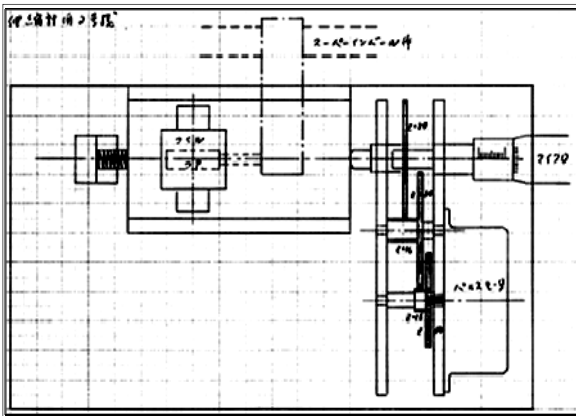
● 伸縮計センサー部：パルスモーター



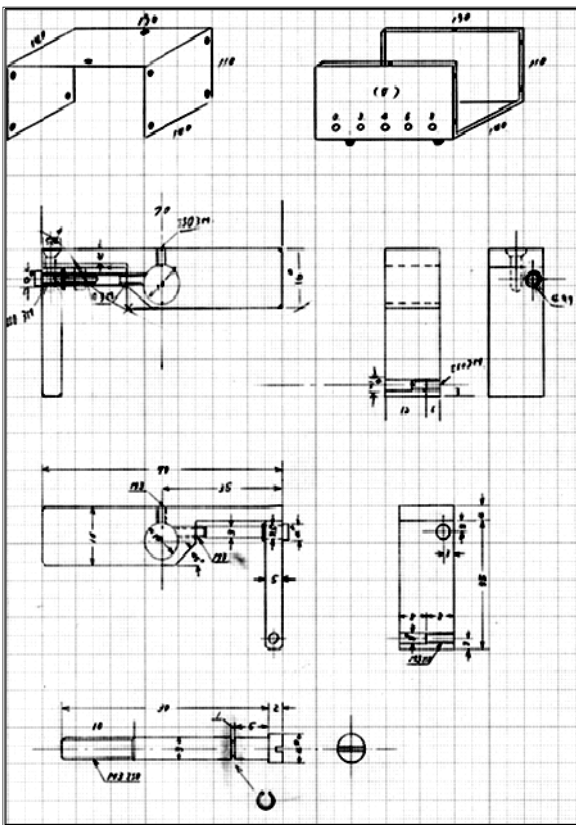




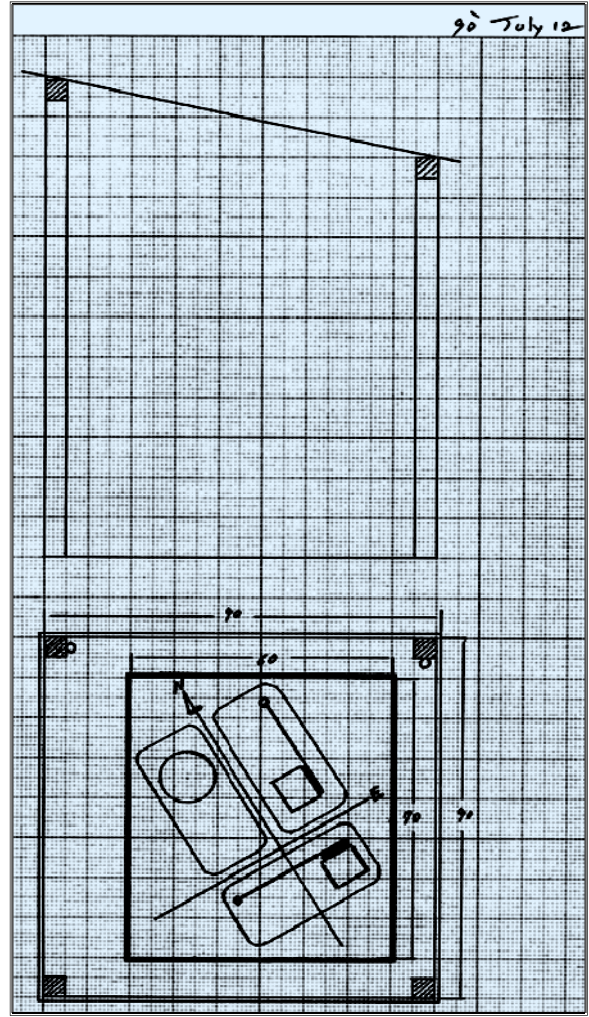
● 伸縮計センサー部：マイクロメータ関係部



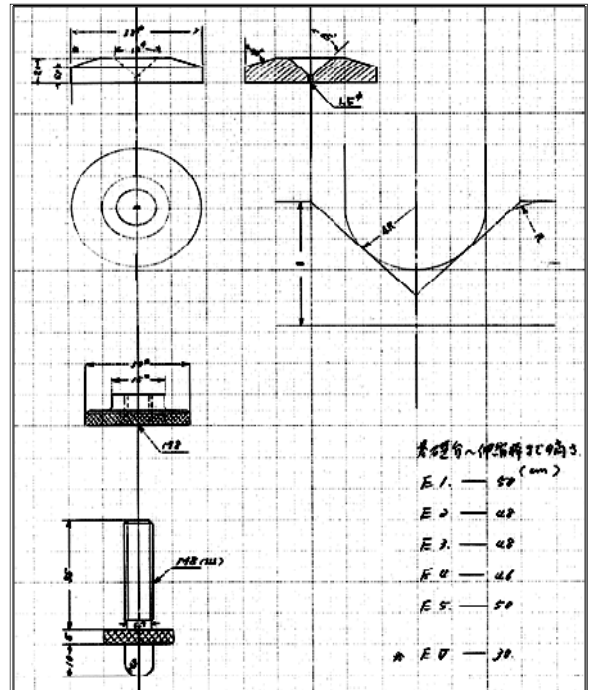
● 伸縮計センサー部：マイクロメータギヤ部



● 伸縮計：差動トランスコア取り付け金具関係図



● 椎葉観測点地震計設置基礎台・観測小屋

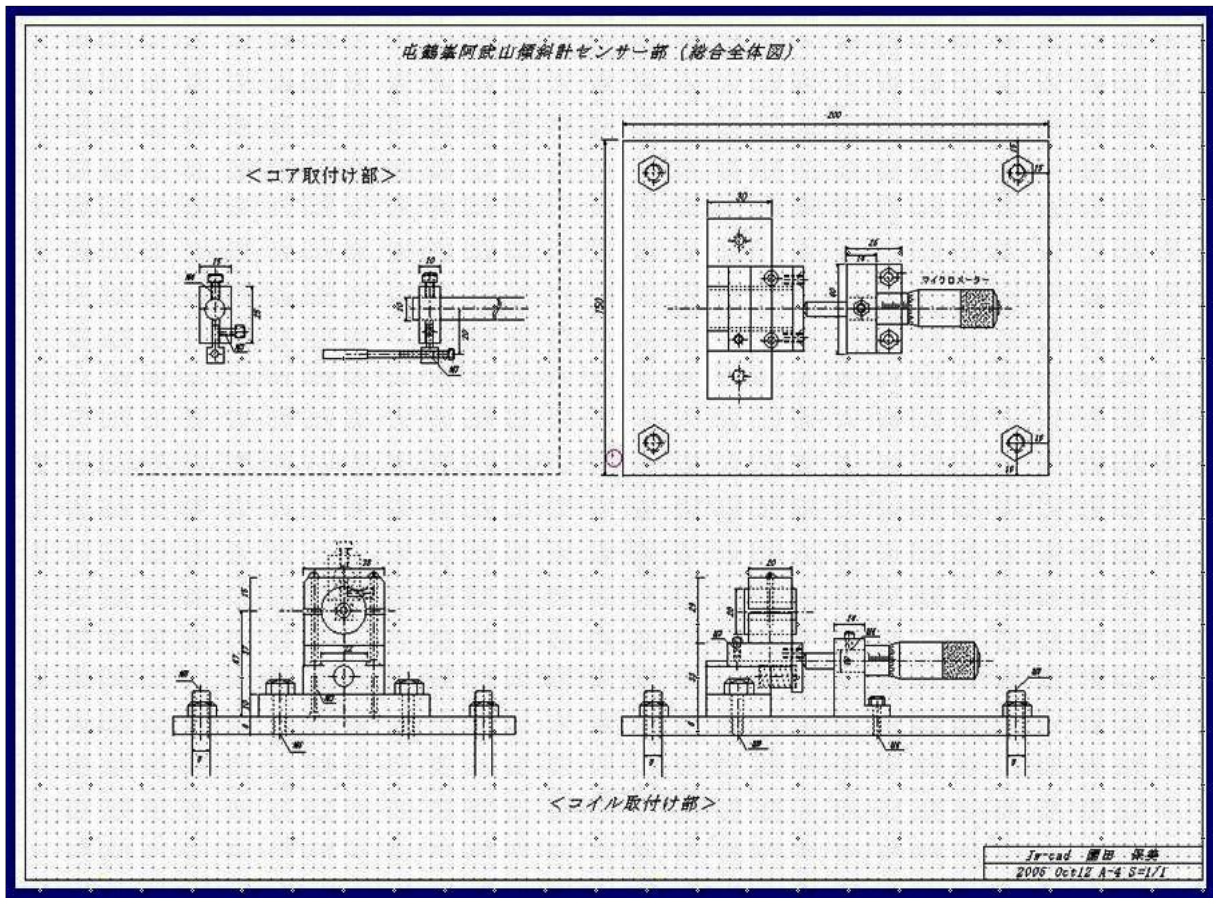


● 短周期地震計・傾斜計調整ボルト受け皿

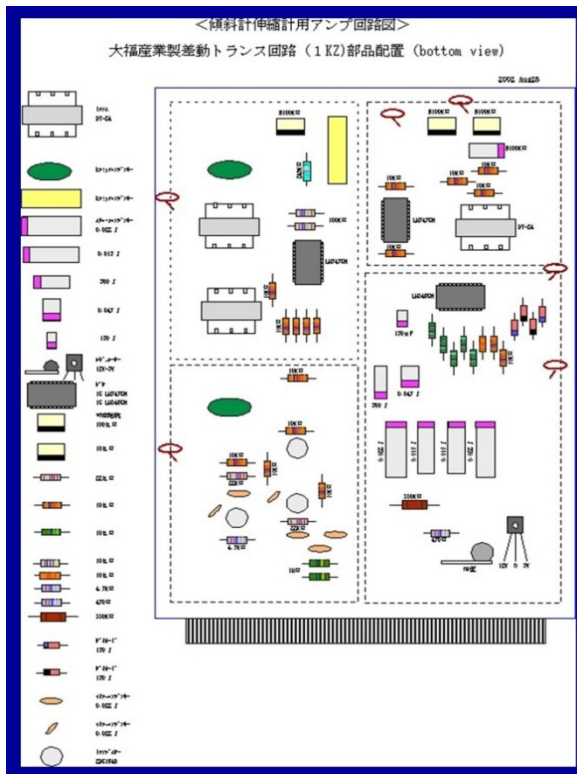




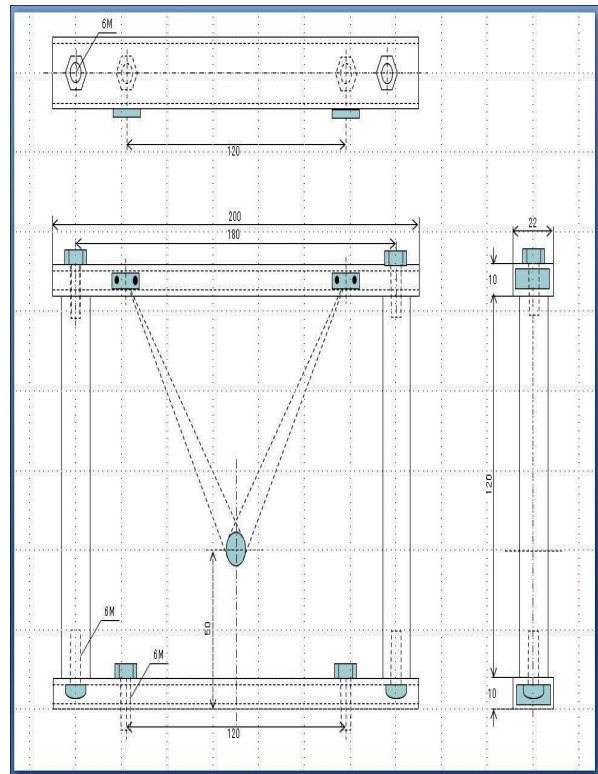




● Mini Cad で作図した屯鶴峯・阿武山観測所伸縮計センサー部：総合全体図



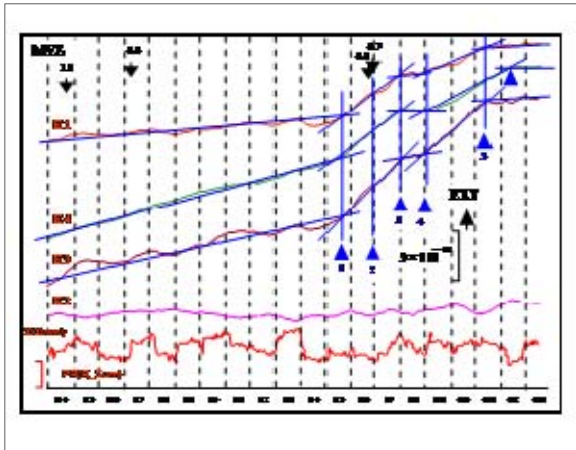
● Mini Cad で作図したアンプ回路図



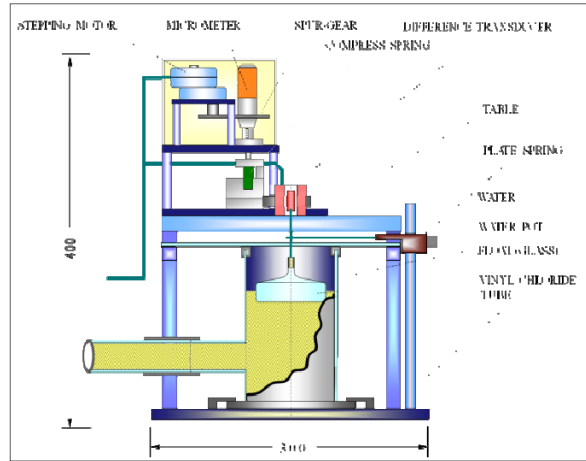
● スーパーインバール傾斜計吊り枠



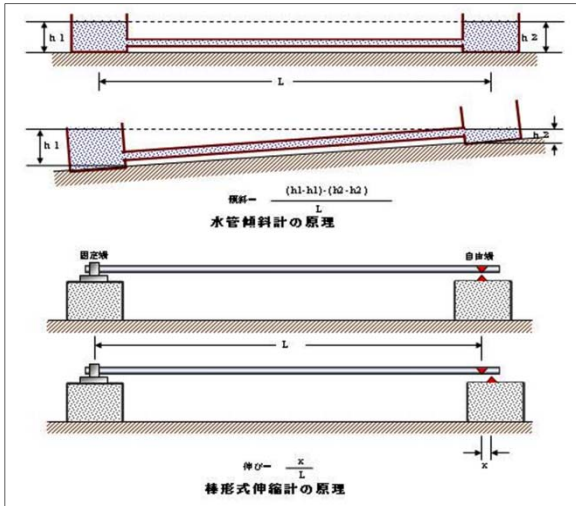




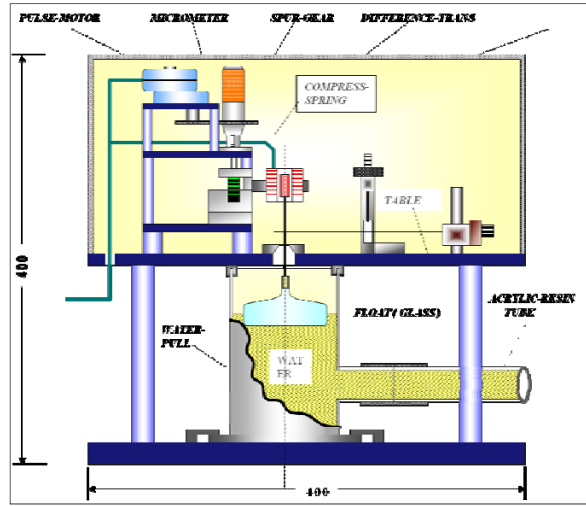
● 宮崎観測所地殻変動観測データ作図



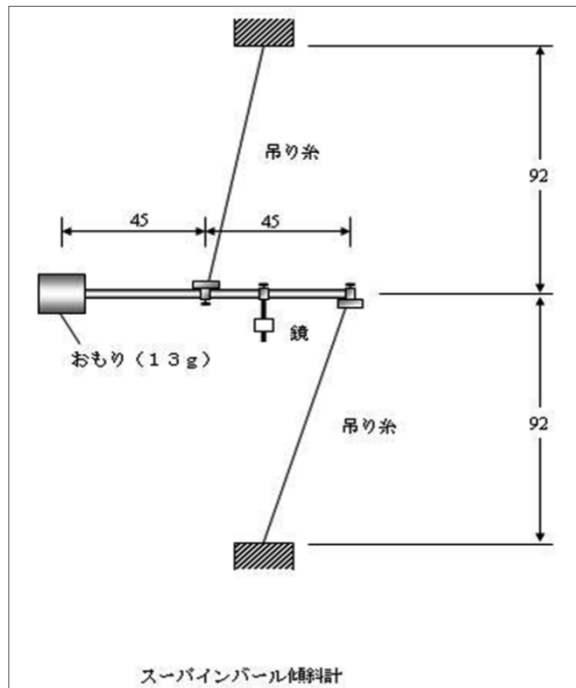
● 水管傾斜計センサー部：差動トランス型



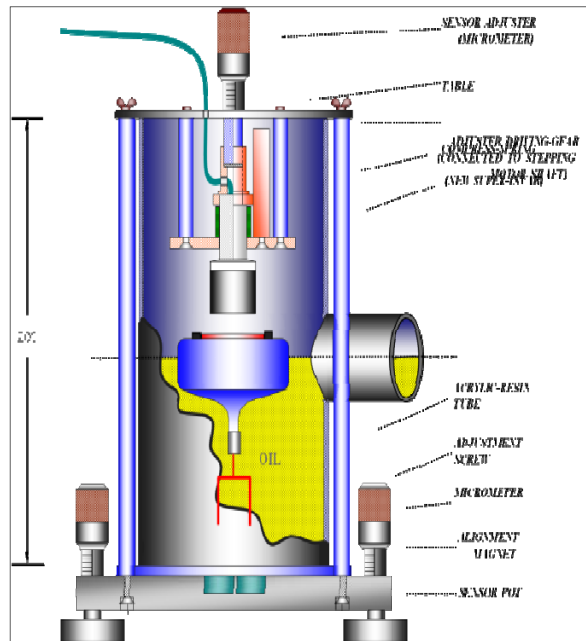
● 水管傾斜計・伸縮計の模式図



● 水管傾斜計センサー部：差動トランス型

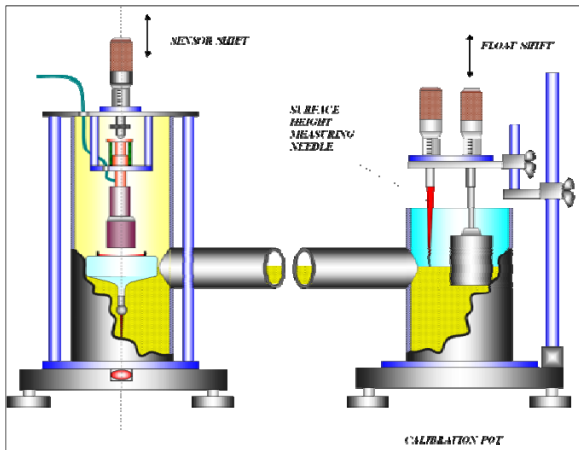


● スーパーインバル線傾斜計：振子部

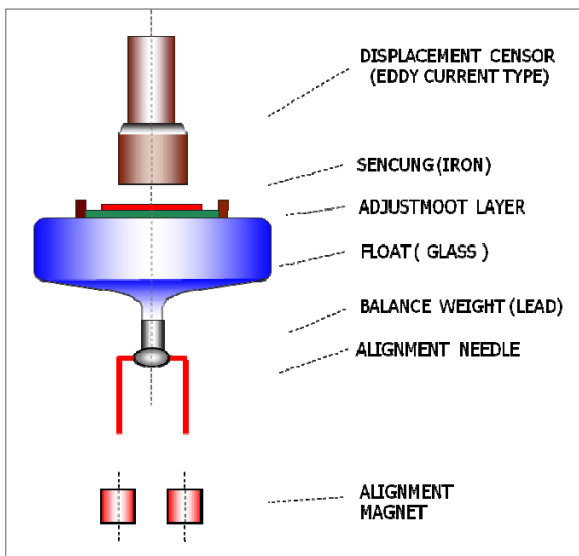


● シリコンオイル傾斜計：水管傾斜計の水の代わりに媒体としてシリコンオイルを使用した。

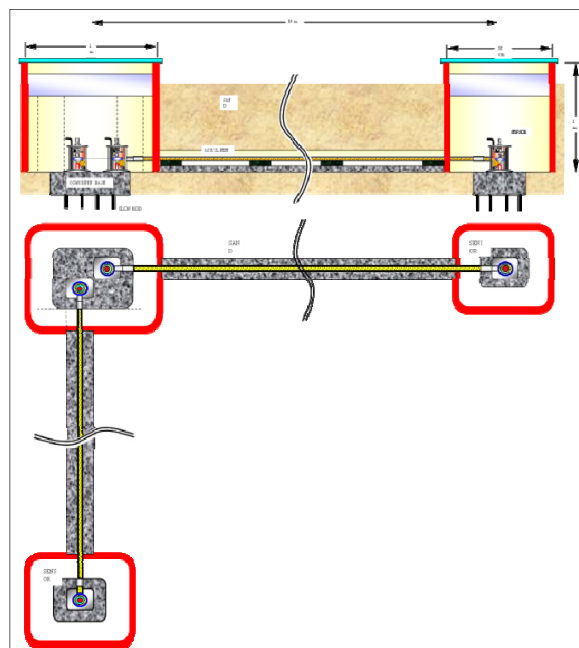




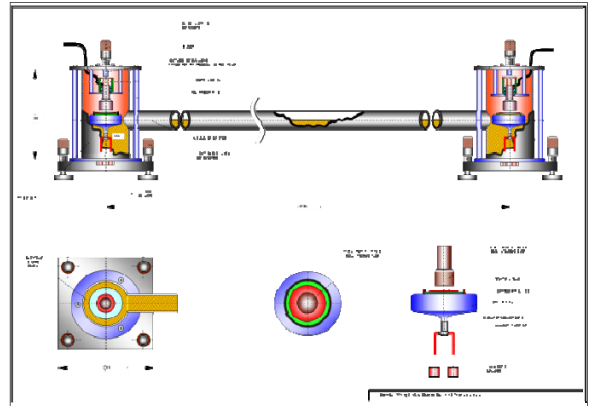
● オイル傾斜計キャリブレーションシステム



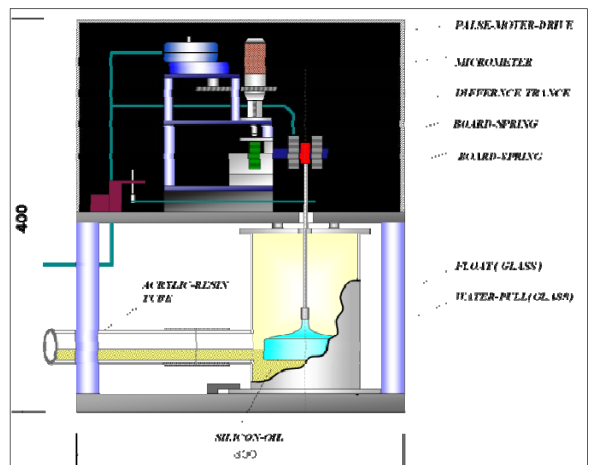
● 磁石を2個使用しての回転防止フロート



● インドネシアオイル傾斜計全体図



● インドネシアに設置の傾斜計センサー部



● 大隅観測室に設置の ハーフフィルド傾斜計

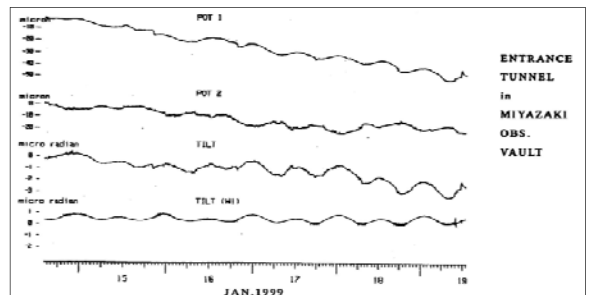
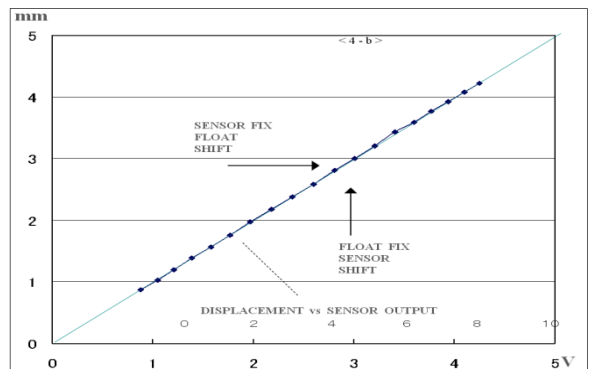


Fig. 6 Record of test observation at entrance tunnel in Miyazaki observatory vault by type instrument. (from top to bottom: POT1 level, POT2 level, tilt and record of routine tilt observation in the same direction in the observatory by type instrument)

● 桜島観測所春田山設置の傾斜計データ作図



● 傾斜計電磁センサーと磁石の相互作用関係

—— 宮崎観測所開所式 (1) ——



● 37年前に1000坪のミカン畑を取得し整地



● 工事中の宮崎観測所観測所本館



● 鴻池組落札：中央右が高田名誉教授



● 掘削中の宮崎観測所坑道



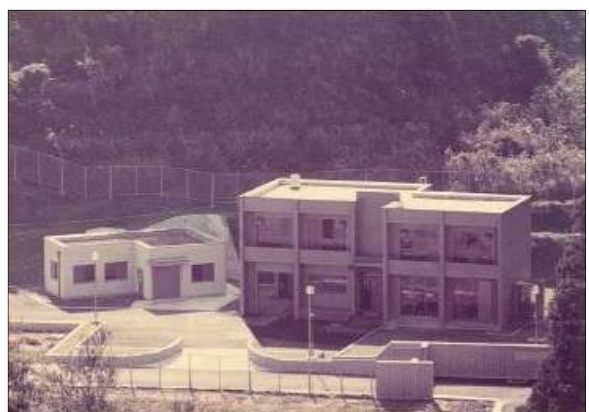
● 宮崎観測所開所式



● 完成した観測坑道中央付近



● 宮崎観測所開所式

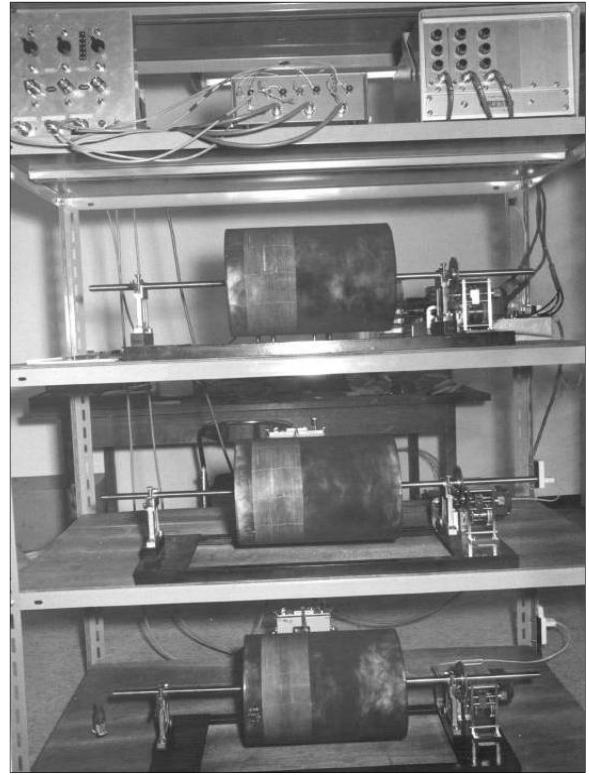


● 宮崎観測所全景

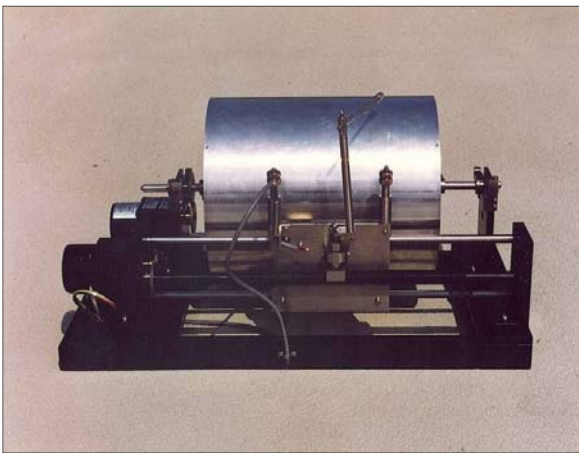




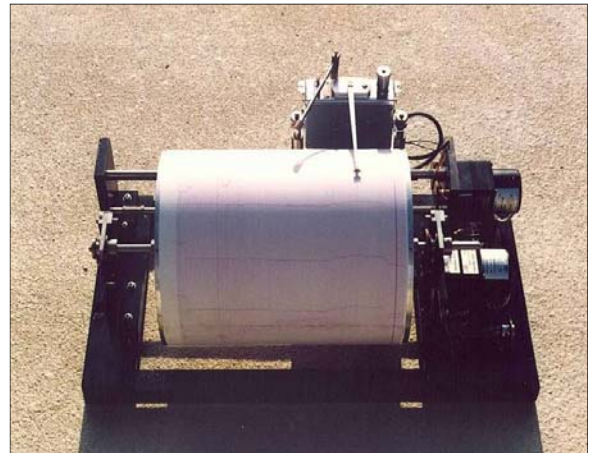
● 観測計器設置作業：防災研究所技術職員



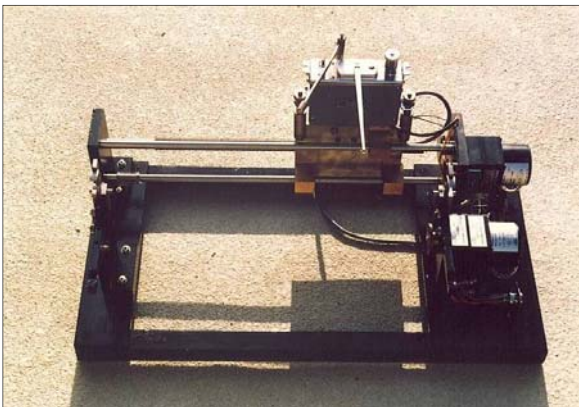
● 地震観測データ記録：煤書ドラム3成分



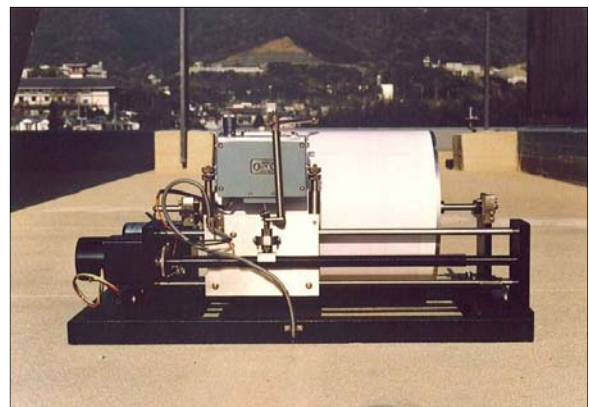
● 初代の煤書ドラム2日巻き



● ドラムに記録紙を巻きペン書で調整

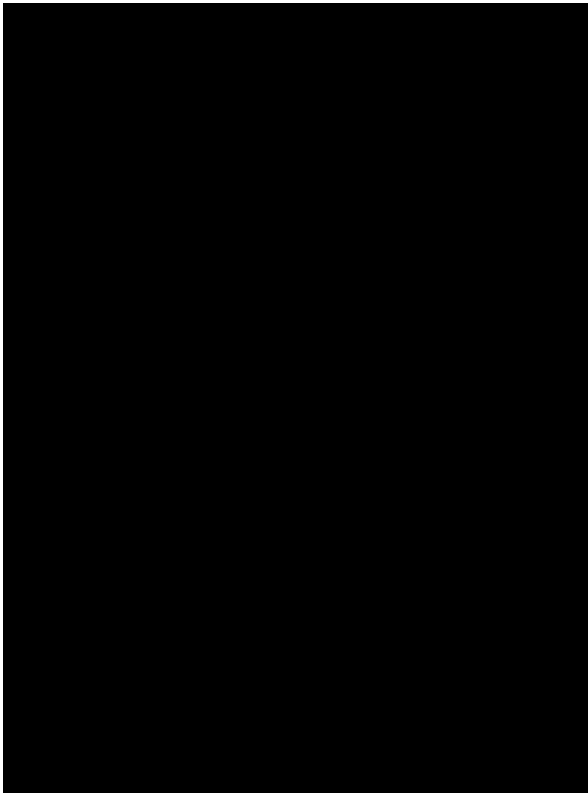


● 煤書ドラム：ドラム無しの正面

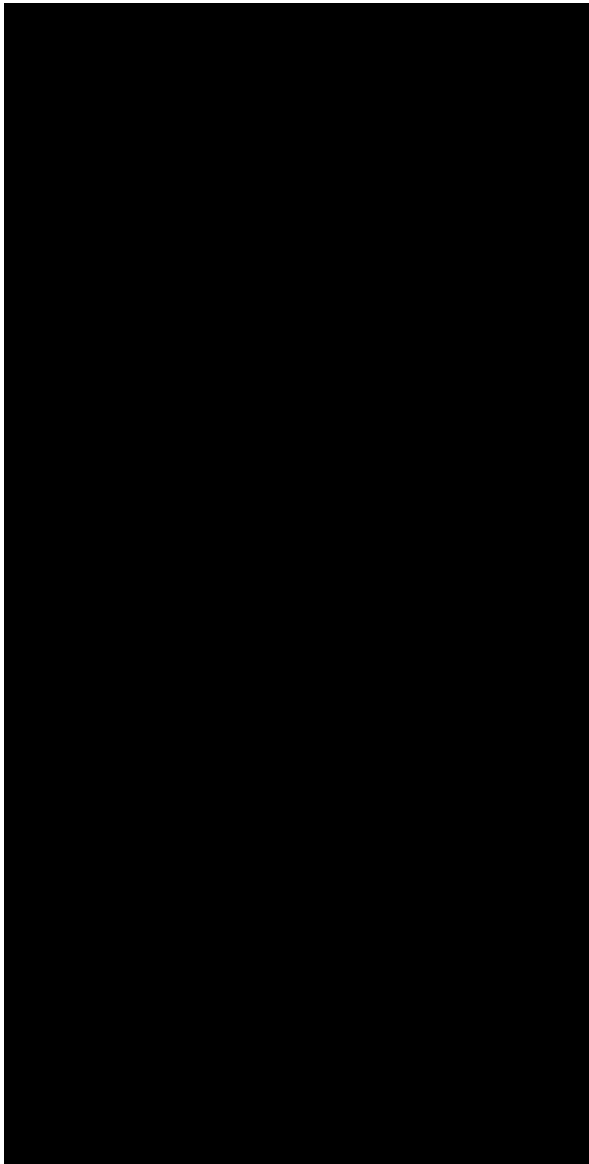


● 後方からの煤書ドラム





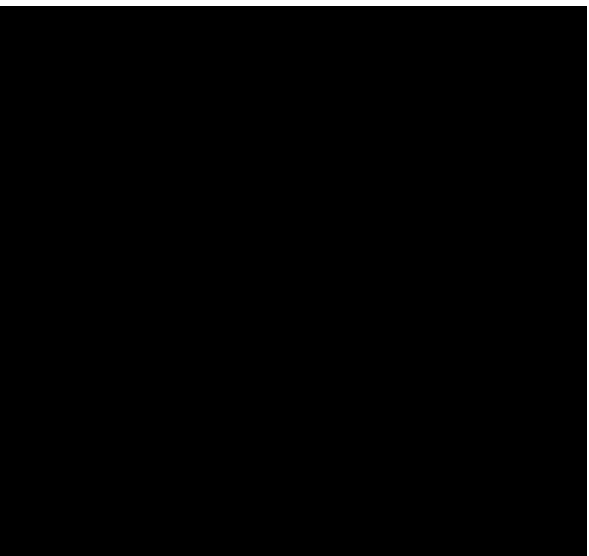
● 宮崎観測所開所式：園田が 26 才の時



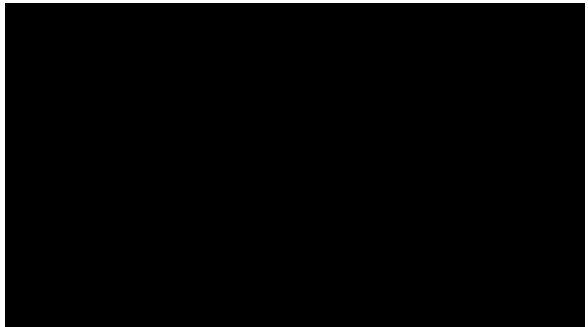
● 宮崎観測所：開所式当日の新聞記事



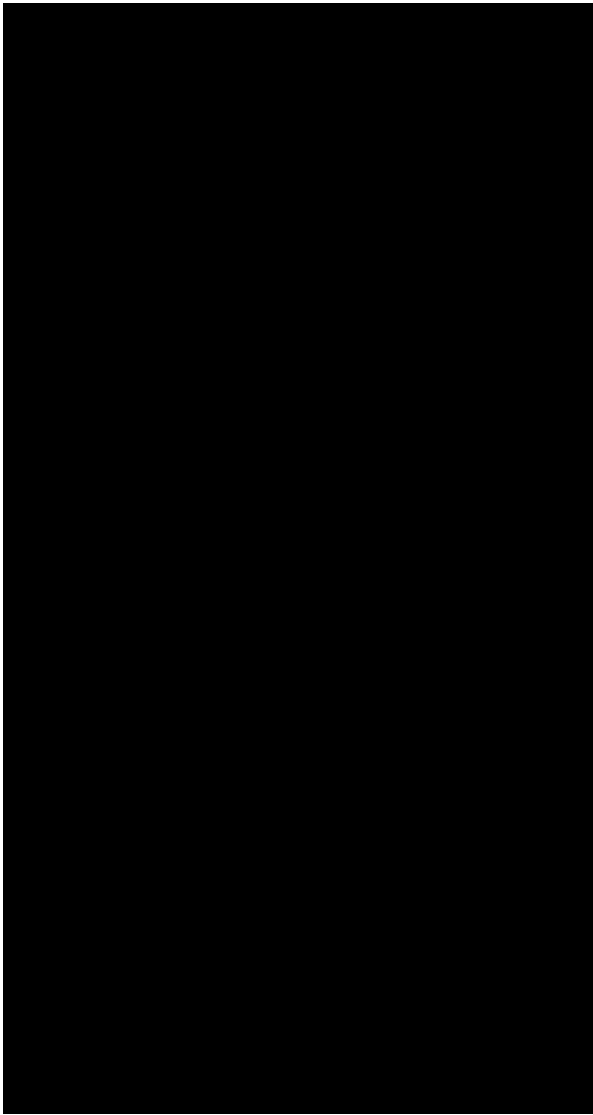
● 光波測量：延岡光波測量基線網での測量



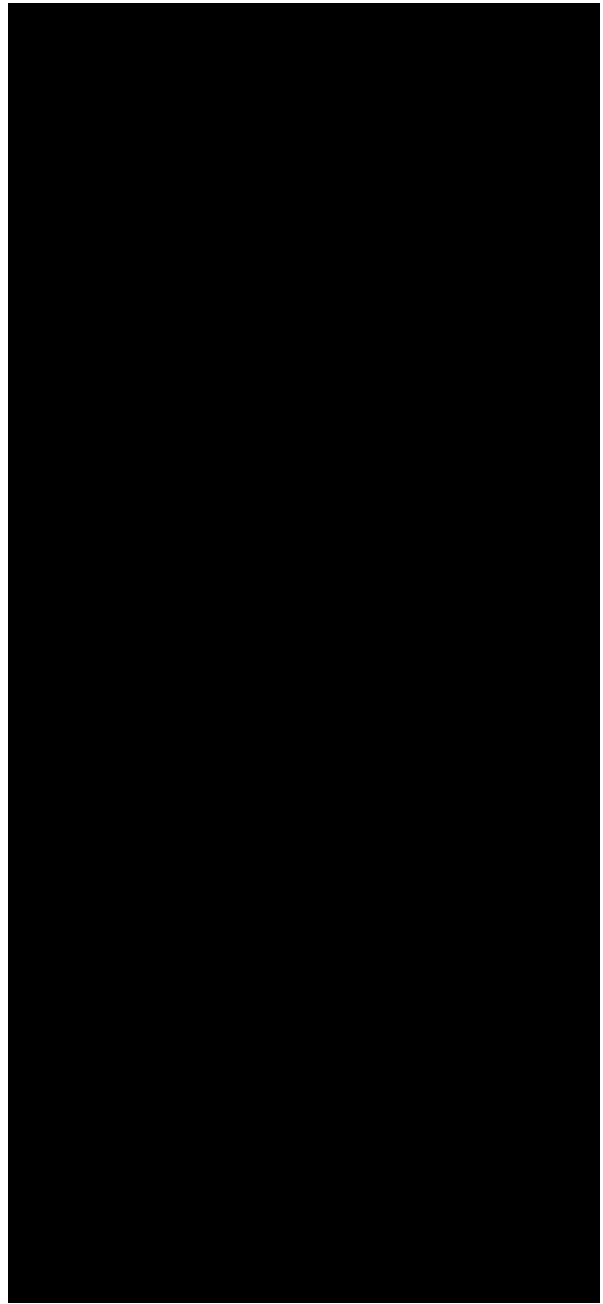
● 宮崎観測所：開所式当日の新聞記事



● 宮崎観測所坑内：地殻変動観測計器の設置



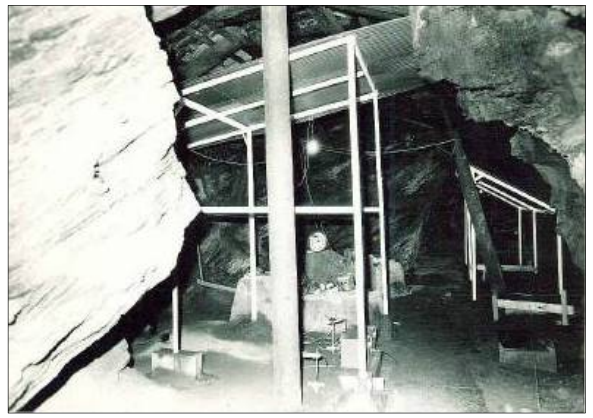
● 宮崎観測所坑内：地殻変動観測計器の設置



● 宮崎観測所坑内：地殻変動観測計器の設置



—— 開所時と同時の槇峰観測室 ——



● 槇峰観測室観測坑道

● 槇峰観測室観測坑道

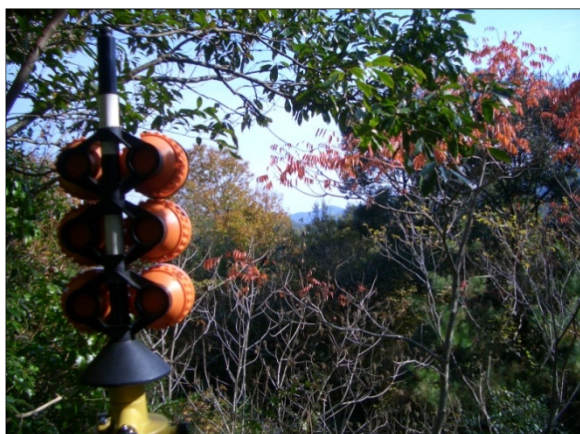


私と光波測量との出会いは宇治の旧地殻変動部門からである、今年で勤続 19 年になるが最初の 2 年は宇治勤務であった。その頃、屯鶴峯観測所に光波測量の応援に行ったが、その時は測量器械の電源に発電機を使用していた。小高い丘の上に重い測量機材をやっとの思いで運びあげる、やれやれと思いつながら発電機を駆けようとする、なんとエンジンがかからないではないか、困った事になった。しかし、私はもともと機械屋なので修理は得意であった、さあ技官の出番だ！ と思いきや先生がキャブレターを分解し始めたのである、それから、しばらくして見事にエンジンが動き始めた。ここの研究室の先生はエンジンも修理出来るのだ。それは私が描いていた京大の先生のイメージではなかった。発電機を使用したのも私に関係する限りでは宇治に居た 2 年間だけで、2 年後には宮崎観測所に転勤になった。宮崎観測所では、日向灘沿岸地方の地殻水平歪を測地的方法により観測する為、宮崎及び延岡の 2 地域に光波測量基線網を設置し、1981 年より測量を開始した。原則として毎年 11~12 月に測量を実施している。他に臨時測量もその都度行なっている。光波測量では木の伐採、枝切り、草刈の作業をしなくてはならない。特に宮崎は温暖な土地なので草木の成長が激しい。年に 1~2 回の測量ではあるが 1 年で草木は 1~2m 伸び 2~3 年で測量に影響し始めるのである。そこで私が登場するのであるが、幸い私は木登りがうまい、枝の無い木でも 4~5m は登れる、枝のある木なんてさらさら訳はない、ただ、あまり太い木だと無理な時があるのでその時は反射点の移動を考える。ここ最近では、GPS 衛星による測地測量が可能という事なので、そうなれば草木を切らなくて済む。私も今年 43 才になるので、ここ最近では木に登るのがきつい、早く宮崎の光波測量も GPS 方式に切り替えてほしいものだと思う。関係者の方の一考を願う。1987 年末までは AGA 社製ジオジメータ 600 型を使用した。この器械の電源

に宮崎ではバッテリーを使用していた、それも車載用の 12V のバッテリーである。発電機と違ってメカの知識はいらないがこれもまた重量がある。予備を入れて 3~4 ケになれば発電機と重さは変わらない、それにバッテリーの容量がわからないから、いつ電気が無くなるか不安でいっぱいであった。ある時には、容量が足りずに車に登載中のバッテリーを使用した事もある。またデータの計算も計算用紙を使って計算をしていた。ある風の強い日にその計算用紙が飛んで、山の中を 1 日中探し廻って苦労した事もあった。1987 年 3 月からは、ウィルド社製ディストマット D13000 の使用を開始した。この器械の電源もバッテリーではあるが、使用電氣量が少ないのでニッカドの専用バッテリー重さ 1Kg の軽いのが 1 ケで済む、この D13000 にはコンピュータが組み込まれている。これはタイム・パルス方式の光波距離計である。赤外光のパルスが、反射プリズムに当たって返ってくるまでに必要な時間を測定する。測定モードにもよるが、表示する測定結果は何回かの測定の平均を表示する。その表示値をデータとして、5分おきに 5~10 回位測定して 1 測線のデータとする。その値をデータ・ターミナル GRE3 が自動的に記録し、同時に野帳にも気圧、気温、三脚高を記帳。そのデータを宮崎観測所にあるヒューレットパッカード社の HP9000 で解析するのである。



● 延岡観測線本部：光波測量観測風景



● 宮崎観測線本部：光波測量観測風景

<霧島火山新燃岳の光波測量>

霧島連山がそびえ立っている。霧島連山は南北に長く、南東の高千穂峰と北西の韓国岳との間に中岳、新燃岳、獅子戸岳が線上に連なり、大小28にもものぼる峰を集めた火山群である。北の麓のえびの市は1970年のえびの地震で有名だ、死傷者の数は少なかったが土地の隆起が激しく、線路が飴のように曲がっているのには驚いた。新燃岳は名の

ごとく、今も活動を続ける霧島火山群の中では新しい火口で、1959年2月17日の大噴火の時は、多量の火山灰を噴き上げている。その霧島連山の新燃岳で、1991年11月24日に火口内東側からの噴気が確認された。また同29日からは噴気量が増大、同30日夕刻より直下で微小地震が群発し、1日に400回以上にも達した。12月2日には火山灰の噴出が確認された。

新燃岳の活動が活発になったので、桜島火山観測所と合同で光波測量を行った。まず、反射プリズムを新燃岳の山頂に2ヶ所設置する事になり、4~5人でチームを作り設置に向かう。三脚、セメント、スコップ等土建用の資材なのでそんなに軽くはない、ただ直下まで車で行けるので山頂まで行程2時間程だろうか。久々の山登りだ、私は昔のように山に登った。学生時代は山岳部で県内の山に、社会人になってからはアルプス方面が主だった。1度、冬の白馬岳の尾根で1晩ビバークした事があるがあれは恐かった。風は強いし雪は1時間もするとテントが埋まってしまう程積もるので、交代で雪掻きをしなければならなかった。この霧島山にも高校時代何回か登った事がある。なんだ2時間位の登りか！ 新燃岳の景色が隅々まで綺麗に見えた。ところが、30分も登ると体がきつくなりだんだん体力に自信が無くなって行ったのである。やっとの思いでたどり着いたが、その時の山登りはきつかった。この時、運動不足での体力の衰えを感じる。最初の観測では測量データを宮崎に持ち帰り、後日結果を関係者に報告した。その時にもう少し早く観測結果を出せないか提案があり、そこで、前図のようなDI3000測定結果速算用紙を現場にもって行って、電卓で計算する事になった。電卓で計算してみると1測線で30分位かかる。全部で5測線あるので何とかもう少し計算時間を短縮したいと考えていた。その時に私の持っていたNECのPC-98ラップトップに計算させる事を考えた。これを使用するにはプログラムを作成しなくてはならない。

プログラム作りにたけた人なら簡単だろうが、私の頭の程度では大変なのである。2~3日頭を捻った末に何とかプログラムが出来た。実際に2回目の光波測量の時に現場で試運転をしたが、観測終了時にはデータ計算が終わり関係者に情報を提供出来たのである。下図は測量データをグラフに作図した例である。この様に最近では観測現場で計算をし、そのデータをグラフにも出来る、そうすれば測量の変化を観測中に分析することが出来る。臨時観測では関係者と合同で行うので、なるべく早く情報の提供を要望される場合が多い。ラップトップ 3kg、プリンター2kgの合計5kg。バッテリーが同じ位の重量だから臨時観測で使用出来るだろう。ただ、普段の定期測量ではそこまでしなくても事足りる場合が多い。また、GPS衛星による測地測量が盛んなので、なかなか出る幕は無いだろう。

```

100 REM ***** DI-30 *****
110 --- RUNDNAMEF1-----
120 CONSOLE,.,1:COLOR 5:CLS
130 OPEN "KRSN-DATA" AS #1
140 FIELD #1,15 AS AA$,15 AS BB$,
15 AS CC$,15 AS DD$,15 AS EE$
150 COLOR 5:INPUT "(1)計算(2)観測(3)呼出(4)更新(5)表(6)終":KOU
160 PRINT "COLOR 5:ON KOU GOSUB *KEI,*TOU,*YOB,*KOSN,*HIYO,*OMA
170 GOTO 150
180 ===== 計算 =====
190 *KEI
200 CLS
210 INPUT "測定回数":N
220 FOR I=LOF(1)+1 TO LOF(1)+N
230 INPUT "観測値":SO$
240 G$=G$+SO$
250 NEXT I
260 H$=G$/N
270
280 INPUT "温度回数":N
290 FOR I=LOF(1)+1 TO LOF(1)+N
300 INPUT "温度":OND
310 G1=G1+OND
320 NEXT I
330 OH=(G1)/N
340
350 INPUT "気圧回数":N
360 FOR I=LOF(1)+1 TO LOF(1)+N
370 INPUT "気圧":KI
380 G2=G2+KI
390 NEXT I
400 K$=(G2)/N
410
420 INPUT "三脚高":SN
430 INPUT "観測値":X
440 X1=X*.00325:OH1=OH+X1:PRINT X1
450 CK1=(OH1-.00367+1)*18400:PRINT OK1
460 CK2=X/OK1:KH1=KH+(1-10*CK2)/2:PRINT KH1
470 KH2=KH+KH1:KH3=KH2*.9871:PRINT KH3
480 CH2=OH1*.00366+1:OK3=KH3/OH2:PRINT OH2
490 CH3=7.5*OH1/(237.3+OH1)+.7857:PRINT OH3
500 KH4=(273.16+OH1)*100:PRINT KH4
510 CH4=676.2/KH4*10*OH3:PRINT OH4
520 CH5=1.5*CH3+OH4:PRINT OH5
530 CK4=H$/1E+06+OH5:PRINT OK4
540 SN1=2*(X)+SN:PRINT SN1
550 SN2=(SN1+SN)/(2*H$):PRINT SN2
560 PRINT USING"#####.###":H$
570 G$=H$+OK4+SN2:PRINT SN2
580 PRINT USING"#####.###":G$
590 RETURN
600 ===== 登録 =====
610 *TOU
620 CLS
630 INPUT "件名":N
640 FOR I=LOF(1)+1 TO LOF(1)+N
650 INPUT "新 測 =>火口西"=:A$
660 INPUT "新 測 =>鬼の耳"=:B$
670 INPUT "島崎子 =>火口西"=:C$
680 INPUT "島崎子 =>鬼の耳"=:D$
690 INPUT "雷 島 =>火口西"=:E$
700 RSET AA$=A$
710 RSET BB$=B$
720 RSET CC$=C$
730 RSET DD$=D$
740 RSET EE$=E$

```

DI 3000測定結果速算用紙

地域	日付	本体位置	基石高度	三脚高
測地	測地	反射点位置	H =	h =
回数	時刻	表示長	観測値	気圧
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
合計		A	B	
平均				

気象補正係数  
 $F = \frac{241.5 - \text{観測値}}{1000} \times 0.00367 + 1$   
 $\Delta D1 = 241.5 - \text{観測値} + \text{観測値} = \text{観測値}$   
 $C = \frac{\text{観測値}}{1.000,000} \times \text{観測値} = \text{観測値}$   
 $D = 2 \times \text{観測値} + \text{観測値} \times \text{観測値} = \text{観測値}$   
 $\text{最終値} = \frac{C \times N}{P}$

● 光波測量園田式計算プログラム (1)

```

750 PUT #1,I
760 NEXT I
770 RETURN
780 --- 呼出 ---
790 *YOB
800 CLS
810 FOR I=1 TO LOF(1)
820 GET #1,I
830 PRINT I;AA$;BB$;CC$;DD$;EE$
840 NEXT I
850 RETURN
860 *KOSN
870 *KOSN
880 CLS
890 INPUT "何曜日"=:H
900 GET #1,H
910 PRINT H;AA$;BB$;CC$;DD$;EE$
920 INPUT "更新"(1)新=>火口(2)新=>鬼(3)島=>火口(4)島=>鬼(5)雷=>火口
(6)全部(7)終"=:Y
930 ON Y GOTO 950,980,1010,1040,1070,950,150
940 GOTO 920
950 INPUT "新=>火口西"=:A$
960 RSET AA$=A$
970 IF Y=1 THEN 1090
980 INPUT "新=>鬼"=:B$
990 RSET BB$=B$
1000 IF Y=2 THEN 1090
1010 INPUT "島=>火口西"=:C$
1020 RSET CC$=C$
1030 IF Y=3 THEN 1090
1040 INPUT "島=>鬼"=:D$
1050 RSET DD$=D$
1060 IF Y=4 THEN 1090
1070 INPUT "雷=>火口西"=:E$
1080 RSET EE$=E$
1090 PUT #1,H
1100 GOTO 920
1110 --- R ---
1120 *HIYO
1130 CLS
1140 K$="***** K I R I S I M A *****"
1150 :LPRINT TAB(27);K$:LPRINT
1160 K1$="新測=>火口西":LPRINT TAB(5);K1$:LPRINT
1170 K1$="新測=>鬼":K2$="温度":K3$="気圧":K4$="三脚":K5$="高度補正"
:LPRINT TAB(5);K2$;TAB(25);K3$;TAB(40);K4$;TAB(55);K5$
1180 LPRINT TAB(5);K1$;TAB(25);K2$;TAB(40);K3$;TAB(55);K4$
:TAB(70);K5$;TAB(95);K6$
1190 FOR I=1 TO 6
1200 READ A1$,A2$,A3$,A4$,A5$,A6$
1210 LPRINT TAB(5);A1$;TAB(20);A2$;TAB(30);A3$;TAB(40);A4$;TAB(50);A5$
:TAB(65);A6$:NEXT I
1220 DATA 2758.153, 3.0, 684.2, 0.370, -409.0, 2758.271
1230 DATA 2758.154, 2.8, 684.2, , , ,
1240 DATA 2758.152, , , , , ,
1250 DATA 2758.155, , , , , ,
1260 DATA 2758.153, , , , , ,
1270 DATA 2758.155, , , , , ,
1280 LPRINT
1290 LOCATE 14,5
1300 B$="新測=>鬼の耳":LPRINT TAB(5);B$:LPRINT
1310 FOR I=1 TO 6
1320 READ B1$,B2$,B3$,B4$,B5$,B6$
1330 LPRINT TAB(5);B1$;TAB(20);B2$;TAB(30);B3$;TAB(40);B4$;TAB(50);B5$
:TAB(65);B6$:NEXT I
1340 DATA 2844.621, 3.0, 682.4, 1.512, -439.4, 2844.920
1350 DATA 2844.622, 3.0, 682.4, , , ,

```

● ジオジメータ観測データ (光波測量) 記入用紙

● 光波測量園田式計算プログラム (2)





○大谷文夫・寺石眞弘・園田保美・藤田安良・大志万直人

○Fumio OHYA, Masahiro TERAISHI, Yasumi SONODA, Yasuyoshi FUJITA, Naoto OSHIMAN

The crustal movement observations by electro-optical distance measurements had been carried out repeatedly at the Miyazaki and Nobeoka region for the purpose of the comparison with the results of the continuous observation by extensometers in the observation vaults. Recently GPS network was constructed including neighboring GEONET stations which consist of some equilateral triangles and that is available in the calculation of the principal strains.

### 1. はじめに

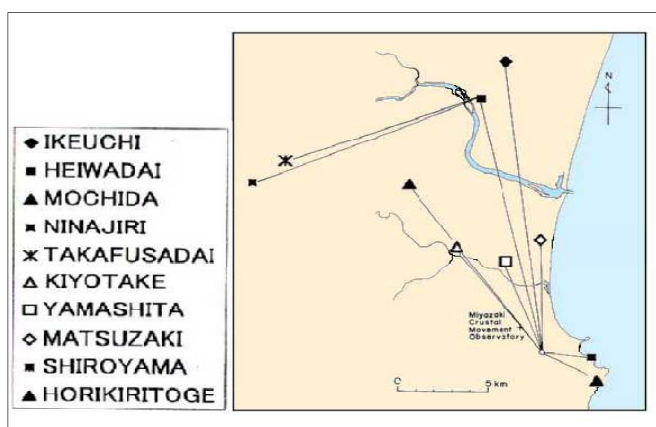
宮崎地殻変動観測所では、1976年から観測坑道内で地殻変動の連続観測を行っているが、併行して測量による地殻変動観測も行っている。坑道内での観測結果がどの程度の広さの地殻変動を反映しているのかを確認するために、国土地理院による三角測量結果との間を埋めるために始めたが、近年 GEONET が全国土をカバーしているため、それを積極的に取り入れた GPS 観測ネットも構築している。それらの概要と、これまでの結果、今後の計画について述べる。

### 2. 光波測量

宮崎地区および延岡地区で合計 14 本の測線で繰り返し光波測量を行ってきた。宮崎では測線方向が偏っていたため空いた方向に測線を新設した結果、主歪軸が精度よく求まるようになった。Fig.1 に宮崎地区の測線地図を示す。全般に坑道内連続観測と調和的な結果が出ている。また、1996 年 12 月には COSEISMIC な変動の観測にも成功した。

### 3. GPS 観測網

光波測量は man power を必要とするためと、設立当初は見晴らしのいい場所を選んでしたが 30 年以上の歳月が視界を遮りがちとなり続行が困難となってきたため、GPS 観測を取り入れ代替の観測網とすることにした。前述のように GEONET 網と組み合わせ構成している。光波測量の時と同様に広域の歪主軸を求めることを念頭に大・小 2 種の正三角形を形成するようにしたのが特徴である。すでに予備的な観測を始めているが、今後、1 Hz 収録も取り入れていく予定である。また、豊後水道で周期的に発生するスロースリップイベントは、宿毛での連続観測に現れることもあり、地理院データを系統的にチェックし、宮崎での独自観測の結果と合わせて解析をおこなっていく。



● 宮崎市を中心に宮崎光波測量基線網を展開



● 宮崎市を中心にGPS観測網を展開

大谷文夫・寺石眞弘・園田保美・藤田安良・大志万直人

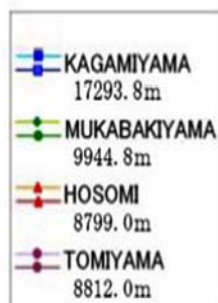
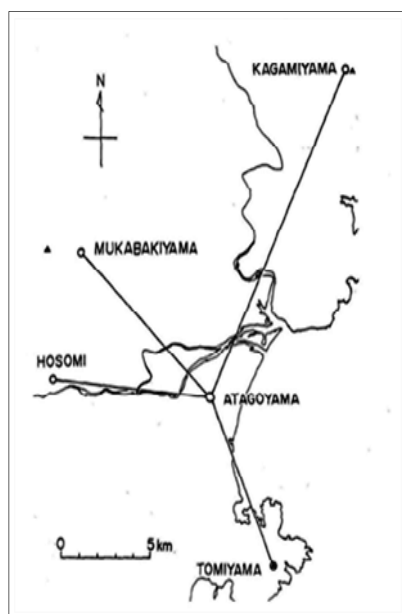
### 要 旨

宮崎地殻変動観測所では、観測坑道内の地殻変動連続観測と併行して反復光波測量による地殻変動観測を行ってきた。坑道内観測結果が周辺領域の地殻歪の代表値であることを検証・確認することを目的とする。宮崎地区で10測線、延岡地区で4測線、いずれも放射状基線網を基本とする。今後GPS基線網に移行するにあたりこれまでの観測結果を報告する。1996年のM6.6地震においてco-seismicな変動の観測にも成功した。伸縮計記録との比較では、最近のデータでは歪の大きさはほぼ同程度であるが、主ひずみ方向まで一致はしていない。宮崎平野南北での違いの可能性もあり、今後のGPS解析に期待される。

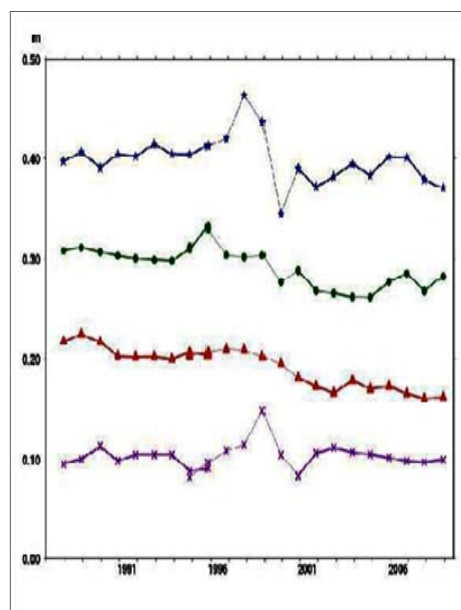
キーワード：測地測量、日向灘、地殻変動、光波測量、GPS

### 1. はじめに

宮崎地殻変動観測所では、1976年から観測坑道内で伸縮計・傾斜計による地殻変動の連続観測を行っているが、1981年以来、併行して反復光波測量による地殻変動観測も行ってきた。坑道内での観測結果が、単にその場所のみの地殻変動を観測しているのではなくその周辺の広域な領域の地殻歪の代表値であることを検証・確認することが主目的で、国土地理院による三角測量結果との間を埋めるという位置づけで開始した。しかし、光波観測点周辺では主に樹木の生育による視通性の悪化や標石埋設場所の環境の変化により光波測量を継続することが困難になってきたためこの繰り返し光波測量を打ち切ることとした。一方その代替として、充実してきた国土地理院によるGPS観測網GEONETのデータを活用するとともに、さらにいくつかの観測点を新設して観測所周辺に独自のGPS観測網を構築して観測を始めた。これにより、これまで年1回の測量だったのが準連続観測化されることにもなる。そこでこれまでの光波測量結果を報告するとともに新観測網の概要と今後の計画を報告する。



Thin lines show the period for temporal base because of the reconstruction of the building.



● 光波測量宮崎基線網

● 光波測量データの作図





● 延岡光波基線網の基点：愛宕山展望台



● 木花小学校屋上：GPS 受信アンテナ



● 生目中学校屋上：GPS 受信アンテナ



● 九電ダムサイト：GPS 受信アンテナ

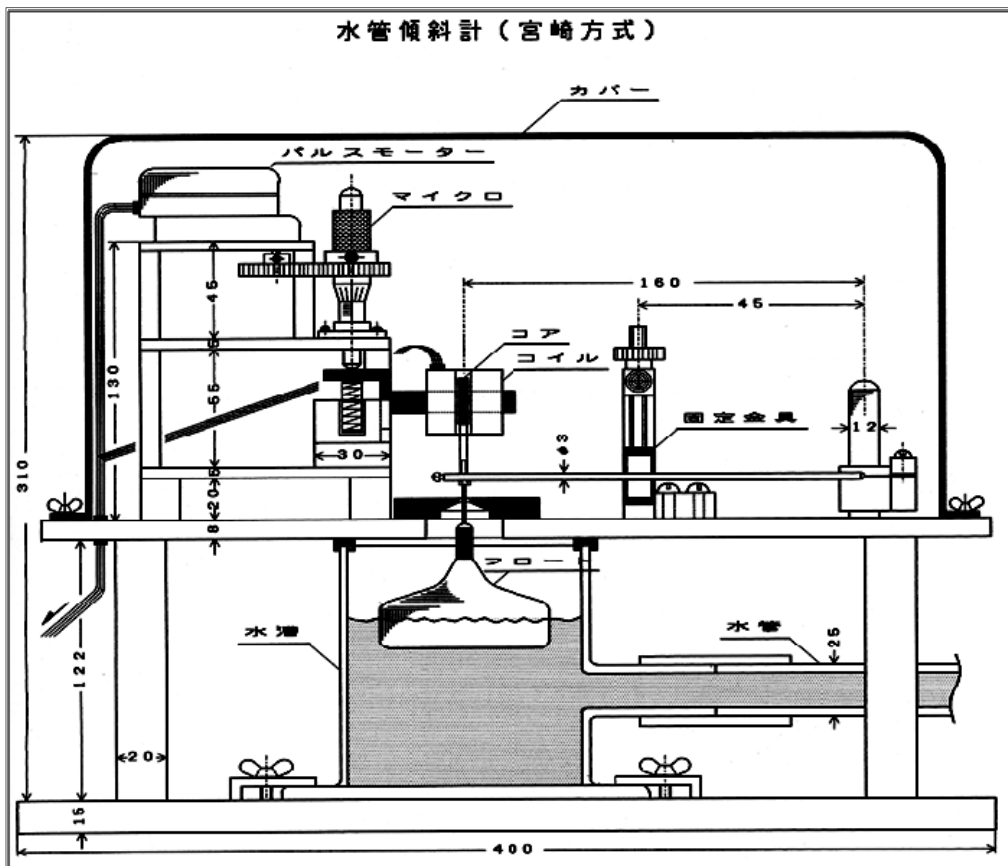
### 1. はじめに

宮崎観測所における日向灘地殻活動総合観測線での地震予知研究の一貫として、地殻変動研究がある。この地殻変動研究の中に、傾斜計によって土地の傾斜変化を測定し、地震の前後に起こる傾斜変化の、前兆現象をとらえようと云う研究がある。この傾斜変化を測定する観測方法、観測計器はいろいろあるが、今回はその中で水管傾斜計による、観測方法について述べる。

宮崎観測所で使用されている水管傾斜計による観測は、観測所設立当初から行われており、宮崎観測点単独では17年近く経過している。その後、順次地殻変動の観測点を増設して、現在では7観測点で観測を行っている。宮崎観測所設立当初に設置された水管傾斜計は、防災研究所の工作室に居られた小林さんが製作された、手作りの観測計器であった。その観測計器は光学方式であったが、全部機械的に出来ていてそ

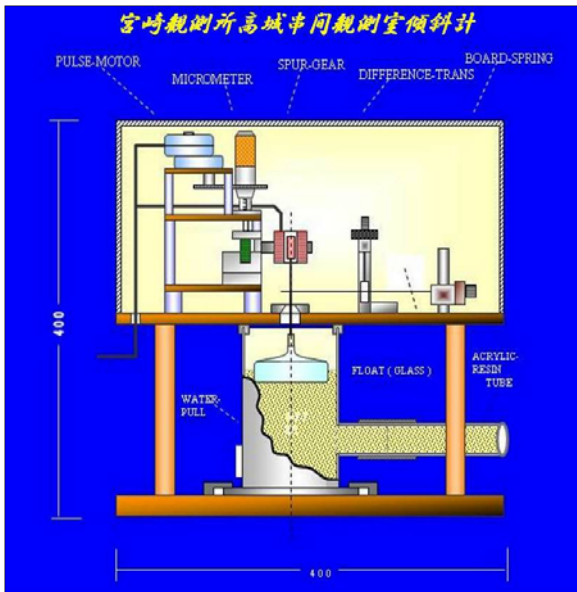
の精巧さには目を見張らせる、素晴らしいものがあった。特に、私は機械畑出身なので、隔々の制作技術の精度の良さが解る。一つ一つの細かい部品が、精度良く仕上げられていて、これがプロの技術なのだなど感心させられたものだ。

私はこの研究所に入る前の5年間は、大手の某製鉄所という民間会社にいた。その会社で使用されている機械の多くは、部品である一つの歯車が軽乗用車程の大きさ位あり、全体的には家程ある大きな機械が多く、その機械で物を製作するミリの世界であった。その世界から30 $\mu$ の金属の線を吊り下げる地殻変動観測計器を製作し、その観測計器で土地の傾斜やひずみをミクロンの精度で測定するミクロンの世界に職場が変わったから、私も当時大変であった。



● 高城・串間観測室：水管傾斜計





● フルフィールド 型水管傾斜計：センサー部

技術職員である小林さんの観測計器の製作技術を拝見して自分の技術のレベルを上げなくてはと思ったものである。その小林さんも10年程前に退官を目前にして亡くなられた。本人もゴールを目前に倒れてしまって、さぞ残念だったであろうと推察する。生きておられれば、その小林さんが製作されたであろう、水管傾斜計の電気変換機器を私が製作することに成った。今回は宮崎観測所で製作された水管傾斜計の電気変換部を少しではあるが紹介する。

## 2. 宮崎方式水管傾斜計

水管傾斜計は水を入れた二つの容器を岩盤に固定し、これをパイプで継いで両方の容器の水面の高さを測定し、両端の差をとって傾斜変化を求め地殻変動観測計器である。宮崎観測所の日向灘地殻活動総合観測線に設置してある、水管傾斜計のデータ収録は、宮崎観測所設立当初の1975年から1980年の5年間は印画紙に光を当てて感光させ、それを読みとって記録をとるブロマイド方式で行っていた。これは回転するドラムに、写真の印画紙を巻いて12V、3~6Aを光源とする光の点を当てて感光させる。この光の点は傾斜変化を現す、この印画紙を現像処理し、そこに記録された傾斜変化を読みとって記録をとる方法である。

この方法だと直ぐに傾斜変化を見る事が出来ないし、その他いろいろ短所が多く、電気変換をしていないと現代のデジタル化に対応出来なくなった。



● 宮崎観測所坑道：水管傾斜計W1A/W3B

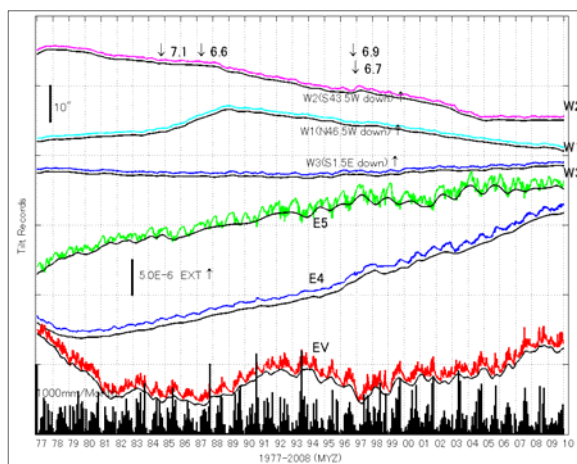


● 宮崎観測所坑道：水管傾斜計W1B/W2A



それで1980年以降は、屯鶴峰観測所と旧地殻変動部門で共同開発された光電変換装置を用いて観測を行うようにした。この変換装置は受光素子に光を当てて電気変換をさせ、得られた数値をパソコンに取り込んで、データ収録を行う方法である。これは光センサーをモーターで駆動させる方法であるが、これは機械的に故障が多くデータの欠測等の問題があるので、1985年から差動トランスによる電気変換に変更する事にした。差動トランスは具体的には、機械的変位をそれに比例した電圧、又は電流に変換する機械電気変換センサーである。

この差動トランスで電気変換させるためには、適当な変位変換器を製作しなくてはならない。宮崎観測所では、この電気変換装置を宮崎観測所の工作室において手作りで製作する事にした。これらの観測計器を外注にすれば多額の経費がかかる。宮崎では経費を抑える為に、宮崎観測所の工作室で全観測線の地殻変動観測計器を製作した。傾斜計の電気変換部に変位センサーとして、差動トランス、マイクロメータ、パルスモーター、歯車等を取り付けて製作した。差動トランスとアンプで得られた電圧をテレメータ装置に直接を入力する事にした。全観測線の観測室に、手作りの電気変換装置を製作して取り付けた。これらの観測計器を外注にすると多額の経費がかかるので、経費が少ない研究室、観測所等は手作りの観測計器に頼る場合が多い。この方式だと、直接テレメータ装置にデータを入力する事が出来、その後の収録解析等が容易である。宮崎観測所で使用していた、従来のプロマイド方式水管傾斜計3成分に、変位センサーとして差動トランスを取り付けて、電気変換を行うようにした。これはプロマイド方式光電変換方式も兼用出来るようになっている。それから、新しく差動トランスを用いた水管傾斜計の宮崎方式電気変換装置を、手作りではあるが製作した。



● 地殻変動連続観測データ：20年分の作図



● 宮崎観測所坑道：水管傾斜計W1 B/W2 A

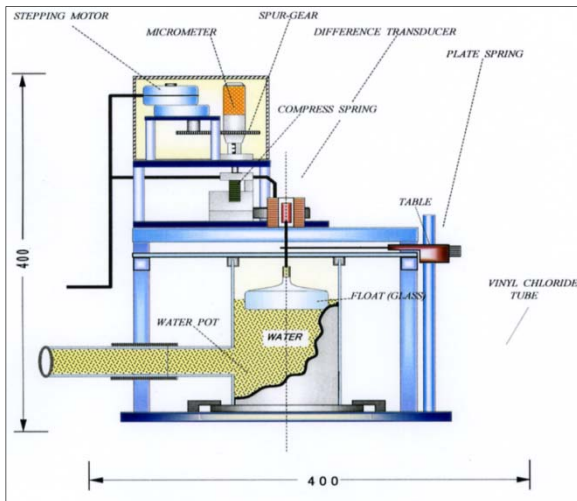


● 宮崎観測所坑道：水管傾斜計W1 B/W2 A

全部で13成分26台の電気変換装置を、各観測点に設置して観測している。次の図は、宮崎方式水管傾斜計の電気変換装置である。これらの地殻変動観測計器は、宮崎観測所の工作室で製作した、手作りの観測計器なので超低価格で出来ている。これらの地殻変動観測計器に付属する、差動トランス用アンプも宮崎観測所で製作した。

### 3. おわりに

遠隔地である宮崎観測所で地殻変動、地震の観測、研究を行っている訳だが、日向灘地殻活動総合観測線の全観測点に設置する地殻変動観測計器を設計製作するのに、宮崎観測所の工作室で全成分製作するのは大変であった。特に、機械工作は機械も工具も無く関係工具、材料を少しずつ揃える事から始めなくてはならなかった。初めは、製作を行いながら足りない機械、工具をその都度揃えていった。歯車を加工する時は、失敗の連続でだいぶ無駄な時間を浪費した。全成分が完成した時は、遠隔地である宮崎観測所の小さな工作室でも、やれば出来るのだと云う自信が湧いていた。ここ最近では、機械、工作等の製作は外注に出せと言う風潮があり、私のような、手作りで観測計器を製作している者にとっては、肩身のせまい思いをしているが、これからも機械工作、電気工作、電子工作等の製作技術を地震、地殻変動観測計器の開発と改良に役立てて、地震予知の研究に少しでも貢献出来ればと思っている。



● 伊佐観測室坑道：水管傾斜計 2D 図



● 伊佐観測室坑道：水管傾斜計 W1A/W3B



● 伊佐観測室坑道：水管傾斜計 W1A/W3B



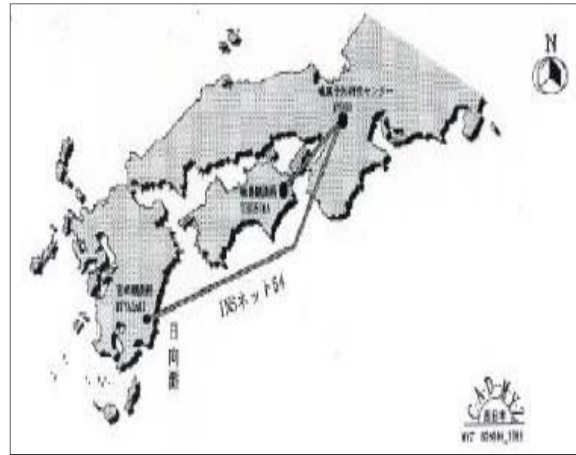
● 伊佐観測室坑道：水管傾斜計 W1A/W3B



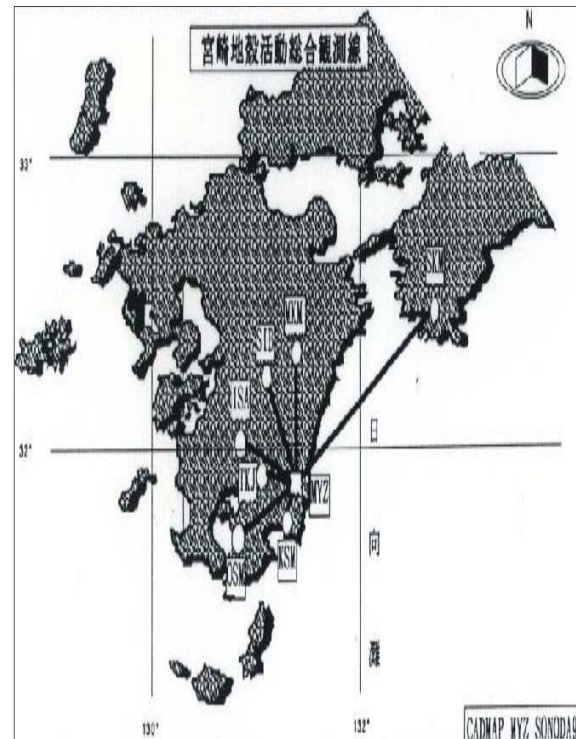
### 1. はじめに

宮崎観測所の日向灘地殻活動総合観測線を構成する7観測室の観測データは、NTTの専用回線を利用して宮崎観測所へ伝送される。これら地震、地殻変動の観測データは、テレメータ収録システムにより収録処理されるのである。1980年から、このテレメータ収録システムが稼動し始めた。この時の機種はYHP社(PS-80)のパソコン1台、プリンター1台、そしてプロッターの簡単な収録処理システムであった。その時の私は、パソコンは未知の世界であったのでSave、load、System、List等のコマンドを入力するのにキーボードのキーをおそるおそる叩いていたのである。それから5年後の1985年に、新たにテレメータ室を増築しYHP社のPS9000シリーズ、富士通のA-50等を備えて観測データを収録、解析するようになる。これらの収録システムは地殻変動短周期地震、長周期地震それぞれのデータを、独立のコンピュータで制御する分散型方式であるのでまずパソコンのディスプレイが10台程、MT6台、ハードディスク、プリンター、モニター用リニアマルチコーダー6台、その他多くの機器が並んで壮観であった。それから10年後の去年、5~6年前増築されたテレメータ分館の下1階がピロティ、兼物置であったが、そこを間仕切りして1フロアの広い部屋に改造し、新テレメータ室として収録、解析を行うようになる。新しい収録解析システムとし、YHP社のワークステーションであるHP9000-700を新総合処理解析システムとして新しく導入した。この収録解析システムの大きな特徴は、地震予知研究センター、徳島、宮崎の間をNTTのデジタル公衆回線、INSネット64を介して双方向のデータ転送を行う事ができる。

以下今回導入された、新総合処理解析システムの概要について若干紹介する。



● 宇治～宮崎新総合処理解析システム 94



● 日向灘地殻活動総合観測線：地震・地殻変動



● 宮崎観測所テレメータ室：地震解析システム



## 2. 使用目的

地震予知研究センターでは、来るべき、南海道巨大地震の予知に向けて、西南日本の広域の地震活動を統一的に把握することを目的に、現在、西日本の各地に展開している各観測所の観測網の地震波形をはじめとする各種のデータを集約して、総合的に解析するシステムを構築している。

センターの観測所のうち、上宝、北陸、阿武山、鳥取の4観測所の地震波形データは、別途装置によりセンターに集中し、西南日本内帯観測網として統合される。本装置は、西南日本外帯に属する徳島、宮崎の2観測所のデータを、地震予知センターに集中すると共に、西日本内帯観測網のデータを統合して統一したデータファイルに組み立て、総合的に解析処理するために使用する。

## 3. 収録装置

宮崎観測所には、送信ファイル収録装置（自動処理解析装置、無停電電源装置、自動シャットダウン装置）等が割り当てられる。この送信ファイル収録装置の基本的機能として、既設のテレメータのリアルタイム出力を取り込み、地震の自動判定、P波初動の自動検測、震源決定等を行い、地震波形のみを送信ファイルに組み立て収録を行なう。また、臨時観測等のオフラインデータを遅延ファイルに変換する機能を有する。地震波形データの収録状況は常時モニター装置に表示し、稼働状況が容易に確認できるものである。この装置は、通信制御装置の求めに応じて、随時任意のファイルを通信制御装置に送出する。また、通信制御装置に依頼して、宇治センターから任意のファイルを取り寄せる事が出来る。この装置は、宇治センターから提出されたデータを使用して観測所独自の解析作業を行う機能も有する。

## 4. 無停電電源装置

無停電電源装置はワークステーション及び記憶装置を瞬時停電から守り、データの消失を防ぐ待避作業に要する10分間程度は必要な電力を供給できるものである。自動シャットダウン装置はシステムの電源を切断する際に送信ファイル、収録装

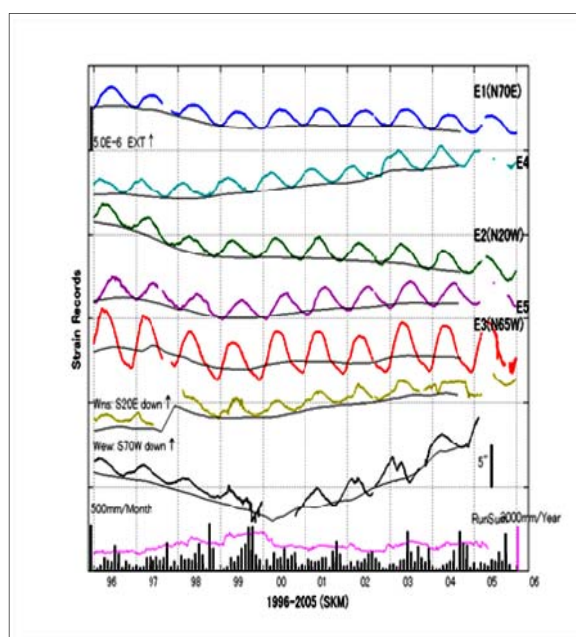
置、通信制御装置、及びこれらに付帯する装置に必要な手順に従って停止させ、データの消失やシステムの障害の発生を防止する。

## 4. 通信制御装置

通信制御装置は、これは徳島、宮崎の両観測所と宇治のセンターの間で、NTTのデジタル公衆回線INSネット64を介して双方向のデータ転送を行う。

この装置は送信ファイル収録装置またはSデータ管理、処理装置からの依頼に応じて、データの送受信を行う。また、着信データの管理保存をデータ管理処理装置或いは送信ファイル収録装置に依頼する。更に、既存の研究センターと、直接データ交換を行える機能を持つものである。

データ管理、処理装置は各観測所から送られてきたデータを再編集し、同一の地震を記録した地震波形データについてはひとつのファイルにまとめ、別途装置によりセンターに集約された西南日本内帯観測網のデータと結合して総合的に解析処理を行う。解析処理に当っては同時に複数の人間が作業可能なものとする、また、各観測所の求めに応じて、集積したデータを随時提供する機能を持つ。この装置は通信制御装置の依頼に応じて、随時任意のファイルを通信制御装置に送出する。



● 宮崎観測所テレメータ収録装置：地殻作図

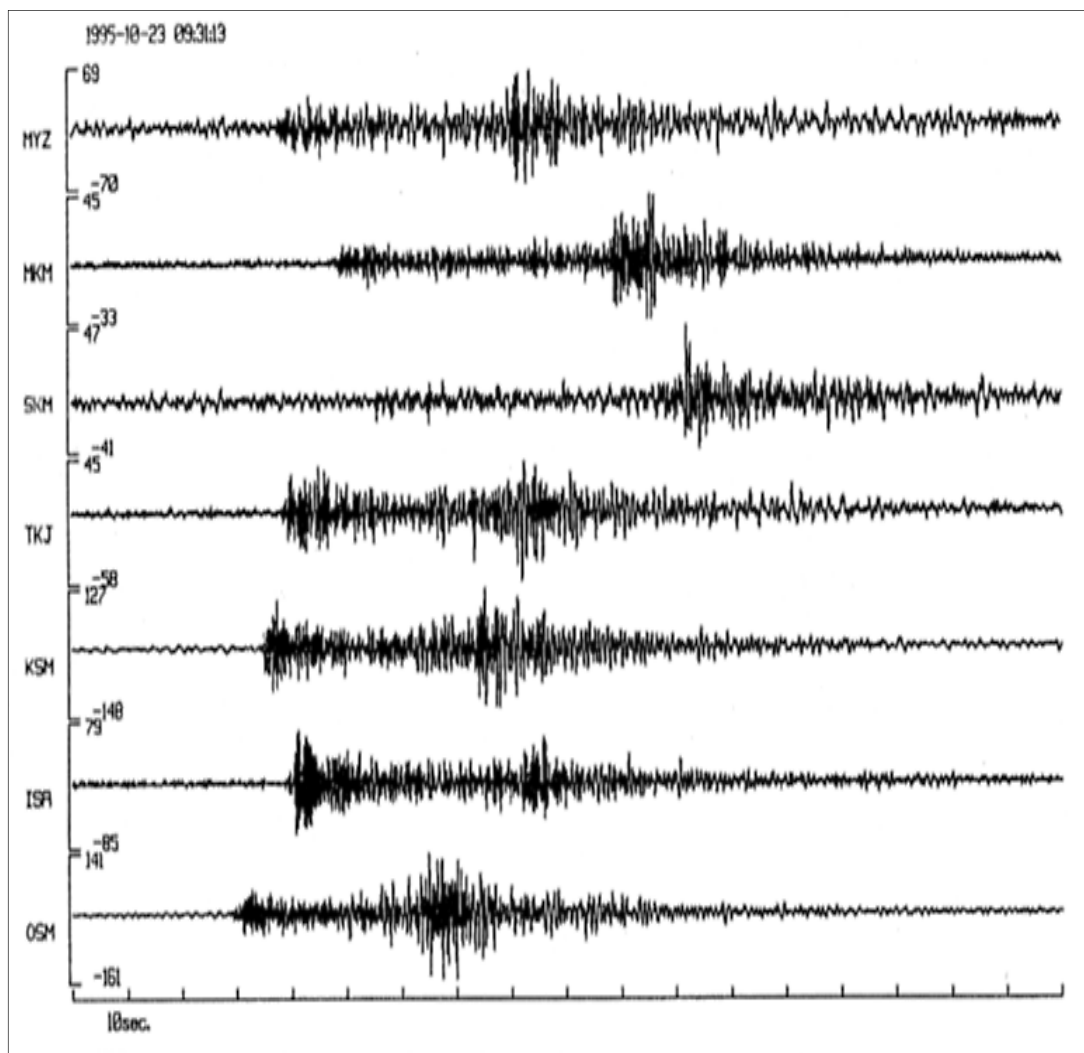


来るように成ったかと思ったら、突然、言語が違  
う世界に変わったから大変である。1~2年経つが、  
今も基礎の域を脱していない、勉強不足だと言わ  
れればそれまでだが、私には何か欠けているのだ  
ろう。人間誰しも得意、不得意があるが、私の場  
合はメカが得意でコンピュータは苦手である。し  
かし、かといってこの職場をリタイヤする

訳にもいかず、これからも苦手ではあるが付き合  
って行くつもりである、関係教官には迷惑をおか  
けするかもしれないが、宮崎観測所の遠隔地に居  
るという事を考慮してもらって、これからもコン  
ピュータとうまく付き合っていきたい。そして、  
地震予知の研究に少しでも貢献出来ればと思っ  
ている。

### 参考文献

- 1) . 古澤保・大谷文夫・寺石眞弘：地殻変動連続観測データ処理システム，測地学会誌’第33 卷，  
1987, pp. 299-306
- 2) . 森井 瓦：『新総合処理解析システム』の仕様書’ 1993 5
- 3) . 市川信夫：『使用実績から見たINSネット64の経済性』京大、技術研修発表’ 1994



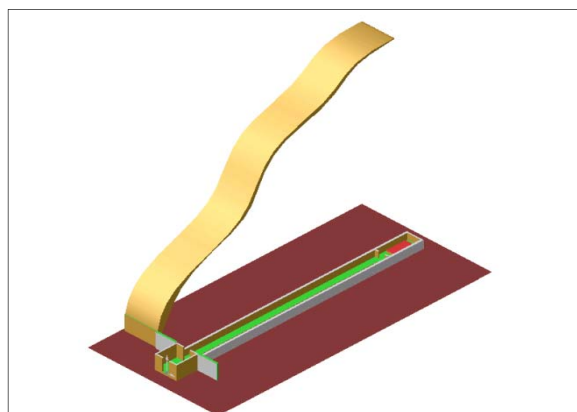
● 新総合処理解析システム 94 による宮崎 7 観測点の地震波



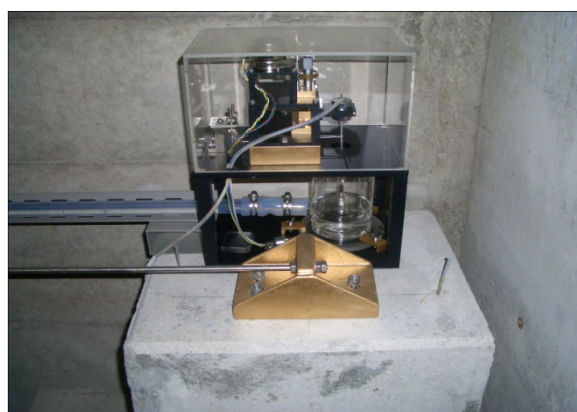
1 : はじめに

今回、防災研究所地震予知研究センター宮崎観測所の大隅観測室に、ハーフフィールド型シリコン傾斜計及び、スーパーインバール棒伸縮計を設置したので、簡単ではあるその紹介をおこなう。

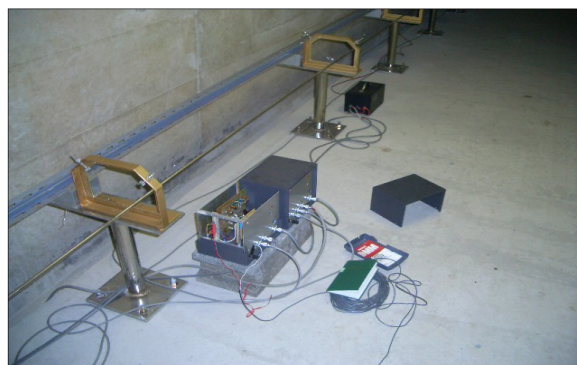
大隅半島にある大隅観測室は、防災研究所附属桜島火山観測所(現在では火山活動研究センター)の大根占観測室として設立された。現在では、地震予知研究センター宮崎観測所の大隅観測室にもなっていて共同で利用されている。宮崎県の沖は日向灘と呼ばれているが、ここを震源とする地震は日向灘地震と呼ばれている。ここは地震予知連絡会の特定観測地域に指定されている、地震の多発地域でもある。今から300年程前、江戸時代の寛文年間には役所地震という大きな地震が日向灘に起り、宮崎県沿岸の7つの村7里35町の地が没して海となると理科年表には記載されている。地震予知研究センター宮崎観測所では、日向灘における地震発生と地殻変動との関係を明らかにするために、1975年以降、地殻変動と地震の両方の観測を実施してきた。1985年からは3年計画で、総計7観測線より成る日向灘地殻活動総合観測線を設置して観測強化を行ってきた。その頃、宮崎の日向灘地域では微小地震観測網が設置されていなかったため、地震活動の特徴を把握する為、日向灘地殻活動総合観測線では総ての観測線の観測点で、地



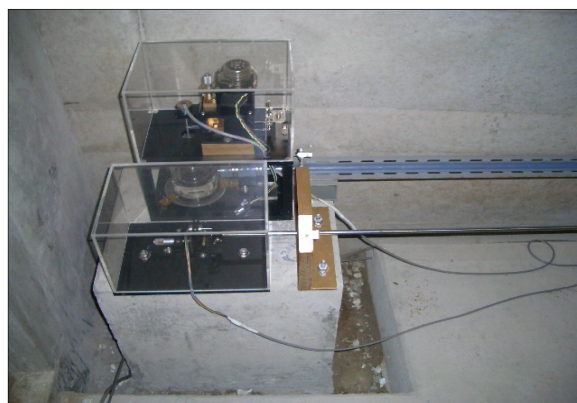
● 桜島観測所：大隅観測室を3Dで作成



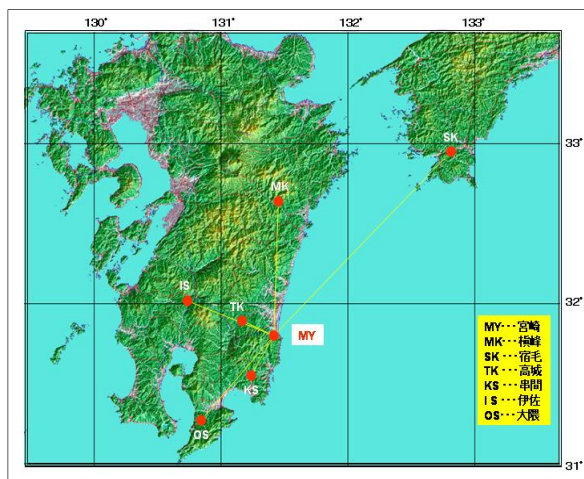
● オイル傾斜計センサー部・伸縮計固定端



● 傾斜計、伸縮計中間部と差動トランスアンプ



● 傾斜計センサー部・伸縮計センサー部



● 日向灘地殻活動総合観測線

殻変動と地震の両方の観測を実施している。宮崎観測所の日向灘地殻活動総合観測線を構成する観測室は、日向灘地域をはさんで四国側の宿毛、九州側の檳峰、宮崎、高城、串間、伊佐、大隅の7観測点より構成されている。この中で唯一大隅観測室にだけ、地殻変動観測計器が設置されていなかったため、今回、桜島火山観測所と共同で宮崎観測所において製作された、ハーフフィールド型シリコン傾斜計とスーパーインバール棒伸縮計を設置した。上図は、日向灘地殻活動総合観測線である。

## 2：大隅観測室の概要

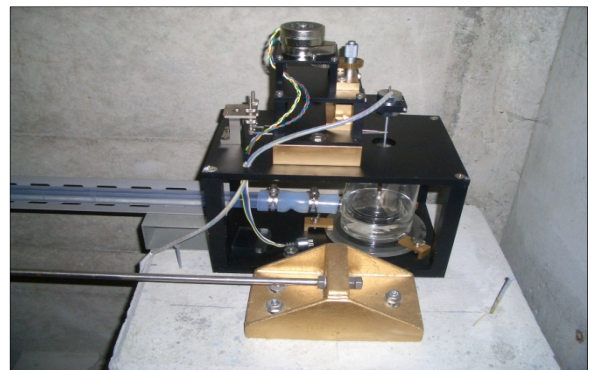
大隅観測室の観測坑道は、大隅半島の福師岳に掘られたコンクリート巻き立ての水平坑道で、2重の扉で仕切られ幅、高さとも2～3mで全長は20m程ある。奥の方は地震計室に成っている。大隅観測室の観測坑道は総て横穴方式、コンクリート巻き立てで坑口部分には送信室を持っている。他の観測坑道は、鉱山その他の廃坑を、拡幅又は間仕切りしたものとして新しく掘削したものがある。右図は大隅観測室の観測坑道である。地殻変動観測計器としてハーフフィールド型シリコン傾斜計、スーパーインバール棒伸縮計、それに地震計を観測室に設置して観測している。伸縮計及び傾斜計の変位センサーとして、全観測室で差動トランスを用いた変位変換装置による電気変換を行い、データ収録を行っている。地殻変動観測計器からの出力は、全てNTTの専用回線を利用して、明星電気テレメータ装置による、2種類の伝送装置で桜島火山観測所を経て宮崎観測所へ伝送される。宮崎観測所では各観測点から伝送された地殻変動データは受量器を通してインターフェース装置に集められ、さらにJJYによって修正された時計からの刻時信号も加えた上で全ての地殻変動データが収録される。



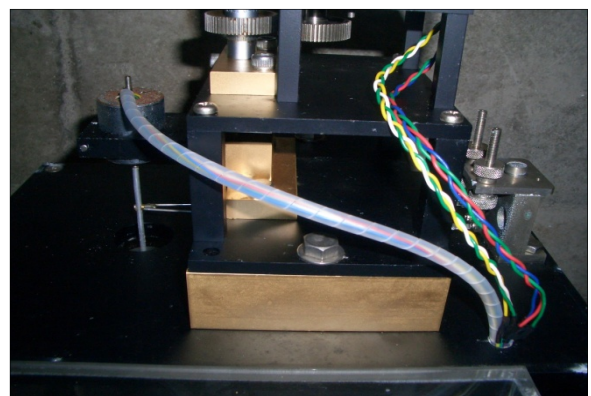
● 傾斜計・伸縮計センサー部



● 通信モデム・GPS時計・データマーク



● オイル傾斜計センサー部・伸縮計固定端



● オイル傾斜計センサー部拡大



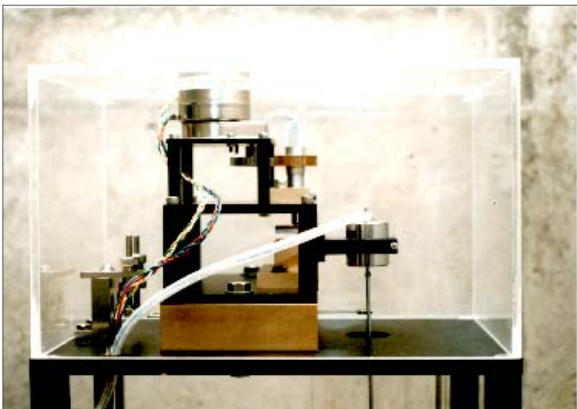
——— 大隅観測室に傾斜計伸縮計を設置 (3) ———



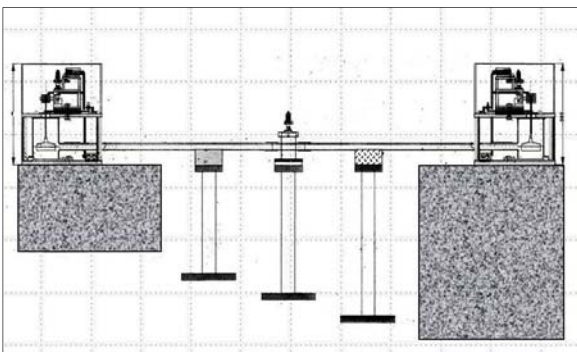
● 大隅観測室支柱群：園田支柱溶接で製作



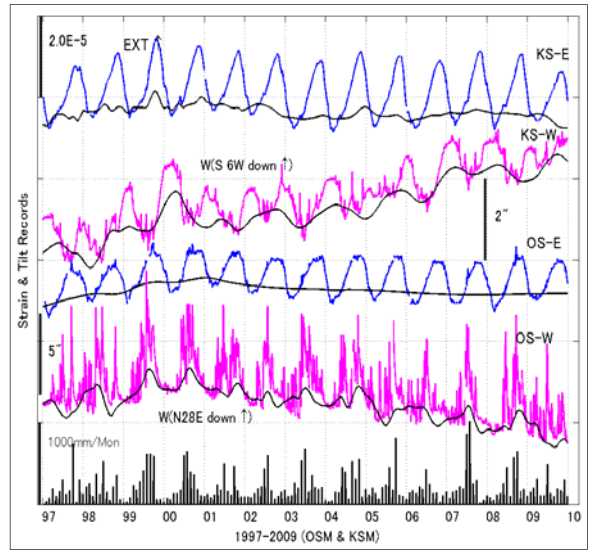
● 大隅観測室正面



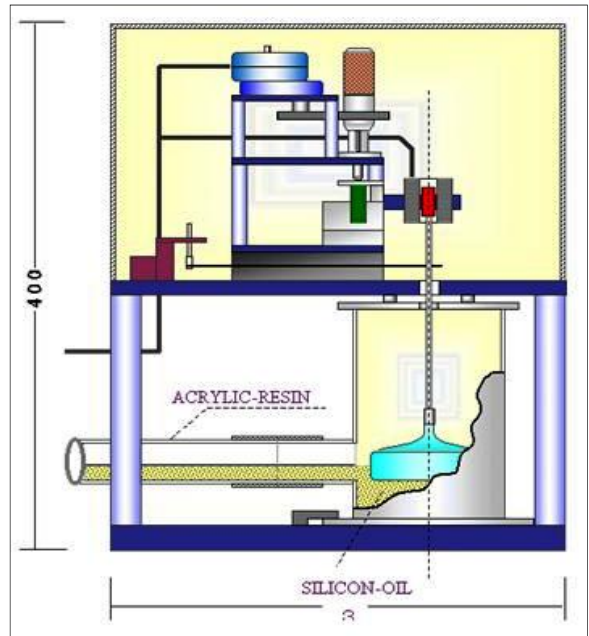
● アクリルカバー付オイル傾斜計の側面



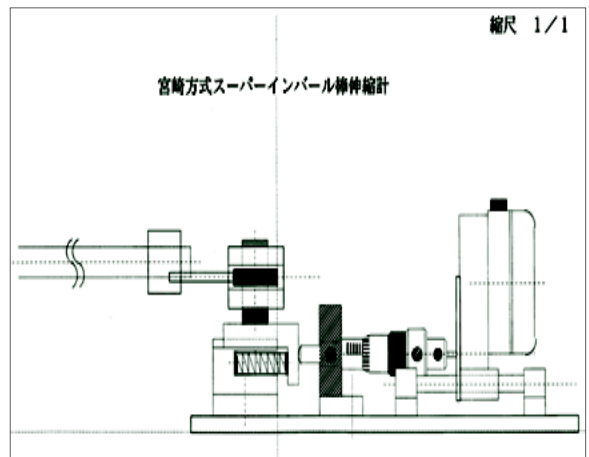
● シリコンオイル傾斜計の全体模式図



● 大隅観測室：EW データ作図 1997～2009



● 大隅観測室坑道：傾斜計センサー部



● スーパーインバル棒伸縮計：センサー部



## 1 : はじめに

技術室通信に投稿するネタも出し切ってしまう何を書こうかさあ困った。地震予知研究センター宮崎観測所で、今迄やってきた仕事<観測業務、機械技術、観測計器制作>に関する事なるべく書こうと思って、今まで書いてきたが目新しいネタもこの頃、ないじゃないですか、さあ宮崎の園田君どうする。この技術通信最初の発刊当時の言葉によると、技術室通信は仕事に関する事ばかりではなく、その他趣味の紹介も書いてよいとある。それで行こう何もむずかしく考える事はない気軽に行こう。それでは何を書くか子供の学校関係の事、宮崎の観光関係の事、地区役員行事関係の事、少年野球 あ……この野球にしよう。今一番仕事<未だに自分の仕事はこれだ、と云う物が見つからない>の次に関係している、少年野球<木花ジャガーズ>関係の事である。私の子供は小学校3年生の時に入団して、野球をやりはじめたのであるがその当初から、コーチで2年間、監督になってから4年間合わせて6年間やってきた。現在では私の子供は中学校に進んで、この少年野球クラブにはいないのであるが、もろもろのしがらみから抜けきれずに、今年も監督を引き受けてしまった。

## 2 : 防災研究所野球部<2年間>

京都大学防災研究所の野球部に入ったのは昭和49年である。私の年齢は23才この年に京都大学の文部技官に中途で採用された。京都大学に採用される以前の5年間は、東京の大手の某株式会社という民間会社にいた。その時代はサッカーかバレーか山登りに熱中していて、野球とはほとんど縁が無かった。このように職場の野球チームに入って、本格的に野球をやり始めたのはこれが始めてである。人生早いもので今の職場に昭和49年度に採用されてから、今年で勤続年数24年を数えてしまった。私の野球人生も同年代に関係し始めたので、これも勤続24

年である。今思えばそれこそスタートは宇治の防災研究所野球部であった。ここ最近防災研究所技術室がD-174に移転したと聞いたが、そこは元防災研究所の工作室であった。そのころ、津嶋さんと小林さんそれに松尾さんが一生懸命地震観測の為の観測計器を工作室で制作しておられた。私も防災研究所地殻変動部門の一員として、工作室に出入りし小林さんに観測計器制作の技術指導を受けていた。その工作室の前にある中庭の広場で市川氏と2人キャッチボールで野球の練習していた。バッティングの練習は場所的に広さが無いので出来なかったが、私の投げる球はそれはノーコントロールであった、暴投しては市川氏に玉拾いをさせてしまい大変迷惑をかけてしまった<その節はお世話になりました！>その内に防災研究所の野球部には入ったが、案の定レギュラーではなかった。防災研究所に2年間いたが、その内に代打で数回出してもらい何本かヒットを打った、今では懐かしい思い出として脳裏に焼き付いている。元々、サッカーとバレーを5年間程やっていたので、大きい玉は良いが小さい玉の野球の方は得意ではなかった。軟式野球の打撃センスは良いが守備の投げる方が苦手であった。防災研究所に勤務していた2年間の中で行なった、宇治川水理実験所のバレーチームに参加しての、京都大学職域バレーボール大会での準優勝、社会人宇治久世駅伝大会での防災研究所駅伝チームに



● 防災研究所野球部：中央で威張っている園田

参加しての準優勝等が思い出される。そんな風にして防災研究所在籍中バレー、駅伝、野球と関係するようになった。その中で野球は私のこの24年間の野球人生のスタートになったのである。それから、2年後地震予知研究センター宮崎観測所が設立されて私はそこに転勤になった。

### 3：草野球<2チーム>

宮崎観測所では職員数の関係上職場での職域スポーツは行なえません。代わりに宮崎観測所周辺の地域のスポーツ団体に参加するようになった。宮崎の草野球クラブ<2チーム>、地域のバレーボールチーム、テニス倶楽部<園田マリーテニス>特に野球は地域の草野球チーム、同窓生でつくった草野球チームの2チームに所属硬式テニスは10名程の仲間でチームを結成した。下手ではあったが、ある程度のスポーツは積極的に参加実践した。今になって考えるとその頃同時期に草野球監督、バレー監督、テニス倶楽部会長とやって来ているが余程スポーツが好きだったのだろう。野球では朝5時に起きてからの早朝野球大会、夕方行なわれる薄暮野球大会、日曜の商工人野球大会等よくやったものである。お陰で野球は随分上手くなったと自分で思う<これも防災研究所野球部と市川氏のお陰です、ありがとうございます>。サッカーとバレーと山登りをやってきた私が野球オンリーでやっている。廻りの社会人がゴルフ、バブルで明け暮れている時も野球をやっていた。これこそ世間で伝う野球きちがい、野球バカではないだろうか。

### 4：少年野球<木花ジャガーズ>

私には子供が3人いますが、その3番目が男の子である。その内に3番目の男の子が小学校3年生になり、少年野球木花ジャガーズに入団し野球をやり始めた。それを境に草野球とテニスを辞め、少年野球の指導関係に没頭してい

た。まず、少年野球コーチからスタートである。

毎日夕方5時過ぎに必ずジャガーズ球場に直行、それから2時間程子供達と野球の練習である。土、日曜は公式戦か無ければ練習試合を行うが、これを1年間365日<週2日休>続けるのだから肉体的にも精神的にも大変である。最初の2年間はコーチ専業だったからまだよかったが、2年後に監督になると、さあ大変、おまけに事務局も兼任という、超ハードである役員



● 宮崎少年野球クラブ (木花ジャガーズ)



のポジションを2つもいただいた。

年間10大会程の公式戦の大会、公式戦が無いほとんどの日曜は練習試合とまったくの野球漬けの少年野球である。さあ大変です！ 草野球の時代は試合回数も少なかったが、まず選手がある程度の野球のレベルに達している大人、であるから指導するという事がなかった。この少年野球クラブに現在は30名程選手がいるが各自の性格を把握して、手取り足取り教えなくてはならない、一生懸命やる子やらない子運動神経が良い子にぶい子、心身共に健康な子供を育成する、と指導要綱にはあるが大変難しい事である。それから、私の少年野球に関係する時間が更に多くなった。毎日、朝6時から2時間程事務局関係の書類作成である<観測所の中に宿舎があり、通勤距離0mだから出来る>。選手登録名簿、連絡網、ジャガーズだより<全30部発行>等の文書作成をWord・Excel・ミニキャド等で行う。こういう事を6年間行ってきた。

最初は私の子供がいるから積極的にやってきたが、一昨年から子供が中学校に進学で居なくなった。現在何故ボランティアで他人の子供達の面倒をみなくてはならないか自問自答しているところである。その割には、この3月の役員会で今年度の監督も引き受けてしまった。自分で自分に云いたい<人がいいのも程々にしろ、アホやないか！>

### 5：巨人キャンプ、少年野球、観測所

<今年も巨人と阪神は、だめでっか！>黄檗銀座界隈の飲み屋でそんな会話が聞こえてきそうな今日この頃ですが4/30記、阪神ファンの皆さん、宮崎の園田君も阪神を応援してまつせ（ちなみに宮崎の園田君は巨人ファンである）！地震予知研究センター宮崎観測所の直ぐ近く、車で5分位の所に県総合運動公園がある。宮崎国体のメイン会場になった所で全てのスポーツ施設が完備されている。野球4球場、陸上2競技場、ラグビー、サッカー、自転車、武道館体

育館テニスコート30面等又来年度には4万人収容の県営球場も出来る予定である。ここは巨人の宮崎キャンプ地で有名な所だ、直ぐ近くに青島がある。木花ジャガーズはその地で結成された少年野球チームである。今年で創立27周年を迎えた歴史と伝統のある少年野球チームでスポーツ少年団に所属し活動している。この宮崎はプロ球団のキャンプが多く、特に巨人が行う秋と冬のキャンプの時は毎日がお祭りである。紅白戦、巨人の少年野球教室等行事が目白押しである。阪神ファンの多い防災研究所からすれば、<なに、巨人の事を書きおって、宮崎の観測所はつぶしてしまえ>とお思いの方も居られましようが、ひらにご容赦を！



● 宮崎県総合運動公園野球場・青島ヤシの木



## 野外トレンチ観測用ハーフフィールド水管傾斜計の開発

○園田保美・古澤保・寺石真弘・大谷文夫

### 要 旨

水平坑道を必要としない野外トレンチ埋設型の、ハーフフィールド水管傾斜計を開発した。消費電力で、保守に手数がかからないことを目標とし、火山や地すべり地域での観測にも適する。シリコンオイルを媒体として、フロートは磁気吸引力で水槽中心に保持されるフロートの変位は渦電流センサーで検出する。宮崎観測所の坑道内および桜島火山の野外トレンチでテスト傾斜観測を行った。

**キーワード**：水管傾斜計，ハーフフィールド型傾斜計，トレンチ埋設型傾斜計，地殻変動  
連続観測，傾斜計

### 1：はじめに

水管傾斜計は、通常水平坑道内に設置するが、観測用坑道の掘削には多大の経費と時間を要し、掘削可能な場所も限られる。野外で地面に溝を掘り、その底部に設置するトレンチ埋設型の水管傾斜計が実用的な感度を有するものとして構築できれば、坑道内観測の制約から逃れられる事になる。地表設置の傾斜計としては加藤(1986)により室戸測候所に設置されたものや白井ら(1994)により東海大学湘南校舎構内で試験されたものなどがある。いずれも約50m長のものである。これらの傾斜計では、不凍液の使用やハーフフィールド型の採用など、地表設置がもたらすさまざまな条件をクリアするための試みが行われた。宮崎観測所では、地震予知などの目的をもつ坑道内観測と全く同等の性能を地表で期待する、というのではなく、火山や地すべり地での観測など比較的大きな変動が期待されるような条件において、これまでの坑道内観測での経験を生かした立地条件のきびしくない傾動観測ができないかという観点から、下記のような環境を想定した野外観測用埋設型水管傾斜計を試作する事にした。

考慮した外部環境に対する条件は

- [1] 野外のトレンチ庭への設置のため気温の日変化や降水などの影響を直接に受けるので、これらの気象擾乱が大きくても、傾斜観測値に及ぼす影響が少ないこと。
- [2] 地表植生の違いや日射の具合によって、温度が観測機器全長にわたり均一ではなくてもその影響が少ないこと。

使用に際しての条件として

- [3] 火山、地すべり地などでの観測でよく遭遇するような商用電力の得られない場所でも、太陽電池風力発電、バッテリーなどの電源を使って観測を行う。
- [4] 以上のような悪影響での使用にかんがみ、設置およびその後の保守の手数ができるだけ少ないこと。

最後に

- [5] 製作コストが低いこと。

このような条件に適するものとして、両端の計測用水槽を結ぶ水管の断面積全体に液体を満たした通常の連通管形式（フルフィールド型）の水管傾斜計ではなく、断面の下半分のみを液体として、両水槽の水面が水管全長を通じてつながっている、ハーフフィールド型を採用することにした。

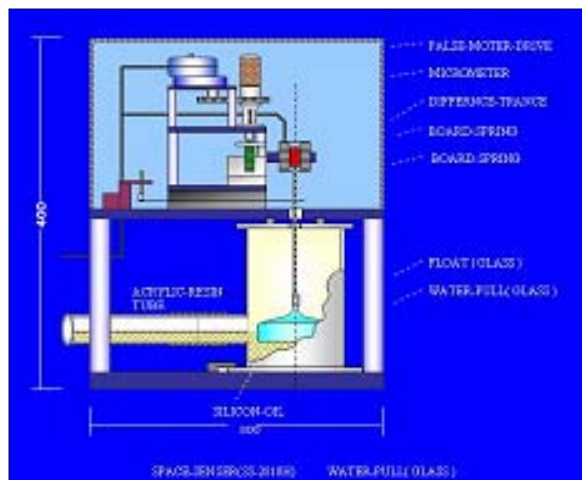
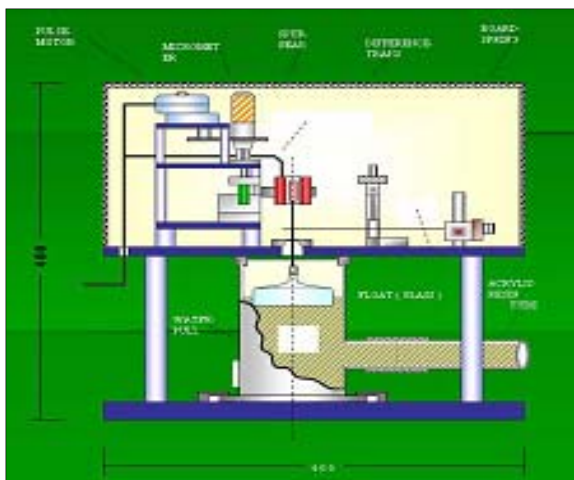
この形式の場合、水面の位置が、連通管内の圧力のバランスで決まるのではなく、連続した水面自体が重力の等ポテンシャル面になるので、液体に温度不均一つまり密度差があっても、影響

## 野外トレンチ観測用ハーフフィルド水管傾斜計の開発 (2)

を被ることが少ない。また全体の温度変化によって熱膨張による体積変化が生じて、その変化分を広い水面全体でまかなうので、連通管式のものに比べて、水面高さが変化する量が少なくすむ(寺石ら、1997)。媒体の流体としては蒸発による液面低下を避けるためシリコンオイルを使用する。シリコンオイルは低粘度のものを使用するものの、水に比べれば粘性が高いので、周波数特性がかなり低周波数までハイカットされることになり、坑道内にくらべて雑微動が大きいと考えられる地表での観測に適した特性である。またデータ収録という面からも低サンプリングレートでの収録にふさわしい特性といえる。センサーとしては低消費電力の渦電流方式センサーを使用して、フロート高さを直接測る構造とする。なお、上記のようにシリコンオイルを使用するので言葉どおりの「水管」傾斜計ではないが、他に適切な表現もないので、以下本稿ではこの原理による計測に対する呼称として「水管傾斜計」「水槽」などの言葉を従前どおり使用することとする。本傾斜計の開発により、これまでの地殻変動連続観測の常識からすればけた違いに簡単な工事で、10mを超えるスパンの傾斜観測が出来る事になる。これによって、いままで不可能と考えていた地殻変動の臨時的な連続観測の可能性も生まれる。当然、地震に限らず火山、地すべり関係などでの使用も念頭においている。本稿では、まずこの傾斜計の開発にいたる経過として、宮崎観測所で製作された前身のフルフィルド型傾斜計についても簡単に述べ、その後主題の傾斜計について詳述し、最後に短期間ではあるが観測地に実際に設置して得られたデータを示す。

### 2：水管傾斜計の開発A<I. II号機>

宮崎観測所の水管傾斜計は設立当初の1975年以来、フロート位置の検出は光テコを用いた光学方式によっており、1980年までの記録はブロマイド印画紙への光点露光で行っていた。この方法では印画紙現像後まで傾斜変化を見る事ができない、デジタルデータではないなどの問題があった。その後、一定時間毎に受光センサーをモーターで駆動させて光点を走査する方法でデジタル化を図ったが、まだ連続記録ではなく、装置の機械的な摺動部の故障が避けられず、欠測が生じるなどの問題が残った。1985年から、日向灘地殻活動総合観測線(高田ら、1987)として、槇峰他の観測点をテレメータ化するにあたり、完全に電気式の変換装置が必要とされ製作されたのが、Fig.1に示すI号機である。



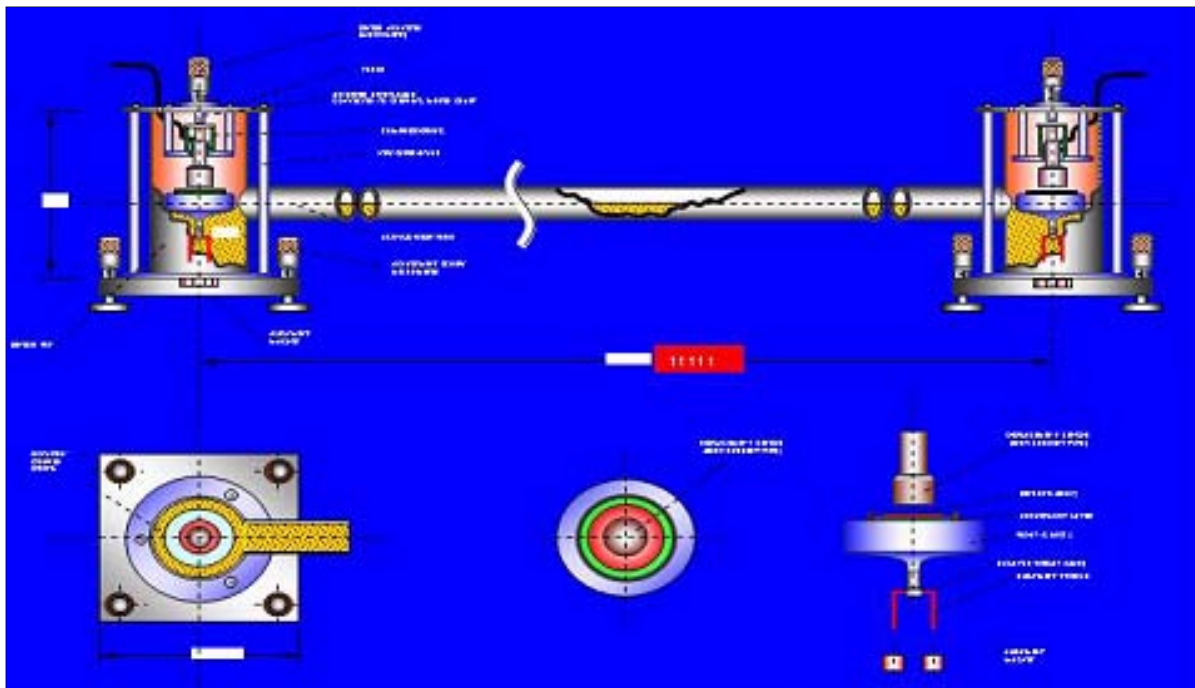
- Fig.1 Type I water-tube tilt meter. (full filled type )
- Fig.2 Type II water-tube tilt meter. ( half-filled type )

### 野外トレンチ観測用ハーフフィルド水管傾斜計の開発 (3)

フルフィルド型で、蒸留水使用の差動トランス型水管傾斜計である。水面高検出水槽とフロートはガラス製である。差動トランスのコアは、フロートに直接取り付けられているがフロート本体は板バネ支点のアムで支持されている。差動トランスの支持摺動部はステッピングモーターとマイクロメータで駆動され、零点調整や較正が行える。最新のものに比べて、複雑な構造で大型となっている。設置にあたっては蒸留水中の気泡の除去に手数がかかり、観測開始後も蒸発した分だけ水を補充する必要があるため連続観測を長期にわたり継続するにはメンテナンスが大変である。この形式の傾斜計センサー部は宮崎観測所工作室において全部で 27 台 (13 成分) 製作され、観測線の各観測点で使用されている。なお、宮崎観測所では、光学方式の変換部に差動トランス変換装置を追加した兼用型を使用している。Fig.2 は、1996 年、大隅観測室に設置した、ハーフフィルド型水管傾斜計Ⅱ型である。基本構造はⅠ型と同じであり、ただ、液面高さを変えてハーフフィルド型にしている。媒体流体としてシリコンを始めて採用した。今回製作した機器の原理面でのプロトタイプといえる機種である。この傾斜計による 2 年余の観測データでハーフフィルド型の特性が確認でき、今回製作機器の設計に際して非常に参考となった (寺石ほか, 1997)。

### 3 : 水管傾斜計の試作B

Fig. 3 に示す今回の改良型水管傾斜計もハーフフィルド型水管傾斜計である。センサー部に渦電流センサーを使用し、構造がシンプルでコンパクトとなり、全体のサイズも小型になっている。媒体液体として不揮発性であるシリコンオイルを使用している。両端のセンサー部水槽は、外径 100mm パイプを利用したアクリル樹脂製である。また両者を連結するパイプも外径 40mm の同パイプを利用しており、各部材の間を F R P 系ポリ樹脂で溶着してまた両者を連結するパイプも、外径 40



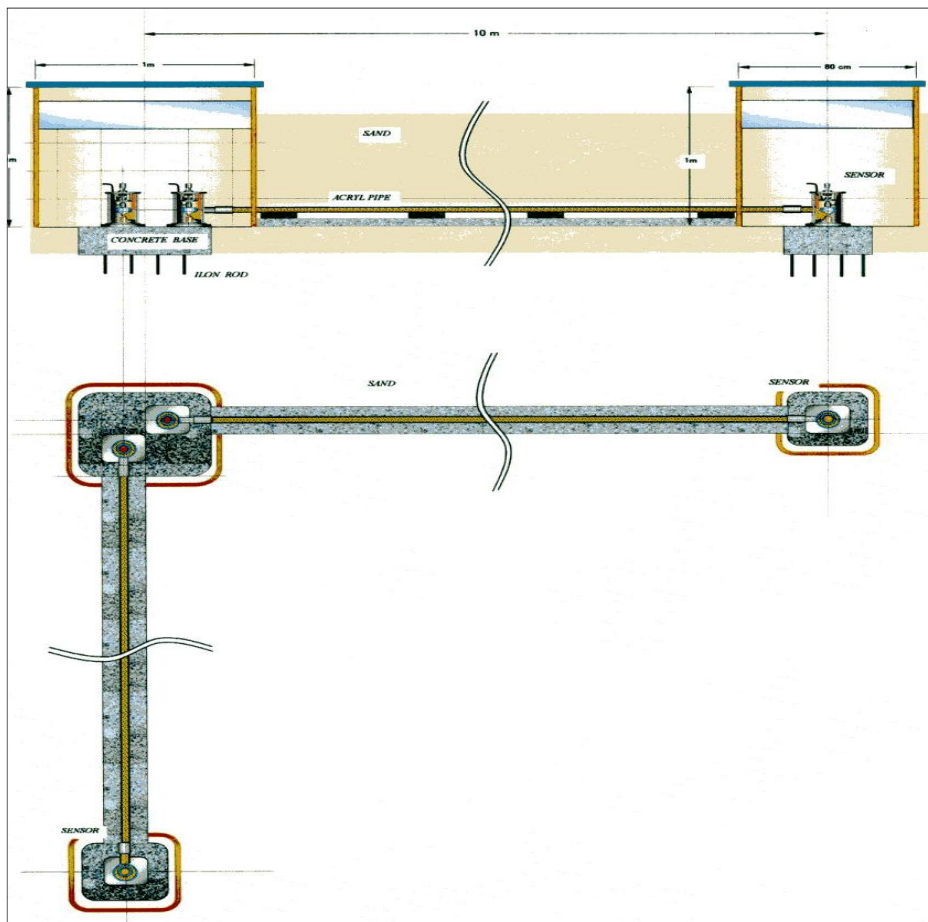
● Fig.3 Newly designed half-filled water-tube tilt meter without float suspension Mechanism ( typeⅢ )



#### 野外トレンチ観測用ハーフフィルド水管傾斜計の開発 (4)

mm の同パイプを利用しており各部材の間を FRP ポリ樹脂で溶着して容器全体がアクリル樹脂製の一体化した構造とした。従来、ガラス水槽と硬質塩化ビニールパイプをゴム管で結合していたのに比べ、高精度で設置でき外圧の影響を受ける部分を減らし、また経年的な劣化も減らすことができる。熱膨張の少ない超スーパーインバール棒で製作した 3 本の支柱で水槽上部に支えられたジュラルミン製円盤に、渦電流方式の変位センサーを支持するスライド部を取り付け、マイクロメータ及び圧縮バネでセンサーを上下移動させて零点調整、較正をすることができる。

渦電流変位センサーはフロートの上面を平面にして、ここに直接とりつけた検知盤の上下変動を測定する構造にして、地震時にフロートの鉛直軸が傾くような運動が発生しても、渦電流センサーと検知盤との横方向の位置変化がなるべく少なくなるようにした。また、検知盤を精度よく水平に取り付けるため、フロートを液面に浮かせた状態で、その上面に FRP ポリ樹脂を流し、その表面が水平を保ったまま固化させた。この上に検知盤を載せることで、フロート形状の対称性のわずかな狂いのために傾斜が生じてもそれが補正される。また検知盤を、揺れの大きい上部でなく揺れの少ないフロートに直接載せた。これにより検知盤の揺れを防止できる。フロートは外径 70mm の密閉ガラス製である。フロートの支持機構としては直接拘束するものはなにも設けず、水槽下部中央の磁石とフロート下部の alignment needle との吸引力で、水槽中央に保持される構造としている。この部分の原理は石井(1992)らの、震研 90 型水管傾斜計と同様であるが、回転防



● Fig.4 Calibration of displacement sensor and test of effect of magnetic

#### A 野外トレンチ観測用ハーフフィルド水管傾斜計の開発 (5)

止の為2個の磁石を使用している、needle がフロートに直付けされている点異なる。この傾斜計は、フロート位置に極端な上下がないため90型より簡単な構造となっている。従来のアムを板バネで支える方式ではフロートの上下運動が円弧運動となり、バネの復元力の影響もあるため、液面高さの最適な位置が限られ、精度よく測れる範囲も狭かった。しかし、今回の方式では完全に上下運動となるため、センサーが追従し、ハーフフィルドの水面が保持される限り、液面高さに制限は受けない。磁石と needle との間の吸引力はフロートが下がるほど大きくなるが、測定値にどのような影響がでるか調べるために、次のような測定を行った。フロートの位置を一定にして、センサーをマイクロメータで動かして、変位 0.5mm 毎の出力を記録する(Fig. 4a)。この場合、磁石による吸引力は変化しない。次いで、Fig. 4のような装置で、液面の位置を自由に変化できるようにして、センサー位置を一定に保ったままで、液面の位置を 0.5mm ずつ変えて、同様の記録をとる。この場合、フロートと磁石の距離が順に変化している。両者の出力値を比較したのが Fig. 4 であり、両者の間に系統的な差が生じていないことがわかる。つまり、約 1cm の範囲で上下させる限りでは磁石吸引力の変化をとくに考慮する必要はないといえる。使用する水管の外径が 40mm であることを考えると、十分な条件であろう。Fig. 6 でわかるように、変位—出力の関係が完全にリニアになるのが中心部の 6mm 程度に限られるので、この部分を中心に使用するとすればさらにこの影響が無視できる。なおフルスケール 6mm、スパン 10mm で出力を 16bit AD 変換すれば、1 digit が  $10^{-8}$  radian に相当する。

#### 4 : 坑道内実験

地震予知研究センター宮崎観測所坑道入口通路に、上記Ⅲ型機を 10m 長で設置して観測実験を行った。地球潮汐も良好に見られる記録が得られた(Fig. 5)。

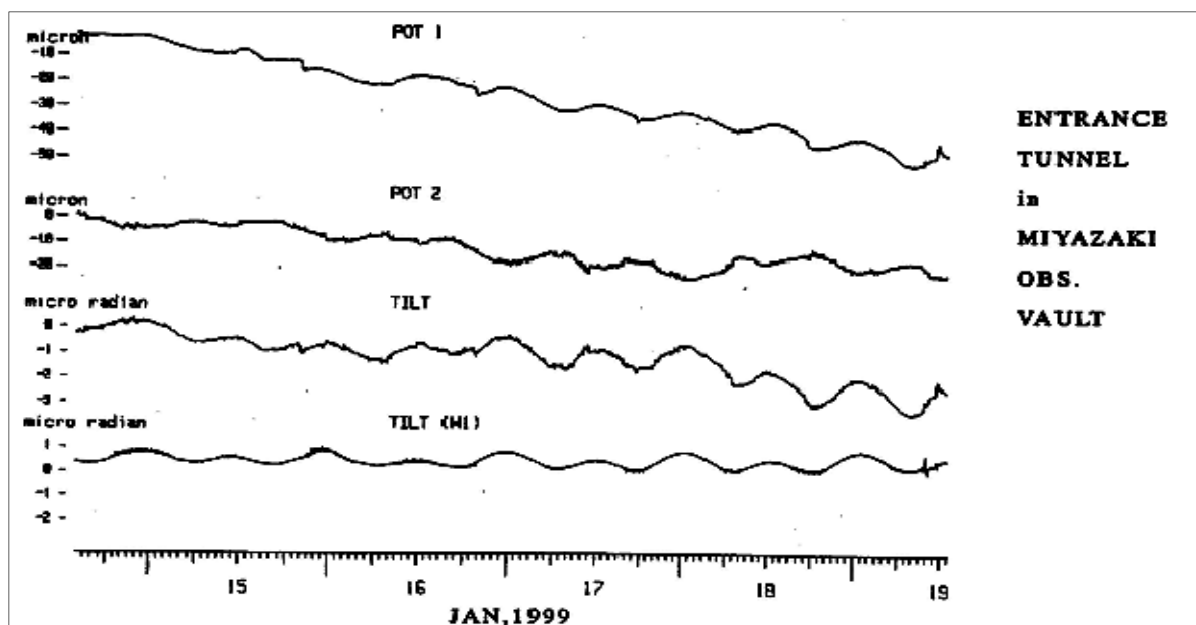


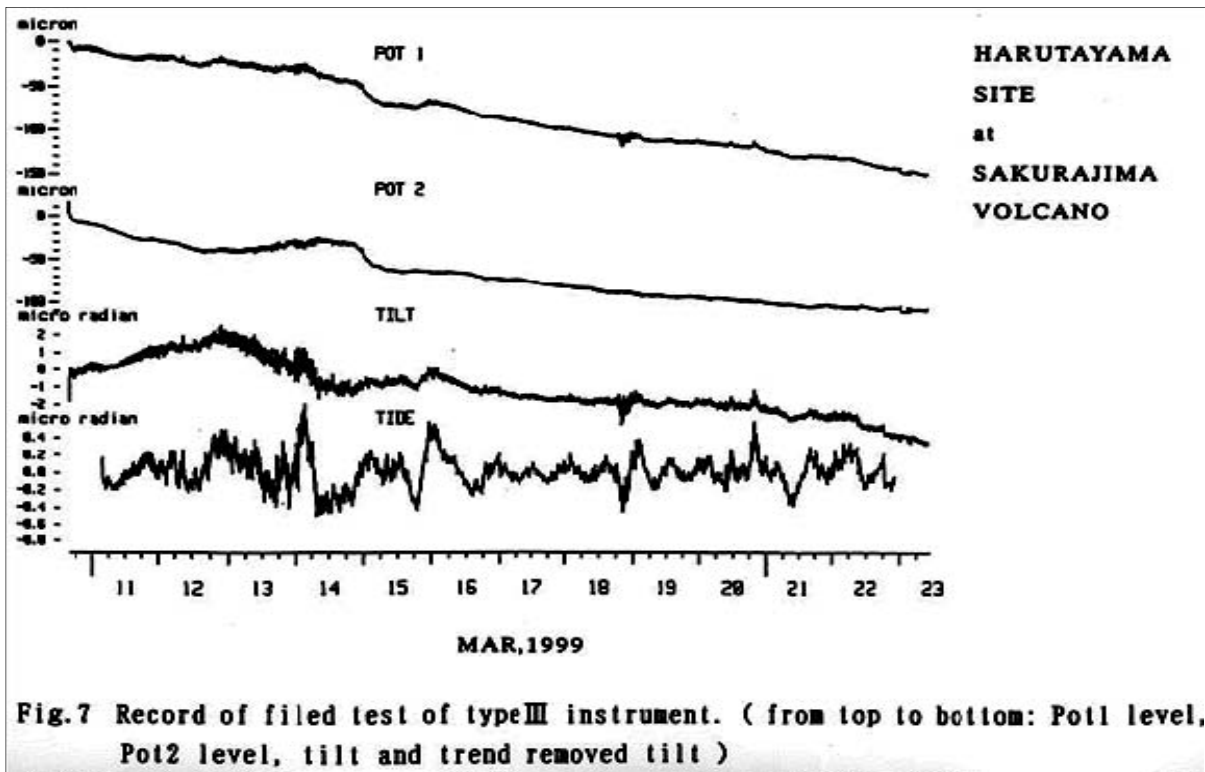
Fig. 5 Record of test observation at entrance tunnel in Miyazaki observatory vault / type instrument. (from top to bottom: POT1 level, POT2 level, tilt and record of outline tilt observation in the same direction in the observatory by type instrument)





5 : 野外実験

火山活動研究センター桜島観測所のハルタ山観測室構内に、10m 長の水管傾斜計を設置して観測実験を行った。設置状況を Fig. 4 に示す。両端の水槽設置孔は 50cm 四方、深さ 1m で両者を結ぶ溝は深さ 70cm 全長 10m である。2m 毎にブロックを置き、溝型鋼を渡してその上にアクリルパイプを置き雨樋のカバーをして全体を埋設している。パイプ同士の継ぎには今回はビニールチューブを使用するが、本格的な観測の場合は FRP ポリ樹脂を巻いて溶着して継ぐ。外気等による環境変化を防ぐため土砂で埋め戻しさらに土盛り、排水溝、ビニールシート等で降雨、気温による温度変化をなるべく抑えるようにした。



● Fig. 7 桜島観測所春田山トレンチ坑道での試験観測データプロット図

その結果得られた観測結果の一部を Fig. 7 に示す。上から両水槽の水(オイル)面高変位、差をとった傾斜値、最下段は、潮汐がどれだけ記録されているかを見るため、簡単な積算によりトレンド成分を差し引いたものである。前半部は低気圧が通過して、降雨の影響や大きな気圧変化があり、さらに 3 月 12 日には火山の噴火、それををはさんで活発な地震活動があった。この時期は記録がかなり乱れている。しかし、後半の 7 日以降は、地球潮汐が認められる。ただし、POT 1 には 18 日深夜、20 日深夜などにイレギュラーな動きがありその影響が重畳している。このうち、18 日には約 20mm の降雨があった。局地的な降雨の影響は 15 日に両 POT に見られるような変化であり、この時は 8 時間で 30mm 程度降ったが差をとれば消えている。いずれにせよ、テストを開始したばかりであり、まだ何度か掘り起こしたりしている状況で、記録の中身について論じるころまでは至っていないが、潮汐を含む記録は得られている。ハード面の改良とともに、気温、気圧の並行データでの補正と、データの適当なフィルタリングにより改善される余地も大きく、これからの課題である。

## 6 : おわりに

野外トレンチ観測用として、改良型ハーフフィールド水管傾斜計の試作を行った。媒体として水ではなくシリコンオイルを使用し、フロート変位測定センサーとして渦電流センサーを採用、フロートの支持として磁石吸引力を用いたことが主要な特徴である。野外観測用としての基本的な要請にはこたえられるものが試作できた。地震予知研究センター宮崎観測所、日向灘地殻活動総合観測線の全観測点に設置する水管傾斜計を 13 年前から製作設置してきた経験に基づきこの開発を行ったが、今回製作した水管傾斜計のシステムは初代の時と比べると従来型の持っているいろいろな問題点が改良されている。今回の目的では感度よりも測定レンジを大きくすることに留意したが、十分な感度を持つように設計すれば現在の総合観測線各点の水管傾斜計をこの方式の傾斜計に取替えることも可能である。今回開発製作した改良型傾斜計は桜島火山それにインドネシアのグントール火山に 2000 年に設置予定である。これらの観測計器の設計、製作は宮崎観測所の工作室で行われた。一観測所の工作室として工作機械、工具とも十分ではない状況で少しずつ整備しながらこれだけのものを開発するのは、限られた予算で必要に迫られて、という状況でもあり少なからず苦労があった。しかし、観測の現場における計器の開発は、得られたデータがすぐに設計にフィードバックされることや、現場の状況に合わせたこまやかな配慮など意義深い点も多い。今後も未解決の問題点に対しさらに開発、改良製作を進めていきたい。

本研究は地震予知研究センターの平成 10 年度プロジェクト研究として行った。

## 謝 辞

防災研究所火山活動研究センター石原教授には、桜島観測所ハルタ山での観測実験を設定していただき、誠に有難うございました。また、井口正人助教授、高山鐵朗技官はじめ同センターの皆様には、ハルタ山での観測等さまざまな面でご協力ご教示をいただきました。改めてお礼申し上げます。東京大学地震研究所石井紘教授、高知女子大の大村誠助教授には室戸観測所を見学させて頂き、観測計器を製作する上で大変参考になりました。有難うございました。

## 参考文献

- 石井 紘. 松本滋夫. 鈴木喜吉. 平田安廣. 高橋 辰利. 若杉 忠雄. 渡辺 茂. 加藤照之(1992) : 震研 90 型水管傾斜計の開発と観測—メカニカルな拘束のないフロート型—, 地震研究所 報, Vo. 67, pp79-87
- 加藤正明. 平原和郎. 田中寅夫. 細 善信. 津嶋吉男(1986) : 室戸における地殻傾動の連続観測, 京都大学防災研究所年報, Vol. 29B-1, pp. 85-96
- 白井直樹. 平田 裕. 綱川秀夫. 浅田 敏(1994) : 地表付近に埋設した 50m 長ハーフフィールド型水管傾斜計による連続観測, 地震大 2 輯, Vol. 47, pp. 189-192
- 高田理夫. 古澤保. 大谷文夫. 寺石真弘. 園田保美(1987) : 日向灘地殻活動総合観測線, 京都大学防災研究所年報, Vol. 30B-1, pp. 29-40
- 寺石真弘. 大谷文夫. 園田保美. 山本圭吾. MUHAMAD HENDRASTO . 高山鐵朗(1997) : 大隅観測室における傾斜観測, 京都大学防災研究所年報, Vol. 40B-1, pp. 27-32

## INDONESIA GUNTUR VOLCANO 2000

### <初めての海外出張>

1APR(土)2000 宮崎～大阪

今回のインドネシア海外出張は古澤教授・井口助教授と私園田技官の3名で行動する事になる。とりわけ井口助教授が全体を把握しているので主役が欠けると今回の計画もオジャンであろう。2～3日前に有珠山が噴火した、なぜこの時に噴火する！ 海外出張初日、4/1(土)今日はエイプリール、宮崎空港にて10年ぶりの親子記念写真、妻46才長女20才次女高校3年18才長男高校1年野球部16才、改めて結婚して20年経ったのだの感である。今回初めての公用旅券による15日間の海外出張である。

旅費は桜島観測所の委任経理金37万円。宮崎空港18:30～19:30 関空 ANK エアニッポン特大ケース1個、リュック登山靴帽子チョッキ。こんな気軽な服装は始めてであるが国内よりも海外の方が軽装である。初めての時には何か起きる、案の定チェックブザー、ブー-と盛んに鳴る。結局2～3回通過したが何が原因か判らなかったがご苦労さんでした。チョッキのファスナー、登山靴の金具？ 関空に19:30無事到着今夜の宿はリンクウタウン近くの安宿である。1泊素泊まり3,750円。大阪も郊外なら安い宿がある。駅から200m歩けば5分程だが特大ケースを転がして行くとなると大変である。それを察してかマイクロバスが送迎をしてくれた。リンクウタウン JR 関空の次の駅、新しく開発された関空の町とも言えようか。高層マンションが建ち、高速道路が出来て新しい町に生まれ変わろうとしている。この町にこの金額で泊まれる旅館は意外であった。宿では旅券、財布等の貴重品があるのと明日の為を考えて外に出なかった。園田君まじめにやっとなね！ というよりは廻りにそれらしい飲食店その他が無い。おかげで夕食も抜きだ。頑張るね！



2APR(日)2000 関空～ジャカルタ

リンクウタウン近くの安宿(つわや)を07:00出発～関空旅客ターミナルビルで朝食。09:30に国際線通関ゲートで井口助教授と待ち合わせ無事合流。さらに古澤教授とは10:00に待ち合わせである。10:00今回のインドネシア海外出張3人組ここに合流する。手荷物託配カウンターにて日通宅配便(関空着)を受け取る。荷物総重量120kg各自特大ケース1個20kg、3名分総重量200kg、JALの許可書あり。パイプ、アルミUチャンネル入りケースの蓋破れていた、宅急便丁寧には扱わないらしい急遽ガムテープで補修する。関空旅客ターミナルビル及びウィングは左右対称に作られているので何でも施設は2箇所ある。国際線チェックインカウンター(E)まず機内持ち込み手荷物以外の手荷物3名分全部手荷物セキュリティチェック(X線検査)を通す。シリコンオイルの箱をチェックされるがJALの許可あり、古澤ケースチェック、ガスライター5個の内4個没収、ライターは1人1個である。古澤ケースを一旦開けたらなかなか閉まらない。ケースが小さいのに詰めすぎだ、大は小を兼ねる次回からは特大ケースだ。当初してあったバンドと当局の方でテープを巻いてもらって、事なきを得た。ケースにはバンドが必要である。井口助教授両替でドルに変換、両替書に記入近くに指導員がいる。旅客サービス施設使用料¥2,650回数券を購入セキ



## インドネシア・グントール火山傾斜計設置：前篇 2

セキュリティチェックの直前に支払う。次は旅客手荷物のセキュリティチェックである、案の定ピーピーの連続である。おまけにリュックのなかに何を間違ったかハサミを入れていた。ボディチェック、ハサミ（持ち込み禁止）等など、この時に結構バタバタであった。次は3階に降りて肝心の税関、出国審査（パスポート、出入国カード、航空券）である。無事通過できた、ほっ！ 通関場所の隣に免税店がある、古澤さん予め渡されたメモに従って、関係者の化粧品多種購入、なぜか、帰国の時にはここは通らないのだ。ここ関空の免税店は世界で一番種類が多いらしい！ ここ3階からウィングシャトルで南ウィングへ中間駅を経て先端駅に向かう。先端駅の2階に降りるとここにも免税店があり、ここでタバコ1ケース購入¥1,700。同じ階にラウンジがありコーヒータイム。ここはゴールドカード支払いである。さあ、12:00 搭乗時間である JAL713 便関空発バリ経由ジャカルタ行き DC10 飛行時間7時間の長旅である。国際線出発ラウンジから国内最後の携帯電話をトミ子さんにする。スラムット・ティンガル、いざ搭乗国際線出発ラウンジからボーディングブリッジを通り機内に乗り込む、井口助教授ファーストクラス座席は前方10列、JICA関係は特別らしい。私と古澤教授はスタンダード。2人並んで7時間も空の旅とはさぞ快適であろう。先が楽しみである。離陸と同時に飛行機 DC10 は一気に雲の上だ、日本よ15日間さらばだ。

機内は満席である学生の春休みおまけに途中経由先がバリ島であるがほとんどバリ観光だ、アベック夫婦子供機内はにぎやかである。さてこれから7時間をどうやって過ごして行くのだろう、と置いていたらまず飲み物のサービスである。ジュースだけかと思いきやビールワイン何でも有りである。さすが7時間の空の旅だ、悲しいかなそれを知らないものでジュースを頼んでしまっていた情けなや。アルコールの好きな私にしては迂闊であつた。次に出て

きたのは軽食サービス。肉か魚か。魚に今度はワインにした。ワイン一連のサービスで2H程費やしたかな。それでもバリ島まで後5Hなかなかである。終盤の1.5時間はビデオ映画だ。残りの3H程は適当に過ごした。さー、バリ到着旅客のほとんどはここで降りるが代わりに日本に帰る人でまた満席である。30分時間があるが旅客ターミナルビルだけで外には出られない、結局バリ島に行ったのに何も見なかった事になるらしい。仕事、仕事、仕事、バリ（デンパサール）からジャカルタまで1H程である。さー、ジャカルタ（スカルノハッタ空港）到着である。通関が問題である。関係者が来ているであろうか。マンダリン高級ホテルフロントでのやりとり。夕食ホテル内の中華飯店。インドネシアビール（ビンタン）、部屋のキーはカードである、コンセント200Vであるが100V変換器を使用する。インドネシア最初の夜である、おやすみ。



### 3APR(月)2000 ジャカルタ～バンドン

ここはインドネシア、ジャカルタ、マンダリン高級ホテル、1泊素泊まり60ドル日本のビジネスホテル並である。ホテルレストランの朝食はほとんどバイキングで飯(ナシ)にいろいろな香辛料の効いたインドネシア惣菜をかけて食べる。この国の人には右手で掴んで食する(浴に云う5本箸)が主である。左手は食事の時は使用しないなぜなら左手は不浄の手。つまり紙を使用しないで直接手桶の水であそこを器用に洗うからである。私、外人は手で掴

んで食しなかった、そうする事が異様に思えたのである、ところが日本人はおにぎりを手で掴んで食べる。飯（ナシ）を掴んで食べている事に変わらない！ チェックアウト、ROOM、No、セブン、スリー、ゼロ、YASUMI SONODA、VISAカード、園田保美サイン、領収書、テリマカシイ、サンキュー、グッバイ、これで園田君も国際派の仲間入りかな？ フロントで両替する、1円=65Rp 園田2万円=130万Rp あっという間に大金持ちである。マンダリンホテルから市内にある JICA（海外協力事業団）のインドネシア出張所（プラザⅡビル）田中氏に会い行く。そこで今回の活動資金 2000 万 Rp を受け取るが、現金用のアタツシュケースがいる。JICA では運転手と車 1 日で 10 万 Rp である。高速 1 万 Rp、昼食 3 人 10 万 Rp（古澤）、タクシー 1 万 Rp。ジャカルタ～バンドンまで途中峠を越えるが、ジャカルタから峠まではジャワティの産地である。ジャカルタからバンドンまで道路沿いに青シートの簡易小屋の店が数多く並んでいるが、その店には必ず 2～3 人の男が屯している。車が止まったりすると寄って来て物を売るか金の無心である。車の数よりも人の数の方が多いくらいである。職が無いのであろうか心が揺らぐ光景である。ほとんどが田園に無数のヤシの木、無数のバナナの木のある田園風景の連続である。田んぼでは稲刈りと田植えが同時に行われていて、日本では見られない風景である。ほとんど稲作であるが稲作用業機械がほとんど見当たらない。時々水牛を見るが、ここでは日本の戦後 10 年あたりの稲作作業である。ここでは時間が止まっているかのように思える。それでも表情を見ると心が穏やかであるように感じられて人間がこせこせしてない。切磋琢磨の言葉はここでは無縁であり通用しないであろう。田んぼのあぜ道にヤシの木、バナナの木が多数植えられているが日本では切ってしまうだろうし、あぜ道に育つ物はすべて除去する。常夏との風土の違いはあるが田んぼのあ

ぜ道のヤシの木バナナの木、これがあるから南国の田園風景が絵になるのであろう。ジャカルタ 10:30～15:00 バンドンまでは 4H 程の工程である。次はバンドンであるが、インドネシアでは第 3 の緑豊かな学園都市である。ここでも相変わらず屋台、ベチャ（3 輪自転車）、物貰いが多いこれらが成り立つのは国民の 80% が信仰している、イスラム教の相互扶助という助け合い、持てる人は持っていない人に分け与えなさい、という教えがあるからではないか！ この道路沿いには全域にわたって多数の大木が植林されている。常夏の地であるからなおさら木の木陰がたくさんあって涼しく心地よい。バンドン地質調査所はバンドンの中心州庁舎の側にあり結構広い敷地と建物である。インドネシアの火山を担当している機関であり各火山に配属されている観測所を総括している。ここに所属されている課長のトトさんが今回のグントール傾斜計設置計画の仕掛け人である。この他 2～3 人がオブザーバーで参加しているが、今回の計器設置観測期間中は全日ここ所属の車と運転手が面倒をみってくれる。グントールまでは井口助教授が担当している JICA（海外協力事業団）関係の車が送迎してくれる。ホリディンホテルにおいてチェックイン、MIYAZAKI レストランで食事をする。



#### 4APR(火)2000 バンドン～グントール

ホリディン朝食はバイキングだ。インドネシアの標準的な朝食とはどんなものか。御飯（Nasi）を中皿に盛りいろんな惣菜を添え、右手指でそれらを混ぜながら掴んで食べる。脇に

水の入った御椀を置きその都度指を洗う。飲み物は熱いジャワティ（熱いウーロンと同じ）か水、スープ（Soto）も付ける。ホリディインチェックアウト room, No スリーゼロファイブ 25 万 Rp ここでの両替は 1 円=50Rp ジャカルタとは 15Rp の差である。8:00 に JICA の車でホリディインを 4 名（古沢教授、井口助教授、園田技官、地元の運転手）で出発した、バンドンを出て直ぐ高速（有料道路）である。こちらの高速は高架とトンネルは全然無い、又人間が出入りしても OK である。普通の道路を幅広く真直ぐに整備して有料にしたもので、ジャカルタ近辺バンドン近郊にあり都市間は繋がっていない。バンドンから 1 時間ほどは広い田園地帯の真中を高速で走る、これだけの広い田園地帯なのに農作業機械が動いていない異様だと思うのはこの国をあまり知らないからであろう。私の実家も田んぼを耕作しているが、わずかの田んぼに大金を借金して機械化する。きれいに農作業して借金、3K で農作業して借金無し、難しい問題だ。ここには、日本の昔の農業が生きておる。しかし、この運ちゃんはどう飛ばすな・・・、ここでは無理な追い越しをしても追い越しされている車が少し避けてくれる、対面の車も少し避けてくれる。道路が狭いし、整備されていないのよう事故が起こらないものだと感心する。日本であれば喧嘩か事故が起こっているであろう、まか不思議である。イスラム教の相互扶助の精神が関係しているのだろうか。警察官がいないのもあるか。そうこうしているうち無事にグントール火山観測所に着いた。11:00 到着。この火山観測所には 3 名の常駐されている職員が居られる。スラムシヤンである。ところが相手はシヤンだけ会話集のとは違うではないか？ 次回からはパギ、シヤン、マラムである。ナナ、アデ、アムの 3 名他に 2 名バンドン地質調査所からアグス、挨拶の後すぐに今回設置予定の観測点に登って下見してこようと言う事になり直ぐに出発である。覚悟はして

いたが着いていきなり山登りとは、まあ軽荷だからいいか！ このグントール火山は 150 年前に噴火した。旧火山の側面噴火で溶岩が麓まで流れ下っており溶岩台地を形成しておる。そこには温泉が湧き出ておりチパナスという温泉宿になっておる。観測所からジープで 15 分登山道の入り口まで行く、そこから 40 分ほど急な登りの連続である。観測点まで 1.5 時間ほどの道程であるが、途中で畑があり農夫が 40～50kg だろう農作物を背負って降りて来る大変だなーと思う。観測点では傾斜計設置のコンクリート製の観測壕の下見。またここから観測所までの電波の送信状態のチェックを行う。この観測壕はインドネシア 700 万 Rp 桜島 200 万 Rp 計 900 万 Rp で製作された。日本円で 15 万円程である。ジャワ日当 2 万 Rp、10 名、日数 1 ヶ月、セメント 60 俵日本の 1000 万円程の土木工事に値するであろうか！ 14:00 に下山である、途中で雨が降る。非難小屋で 1H 程雨宿りをしたが、ここらにはいたる所に簡易非難小屋がある。小屋では農婦・子供と一緒にあった。4 月から 10 月までは乾期のはずで、雨は降らないであろうと云う事に成っていた筈である。観測初日に雨とはこれから先が思いやられる。ズボンと登山靴はびしょ濡れである、ズボンは替えがあるが登山靴はどうしょう？ 宿は近くのチパナスという温泉町のサンバーアラム温泉宿である。早速ドライヤーで靴を乾燥だ、200V コンセントにアダプターを取り付けるとドライヤーは正常に動作した、時々モーターの回転が下がるのは電力事情のせいかな！ 夕食はこの温泉宿で日本人 3 名インドネシア関係 7 名計 10 名での会食である。日本人はビールだけ他はイスラムの禁酒の戒律を守りジュースである。トトさんのメニュー注文を聞いても、チンプンカンプンである。インドネシアでは酒の製造はビールだけで他の酒類は製造されていないらしい。国民の 9 割がイスラム教であるから納得できるが酒の好きな私としては寂しい限りで





ある。まーたまの休肝日もよしとするか。

### < 傾斜計設置編 >

#### 5APR(水)2000 グントール

傾斜計設置。さー、これからが本番である。まずは、腹ごしらえ。チパナス・サンバーアラム温泉宿。ここも朝食はバイキングである。グントール火山のふもとにあるのだが朝改めて周りの景色を見ると素晴らしいの一言である。山と温泉は日本でおなじみだがそれに田んぼにはヤシの木、バナナの木が植えられてまさに絶景である。朝食はレストランでバイキングの朝食そばに温泉プールがあり朝からインドネシアの美人(マヤン)が泳いでいる。それを眺めながら食事をする。まさに朝から優雅な気分である。これで山登りがなければいいのだが公用旅券で海外出張させてもらっている以上そうもいくまい。7:00には迎えの車が来た。昨日観測で使用したバンドン地質調査所の官用者運転手付きのジープである。運転手さんにパギあいさつもさまになってきた。観測所まで15分程である。

昨日は到着と同時にばたばたして周回の地形が定かでなかったが今日はわりと見えてきた。200K近い観測機材は早朝にポーター(近くに住んでいる人達で荷揚げを専門にしている人ではない)10名程で観測点に荷揚げしたらしい。日当ルピー2万(400円)×10人である。8:00に観測所を出発するが、

今日はひずみ傾斜計の組立てまででシリコンオイルは入れない。総勢10名程の人たちが同時に動いていかに効率よく、短時間でこの傾斜計を設置できるか、今までは2~3名で1成分設置の経験はあるが、今回は2成分でありおまけに3名以外は未経験者である。

ここはインドネシア1度間違いがあれば今回滞在期間中に修復できる見通しはない、この観測所には職員3名居られる割には、ボルト1本工具のひとつもありはしない、それに比べたら宮崎観測所は1つの工場みた



● インドネシア・グントール火山



● インドネシア バンドン地質調査所



## インドネシア・グントール火山傾斜計設置：後篇 2



● 宿近くの池と火山



● グントール火山途中：古澤教授とトト課長

いなものである。それに町全体が工業関係のものではなく、ほとんどは農業関係だ。そういう状況であるので全員でやる事にやや不安を感じる。それでも相互扶助の精神でやったるか！ 人を使う事からすると私は少年野球の監督であるからお手の物ではないか。日ごろ選手 50 名 父母 100 名の計 150 名程の関係者に動いてもらっている。この現場も似たようなものだ。9:20 作業開始である早速コンクリートのふたを開けてもらう 1m 角で 2~3 人でないと動かないこれが 15 枚程ある。会所の 3ヶ所 途中の 2ヶ所 でよい全部を動かす必要無し。端から入る途中は 1m 角のトンネルだと思えばよい。次に基礎台の部分を清掃する赤い軍手と布は持って来たが、現地の人はずぐに近くの草を束ねてほうき代わりに使用した。インドネシアではいちから万事自然にある物をうまく利用しているように思

える。今回のハーフフィールド傾斜計は宮崎観測所で園田が製作した。2 成分の設置であるがセンサー間 1 成分 10m の長さの確認、基礎台両端のレベル確認これは現地の人達の測量である。誤差 10mm 以上ではないか、待てよ、こちらの人たちは水準測量の観測をやっていて測量は得意であった。基点にポンチで印をつけ、ケガキ針で十字のケガキ線を入れる。2m のアクリルパイプ 10 本 2m のアルミ製 U チャンネル 10 本を取あえず並べてみると大変だ、アクリルパイプが割れている。日本国内の宅急便で輸送途中で荷物が破れてパイプがはみ出していたがその時であろう。でも、たいした事はなく 2 本端が 5cm 欠けていただけであった 1 成分の片方を切断して調整するのでその部分に使用する。ほっと胸をなでおろす。パイプを受けるライナーは空き缶である。1 成分の両端にセンサー付水槽を 4 個置く。パイプの接続には径 40mm の長さ 80



● 登山途中：井口準教他 4 名の現地スタッフ



● 登山途中：園田とバンドン地質調査所課長



### インドネシア・グントール火山傾斜計設置：後篇3



● 下山途中：井口準教後方から



● 下山途中後方：古澤教授他現地スタッフ

mm のビニールチューブを使用する。チューブの中にシリコンオイルを塗ってねじ込みステンレスバンド2個で締める。パイプをアルミパイプに沿わせるチャンネルは横に置きパイプを中に入れ沿わせ全体を16番銅線で2重に巻き固定する。パイプとポットを継ぐポット4ヶ所は私が行なった。他の所はアデ、アグスらにやってもらい古澤教授は0調整器製作である。現場では回路図なしでの基盤製作なので大変であった。この作業も昼頃にはめどがついたので帰路についた。昨日の雨が午後3時ころであったので連日の雨の降るパターンは午後3時ころから降るらしい。帰路に40~50分程かかるが、早くきりあげたおかげで雨にあわなかったが、30分後には雨が降り始めた。古澤教授は全然形に成っていない0調整器の基板の半田付け作業である。ケースに付ける基板用金具などは製作済みであるが、基板上に配線の半田付けは何もされ

ていなかった。おまけに、ここの観測所にも何も揃っていない、案の定1個でよい抵抗が数個になり回路が複雑になった。それよりも何も1個の抵抗がなかったらどうするの！井口先生がガルーダに断熱材を買いに行くというので、まだ、ガルーダの町に言った事のない私は皆と同行した。観測壕の中に入れる断熱材として、スポンジをビニールで覆い観測計器をドーム状に巻いてカバーした。町の裏通りにある布団店からスポンジの厚み10cm×一畳×32枚—200万ルピー購入した。この店の2~3ヶ月分の収入ではないだろうか、しかしこれだけ買って配達してくれず、カバーのない車1台分のスポンジを店のおやじが少しずつ頭の上に乗せて2~300m離れたジープの所に持って行こうとする。今から雨も降るだろうという矢先に、案の定少しではあるが雨が降ってきたこちらの関係者は乗ってきたジープに積むという冗談だろう。



● 左端古澤教授、右端園田他は現地スタッフ



● グントール火山：トレンチ観測壕にて園田





● グントール火山：観測壕にて古澤教授



● 観測壕上：井口準教授、中：古澤教授

5名乗って満席なのにどこに積むのだ、キャリアのない屋根の上部1.5m程に積み上げた。簡単な事だ、交通ルールを無視すれば何でも出来るが、これを2回繰り返す。小生がいろんな事を考えて心配している事はどうも念頭にないらしい。ガルトの至る所にベチャという屋台が多い。日本みたいにパチンコ屋と飲み屋それにショッピングセンターは全然ない。この町には日本流の、飲む、打つ、買う、の世界とは無縁なのであろうか。それに酒屋が1軒もないのには驚きだ、私はどうしたらいいのだ、飲む人間は少なくとも酒は何処かで買えると思っていたのに、トホホホ！ 18:30 チパナスのサンバーアラム温泉宿に帰る。夕食3名（井口古澤園田）今晚まではインドネシア語の話せる井口助教授がいるので簡単に夕食の注文ができるが、明日からバンドンに、行かれるのでどうなる事

やら。夕食後風呂に水をためようとするが、なかなかたまらない。止水パイプがガタガタで水が漏れる風呂に入る習慣のないこの国ではこれで事足りるらしい。仕方なく、桶にお湯をくんで体を洗う、シャワーはあるがこれは水だけしか出ない。朝5:00腹痛である、なぜだろう正露丸を飲む。いつも常備薬として正露丸ときんかんは持っているので助かった。今日はイスラムの正月であるが、日本の正月みたいな派手さはない、家で静かに過ごしているのだろうか。朝6:00頃チパナス2日目の食事である相変わらずのバイキングである。コーヒーは直接豆をひき直接お湯を入れ沈殿させて飲むのと、インスタントの2種類あるらしい。今日は早朝の腹痛があったので朝からの混ぜ御飯（中皿に御飯と各種総菜を並べ適当に御飯に絡めて食べる）は辞めてパン食にする。御飯は米と炊き方が違うのでどうも日本人の口には合わないらしい。7:00には迎えの車が来た。今日もスムーズにパギ。昨日のスポンジの断熱材はポーター10名で後から荷揚げする。さー今日で山登り3日目である。8:00 グントール観測所～9:30 グントール観測点（途中休憩10分）。古澤、井口、園田、トト、アグス、アデ、ヒデの順にスローペースで登り始めた。ところが古澤



● 観測壕：井口準教授、古澤教授





● トレンチ観測壕中奥：古澤教授



● トレンチ観測壕中：センサー部

さんだけすごいスピードで1人観測点に駆け登ってしまった。これで年60才とは思えないすごいパワーだ、10才年下の小生の体力のなさを痛切に感じる。昔高校山岳部リーダー、今少年野球監督にしてこの体力のなさはなんなのだ。山にはここ10年で1度だけ霧島新燃岳に登っただけ。グラウンドではノックと口八丁手八丁ばかり。何が何でもこれでは体力が落ちますわ！古澤さんは地震予知の教授でリーダーではあるが、山登りリーダーではみんなとはぐれて遭難するかもしれないです。3日目になると下界の景色が少し見えはじめた。

あの家あの道路、全体的には日本の風景と大差無い違いは至る所バナナの木ヤシの木があるので南国情緒、たっぷりである。9:30作業開始であるが、今日は2成分の水槽及びパイプにシリコンオイルを入れて実際に計測する観測状態にまで持って行きたい。まず、NS、EW成分両端のセンターポット支柱（スーパーインバー棒）を中心にタコ糸を張って結び途中パイプのレベルを見る。NS成分にシリコンオイル（2缶程を専用のジョーロ、ビニールチューブを使用して注入する。今回はシリコンオイル（E-オイル）危険等級3であり日本航空から航空機には乗せられないゆえの連絡があったが、井口助教授の再三にわたる交渉の末どうにか許可が下りた。今回のオイルの使用量は2成分16L程である。4L入り4缶と予備2缶をインドネシアに持って来た。このオイルは粘度10でありより水に近い、又蒸発しないので設置後のメンテが楽である前回の発表ではこれを水管傾斜計と呼んだが、本来はオイル使用であるのでオイル管傾斜計と呼んだ方が正解である。以後はこの計器をオイル傾斜計と呼ぶ事にする。同じ様にEW両端のセンターポット支柱に糸を張って結び途中でパイプのレベルを見る。



● トレンチ観測壕：拡大センサー部



● トレンチ観測壕上下：拡大センサー部

同じ様に EW 成分にもオイル注入、アクリルポット4ヶ所にガラス製のフロートを入れ、そのフロートの上に径 40mm 厚さ 0.5mm の検知板を置く。このフロートは桜島ハルタ山の改良型で針が下部に2本出ており基盤に埋め込まれている2個の磁石とのバランスで回転止めとしたが、この部分は極秘である。今回充電式の振動ドリルを購入する。このコンクリートドリルで穴を開けて、アンカーで各ポット1ヶ所を固定する。

アンカーは直径 6mm 長さ 50mm である。このページも設置作業を書く。古澤教授が製作されたゼロ調整器関係の事を書く。回路図、ケースはパッキンの付いた、密閉型蓋付透明プラスチックケース、これは宮崎観測所で製作してきた。中には 12V を 15V に変える変換アダプターと、基盤を取り付けた差込金具があり、基盤を取り出して回路をチェックできる。ケースの端に4ヶ所穴をあけ4芯ケーブルを4本通して隙間をコーキングでふさぐ。

生データ	N-1777.0mV	- 18018
	S-1805.0	17585
	E-1785.0	17802
	W-1808.0	17420

抵抗がない！ 宮崎から持って来たコテライザーは調子が悪く、結局今日は回路アンプが正常に作動しない。明日、宮崎から回路図を FAX で送ってもらって原因を調べる。宮崎であれば端子付きの完全なケースのついた、0 調整器を製作できたのに、このインドネシアではいろいろ事情があって、いい物はなかなか無理である。午後 3 時頃また小雨が降り始めたので一時作業終了下山開始、観測所で 2~3 時間ほど回路がうまく働かない事の討議をした。19:00 に井口助教授はバンドンに行かれた、2 時間の行程である。今日から井口助教授とは別行動であるが、バンドン地質調査所での地震観測システム関係の仕事である。今夜は井口助教授がいない宿での夕食の注文をどうするかの問題があった。それはトト、アデ、アグス、らをサンバーアラムでの夕食に誘う事で解決した。靴が濡れたのでドライヤーで乾燥させたのであるが、今回は熱を加え過ぎたらしく靴底が 1 cm 程縮んだ。



インドネシア・グントール火山傾斜計設置：後篇7



● トレンチ観測壕：2成分センサー部



● トレンチ観測壕：2成分センサー部



● トレンチ観測壕：2成分センサー部



● 太陽パネル

品目	数量	単価	金額	メーカー	etc
<b>&lt;トレンチ観測用品&gt;</b>					
1 アクリルパイプ 40mm x 2m	16本	6,320	101,120	高水化学	
2 アクリルパイプ 120mm x 2m	2本	17,900	35,800	高水化学	
3 ホースバンド AS-45	10個	780	7,800	ASA	
4 アクリル四角 150mm x 5	10枚	2,000	20,000	高水化学	
5 アルミチャンネル 20mm x 40mm x 2m	12本	3,850	46,200	和研工業	
6 アルミパイプ 50mm x 100mm x 2m	2本	7,950	15,900	和研工業	
7 ナイル (4-24(4))	4本	1,070	4,280	ナリテック(株)	1.25(4 + 3.47 = 1.1)
8 金切板(ステンレス) 2本入	10個	780	7,800	SIRTO	
9 ボルト・ナット(ステン) M12 x 40	20個	240	4,800	社会製鋼	
10 ボルト・ナット(ステン) M12 x 50	20個	270	5,400	社会製鋼	
11 カラープレー 300mm	10個	700	7,000	東亜ペイント	
12 ステンプレート #16	15枚	850	12,750	大同	
13 空堀式電動ドリル S411BBA	1式	47,000	47,000	マキタ (株)	
14 空堀式電動ドリル用バッテリー	1個	15,000	15,000	マキタ (株)	
15 充電機(充電器) (充電)	1個	1,500	1,500	大成電機工業	
17 アクリルパイプ 30mm x 2m	2本	6,750	13,500	高水化学	
18 継手金 #16	1個	1,180	1,180	大同	
19					
20					
21					
22					
23					
24			¥405,090		
25					
<b>&lt;工具類&gt;</b>					
27 ハンダゴテ	ポンペ	美田		新藤F.T	
28 ニッパー	ニッパー	ベシタ			
29 六角レンチ	六角レンチ	ヤスリ			
30 スパナ	スパナ	ドライバー			
31 レベル	圧巻機子	たこ糸			
32 ネジ類					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
<b>&lt;備入手荷物&gt;</b>					
40 公用料金 (公用バスポート)・航空券					
41 食費 (インドネシアビザ)					
42 船大カヌー 2台 x 2台 - リュック 2個					
43 ジョウロカヌー フロート1個					
44 電気カヌー (充電式) 車3					
45 フライド					
46 道具 (カッター) 1個					
47 アイシャープナー 5個					
48 傘 (折畳み) 1本					
49 風呂 (折畳み) 1本					
50 登山ナイフ					
51 携帯ポット (500ml)					
52 携帯					
53 アイシム					
54 懐中電灯	電池 (1・2・3)				
55					
56					
57					

● 航空貨物明細表①



● チバナス：サンバーアラム温泉宿



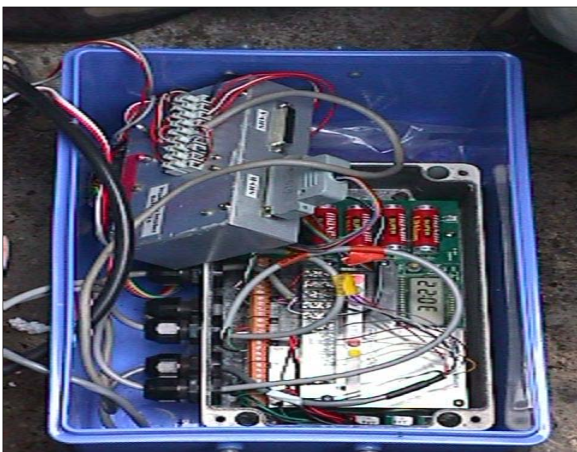
インドネシア・グントール火山傾斜計設置：後篇 8



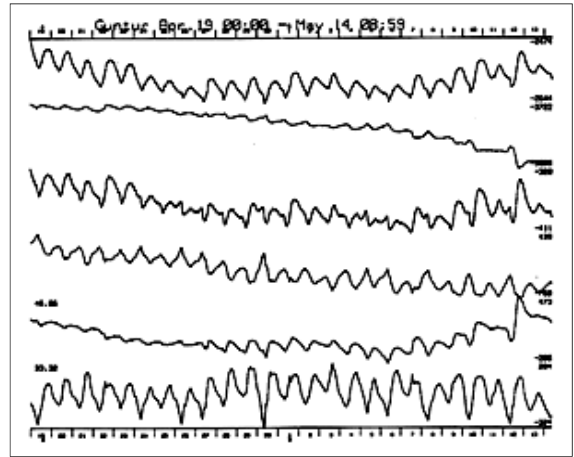
● バッテリー

品名	数量	重量	金額	その他
<b>&lt;トータル機器用品&gt;</b>				
1 アクリルパイプ 40mm x 2m	12本	10.2	85,000	
2 アルミチャンネル 30mmx60mmx2m	12本	12	50,000	
3 アルミパイプ 50mmx100mmx2m	1本	2	15,000	
4 シリコン(ニス) オイル 4L	8箱	24	20,000	1.2Lx4 + 5Lx2 = 14L
5 PC用電源ケーブル 3m	4箱	12		
6 0.1mm-鋼線盤・4芯ケーブル (5m) 5kg	2箱	5		
7 ホースバンド AS-45	30個	1	13,500	
8 動物タイル(ガラス)	20個	5		
9 ケーブル4本		10		
10 継金(ステン) 鋼線	114	154	1	2,000
11 塩ビチューブ 100mmx10m	15個	1		
13 浮遊器・アセトン・マット				
14 ワイナerbプレート				
15				
16				
17				
18	(合計)	83.2 kg	¥185,500	
<b>&lt;工具類&gt;</b>				
1 ハンダゴテ・ボンベ・半田・樹脂付		0.5	15,000	
2 字スター・ニッパー・ペンチ		1		
3 ビニチューブ・カッターナイフ		0.1		
4 トライアングル・スパン・ヤスリ		1		
5 金切機・鋸		0.6	10,000	
6 レベル				
7 電動ドリル(充電器付)		2	50,000	
8 材料・その他・計				
9 作業服				
10 計量器(吊下型)				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19	(合計)	5.2 kg	¥75,000	
<b>&lt;備品(備品)&gt;</b>				
1 公用機庫(公用バスポート)・航空機		0.1	2,000	
2 機庫(インドネシア空港)		0.1	7,000	
3 特大ケース 72x55x35・リュック 20L	1個	7	14,000	
4 デジタルカメラ・フロッピー10枚		1		
5 電池カセット(充電機付) 原3		0.1		
6 トライア	1個	0.5		
7 筒長(カッター)・帽子2		0.5		
8 ワイシャツ10・下着10・つ下10	計30枚	5.5		
9 備品(正露丸・きんかん・その他)		0.3		
10 登山ナイフ		1		
11 機庫マット				
12 香水				
13 ナイフ				
14				
15				

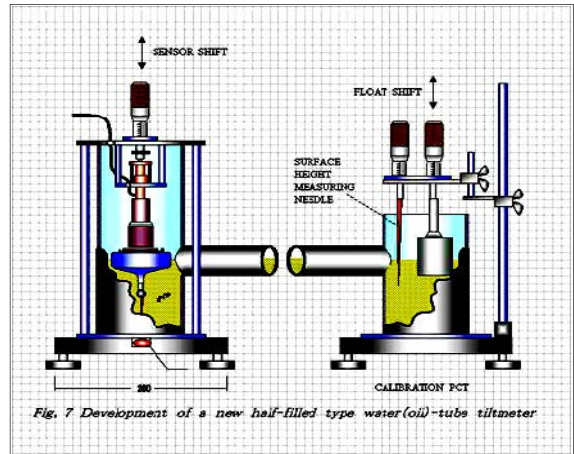
● 航空貨物明細表②



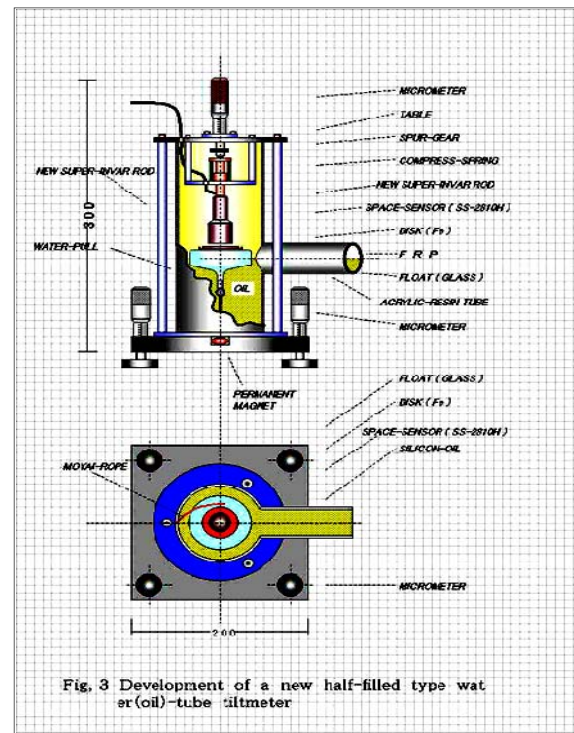
● インドネシア傾斜計：計測部



● ハーフフィルド傾斜計：傾斜計データ作図



● 傾斜計キャリブレーションシステム



● インドネシア傾斜計：センサー部

## 1：傾斜計メンテナンス

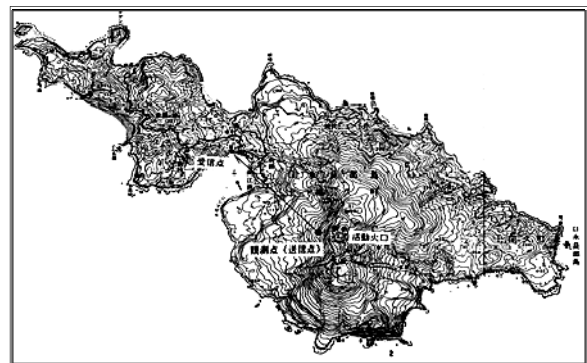
2001年3月から口永良部島火山の中腹で観測を行っているハーフフィールド水管傾斜計は、野外トレンチ傾斜観測用として開発したもので、センサー部に構造がシンプルで全体的にコンパクトな渦電流センサーを使用したことと、フロートの支持として磁石吸引力を用いたことが主要な特徴である。屋外観測において傾斜計のように測定感度を要する観測計器は気象条件（特に気温）に非常に左右されやすいことは言うまでもなく、口永良部島においてもしかりであった。これまで媒体液体として使用していたシリコンオイルを体膨張率の小さい蒸留水に替えることによって、温度変化による影響を少しでも軽減させたいことから媒体液の入れ替えを行なった。蒸留水の蒸発は表面にシリコンオイルを浮かせる事で対処した。口永良部島と同じ改良型傾斜計を、2000年にインドネシアのグントール火山の半地下型に設置したが、ここも同じように気象の影響を受けている。気象の影響を完全になくすには火山活動研究センター桜島火山観測所のハルタ山観測坑道に見るような、大規模なトンネル方式が最善であるが、我々の目標はあくまでもトレンチ式が目標であるので、今後も機器の改良や実験を繰り返しながら気象の影響を最小限に押さえた傾斜計の完成を目指すと共に、気温の並行データでの補正と、データのフィルタリングによる改善を課題に取り組んでいきたいと考える（ハーフフィールド水管傾斜計については1999年防災研年報または1999年技術室報告第1号を参照）。

## 2：登山

口永良部島火山の中腹（標高 405m）には水管傾斜計（園田作製）が2001年3月に設置されていて、携帯電話を利用してデータ収録を行っている。今回出張の目的の1つには傾斜計メンテナンス（巻末に詳細）も含まれていた。連続3日間の過酷な水準測量を終え、ほっとする間もなくメンテナンス器材一式と、後続のGPS観測班に依頼された観測器材や弁当・水等重い



● 口永良部火山の航路、火口



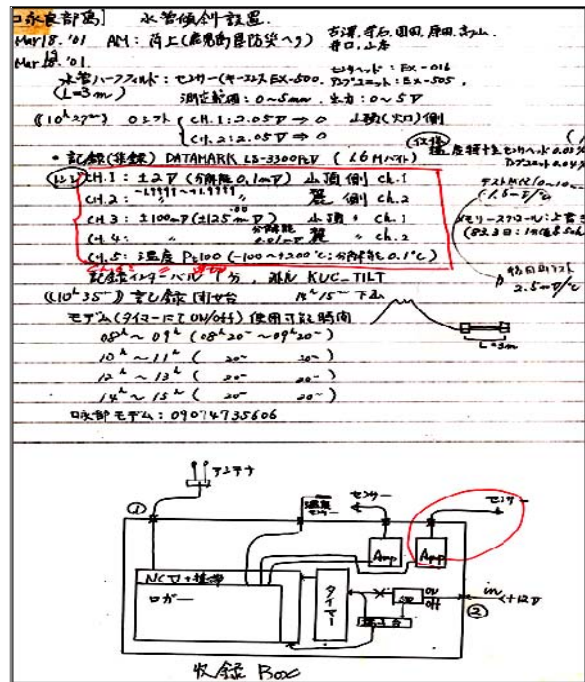
● 口永良部島全島



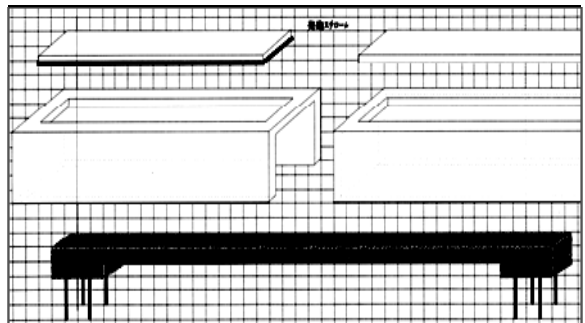
荷物を背負い、小雨の登山口（標高 180m）を 8 時前に出発した。早朝出発には 1 つのもくろみがあり、早々に片づけて今日の午後便で屋久島に渡り、明日の午前中は屋久島見物を計画したのだった。早く言えば「この島を早く抜け出そう」と言うことである。が、「天気予報を見ると昨日に続いて今日も明日もフェリー太陽は来ないのでは？」との噂がささやかれていた。これまでの登山経験から 1・2 回の休憩を交えて 1 時間そここの行程を 3 回も休憩した。「10 年間毎日 2 時間野球グラウンドで子供といっしょに鍛えた体も登山には通用しない」と園田。「シナリオが違うよ…登山靴を履いていたらもっと楽なのだが…」は藤木。「歳だよ、歳…」と高山は言う。フェリー太陽欠航の噂を半信半疑に 1.5 時間の沢のぼり登山は老体に鞭打つての厳しい登山だった。園田を中心に傾斜計のメンテナンスも順調に終了し、先を急ぐことからせつかく背負っていた弁当も下山途中で食べることにした。宿に帰ってみると主人が「今日の太陽は欠航だよ。屋久島には行けないよ…欠航…結構…」と言っている。こればかりはどうしようもないことで、予定どおり明日の朝便で帰るしかない。しからば後は魚釣りしかないじゃないかと開き直り、竿を持って大波の打ち上げる堤防の突堤へ今夜の刺し身を釣りに出かける。



● ヘリコプターで傾斜計の観測機材を搬入



● 埋設型ハーフフィールド傾斜計の設置メモ



● 傾斜計の基礎とカバー



● 埋設型ハーフフィールド傾斜計の設置状況





● ハーフフィールド傾斜計：全景



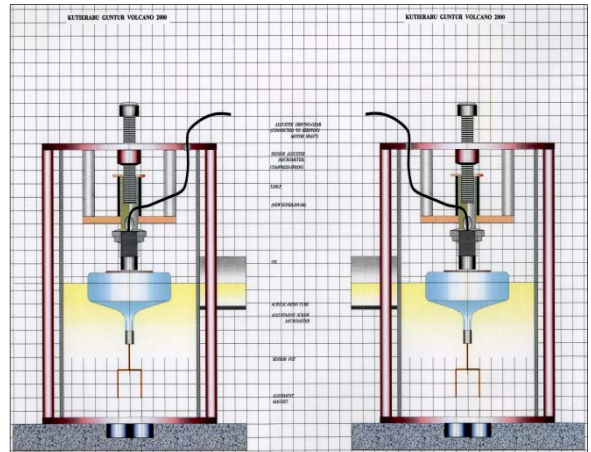
● ハーフフィールド傾斜計とデータ送信機器



● ハーフフィールド傾斜計とデータ送信機器



● ハーフフィールド傾斜計：最終全景



● 新開発の支持なし無回転フロート



● 太陽電池パネル



● 観測終了後の懇親会

## 口永良部島火山における地盤変動—2000 年集中総合観測

< 井口 正人 : 記 >

井口 正人・山本 圭吾・味喜 大介・高山 鐵朗・寺石 眞弘・園田 保美 (京都大学防災研究所)  
鬼澤 真也 (北海道大学大学院理学研究科)・八木原 寛・平野 舟一郎 (鹿児島大学理学部)

Ground deformation at Kuchierabujima volcano during the period 1996-2000

Masato Iguchi, Keigo Yamamoto, Daisuke Miki, Tetsuro Takayama, Masahiro Teraishi, Yasumi Sonoda (Kyoto Univ.) Shinya Onizawa (Hokkaido Univ.), Hiroshi Yakiwara and Shuichiro Hirano (Kagoshima Univ.)

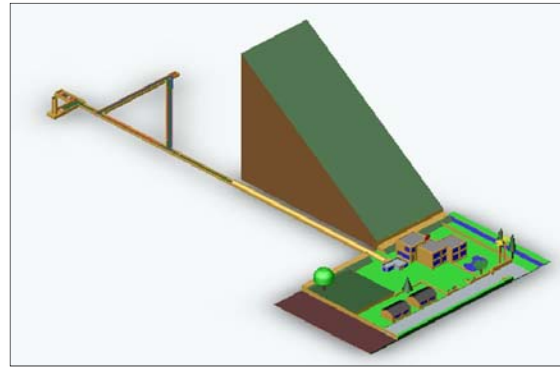
口永良部島火山は、屋久島の西方 14km にある安山岩質の活火山である。記録に残されている最古の噴火は 1841 年である。1933 年から 1934 年にかけては死者 8 名、負傷者 26 名の被害を伴う比較的規模の大きい噴火が、またその後、1945 年、1966 年、1980 年と頻繁に、新岳火口あるいはその東に形成されている割れ目から水蒸気爆発を繰り返してきた。京都大学防災研究所火山活動研究センターは、1991 年 12 月から、新岳火口の西方 0.4km の地点において火山性地震の観測を行ってきた。1995 年以前は、火山性地震の発生頻度は 20 回/月であったが、1996 年 3~6 月には約 80 回/月と活発化した。京都大学防災研究所では、1995 年に GPS、1996 年に水準測量のベンチマークを設置し、地盤変動の観測を繰り返してきた。1997 年以降、地震活動はしばらく静穏化した。1999 年 8 月ごろから再び活発化し、10 月には 320 回の火山性地震が発生した。その後も火山性地震活動の活発な状態が続いている。2000 年の集中総合観測は口永良部島火山および薩摩硫黄島火山において実施され、京都大学、北海道大学、鹿児島大学は、口永良部島火山において 12 月に GPS および水準測量を行った。GPS 観測のベンチマークは新岳の火口周辺に 6 点、新岳・古岳の山麓に 6 点、番屋峰西方に 1 点を設置してある。また、新岳の山麓には GPS 連続観測点がある。GPS 観測は、これまでに 1995 年 8 月、1996 年 3 月、5 月、8 月、1999 年 9 月に繰り返しており、今回が 6 回目になる。今回の観測は 12 月 7 日および 8 日の 18:00 から翌朝 6:00 まで、サンプリング間隔 15 秒で行った。使用した受信機は、Leica SR399 および 530 である。基線解析は SKI-Pro1.1 を使用した。図に 1995/96 年から 2000 年までの各ベンチマークの水平変位ベクトルを、連続観測点 KUCG を基準にして示した。山麓部の観測点は 1996 年、山頂火口周辺の観測点は、1995 年の測定値からの変位である。山頂部の観測点では、2~4cm の変位が、山麓部では、1~3cm の変位が検出された。試みに茂木モデルを適用して、圧力源の位置を計算したところ、新岳火口の東 500m、深さ海面下 200m ときわめて浅い場所に求められた。また、体積変化は 20 万 m<sup>3</sup> と計算された。水準測量もほぼ同じ時期の 11 月 30 日から 12 月 2 日に、図に太線で示したような新岳の西山麓に位置する 8km の測量路線に沿って行われた。初回の 1996 年 5 月の測定値と比較すると、上下変動量は、5mm 以下であり、GPS 観測により検出された水平変動量に比較して小さい。このことは、圧力減の深さが非常に浅いことを反映しているのかもしれない。新岳火口から最も遠い点を不動点にすると、変動量は小さいものの、新岳火口方向が隆起している傾向がみられる。1999 年 9 月にも測定を行ったが、この上下変動は主として 1996 年 5 月から 1999 年 9 月の間に見られ、1999 年 9 月から 2000 年 12 月には顕著な変化は見られない。1999 年 8 月ごろから火山性地震の発生頻度が増加したが、地盤変動は、1999 年の地震活動に連動したものかもしれない。



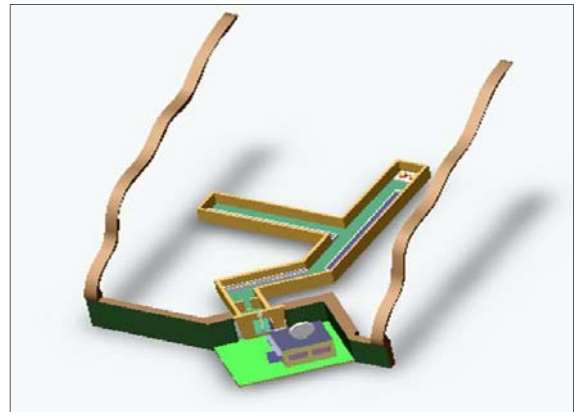
宮崎観測所の地殻変動観測計器は設立当初の1975年以来、大半の観測計器を宮崎観測所の工作室で園田が設計製作してきた。1987年からは地震予知研究センター宮崎観測所の日向灘地殻活動総合観測線として、7観測点をテレメータ化するにあたり、従来の光学式から完全に電気式の変換装置が必要とされ、本格的に宮崎観測所の工作室で設計製作加工を開始した。全観測室に水管傾斜計27成分、スーパーインバール棒伸縮計27成分の地殻変動観測計器を製作した。その他に技術支援ということで、桜島観測所のハルタ山観測室、同じく大隈観測室にハーフフィールド傾斜計を開発設計製作設置、インドネシアのグントール火山、鹿児島県の口永良部火山にもハーフフィールド傾斜計を開発設計製作設置した。これらの観測計器の設計製作は当初は宮崎観測所の工作室で工作機械、治具、工具ともに十分ではない状況でましてや設計図面を書くのにCADなるものはある訳はなく、スタートはグラフ用紙に手書きであった。それからワード、エクセル、ミニCAD等で設計図面を作成していった。限られた予算で必要に迫られてという状況でもあり、少なからず苦労があった。地殻変動観測の現場における観測計器製作は、得られたデータがすぐに設計にフィードバックされる事や、現場の状況に合わせたこまやかな配慮など、意義深い点も多い為、今後も更に開発、改良製作を進めてゆきたい。その為にも本格的な3次元CADがあれば、あらゆる角度の図面が書け計器開発に大きな進展があるだろう。

上記に示すような使用目的で、昨年3次元CADのライセンスを地震予知研究センター宮崎観測所にも1ライセンスつを分けてもらった。今では大変重宝している。

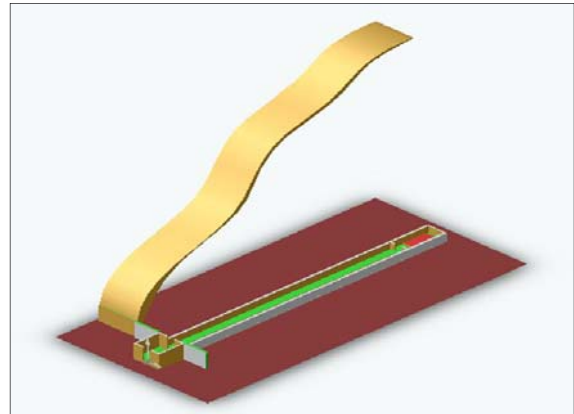
これまでいろいろ模索しながら作図してきたので、その作図例を紹介したいと思う。この3次元CADでは、作図①のような複雑な土地の地形などを描写することはしないと思うが、それをあえて挑戦してみた。



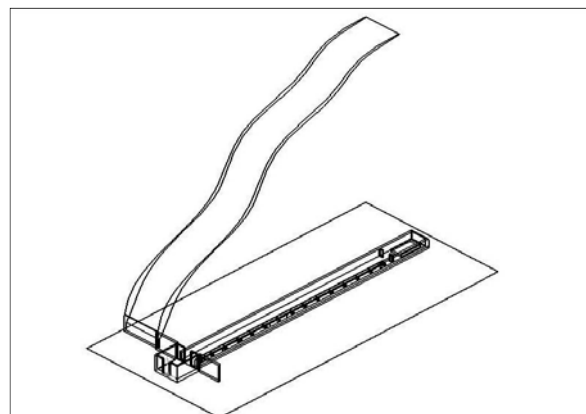
● 作図①：地震予知センター宮崎観測所全景



● 作図②：四国高知県の宿毛観測室



● 作図③：火山活動研究センター大隈観測室



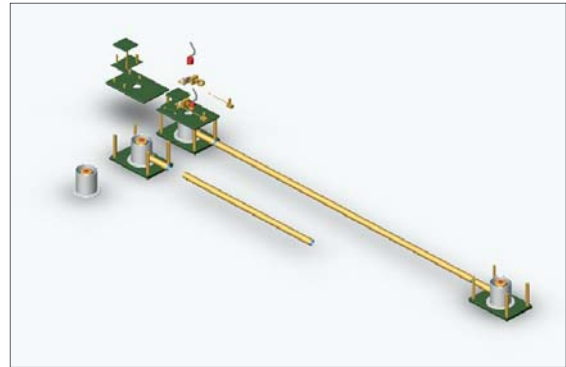
● 作図③：火山活動研究センター大隈観測室

この作図を見ると宮崎観測所の施設を宮崎観測所の施設を紹介する時に一目瞭然、我ながらうまくできたと自画自賛している。この全景が上空からの航空写真のように3次元で見られるようになっている。作図②は四国高知県の宿毛観測室であるが、某教官の宿毛観測室地盤変動関係論文発表の関係で、技術支援の一環としてこの図面を3次元CADで作図した。作図③：火山活動研究センター大隈観測室は鹿児島県の大隈半島に観測坑道はあるが、ここのハーフフィールド傾斜計とスーパーインバール棒伸縮計は宮崎観測所の工作室で設計製作されたものである。

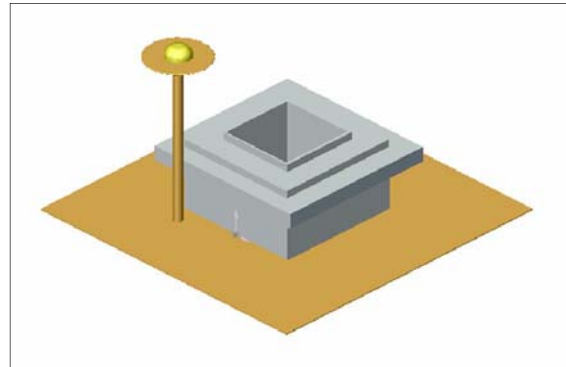
3次元CADの本来の使用目的は作図④：地殻変動観測計器のハーフフィールド水管傾斜計のような、工学系工作物の設計製作図面の作図がベストである。この図が全方向3次元で表示出来るから圧巻である。まだまだ、表現方法が不自然なところがあるが、これから、より詳細に表示してより完全なものに仕上げていきたいと思っている。

宮崎観測所では、最新の技術であるGPS電波受信による地殻変動観測を、日向灘地殻活動総合観測線、特にすでに長年の観測データが蓄積されてきている宮崎市およびその周辺で開始する事とした。GPS宮崎観測網システムを構築する為、宮崎市教育委員会、及び九州電力に申請した。関係書類のGPS受信機システム設置図面が、作図⑤、作図⑥である。受信機設置用ポールは高さ2m、径100mmの園田製手作りピラーである。

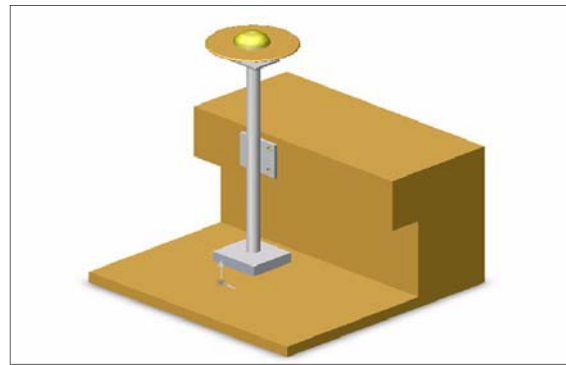
次ページの図は、防災研地震予知研究センター宮崎観測所が、日向灘地震を対象に展開している日向灘地殻活動総合観測線である。MAPの衛星画像を基に、ビジュアル化した地図と同時に観測施設も3次元CADを用いて立体的に作図した。この観測網で宮崎市を中心に四国の宿毛を含む7観測室3観測点から地震観測データ及び地殻変動連続観測データを収録解析している。



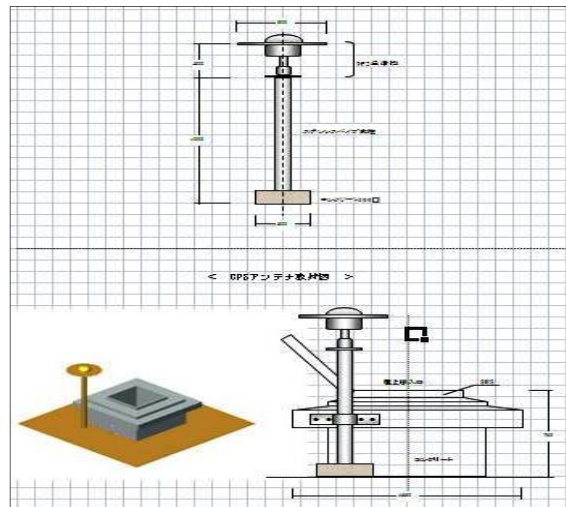
● 作図④：地殻変動観測計器ハーフフィールド傾斜計



● 作図⑤：GPS 木花小学校受信機システム



● 作図⑥：GPS 生目中学校受信機システム



● 作図⑥：GPS 設置関係書類の提出図面

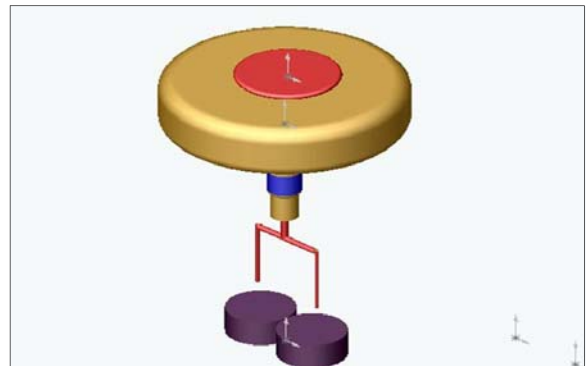
右図はハーフフィールド傾斜計水槽中のフロートと針、2個の磁石の関係を示した図であるが、水面に浮いているフロートの静止と回転防止には有効な方法である磁力とフロートとの浮力の関係は、ある距離を保てば影響はないといえるが、これは以前の発表で実証済である。右図は、地殻変動観測計器フルフィールド傾斜計の差動トランス用、スライド式のコイル支持金具である。これらの製作は宮崎観測所の工作室で、万能工作機械等を使用して製作した。それぞれの部品ごとに拡大出来るので、製作する時に参考になり製作者として大変重宝している。

下図は和歌山県由良観測室に設置してある地殻変動観測計器のスーパーインバール棒伸縮計である。永年観測データを収録してきたので、只今3成分整備中であるが分かりやすいように赤色で表示した。新しく製作する部分の差動トランス支持金具、及びコア支持金具全体をCADで作図したが立体的に見えて一目瞭然である。

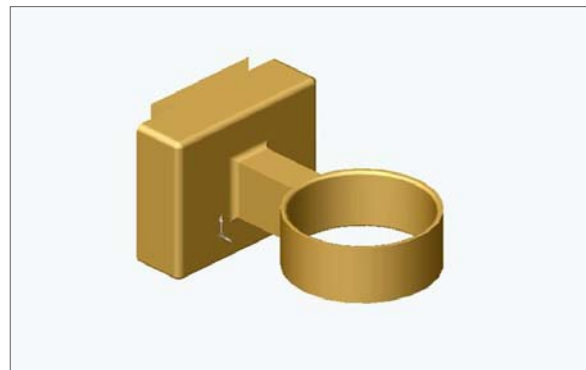
観測計器に限らず多方面のいろんな場で幅広く応用できるので、私なりにこれからより詳細に表現していきたい。その他、3次元CADであるので各種いろいろなパターンの動画でのデモ表現が出来るが、ここでは、それぞれの作図の動画は出来ないのとりにあえず数例、デモのパターンを作成してみた。



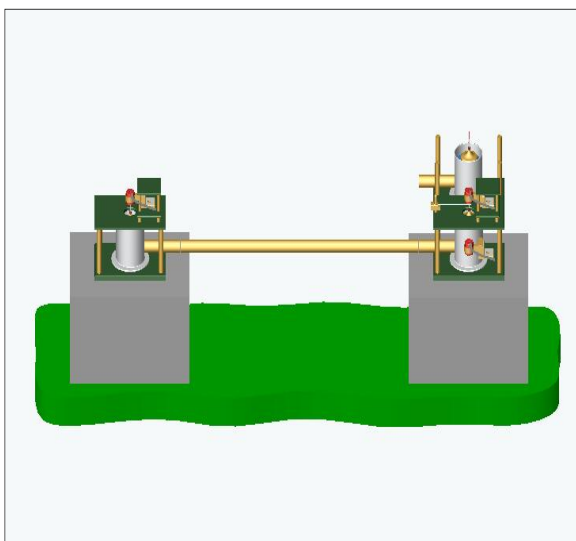
● 日向灘地殻活動総合観測線：宮崎観測所



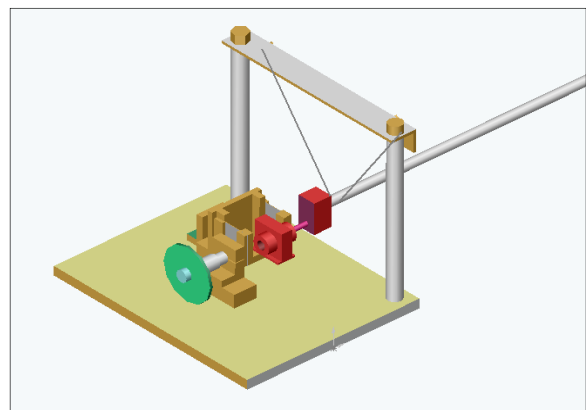
● 3D：支持なし無回転フロート



● 3D：差動トランス支持金具

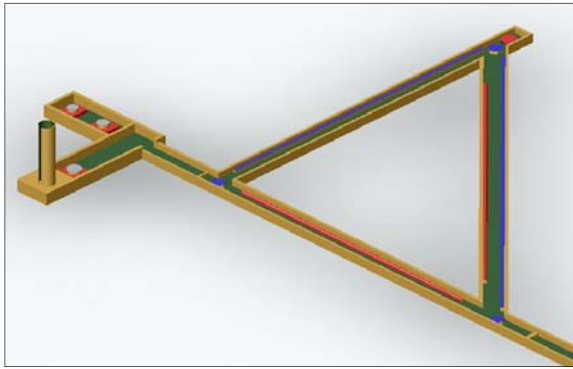


● 3D：水管傾斜計全体図

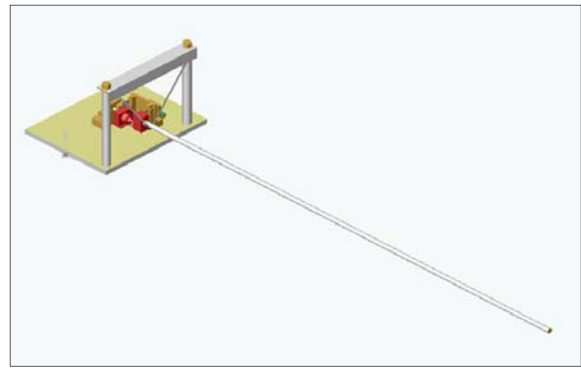


● スーパーインバール伸縮計：センサー部

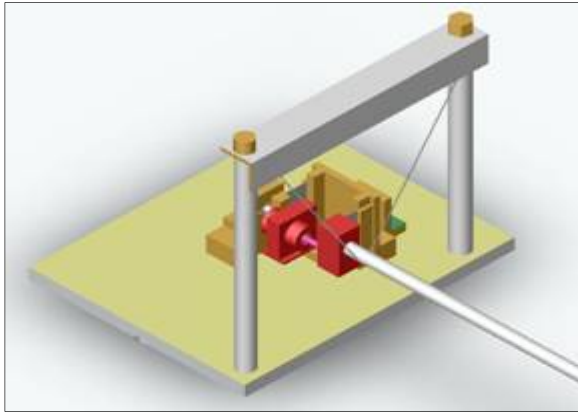




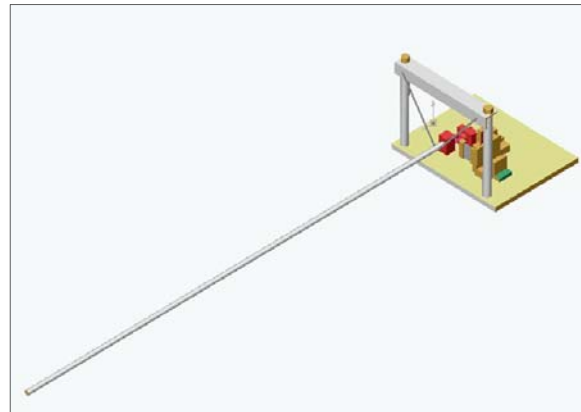
● 3D：宮崎観測所坑道奥観測計器群



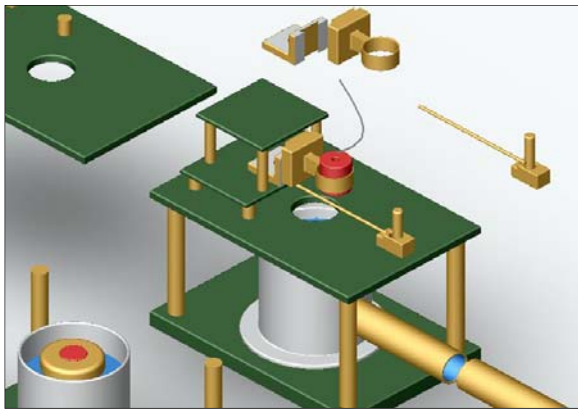
● 由良観測室スーパーインバール棒伸縮計



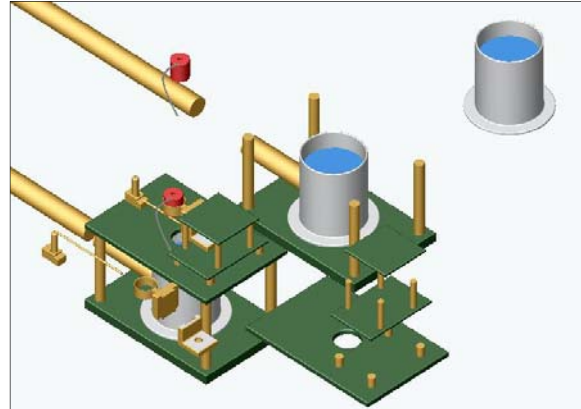
● 3D：由良観測室：スーパーインバール棒伸縮計



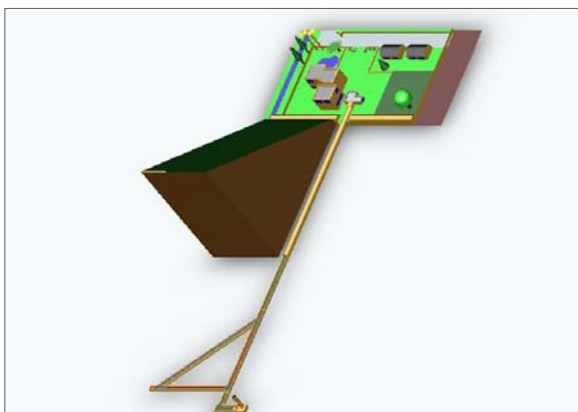
● 由良観測室スーパーインバール棒伸縮計



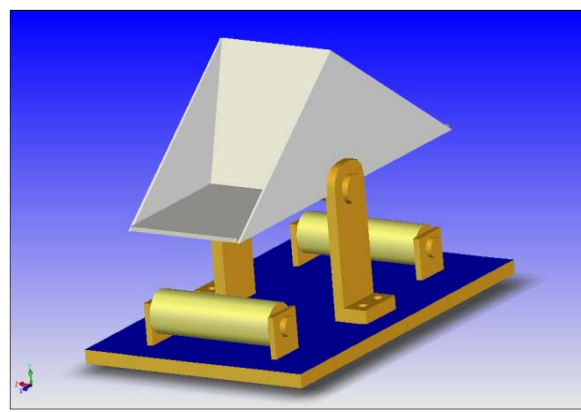
● 水管傾斜計拡大図：フルフィールド型 (I)



● 水管傾斜計拡大図：フルフィールド型 (II)



● 宮崎観測所全景



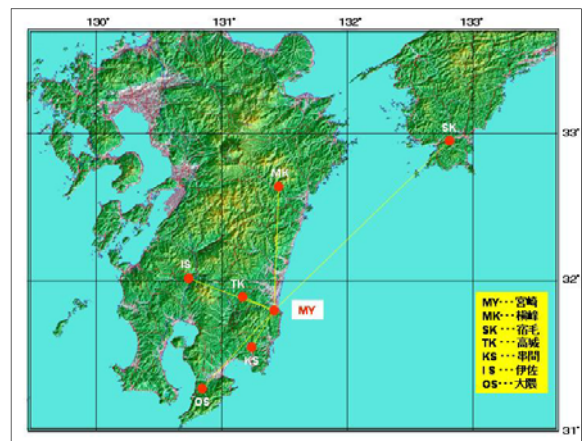
● 伊佐観測室：湧水計

## 1. はじめに

防災研究所地震予知研究センター宮崎観測所（以下、宮崎観測所という）の地殻変動観測計器等は、設立当初の1975年以来、大半の観測計器を宮崎観測所の工作室で園田が設計製作してきた。1987年からは宮崎観測所の日向灘地殻活動総合観測線として、宮崎県の槇峰高城、串間、鹿児島県の伊佐、大隈、四国の宿毛等の7観測点をテレメータ化するにあたり、従来の光学式から完全に電気式センサーの観測データ変換装置が必要とされ、本格的に宮崎観測所の工作室で設計製作、及び設計図の作成を開始した。全観測線に水管傾斜計27成分、スーパーインバル棒伸縮計27成分の観測計器を製作した。その他に技術支援という事で火山活動研究センター桜島観測所のハルタ山観測室、同じく大隅観測室にハーフフィールド傾斜計を、鹿児島県の口永良部火山にもハーフフィールド傾斜計を設計、製作、設置した。これらの観測計器の設計製作は設立当初、宮崎観測所の工作室で工作機械、工作用治具、機械工具とも十分ではない状況で、ましてや設計図面を書くのにCADなるものがある訳はなく設立当初はグラフ用紙等に設計図を手書きしていた。それ以降はPCにWORD、EXCEL、ミニキャド等のソフトで設計図面を作成してきた。限られた予算で必要に迫られてという状況でもあり少なからず苦労があった。地殻変動観測の観測現場における観測計器は、得られたデータが直ぐに設計製作にフィードバックされる事や、現場の状況に合わせたこまやかな配慮など意義深い点も多い為今後も更に開発、改良、製作を進めていきたい。その為にも本格的な3次元CADがあれば計器の開発、設計に大きな進展があると思う。以上のような使用目的でCADのライセンスを宮崎観測所にも提供してもらった。今では設計図面を作図するのに大変重宝しているが、これまでにいろいろ模索しながら、各種観測計器や観測所及び坑道の全体図を作図してきたのでその作図例を紹介し、あわせてCADによる3D震源分布作図システムを構築した。

## 2. 日向灘地殻活動総合観測線

図1は宮崎観測所が、日向灘地震の地殻変動研究を目的に宮崎周辺に展開している日向灘地殻活動総合観測線である。ネットのカシミール衛星画像を基にビジュアル化した九州、四国地図に各観測室の位置を表記した。この総合観測網で宮崎市を中心に四国の宿毛観測室を含む7観測室3観測点から地震データ、地殻変動データ等を専用回線による明星テレメータ装置で観測データを収録解析している。このCADでは、このような複雑な土地の地形、及び観測室の施設を描写する事はしないと思うが、今回それをあえて挑戦して作図してみた。この上空から見た全景の作図を見ると各観測室を紹介する時に一目瞭然で判るので、我ながらうまくできたと自画自賛している。この観測室全景が上空からの航空写真のように、3次元で見られ拡大縮小も思いのままである。

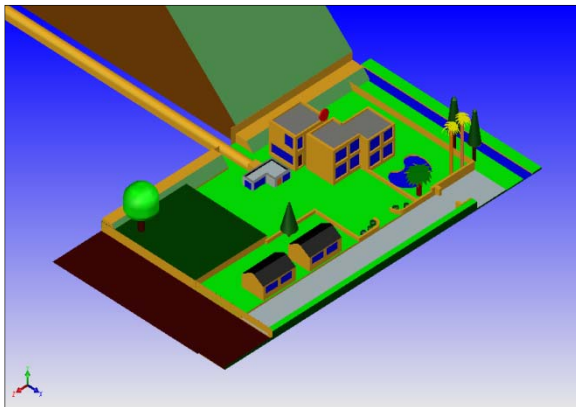
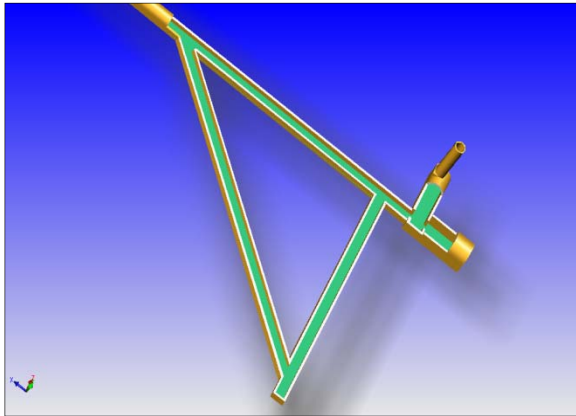
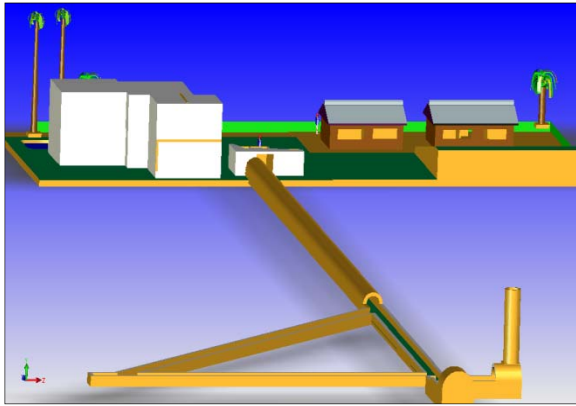


● 図1. 日向灘地殻活動総合観測線Ⅰ・Ⅱ

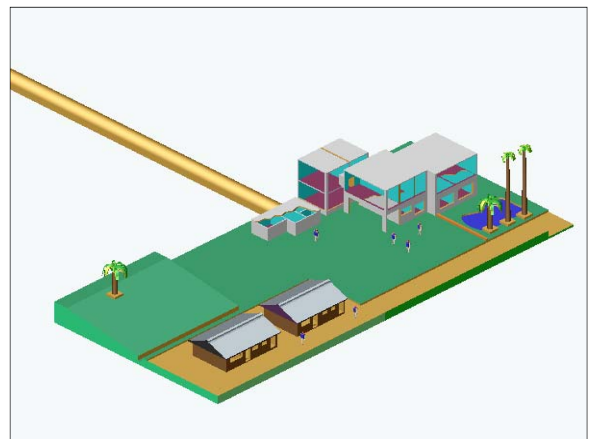
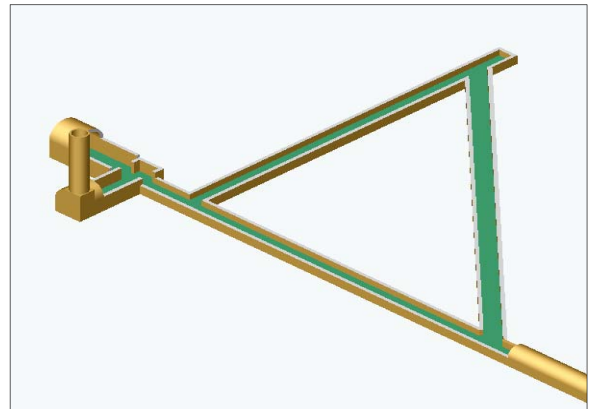
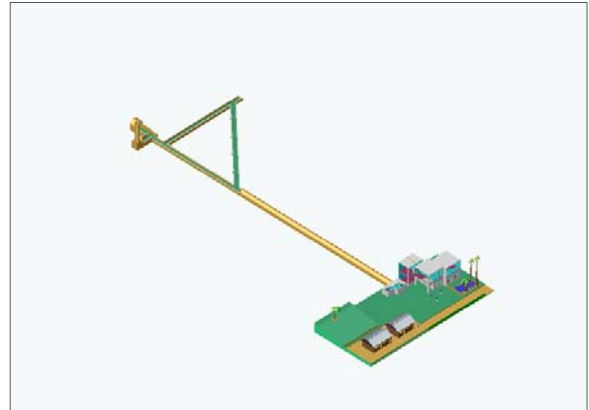
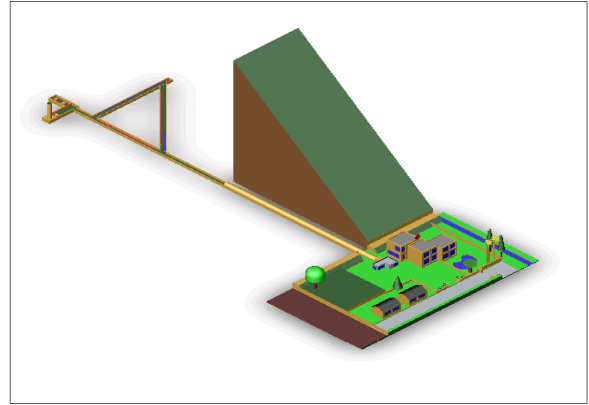


### 3. 宮崎観測所3D

下図は宮崎観測所全景の全体図であるが観測所本館、職員宿舎、坑道、坑道入口の計測室等がある。全長 300m の観測坑道奥の地殻変動観測計器群も3次元で見る事ができ、まだ詳細に表示してないがある程度までは表示可能である。これからより詳細に、どこまで細かく作図が出来るか自分なりに追求していきたい。そして技術支援の一貫として、関係者に3次元CADの技術を提供できればと思っている。

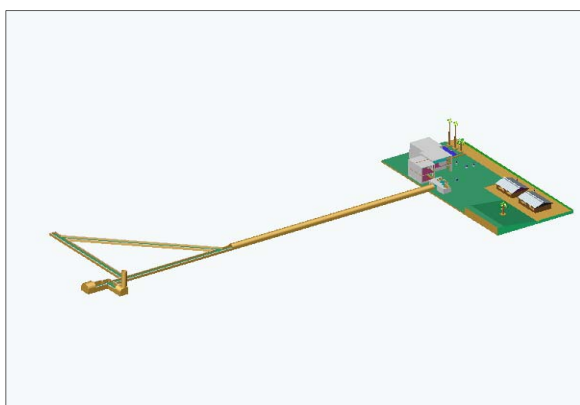
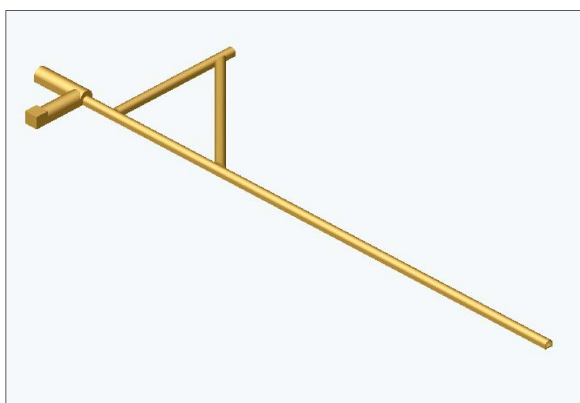


● Drawing で表示の宮崎観測所



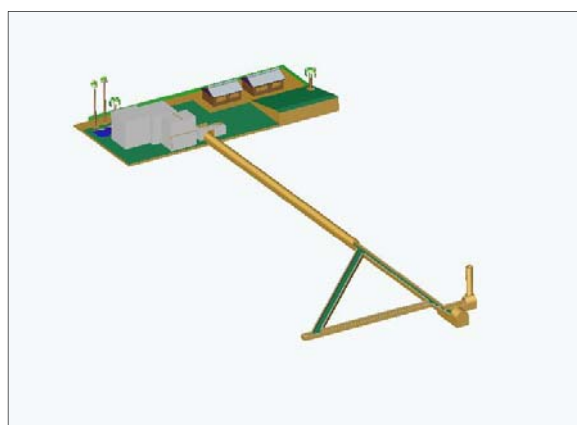
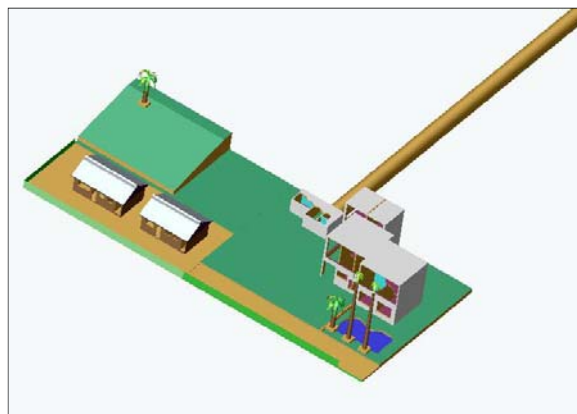
● 上図4種はCADVer2で作図の宮崎観測所  
(上:全体 中:坑道奥 下:本館宿舎)





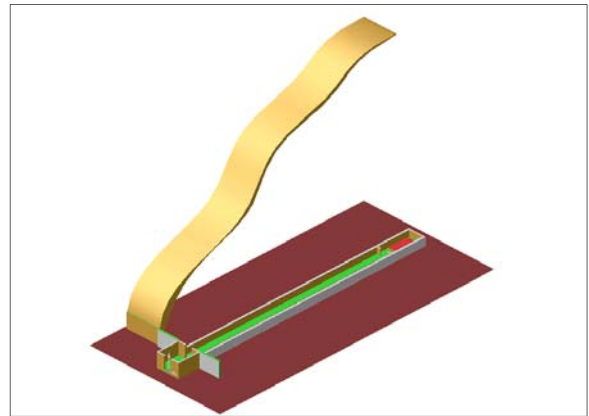
● CADVer2 で作図の宮崎観測所  
(上：坑道巻き立て中：Ver1 全体下：Ver2 全体)

● CADVer2 で作図の宮崎観測所  
(上：正面全体 中：拡大中 下：拡大特)

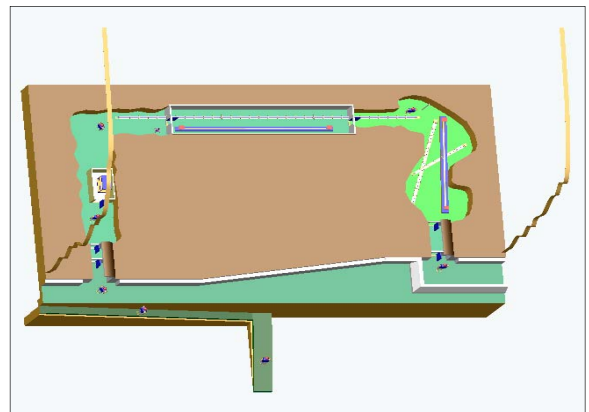


#### 4. 宿毛・大隈・由良観測室

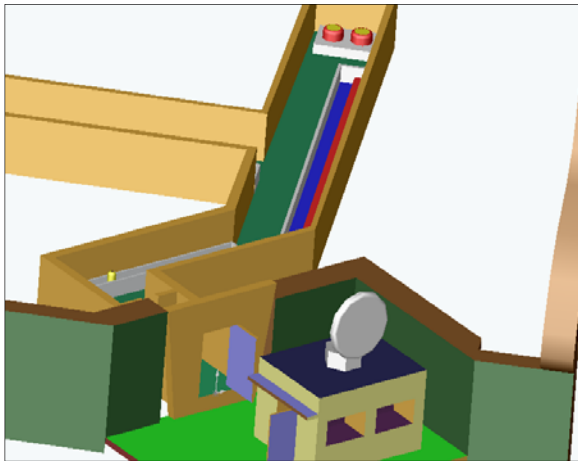
下図は四国高知県の地震予知研究センター宿毛観測室と、大隈半島にある火山活動研究センター大隈観測室である。某教官の宿毛観測室地殻変動関係論文発表の関係で、技術支援の一環としてこの図面に3D/CADを使用し観測坑道内の全体図と地殻変動観測計器の配置図を作図した。大隈観測室には宮崎観測所の工作室で製作されたフルフィルド水管傾斜計、スーパーインバール棒伸縮計等の観測計器が設置してある。右下図は和歌山県由良観測室坑道内の全体図である。ここの観測坑道は素掘りの坑道にセメントを吹き付けたもので、壁面の曲線を表現するのに苦労した。ここも坑道内全体から観測計器配置の細部まで観測打合せ時に利用できるように作図した。



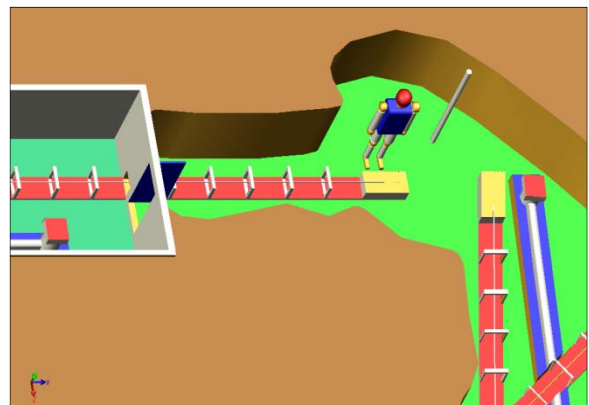
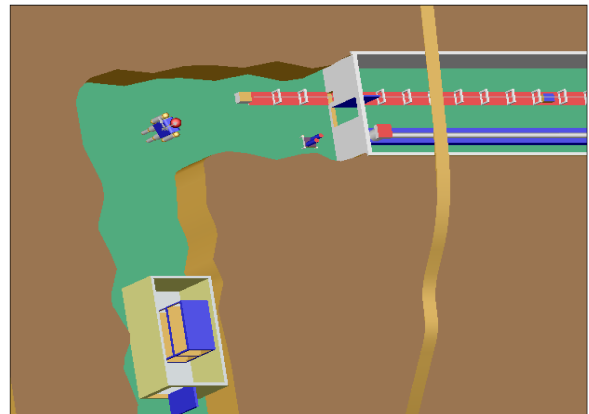
● 大隈観測室の3D作図



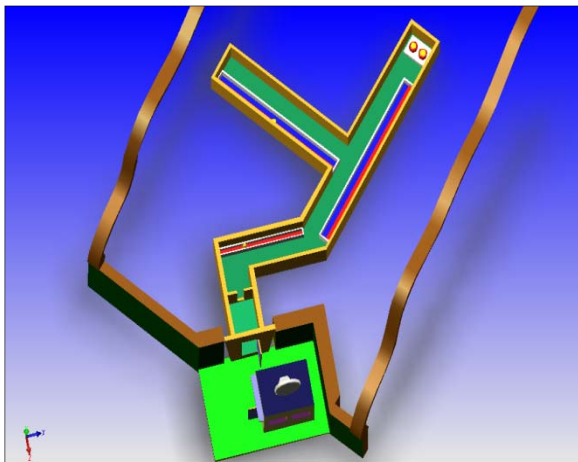
● 由良観測室Ⅰ(上：全体下：計器貼り付)



● 3Dによる宿毛観測室拡大図



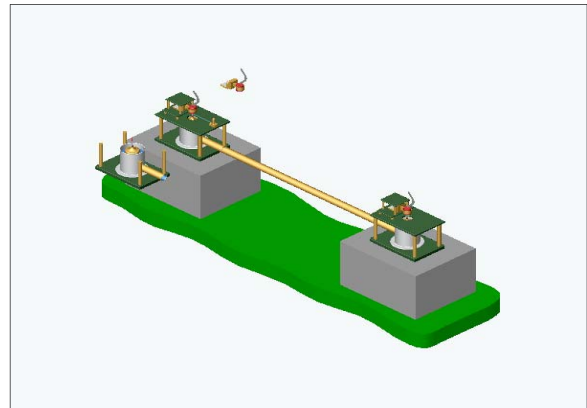
● 由良観測室Ⅱ(上：拡大中 下：拡大奥)



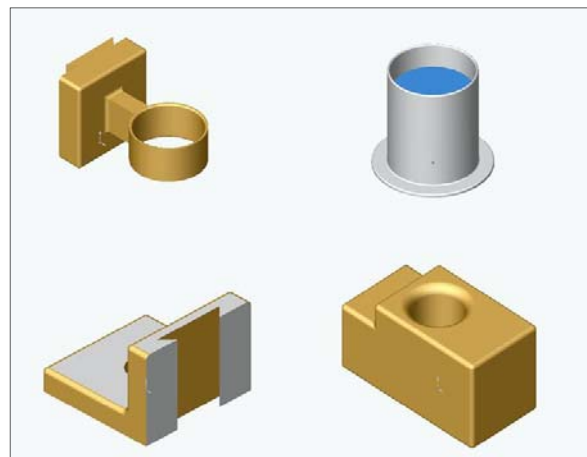
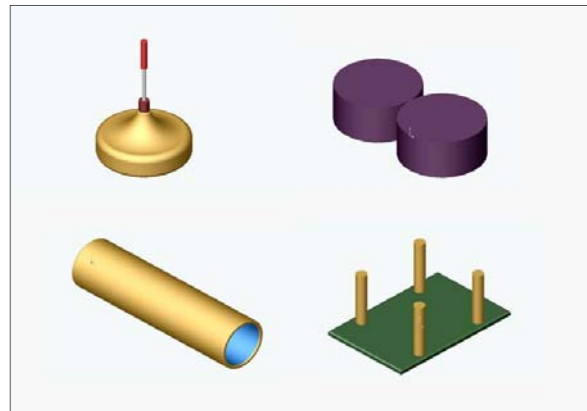
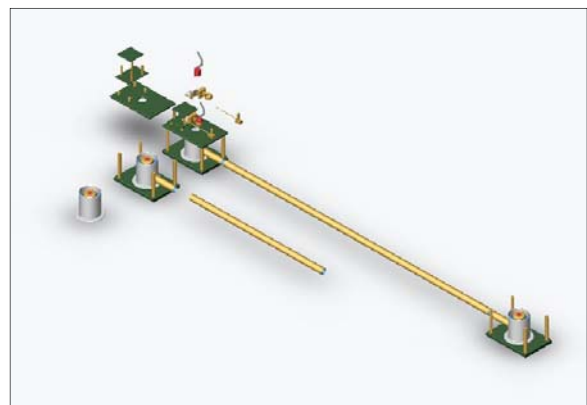
● Drawingによる宿毛観測室表示

### 5. 地殻変動観測計器Ⅰ

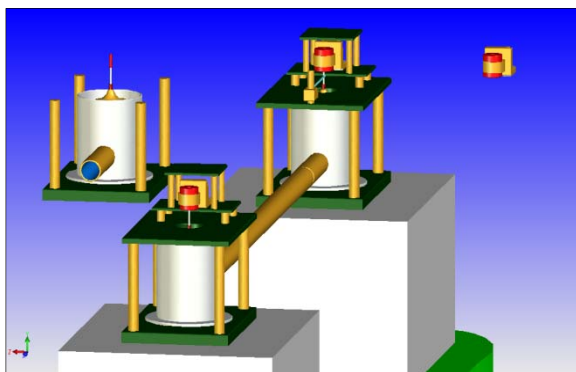
今回、これらの計器作図に使用したCADの本来の使用目的は、図に示す地殻変動観測計器の水管傾斜計のような、工学系工作物の設計製作、図面の作図がベストであるだろう。この水管傾斜計全体が全方向3次元で、回転表示出来るから圧巻であるまだまだ、表現方法が不自然などがあるがこれからより詳細に作図を行い、より完全なものに仕上げたい。右下図はフルフィールド水管傾斜計の差動トランス固定用の、スライド式コイル支持金具である。黄銅の材料等を使用して旋盤等で製作し、宮崎観測所関係の7観測室3観測点に設置した。次頁の左上図は水槽中のガラス製フロートと2個の永久磁石との水中での関係を示した図であるが、水面に浮いているフロートが他と接触せずに、静止状態を保ち回転を防止するには最も有効な方法であろう。特にフロートの回転防止の方式はここだけのものである磁石とフロートの浮力の関係は、以前の発表で実証済である。下図はDrawingソフトによる水管傾斜計表示である。



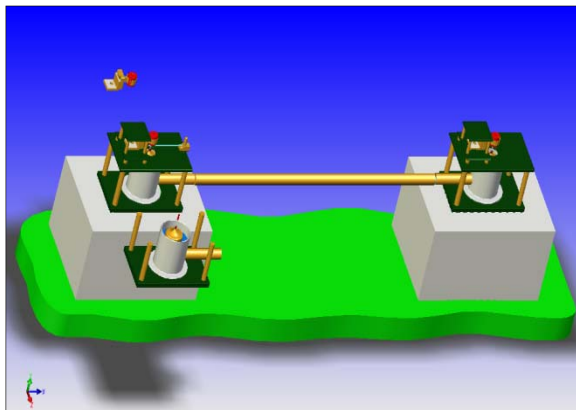
● Drawingソフトでのフルフィールド傾斜計作図



● 上：傾斜計部品作図



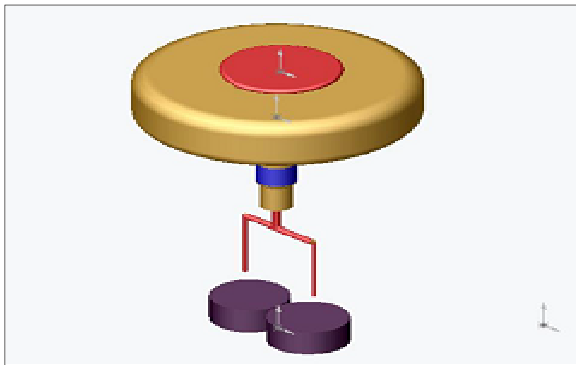
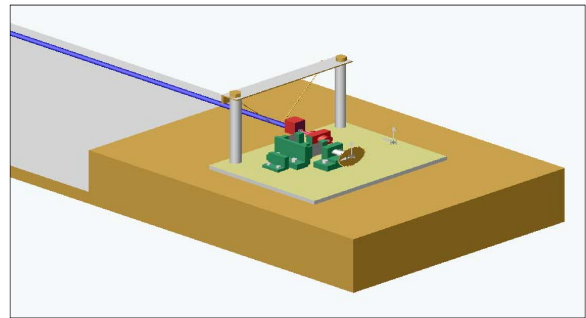
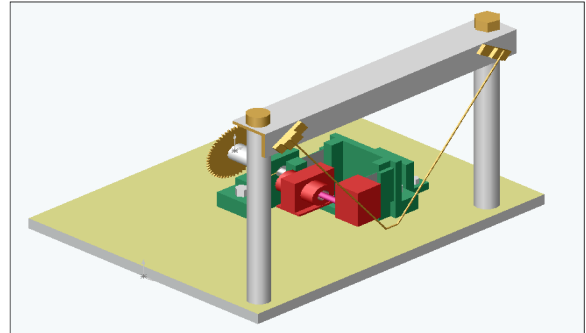
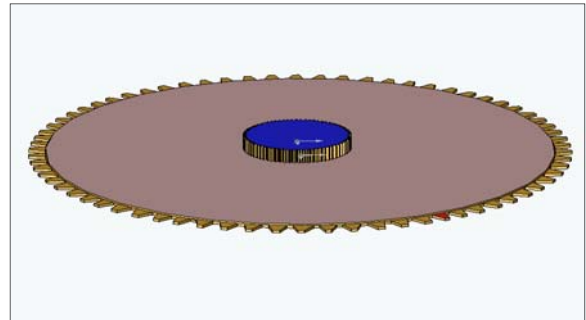
● 上下 Drawing による傾斜計全体表示



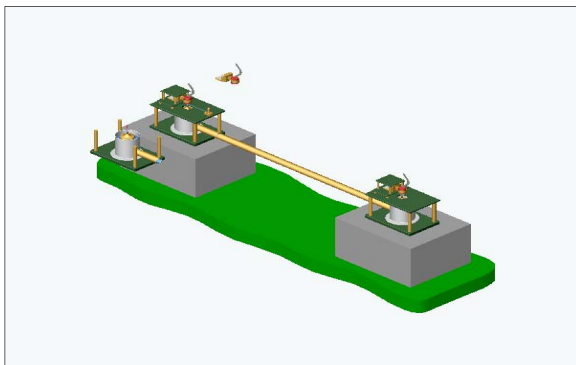
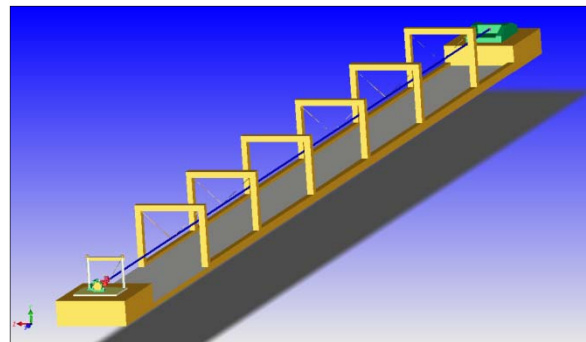
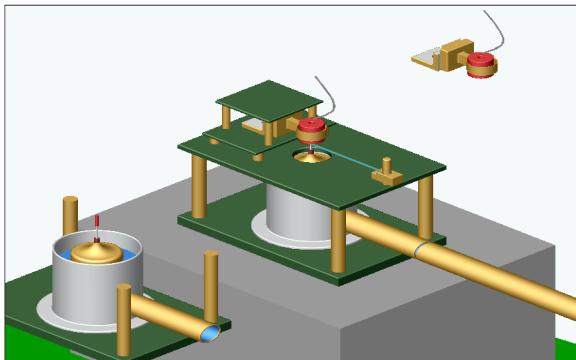


### 6. 地殻変動観測計器Ⅱ

右図は和歌山県由良観測室に設置している、スーパーインバール棒伸縮計である。宮崎観測所他6観測室に設置してある伸縮計と同様な型で吊り枠、固定端、センサー部、スーパーインバール棒から構成されている。今回伸縮計3成分整備したセンサー部を赤色で表示した。新製作部分の差動トランス支持金具及びピコア支持金具が立体的に見えて一目瞭然である。これもあらゆる方角から描写でき拡大縮小も意のままである。自在に回転する動画でも表現できるので、全体像が手にとるように見られて圧巻である。図右上はセンサー部に使用の歯車である。



●センサーフロート：回転防止機能



● Ver2でのフルフィールド水管傾斜計全体図

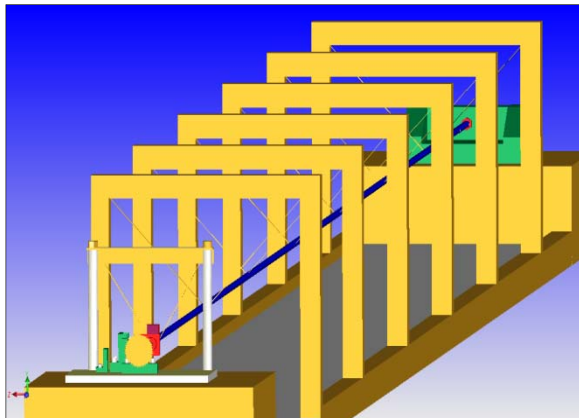


●上5種図：スーパーインバール伸縮計全体図

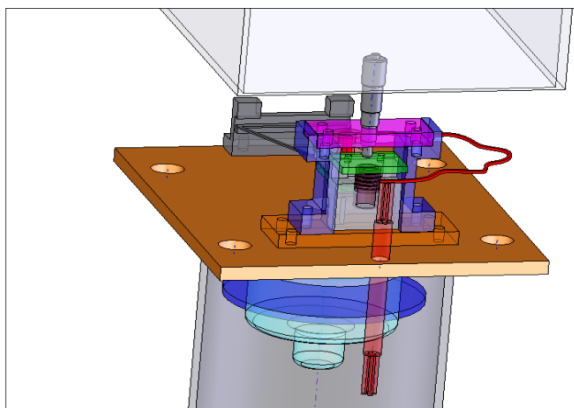
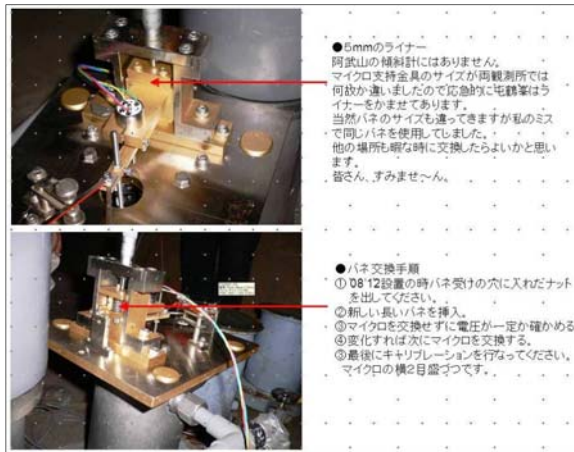
### 7. 阿武山、屯鶴峯傾斜計設置

阿武山観測所及び屯鶴峯観測所に傾斜計、伸縮計を設置した。2007年～2010年にかけて宮崎観測所の工作室で製作された伸縮計センサー部、フルフィールド傾斜計センサー部を設置した。

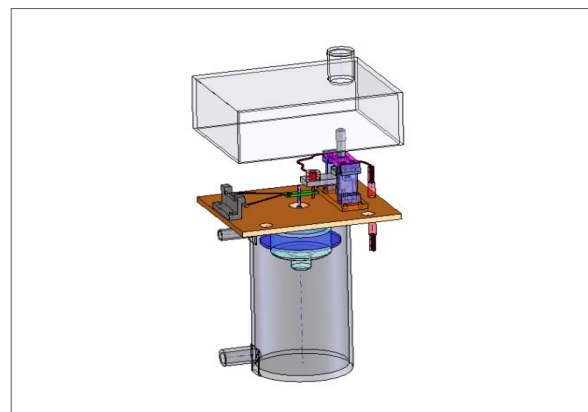
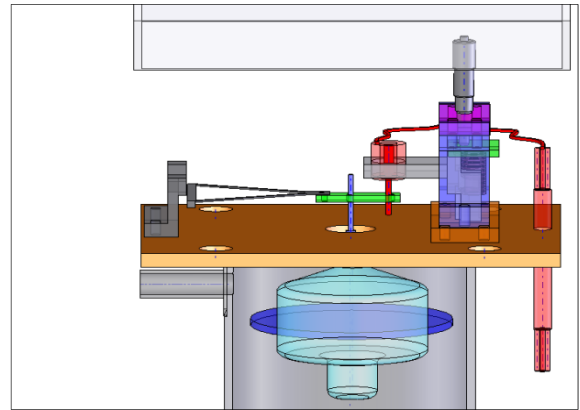
阿武山の伸縮計は水晶管であり、傾斜計のフロートに阿武山観測所は水銀を屯鶴峯観測所は鉛を入れて安定させている。



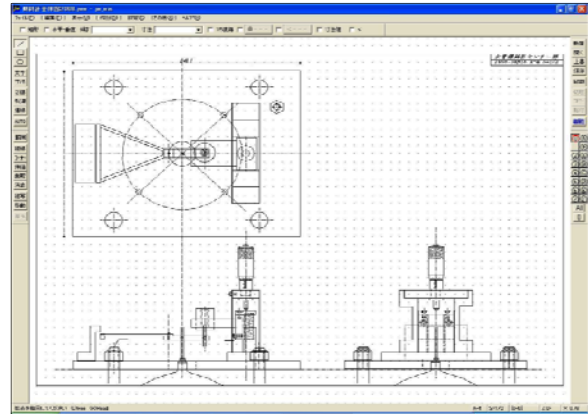
● 伸縮計全体図



● 上傾斜計メンテ作業手順・下3D図



● 上3種：傾斜計3D図



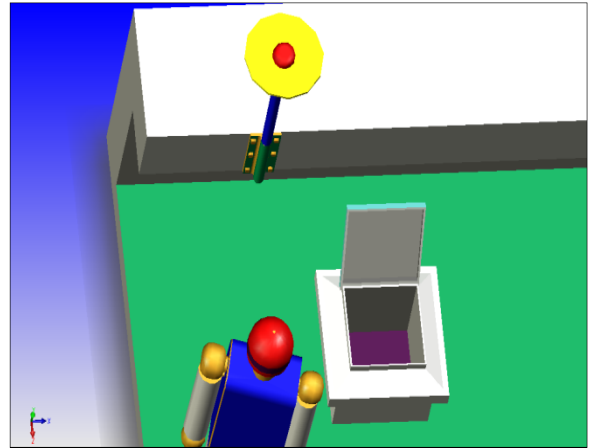
● 傾斜計2D図



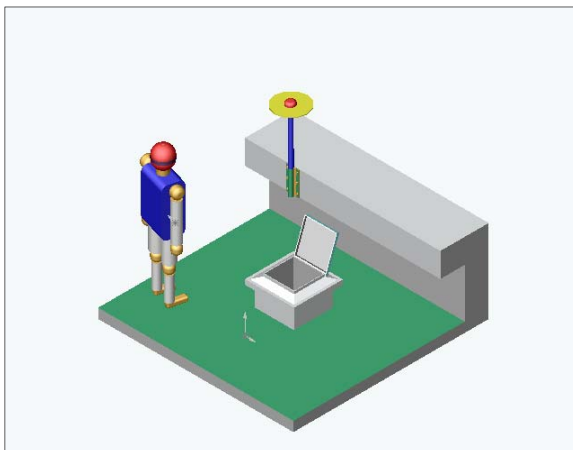
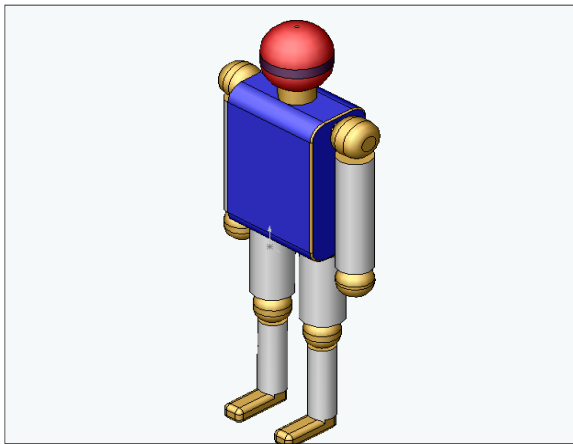
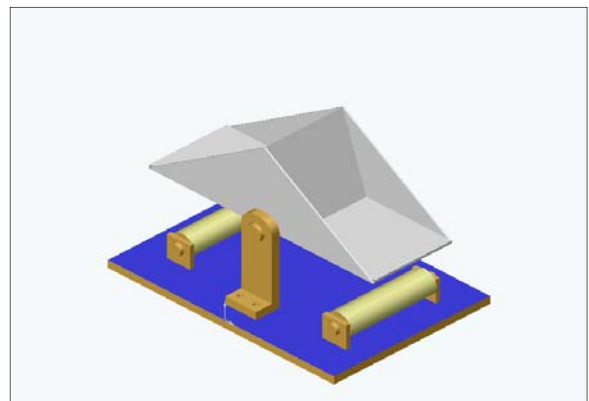
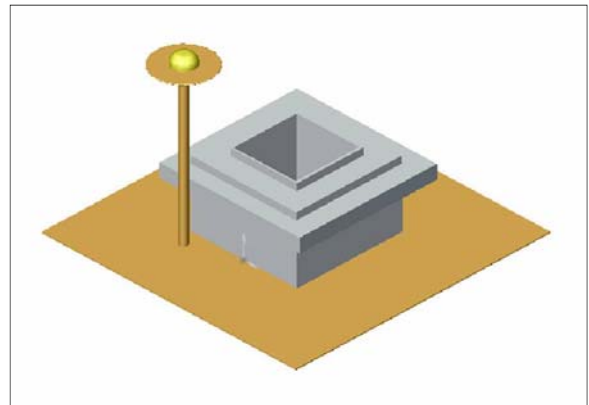
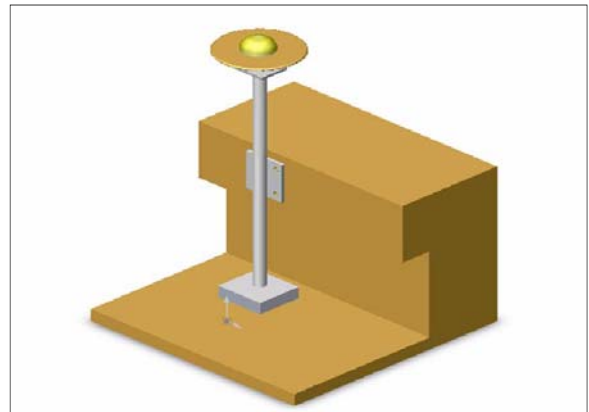
● 阿武山坑道：園田が伸縮計組立設置

### 8. GPS宮崎観測網

宮崎観測所では最新の計測技術であるGPS電波受信による地殻変動観測を日向灘地殻活動総合観測線、特にすでに長年の観測データが蓄積されている宮崎市、及びその周辺で観測を開始する事とした。GPS宮崎観測システムを構築する為、宮崎市教育委員会及び九州電力会社に右図のようなGPS受信機システム2基を木花小学校、生目中学校の屋上に設置した場合の想定図を申請書類に添付して提出した。受信機設置用ポールは宮崎観測所で製作された高さ2m直径100mmのステンレス製のパイプを使用した園田製作の手作りピラーである。大淀発電所ダムには業者製作の、木花小の屋上生目中の屋上の2基は園田が宮崎観測所の工作室で溶接を行って製作した。右図下は伊佐観測室の坑道内に設置された湧水計である



●上 GPS屋上設置Ⅱ・下3D図



● GPS屋上設置Ⅰ

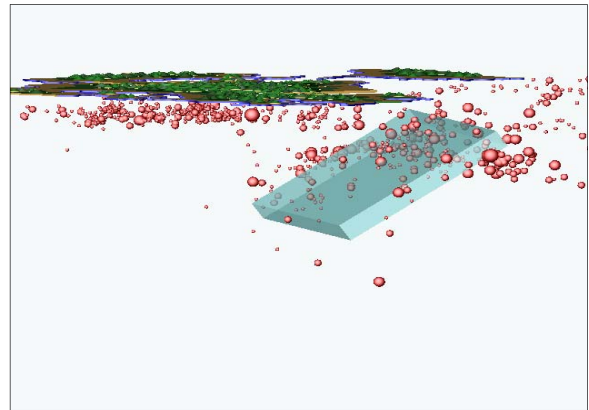
● 伊佐観測室湧水計



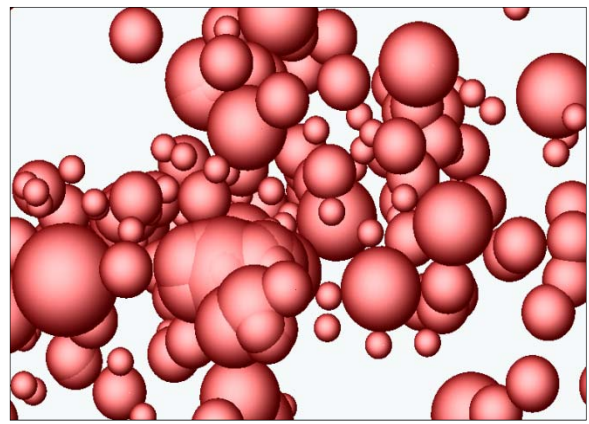
### 8. 3D震源分布作図システム

3D/CADによる日向灘地震の3次元震源分布図を作図するシステムを構築したので紹介する。

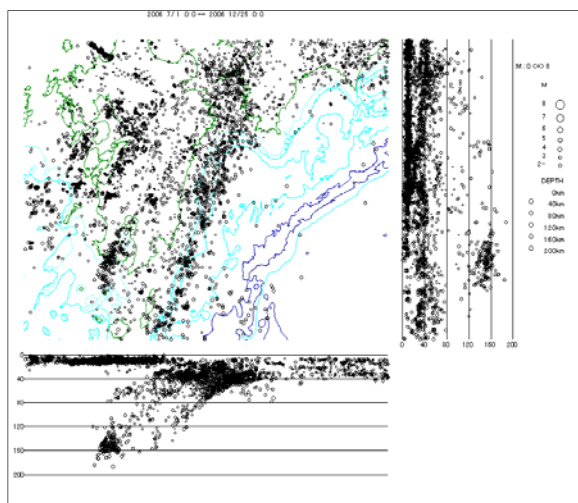
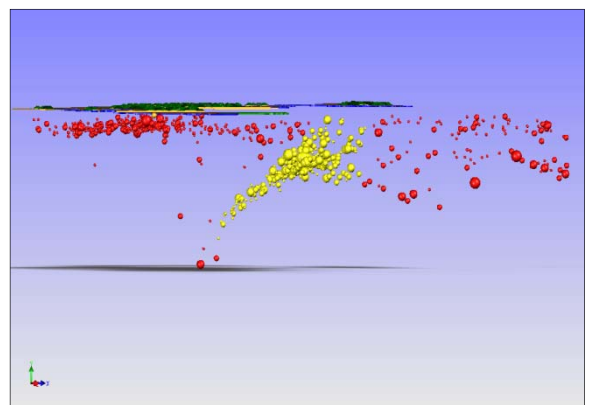
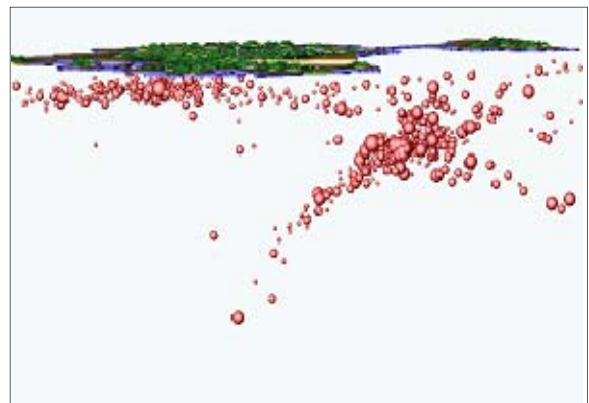
宮崎観測所では設立当初の1975年以来、本来の観測業務である地殻変動連続観測と地震観測の2本立てで地震研究を行ってきた。1987年からは宮崎観測所の日向灘地殻活動総合観測線として、槇峰四国等の7観測点をテレメータ化専用回線で地震データ収録解析を行ってきた。ここ最近では専用回線の排斥傾向と共に衛星テレメータの導入で地震データ収録が全国版になった。そこで容易になったデータ収集と、一昨年3D/CADのライセンスを宮崎観測所にも確保してもらったがこれを活用して今回3D震源分布作図システムを構築した。次頁図はMAPの地上地下方向からの図である。これらは日向灘地震の2ヶ月分をプロットして作図した3D震源分布図である。右図中はその一部を拡大、右図上下は沈み込み付近の模式断層図、この3D震源分布図は立体的に回転させるデモ動画も可能であり、マウスを動かす事により震源域が刻々と回転変化するさまは圧巻である。回転動画表示が出来ないこのポスターだけで、全容を皆さんに理解してもらう事が出来るか疑問であるので付帯しているPCで日向灘地震の震源分布を3次元で立体的に自在回転さる。



● 3D：沈み込み付近の断層模式図

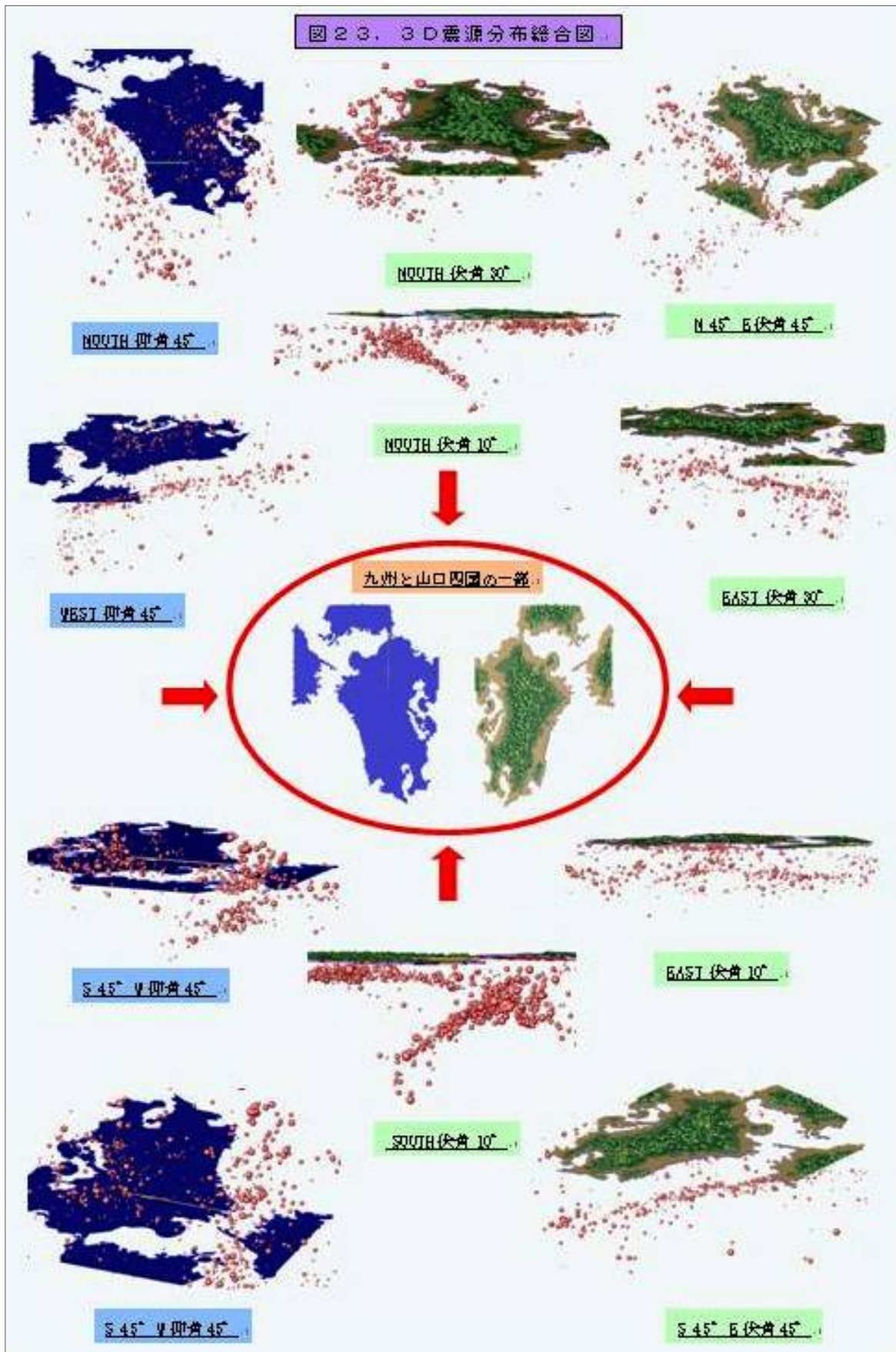


● 3D：震源球の拡大



● 2Dプロット図：日向灘沈み込み付近の地震

● 3DDrawing：日向灘沈み込み付近の地震



● 3D震源総合分布図

### 8-1. 震源分布の特徴

上図の震源球プロット投影図は、九州地域を中心にした3D震源分布図である。九州全域と山口四国の1部分を加えた地図の平面図を、このポスターの中心におきNSEW各方位から投影した震源分布図をくSOUTH 伏角 $10^{\circ}$  ><S  $45^{\circ}$  W 仰角 $45^{\circ}$  >等の方位名称で四方に配置した。これらの3次元震源分布図を見てみると、当然のごとく日向灘で太平洋プレートの九州地域地下への、沈み込みで海底下の地震が顕著に見られる。太平洋プレートと陸側プレートの接点であるプレート会合点が、日向灘にあり日向灘地震の多発地域でもある。宮崎県日向灘海底下の地震が極端に多く、また九州地域西部の直下にも地震が集中している。九州地域東部では沈み込んだ上面にあたる、陸側プレートの地震が極端に少ない。これらの特徴を判断するのに今までで平面、縦横断面の2D震源分布図しかなかったが、この3D震源分布の回転動画によりさらに幅広く震源分布の特徴を把握できるだろう。

### 8-2. 震源分布図作成手順

1: PCでCADのソフトを起動しておく。2: 衛星WINシステム、JMA(気象庁)等の震源データをFTPでダウンロードする。3: 震源の方位角が指数で表示されている地震データをなるべく使用する。4: 方位角が度分秒で表示の場合には、変換ソフトに入力し方位角を指数に変換する。5: 指数表示の地震データを、グリッドの方位サイズに合うようデータ変換する。6: 模範地図が描かれた透明フィルムを使い、モニター上で模写地図の作成をする。7: 震源球M1~M8までの8段階8種を作成し構成部品で保存しておく。8: 震源球を挿入~エンベロープ~ファイル指定し、貼付けて位置を確認。9: 手形表示の部品移動マークを指定し、構成部品移動画面を表示させる。10: 構成部品移動画面の(XYZ位置へ)を指定して入力モードに設定する。11: X軸データ入力: 12345.0000を入力~エンター~モニターで位置確認。12: Y軸データ入力: 12345.0000を入力~エンター~モニターで位置確認。13: Z軸データ入力: 12345.0000を入力~エンター~モニターで位置の確認。14: 入力モードの<適用>を指定し貼り付けて、震源球の位置を確認する。15: ペケ(OK)マークを指定し数値入力モードを終了させる。16: デモソフトDrawingsにより震源分布の立体的回転を確認。17: <構成アセンブリ>を指定し、複数の構成部品合成を行う。18: 再度、デモソフトDrawingsで震源分布の立体的回転を確認する。19: MAPの原点を再確認しておく。20: sldasmファイルでフォルダに保存する。

### 9. おわりに

このような理学的な震源分布図をこのCADソフトで描写することはないと思うが、それを今回あえて挑戦してみた。この震源分布図を見ると地震を解析研究する時に震源域が一目瞭然である。全方位から3Dの震源分布を立体的回転動画で見られる作図システムが出来て、我ながらうまく出来たと自画自賛している。これから更にこの震源分布作図システムのデータ入力アップの性能向上を図っていきたい。地震データは気象庁のJMA震源データを使用させてもらった。この3D震源分布作図システムを構築するにあたり防災研究所技術室の三浦技術員には3D/CADのサービス提供を、記述記載に関して中尾技術員には適切なアドバイスを、地震予知研究センターの大谷先生には地震の講義をして頂き、いろいろご協力ご教示を受けた。改めて御礼申し上げます。



## 3D/CADで構築の園田式3D震源分布図(1) <日向灘地震・福岡西方沖地震の場合>

### 1. はじめに

前回の技術報告書では、3D/CADによる工学的な地震観測計器の設計製作図を3次元化する技術報告を行った。その中で日向灘の3D震源分布作図の報告を少しではあるが行った。その時の報告では3Dの工学的作図が主であったが、今回の技術報告では地震関係の3D震源分布の作図だけである。一部前回報告と重複する部分もあるが、この技術報告になくてはならない記述である。今回の技術報告では、本格的に3D震源分布作図の第1弾として、3D/CADによる日向灘沖地震と、福岡西方沖地震の3D震源分布図を作図するシステムを構築したので紹介する。また、他にこの3D/CADソフトによる3D震源分布の作図例が無いので「園田式3D震源分布図」と呼ぶことにした。

### 2. 日向灘地震

地震予知研究センター宮崎観測所では日向灘地域において、1975年の観測以来、地殻変動観測と地震観測の2本立てで地震研究を行ってきた。1987年からは、地震予知研究センターの日向灘地殻活動総合観測線として、槇峰四国等の7観測点をテレメータ化し専用回線で地震データ収録解析を行った。ここ最近では、宮崎観測所の日向灘地殻活動総合観測線を構成する7観測室の観測データは、専用回線の排斥傾向と共に、衛星テレメータの導入で地震データ収録が全国版になりました。地震予知研究センターでは、来るべき北海道巨大地震の予知に向けて、西南日本の広域の地震活動を、統一的に把握することを目的に、現在、西日本の各地に展開している各観測所の観測網の、地震波形をはじめとする各種のデータを集約して、総合的に解析するシステムを構築している。西南日本外帯に属する宮崎のデータは、地震予知センターに集中すると共に西日本内帯観測網のデータを統合して総合的に解析使用している。宮崎観測所の衛星テレメータにもこれらの観測データと気象庁、全国大学の全データが収録されている。そこで、収録された震源データと今年3D/CADのライセンスが防災研究所技術室と宮崎観測所にも導入されましたので、これらを活用した園田式3D震源分布作図システムを構築したので紹介する。

#### 2-1. 2Dと3Dの比較

図1は九州及び日向灘地震2ヶ月分の気象庁震源データを使い、SEIS-PC for Windowsのソフトで作図した2D震源分布図である。関係機関でごく普通一般に使用されている。図2は、ある期間の九州及び日向灘地震2ヶ月分を3次元でプロット作図したものである。この園田式3D震源分布図は立体的に回転させるデモ動画も可能であり、マウスを動かす事により震源域が刻々と360°回転するさまは圧巻である。この記述記載だけで、全容を皆さんに理解してもらおう事が出来るか疑問であるので、PCでデモ動画をお見せしたい。

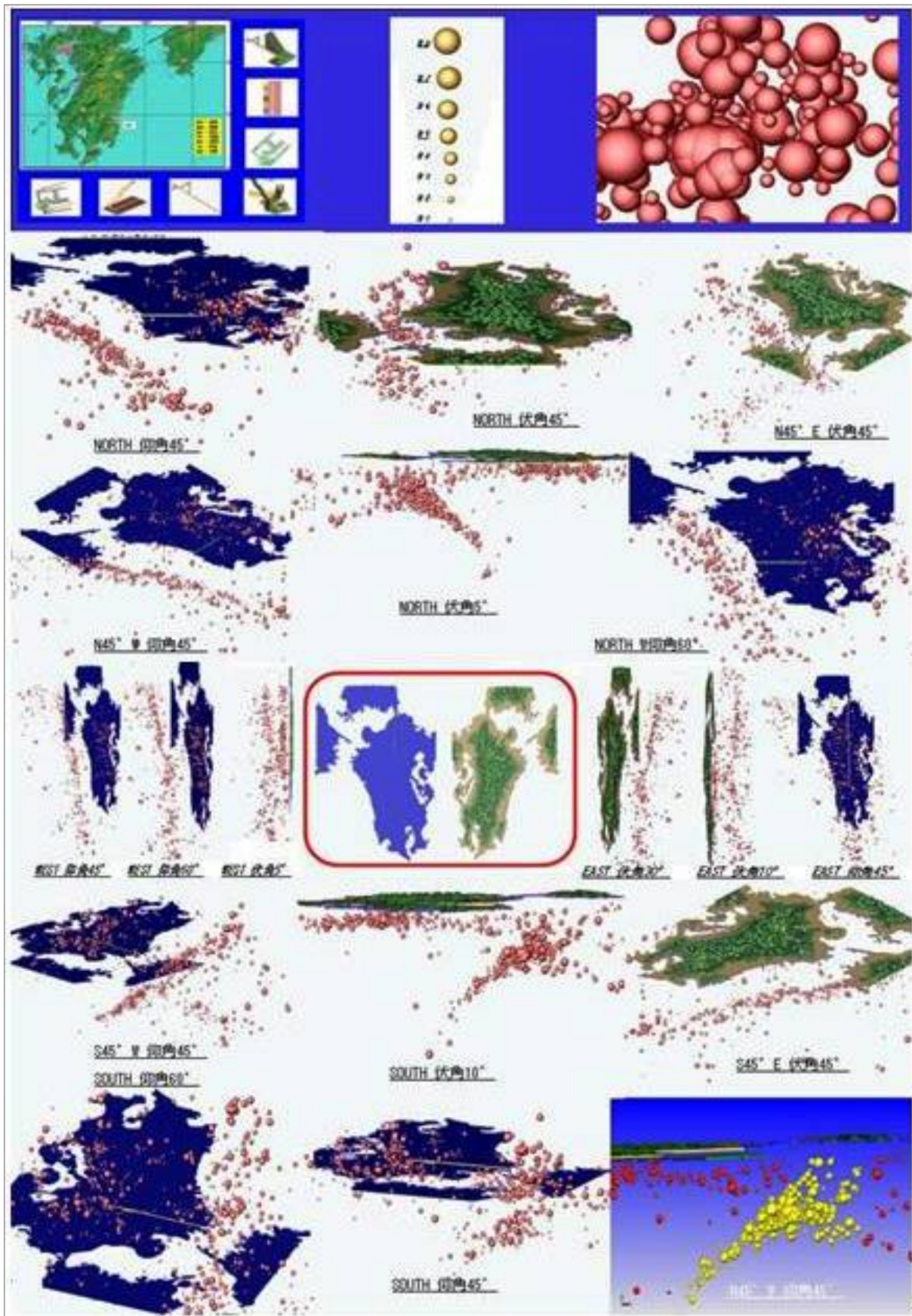
#### 2-2. 九州地形図

図2は九州全域と四国、山口の一部を8区域に分け、それぞれを手作業で作図した模式地形図である。手間暇をかけて作図したが、一度製作しておけば永く使用できる。





3D/CADで構築の園田式3D震源分布図 (3)  
 <日向灘地震・福岡西方沖地震の場合>





## 3D/CADで構築の園田式3D震源分布図(4)

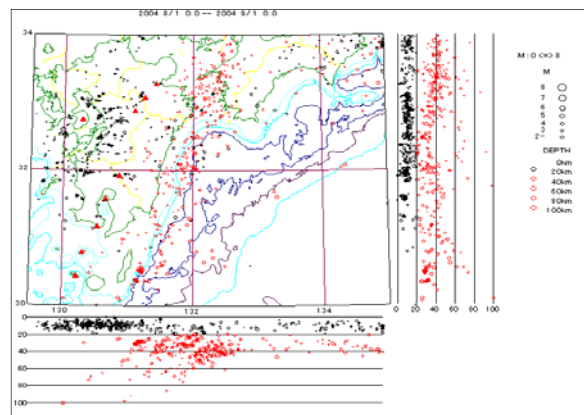
<日向灘地震・福岡西方沖地震の場合>

### 2-3. 沈み込み

上図の(日向灘沈み込みでの3次元震源分布図)は、20例近くの震源球総合プロット投影図で、九州地域、特に日向灘付近を中心にした3D震源分布図である。九州全域と山口四国の1部分を加えた地図の平面図を、この図の中心に示し、NSEW各方位から投影した3D震源分布図を<SOUTH 伏角10°><S45° W 仰角45°>等の方位名称で四方に配置した。これらの震源分布図を見てみると、図で分かるように日向灘沖の深さ40km付近において太平洋プレートの九州地域地下への、沈み込みによる海底下の地震が顕著に見られる。太平洋プレートと陸側プレートの接点であるプレート会合点が日向灘の沖にあり日向灘地震の震源分布の特徴は、日向灘海底下での地震が極端に多く、しかも九州地域西部の直下にも地震が集中している。九州地域東部では沈み込んだ上面にあたる、陸側プレートの地震が極端に少ない。これら震源分布の特徴を把握するのに、今までは平面、側面での2D震源分布図がほとんどであった。今回の3次元化であらゆる方角から見られる、この園田式3D震源分布図によりさらに、幅広く震源分布の特徴を解析でき、地震予知研究の成果が大いに期待できると考えている。

### 3. 福岡西方沖地震

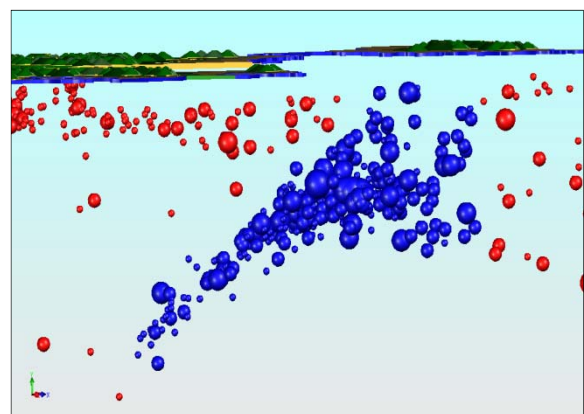
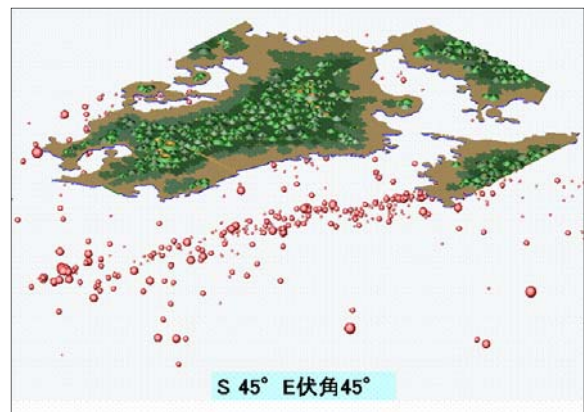
技術報告(園田式3D震源分布図)の第2弾として、3D/CADによる福岡西方沖地震の3次元震源分布図を、作図するシステムを構築したので紹介する。平成17年3月20日10時53分頃、福岡西方沖を震源(深さ9km)とするマグニチュード7.0の地震が発生した。この地震により、福岡県の中央区、東区、前原市、佐賀県のみやき町で震度6弱を観測したほか九州北部を中心に、九州地方から関東地方の一部にかけて震度1~5強を観測した。九州で震度6弱以上の地震を観測したのは、1997/5/13の鹿児島県薩摩地方の地震(M6.4)で震度6弱を観測して以来、九



● 図1: 2D日向灘地震震源分布図



● 図2: 8分割の九州地形図



● Drawingで表示の3D日向灘地震震源分布図

### 3D/CADで構築の園田式3D震源分布図 (5)

<日向灘地震・福岡西方沖地震の場合>

州地方に津波注意報を発表したのは1996/12/3に発生した日向灘の地震(M6.7)以来である。この地震の断層運動は左横ずれ断層とみられている。この運動は、圧縮の力方向から見て断層のどちら側から見ても相手が左に動く断層運動である。この地震の震源となった海底活断層の延長線上には、福岡市の警固断層(長さ22km)がある。この福岡西方沖地震は群発地震であって、10日間で観測された地震数は1,000個程である。

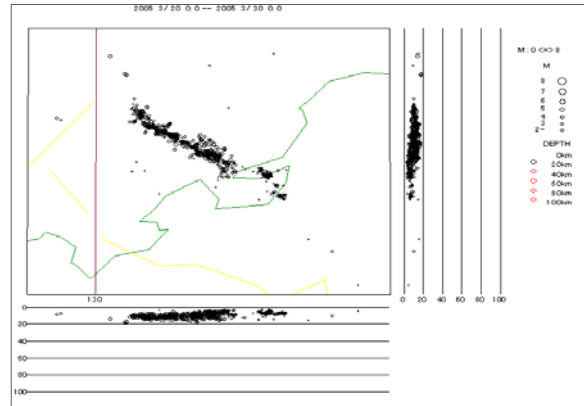
この園田式3D震源分布図にはH17 3/20~3/30までの10日間で観測された気象庁のJMA震源データを使用させてもらった。

#### 3-1. 2次元と3次元の比較

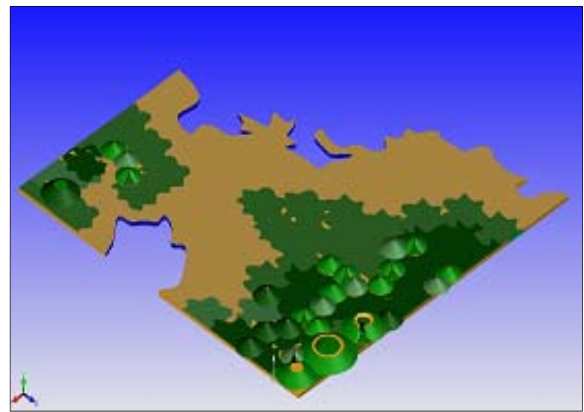
図3は福岡西方沖地震1ヶ月分の気象庁震源データを使い、SEIS-PC for Windowsのソフトで作図した2D地震活動図である。震央分布図とその東西及び南北断面図が一つの画面に表示される。地震関係の機関でごく普通一般に使用されている、震源分布図である。右図は、気象庁震源データH17 3/20~3/30の1ヶ月分を用いた、3次元の園田式3D震源分布図で福岡西方沖震源分布図でもある。赤球が平成17年3月20日10時53分M7の本震でその他は半透明の震源球である。3次元なので全方位あらゆる角度からこの地震の震源域を透視することができる。震源域が大小2ヶ所に分散しているのが特徴である。

#### 3-2. 地形図

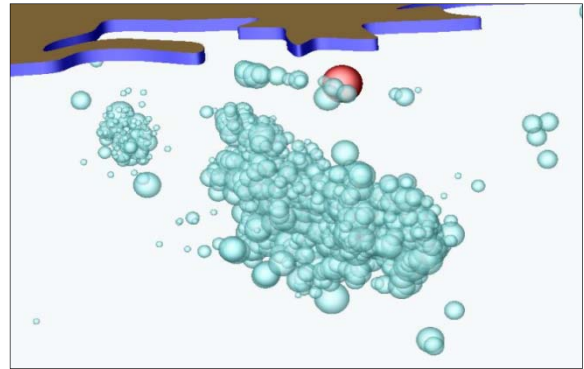
図4は福岡県の博多を中心にした地形図で、3次元で立体的にカラー表示した。平地と山岳部は創造された模式図であるが、将来は正式な地図と同じように立体的に構築したい。この地形図は透視できないので角度によって震源域が判りにくい面もあるが、右図の枠表示地形図も作図しているので用途によって使い分けたい。この立体的カラー表示の地形図は震源球もカラー表示ですので展示する時のデモ用にお勧めしたい。枠表示地形図を用いた平面での震源分布



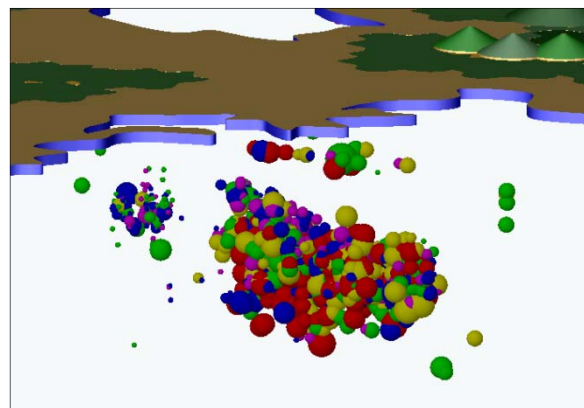
● 図3：2次元震源分布図



● 図4：福岡地形図



● 図5：福岡西方沖3次元震源分布図(半透明)



● 福岡西方沖3次元震源分布図(時間別)

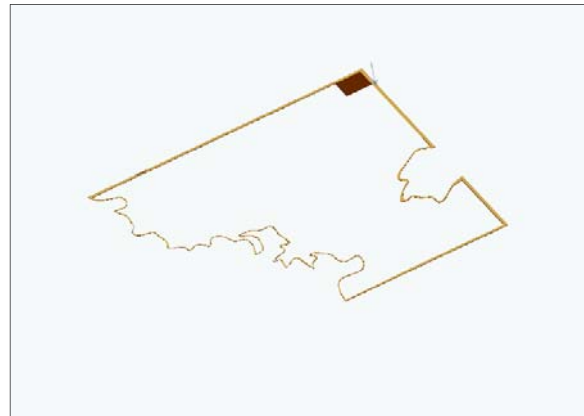
### 3D/CADで構築の園田式3D震源分布図 (6)

<日向灘地震・福岡西方沖地震の場合>

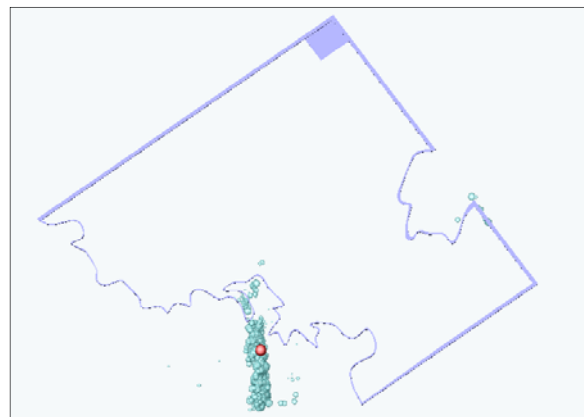
図は地震研究用で、全方位3次元での透視が可能である。右図は半透明震源球を判りやすく拡大した震源プロット図である。震源球を拡大してみると、反対方向の震源球を透視する事ができて奥の震源球が透けてみえる。この様に表示された半透明震源球の震源分布図は他に例がないだろう。この震源球の拡大縮小は際限がない位、範囲がひろく解析時に細部まで表示する事ができる。

#### 3-3. 半透明震源球で表示の震源分布図

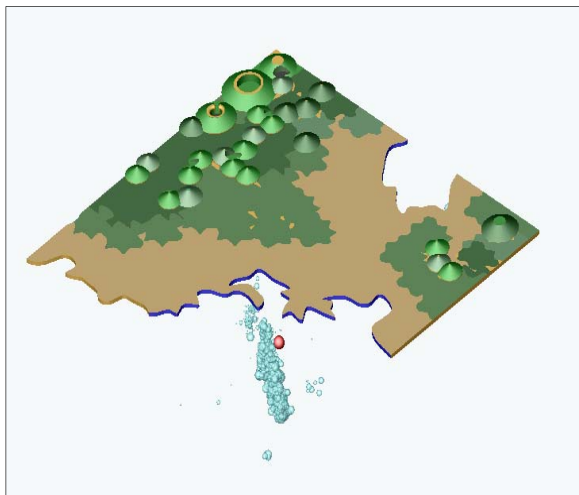
図5は半透明震源球でプロットした震源分布図であるが、9コマにあらゆる角度からのパターンが表示されていて、反対側の震源球が透けてみえる。又、この震源分布図は学術用として比較的lowなソフトで、容易に誰でも出来る楽々3D震源分布図である。本震の震源球は赤球で表示してみたが、判りやすくいち目瞭然鮮明である。



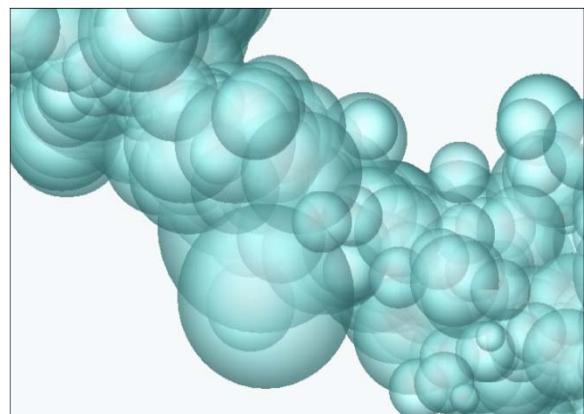
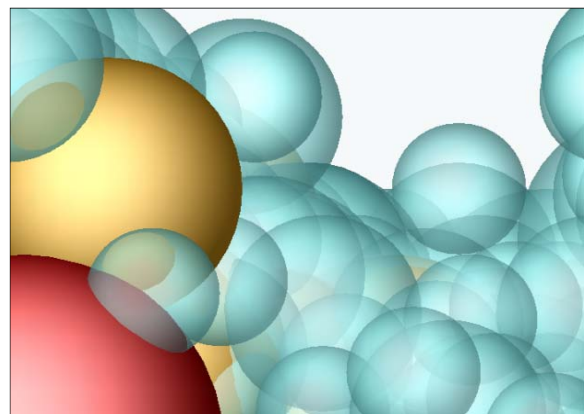
● 地形の枠表示



● 拡大図



● 地形の立体表示

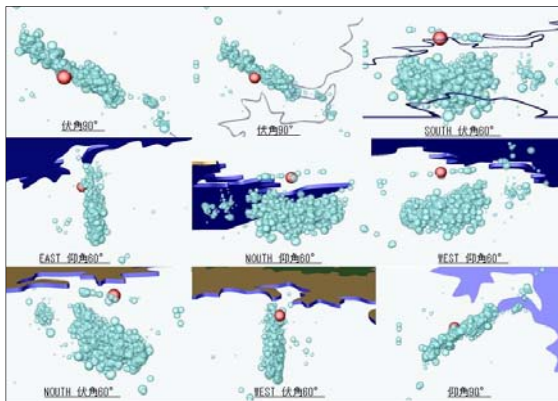


● 震源球の拡大図



### 3D/CADで構築の園田式3D震源分布図(7)

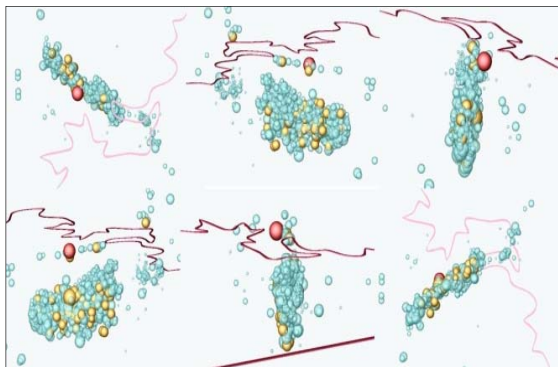
<日向灘地震・福岡西方沖地震の場合>



● 図5：半透明震源分布図

#### 3-4. 地震強度別震源分布図

図6は特定された強度の震源球を3D震源分布図で示した。福岡西方沖地震の震源域全体が縦横自在に360度回転でき、特定された震源分布が3次元で立体的に表現されている。M4震源球だけ金色カラー表示されていて、特定された震源球の分布状態が、鮮明に3次元で見られる特徴がある。また、本震との遠近や位置関係がはっきりとしているので、地震解析の成果がおおいに期待できるだろう。

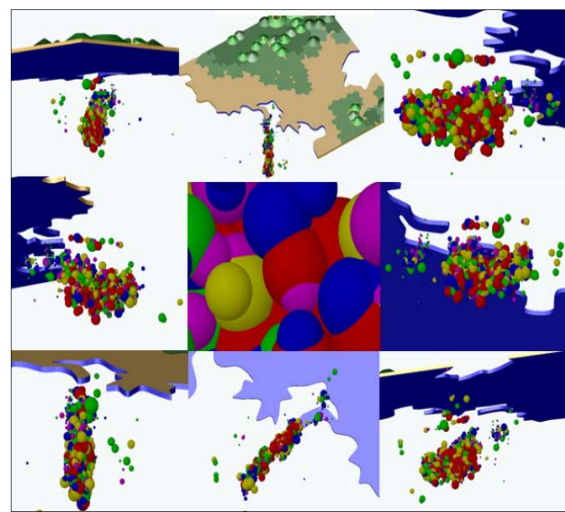


● 図6：地震強度別震源分布図

#### 3-5. 時間別頻度震源分布図

図7は、9コマに福岡西方沖地震の震源分布を立体的カラーで配置した。この震源分布図は立体的な陸カラー表示に、色分けした震源球を日別にプロットした<時間別頻度震源分布図>である。震源球自体に赤青黄緑桃色と2日毎に色分けしたが、さらに細かい時間毎に色別表示で作図する事もできるので、そうすれば更に

地震解析に有意義だろう。震源球それに陸も立体的カラー表示ですので、地震展示会等での震源分布デモ用にお勧めしたい。動画も出来るのでPCを設置しての、震源分布動画デモショーも可能である。時間別頻度震源分布図の中央に震源球の拡大図を配置して、詳細な部分が解析出来るようにした。震源球の重複している部分は見えないが、日時間別の震源球がカラー表示ですので鮮明である。この様な震源分布図は他に例が無い珍しい作図である。



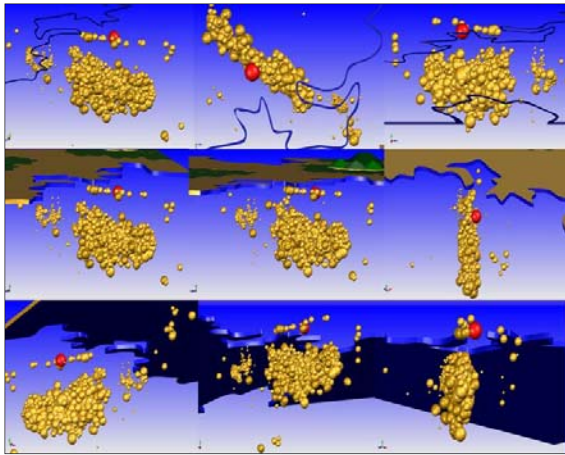
● 図7：時間別頻度震源分布図

#### 3-6. 金色にカラー表示の震源分布図

図8は金色震源球でプロットした<金色震源分布図>である、反対側の震源球が透けて見えないが、球自体がゴールドなので震源分布が鮮明な特徴がある。これら一連の立体的カラー表示の震源分布図は、地震数の少ない突発的群発地震の震源分布図に推薦する。この図の特徴は上(枠表示)、中(陸カラー表示)、下(下から方向)の3段階で表示されていて、表示方法の違いが判りやすい。赤色で表示の震源球はH17 3/20~3/30、M7 福岡西方沖地震の本震である、他の地震との位置関係が判りやすい特徴がある。下方向から透視した震源分布図が作図できるという事が最大の特徴である。

## 3D/CADで構築の園田式3D震源分布図(8)

<日向灘地震・福岡西方沖地震の場合>



● 図8：金色震源分布図

### 4. 構築手順

- ①PCで3D/CADソフトを起動し立上げる。
- ②衛星WINシステム、JMA(気象庁)等の震源データ(TEXTファイル)をダウンロードする。
- ③震源地の方位角が、指数で表示されている震源データをなるべく使用する。
- ④方位角が度分秒で表示の場合、変換ソフトに入力し方位角を指数に変換。
- ⑤指数表示のデータを、グリッドの方位サイズに合うようデータ変換する。
- ⑥模範地図が描かれた透明フィルムを使い、モニター上で模写地図の作成。
- ⑦震源球M1～M8までの8段階8種を作成して構成部品で登録しておく。
- ⑧震源球を挿入～エンベロープ～ファイル指定し、貼付けて位置を確認。
- ⑨手形表示の部品移動マークを指定し、構成部品移動画面を表示させる。
- ⑩構成部品移動画面の(XYZ位置へ)を指定して入力モードに設定する。
- ⑪X軸データ入力:12345.0000を入力～エンター～モニターで位置確認。
- ⑫Y軸データ入力:12345.0000を入力～エンター～モニターで位置確認。
- ⑬Z軸データ入力:12345.0000を入力～エンター～モニターで位置確認。
- ⑭入力モードの<適用>を指定し貼り付けて、

震源球の位置を確認する。

- ⑮ペケ(OK)マークを指定し、数値入力モードを終了させる。
- ⑯デモソフトで震源分布の立体的回転を確認。
- ⑰<構成アセンブリ>を指定し、複数の構成部品合成を行う。
- ⑱デモソフトで震源分布の立体的回転を確認。
- ⑲MAPの原点を再確認する。
- ⑳Myドキュメントにファイル保存する。

### 5. おわりに

今回の技術報告書への投稿内容は日向灘地震と福岡西方沖地震2ヶ所の、地震だけの園田式3D震源分布図を作図するシステムの紹介である。前回1年前の地震観測計器の工学的作図の掲載とは異なり、地球物理的な3次元震源分布図に仕上げた。この3D/CADは工学的なCADであって、このような理学的な地震震源分布図をこのソフトで描写することはないと思うが、それをあえて挑戦してみた。この震源分布図を見ると地震を解析する時に震源域が一目瞭然である。全方位から3次元の震源分布を立体的動画で見られる3D震源分布作図システムが出来て、我ながらうまく出来たと自画自賛している。これから更に、この作図システムのスピードアップの能率向上を図り、地震予知に貢献していきたいと考えている。震源データは気象庁のJMA震源データを使用させてもらった。また、SEIS-PCのソフトを使用して震源分布図を作図したので、関係者にお礼を申し上げる。この3D震源分布作図システムを構築するにあたり、防災研究所技術室の三浦技術員に3D/CADのサービス提供を、記述記載に関して同じく中尾技術員には適切なアドバイスを頂いた。地震予知研究センターの大谷先生には地震の講義をして頂き、いろいろご協力ご教示を頂いた。ここに記してお礼申し上げる。

## 1：技術支援の技術

隔地観測所の立場からいうと、観測所勤務の場合、地理的に技術支援が困難である場合が多いが、それぞれの技術職員が持っている技術を生かして、職場を異動できずに出来る技術支援もあるかと思う。隣接観測所間で出来る技術支援という形式もあるかと思うが、宮崎観測所の場合、以前は火山活動研究センター（桜島観測所）と相互に技術支援をやってきた。2～3年前は北陸観測所、由良観測所の観測計器、今では阿武山・屯鶴峯そのほかの傾斜計・伸縮計データ収録システム改造の技術支援を行っている。

地殻変動連続観測に関して地震予知センター隔地観測所が機器の開発や手法の開発で大きな貢献をし、それが高品質で安定的な観測手段を提供してきた事はいうまでもないが、これからも地殻変動連続観測網データの品質向上、機器の開発、改良、設計、また、新しい観測網の展開の為にありとあらゆる技術支援を行っていきたくて考えている。数年前、宮崎観測所に東北大の技術員の方3名が来られたが、その目的は地殻変動観測計器が20年程経過しているのを新しく観測計器を整備したいとのことだった。地震予知センターも同様であると思うが、地殻変動連続観測は、今までの蓄積と今後の観測からまだ十分な成果が得られると思う。それには、十分に地殻変動連続観測網の観測計器整備を行う必要があると考える。宮崎観測所には高精度の機械加工技術が出来る技術職員もいる。観測所の工作室には観測計器制作に必要な関係器材（機械関係、電気関係）・工作機械（万能旋盤、ボール盤、切断機、溶接機）・3次元CAD等あらゆる物がそろっている。

## 2：地殻変動連続観測

地震予知研究センターで実施している坑道内における地殻変動連続観測は30年以上の歴史を持ち、西日本一帯の地殻ひずみ変化の観測を続け、また、さまざまな研究テーマに対してデータを提供してきた。具体的な仕事内容はルーチン観測として地殻変動連続観測（坑道内）計器メンテナンス故障時修理、スケールアウト回避のための0点シフト、機器感度検定、坑道整備などの管理、地殻変動連続観測データ管理（テレメータ網管理、データ収録システム管理、データファイル管理、データ管理）このうち特に坑道内作業は、多くが暗所・足場の悪い場所で慣れやコストも必要とする。ある部分は経験者からの技術習得を必要とするが、永年の経験で会得した勘を頼りにする部分が相当多いのも事実である。後者のデータ管理では、計算機知識が必要であるが、私などには特にその方面の知識が乏しく永年の経験で何とかこなしている。観測計器製作に関して本年度には人員の減少に対応すべく、とりあえず既設計器のうち手動読み取り観測を行っている計器を自動計測システムに変更する。また、予知センターが管轄する全観測点の地殻変動連続観測計器を、新自動計測システムに順次変更してゆく計画である。機器製作は隔地技術員により宮崎観測所工作室での施行を別途技術支援として要請されている。それら観測計器の現場への設置ならびに初期調整を行う必要があるが、できれば技術継承の為に若手技術職員が参加できる事が望ましい。地震、地殻変動、光波測量、GPS、電磁気などの数多くある観測は公用車運転と同時に野外で行う場合が結構ある。光波測量の場合樹木に登っての枝きりの際の転落が特に危険である。これらの観測に共通なのが自然相手の野外フィールドで行う観測である。山登りと同じで十分な計画と、準備計算をして観測すべきである。それでも、時に突発災害が起こる可能性が多くあるので気を付けなくてはならない。

## 3：観測計器製作

宮崎観測所の観測計器は私が観測所の工作室で設計製作してきたし、また、現在も制作している。工



作室には旋盤、ボール盤、切断機、溶接機、そのほか多くの工作機械が置いてある。ほかに、治具、機械工具、電気工具などがありチョットした町工場並である。そこには、当然大きな傷害事故が起きる可能性がある。旋盤作業などは特に高速回転なので、一步間違えば大事故につながる。高精度な機械加工技術は短期間で習得できるものではない。長期間おなじ作業を繰り返す経験が必要となる。この職場では多種多様の技術力が必要であるが、同じものを大量に制作する職場ではないので短期間での技術習得には無理があると思う。技術継承というけれど一夜にして受け継がれる技術継承はなく、隔地観測所の多いこの職場において受け継ぐ人のいない技術継承なんてあり得ないしナンセンスである。宮崎観測所の場合技術職員の定年後は、入れ替わりに新技術職員が常駐できるらしいが、定年で辞める職員が再雇用を希望しないし、定年前には技術職員が配置されないのにどうして技術継承が出来ますか、ふざけるなど、いいたい気持である。

#### 4 : 3次元CAD

宮崎観測所の地殻変動観測計器は設立当初の1975年以来、大半の観測計器を観測所の工作室で私が設計制作してきた。1987年からは地震予知研究センターの日向灘地殻活動総合観測線として、槇峰四国などの7観測点をテレメータで通信するにあたり従来の光学式から完全に電気式の変換装置が必要とされ、本格的に観測所の工作室で設計製作、加工及び制作図の作成を開始した。全観測線に水管傾斜計27成分スーパーインバール伸縮計27成分の観測計器を製作した。ほかにも大隈ハーフフィールド傾斜計を開発、設計製作した。インドネシア グントールにもハーフフィールド傾斜計を開発、設計製作設置した。鹿児島県の口良部島火山にもハーフフィールド傾斜計を開発、設計製作設置した。これらの観測計器の設計製作は当初は観測所の工作室で工作機械、工具とも十分ではない状況で、ましてやCADの設計図面なるものはある訳はなく、スタートはグラフ用紙に手書きそれからワード、エクセル、ミニCADなどで設計図面を作成してきた。宮崎という遠隔地なので中央の情報になかなか付いて行けない面も多々ある。こういう機会に出来るだけ本格的なCADを使用してみたいので、是非お願いしたい。限られた予算で必要に迫られて、という状況でもあり少なからず苦労があった観測の現場における計器の開発は、得られたデータがすぐに設計にフィードバックされる事や現場の状況に合わせたこまやかな配慮など、意義深い点も多い為今後も未解決の問題点に対しさらに開発、改良制作を薦めて行きたい。その為にも本格的な3次元CADを使用すれば計器開発に進歩があると思う。以上のような使用目的でCADのライセンスを宮崎観測所にも提供してもらった。今では設計図面を作図するのに大変重宝しているが、これまでにいろいろ模索しながら、各種観測計器や観測所及び坑道の全体図を3次元CADで作図表示してみた。これら観測計器の特徴を把握するのに、今までは平面、側面での2D震源分布図しかなかった。この3次元CADであらゆる方角から見る事が出来る。さらに3D震源分布図によりさらに、幅広く震源分布の特徴を解析でき、地震予知研究の成果が大いに期待できると考えている。あわせてCADによる回転動画ができる3D震源分布作図システムも構築した。これらCADによる3次元震源分布図として、日向灘地震・福岡西方沖地震の3D震源分布図を作図するシステムを構築したのだが、出来ればこれらを若手技術職員にも技術継承してほしい。

#### 5 : 公用車運転

宮崎観測所の公用車は年間1万kmほど走るが、交通事故には気を付けて走る必要がある。くれぐれも、飲酒運転はしないように。30万円罰金と同時に現在の職場をクビになる。運転業務責任のあり方とし

て速度違反が主であるが、違反切符をきられた時の反則金は今まで運転手個人が負担していた。個人負担を軽減するような対策はないので制限速度を厳守する事が必要となる。自分の事をまず考えて間違っても仕事の為にとかは考えないようにすること。公用車は観測で使用する機会が多いが、野外フィールド観測の山道での運転では無理をしない運転を心がけること。地震関係の観測は山間地で行なう場合が限りなく多い。崖下に転落したら命あり無い。運転技術向上のまえに、まず自分をコントロールする技術を会得する必要がある。

## 6：施設維持管理

宮崎観測所の管轄する附属施設として観測所本館・職員宿舎（2棟）・観測室（6点）などがある。

宮崎観測所構内の敷地は1000坪あるが、ここの環境整備の一環として構内と周辺の草刈がある。草刈機による飛び石、回転する刃による怪我。草刈機で竹は切れない。しかし敷地が広いと竹も多く草刈機で切らないと作業が大変だ。南国宮崎では草の成長も早く春夏のシーズンでは大変である。草刈機が故障すればエンジンを分解し修理するが、これも機械整備の知識経験なくしては出来るものではない。エンジンは簡単に起動すると思ったら大間違いである。起動しなければ修理に出せばいいではないか、そう簡単にいけば苦労はしない！ 何の為に技術職員がいるかを深く考えなさい、このほかものがと誰かに言われなくても限らない。

## 7：事務処理

技術継承の内に事務処理関係は含まれますか！

勤務時間管理・出張、その他の伝票作成・郵便業務などである。勤務時間管理簿記入と同時に超過勤務の書類を3職員分作成して提出しなければならない。そのほか出張書類、工事伝票、物品購入伝票、公用車関係書類、財務会計入力、郵便を郵便局にだす。雑用にはあまりにも多種多様である。それぞれの形式の回数が少ないのでなかなか覚えにくいと同時に時間がかかる。この職場では効率の悪い作業をしているなど時々おもう事がある。民間の会社では上司から追及されるかな。

## 8：安全管理

宮崎観測所には7観測室あるが全観測室に坑道が掘られている。総延長30m～300mの観測坑道が各種ある。今は廃止になったが、以前は素掘りの坑道で観測している観測点もあった。地震観測には気象条件に左右されにくい坑道を利用しているのが一般的である。そういう関係上、坑道での作業を行う観測が常となってくる。その為、危険を伴う作業があるが、危険リストとして落石、落盤、酸欠、構内水による汚染などが考えられる。昔の鉱山跡の坑道を使用している場合が多く、坑内事故の恐れが多々ある。最近まで、事務サイドでは危険な坑道には入らないようにという事だった。研究サイドでは入坑なくして観測は出来ないの、延々と坑内の観測作業をこなしてきた。坑内の状態はそれぞれの坑道によって違うが、一般的に高湿度、低温度である。その坑道内に電気のスイッチ、コンセントがあるので漏電、感電の事故も考えられる。

<要旨>

100年前のレボイル・パシュウィッツ、ドイツ傾斜計の復元 (1)

70年振りに発見された19世紀のレボイル・パシュウィッツ傾斜計の復元

Restoration of the Rebeur-Paschwitz Tiltmeter of the 19th Century

Discovered After an Interval of 70 Years

○園田保美・大谷文夫・寺石眞弘・James MORI・竹本修三・大野照文・塩瀬隆之

○Yasumi SONODA, Fumio OHYA, Masahiro TERAISHI, James MORI,  
Shuzo TAKEMOTO, Terufumi OHNO, Takayuki SHIOSE

1. レボイル・パシュウィッツ傾斜計について

Von Rebeur-Paschwitz は 1989 年水平振り型傾斜計を使い日本で発生した地震をドイツの 2 地点で観測し世界初の遠地地震記録を得た。その後、渡欧した長岡半太郎や大森房吉の検討に基づき 1900 年ごろに日本にも同型の傾斜計が輸入された。この測器を志田 順は 1909 年上賀茂に設置して我が国最初の地球潮汐の観測に成功した。この観測から潮汐による弾性地球の水平変形を初めて明らかにしそれを表現する係数は現在「志田数」と呼ばれている。この傾斜計はその後阿蘇などで使用されたが、1938 年再び上賀茂での観測記録が残された後、消息が途絶えていた。ところが昨年 7 月、James Mori とちょうど来日中であった Luis Rivera(ストラスブール大)の 2 名によって、上賀茂地学観測所敷内の瓦礫の下から 70 年ぶりに Rebeur-Paschwitz 型傾斜計が発見された。

2. 水平振子の復元

この傾斜計は上記のようにこれ自体歴史的意義をもつだけでなく、ツェルナー吊り方式の水平振り型傾斜計が多数製作され、土地傾斜観測の標準となっていく、その嚆矢となったものでもある。この傾斜計を京都大学総合博物館で展示公開するにあたり、心臓部である水平振り自体は紛失しているため、これを復元することになった。製作はツェルナー吊り傾斜計の長い観測歴をもつ地震予知研究センター・宮崎観測所の園田(技術室観測技術グループ長)が同所の工作室で行った。Rebeur-Paschwitz 型傾斜計はいくつかの図が残されているが、志田の使用し

たものの振り子については、その論文に文章で記述があるのみで図では表現されていない。”The pendulum, of T-type, consisted of two thin brass tubes of ca. 6mm, diameter, the vertical one having two agates at a distance of ca. 12cm.; ... the horizontal tube of 21cm, length had a weight of ca. 20gr. at its further end.” という記述だけを頼りに構造を推定した。支点到 agate(メノウ)まで取り付けられているわけではないが、機能的には完全に動作する形で復元に成功した。水平振子の動きは、ランプを光源として光テコ方式で拡大され印画紙記録されていたが、このためのミラーも取り付けられている。なおこの復元過程はビデオ映像で記録されている。展示会場で放映される予定である。

Fig1 に 3 次元模式図 Fig2 にセンサー部を示す。

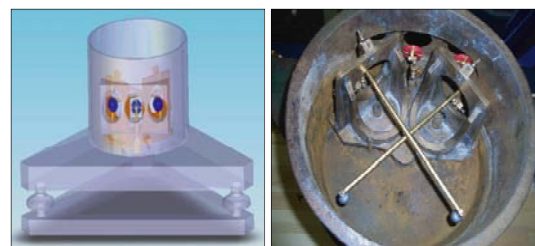


Fig1. 3D/CAD の模式図 Fig2. センサー部

謝辞：ビデオ記録にあたっては技術室・吉田義則室長、坂副技術グループ長のご協力を得た。  
ここに謝意を表します。

竹本修三：国際高等研究所・大野照文・塩瀬隆之：京都大学総合博物館・園田保美：防災研技術室



## 1. ドイツ傾斜計の発見と参考資料

### (1) レボイル・パシュウィッツ傾斜計について

レボイル・パシュウィッツは1989年水平振子型傾斜計を使い日本で発生した地震をドイツの2地点で観測し世界初の遠地震記録を得た。その後、渡欧した長岡半太郎や大森房吉の検討に基づき1900年ごろに日本にも同型の傾斜計が輸入された。この測器を志田 順は1909年上賀茂に設置して我が国最初の地球潮汐の観測に成功した。この観測から潮汐による弾性地球の水平変形を初めて明らかにしそれを表現する係数は現在「志田数」と呼ばれている。この傾斜計はその後阿蘇などで使用されたが、1938年再び上賀茂での観測記録が残された後、消息が途絶えていた。ところが昨年7月、James Mori教授(京都大学)とちょうど来日中であったLuis Rivera(ストラスブール大)の2名によって上賀茂地学観測所敷地内の瓦礫の下から70年ぶりにレボイル・パシュウィッツ型傾斜計が発見された。

### (2) 水平振子の復元

この傾斜計は上記のようにこれ自体歴史的意義をもつだけでなく、ツェルナー吊り方式の水平振子型傾斜計が多数製作され、土地傾斜観測の標準となっていくその嚆矢となったものでもある。この傾斜計を京都大学総合博物館で展示公開するにあたり、心臓部である水平振子自体が紛失しているため、これを復元することになった。製作はツェルナー吊り傾斜計の長い観測歴をもつ地震予知研究センター・宮崎観測所の園田(技術室機器開発グループ長)が同所の工作室で行った。レボイル・パシュウィッツ型傾斜計はいくつかの図が残されているが、志田の使用したものの振子については、その論文に文章で記述があるのみで図では表現されていない。“The pendulum, of T-type, consisted of two thin brass tubes of ca. 6mm, diameter, the vertical one having two agates at a distance of ca. 12cm; one, plane, at the upper end and the other concave of ca. 3mm, diameter at the lower end, at which the pendulum hung freely on two steel points of its stand.”という記述だけを頼りに構造を推定した。支点到agate(メノウ)まで取り付けられているわけではないが、機能的には完全に動作する形で復元に成功した。水平振子の動きは、ランプを光源として光テコ方式で拡大され印画紙記録されていたが、このためのミラーも取り付けられている。なおこの復元過程はビデオ映像で記録されており、京都大学博物館の展示会場で放映される予定である。

### (3) 上賀茂観測所

京都大学上賀茂地学観測所は、京大吉田キャンパスからは北北西に約4~5kmの距離にあるが、もともと地磁気観測を目的として1900(明治33)年に菊池大麓が会長をしていた震災予防調査会により設置され、東京帝国大学の田中館愛橘が1902~03年の地球磁力国際同時特別観測のために使用したものである。その後は使われておらず、1909年に京都帝国大学に移管された。観測室周辺の岩質は、砂岩・頁岩をまじえた秩父古生層のチャートである。志田が上賀茂地学観測所で使用し、顕著な業績を挙げたレボイル・パシュウィッツ式傾斜計は、1939年以降の足跡が途絶えており、上賀茂観測所の建物内はもとより、京大地球物理学教室などにも残っておらず、現存していないのではないかと考えられていた。ところが、志田が上賀茂観測所で傾斜計を始めてからちょうど百年後の2009年7月11日に、James Mori教授とそのとき来日中であったLuis Riveraの2名によって、上賀茂観測所の敷地内の空き地の倒木や落ち葉の下に埋もれていた瓦礫のなかからレボイル・パシュウィッツ式傾斜計が発見された。

### (4) 京都大学上賀茂観測所での発見

以下、関係者などでやり取りされたメールを引用して、発見のいきさつ、構造推定の経過を述べる。  
( Jim Mori教授から地震予知関係 everyone など宛て Mail [2009年7月13日付] )

### 100 年前のレボイル・パシュウィッツ、ドイツ傾斜計の復元 (3)

「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。添付ファイルをご覧ください。Luis は、これらの古い装置を探していました。1889 年に、このタイプの装置は、最初の遠地地震を記録しました。我々は、1886 年に大森先生によってドイツの Resold and Shone company に装置の作製が発注されたという情報を持っていました(社名が添付の写真で確認できます)。竹本先生によると、その装置は 1909 年に京都に移送され、上賀茂観測所で志田先生が使用されていたとのこと。そして 1932 年に、阿蘇観測所に佐々憲三先生によって移送されました。その後、1937 年に再び上賀茂観測所に戻されました。1940 年ごろ以降、装置がどうなったかという記録は、残っていません。昨年も、この装置を探すために上賀茂観測所へ行ったのですが、観測所の外側のがらくたの山を探しませんでしたので発見することができませんでした。今回、装置を観測所建物内に入れてきました。もう二度と誰かの手によって放り出されないことを望みます。-Jim Mori」

写真 1 は京都大学上賀茂観測所での京都大学 Jim MORI 教授とストラスブール大学の Luis Rivera 氏による発見現場写真とレボイル・パシュウィッツ傾斜計の写真である。



● 写真 1 傾斜計発見現場

#### (5) 構造と参考文献について

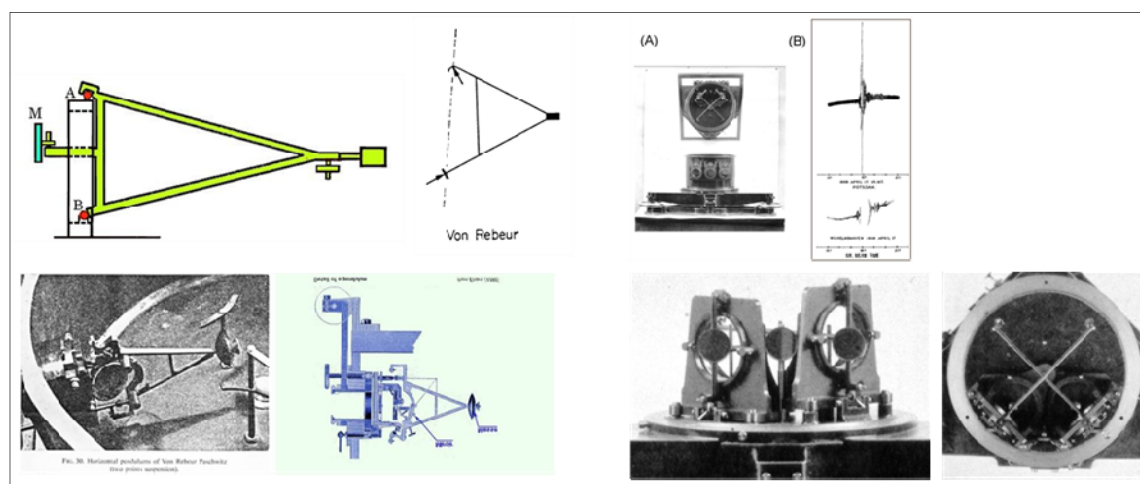
(竹本修三氏から園田他宛てメール[2009 年 10 月 26 日付])

「今日、野川さんが振子部分の写真を 3 枚送ってくれましたが、志田先生が使っていた傾斜計の振子はもっとシンプルだったようです。もう 2 枚、傾斜計の振子部分を説明する図を添付ファイルでお送りしておきますが、志田先生の 1912 年の論文に記述されている振子の構造は、もっと簡単で、基本的に”T”字型をしており、直径 6mm の 2 本の真鍮管できており、横棒の長さが 21cm、縦棒の長さが 12cm と書かれています。横棒の左端と縦棒の下端の 2 点で支持枠に取り付けられていて、横棒の右端には 20g の錘がついていると書かれています。これを元にして簡単な図面を書いて、近日中にお送りします。そんなに面倒な工作ではないと思います。」

## 100年前のレボイル・パシュウィッツ、ドイツ傾斜計の復元 (4)

「具体的な点として問題になってくるのは、支持部 (A, B) の構造かと思います。1912年の論文に具体的な記述があれば、あるいは現物 (受け部) を見れば・・・

<http://www.univie.ac.at/wissenschaftstheorie/heat/gallery/figures3/fig3-122.htm> に竹本さんからお送りいただいた図 paschwitz (2). jpg とそっくりな図があります。この図では、支持部のニュアンスが多少異なります。according to EHLERT 1895 となっています。野川さんからの strasbg2. jpg に from EHLERT (1898) と入っています。共著・単著の水平振子の文献がいくつかあるようですね。(添付1件=画像のままで失礼します) それとベースを支える2ヶ所のスクリュウネジの右側がはずれていたようですが、これの復元 (修理) までというのは、やりすぎでしょうか」



● 図1 構造原理と傾斜計写真

(竹本修三氏から園田他宛てメール[2009年10月30日付])

「竹本です。傾斜計振子部の復元、よろしくお願いいたします。志田先生の1912年の論文に記述されている振子の構造の原文 (英語) とその部分の和訳を添付ファイル (振子の構造. t x t) でお送りします。振子は”T”字型で、約12cmの縦棒 (真鍮管) と約21cmの横棒でできており、縦棒の上下2点で支持されていると読めますがこれはおかしいです。私の考えでは、添付の”振子部 1. jpg”のような構造ではなかったかと思います。縦棒の下部と横棒の左端に瑪瑙 (めのう) が付いていて、それに凹型の窪みが刻まれており、支持枠のスチール針の先端で支えられていたのではないかと思います。Bの部分の構造は間違いないと思いますが、Aの部分の構造 (支持方式) は違うかもしれません。振子部 2. jpg”は、私が考える縦棒の構造です。”支持枠 1. jpg”、”支持枠 2. jpg”の写真で支持枠のイメージはつかんでもらえると思います。”振子部 1. jpg”の図の薄く色がついているところが、園田さんに工作をお願いしたい部分です。志田先生の論文の記述で真鍮管となっているところは、加工のしやすさを考えると真鍮棒を使ってもらった方がよいと思います。また、縦棒下部と横棒左端の瑪瑙 (めのう) の部分は展示用に復元するのでからアクリル製でよいと思います。」

## 2. ドイツ傾斜計製作手順

### (1) T型振子

論文の記述によると振子は”T”字型をしており、直径6mmの2本の薄い真鍮管でできている。縦の真鍮管は長さが約12cmで両端に瑪瑙 (めのう) が取り付けられている。その上端は平面で、下端は約3mmの直径で凹面になっている。この2点で振子は支持枠の二つのスチールの先端で自由に回転するように

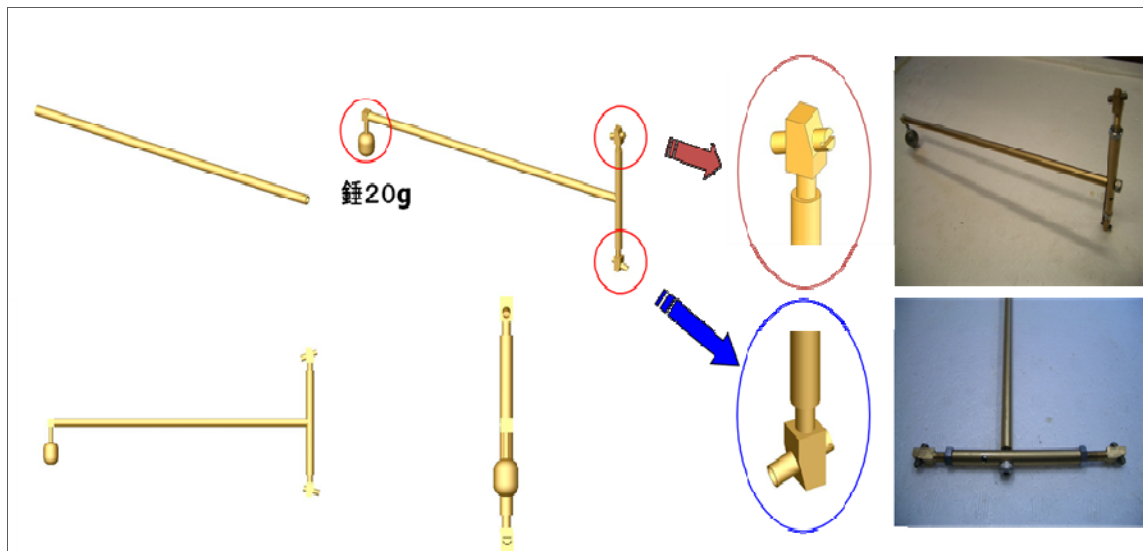


## 100年前のレボイル・パシュウィッツ、ドイツ傾斜計の復元 (5)

架けられている。直径 35mm のミラーが縦棒の” T “字接合部の近くに取り付けられている。横の真鍮管の長さは 21cm で、その先端には 20g の錘がついている。同じ構造の二つの振子 (No. 1 と No. 2) が直角に交わるように配置されており、No. 1 が 42.380g、No. 2 が 42.459g の重さをもつ。《そして、ゼロ線用のミラーが二つの振子の間に置かれている。》ふたつの振子は、大気擾乱等を避けるために、直径 27cm の鋳物製円筒のなかに納められ、その上部は厚いガラス板でカバーされている。そのカバーには、エア・スターターが取り付けられ、ゴム管で記録室に向って導かれているとある。

前章で述べたやり取りの結果、これを下記のような手順で、形にすることにした。

- 1 : 図 2 の 3 次元模式図の様に、6 mm の真鍮パイプを縦棒 12 cm 横棒 21 cm に切断加工。
- 2 : 振子部では横棒の端と縦棒の中間を、4 mm 六角穴付きボルトで T 型に接続固定。
- 3 : 振子のバランスの為 21cm 真鍮横棒の端に、瑪瑙の代わりに 20g 鉛の錘を取付ける。
- 4 : 図 2 の拡大部に示す様に縦真鍮棒の上下に、4 mm 支持ネジ付調整支持金具を取付ける。

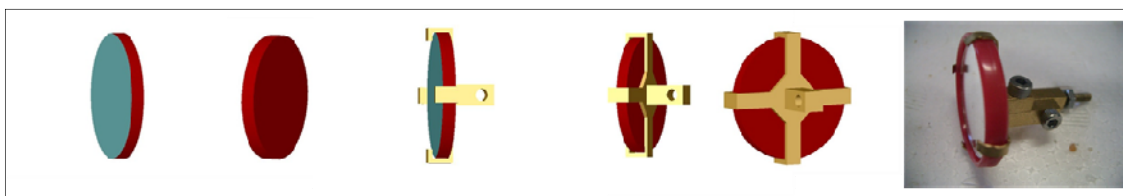


● 図 2 NS・EW成分の振子

● 写真 2

### (2) ミラー固定金具

- 1 : 図 3 の 3 次元模式図と写真 3 の様な、市販の 30 mm 厚さ 5 mm 円盤型ミラーを購入。
- 2 : 図 3 の様に厚さ 1 mm の真鍮板を、幅 2 mm 十字型に切断機、ハサミ、ヤスリで切断加工。
- 3 : 図 3、写真 3 の様に手づくり十字型の真鍮板でミラー全体を囲み、端を折り曲げて固定。
- 4 : この十字型のミラー固定金具に 5 mm 角長さ 10 mm 径 3mm の穴の付いた真鍮棒を半田付。

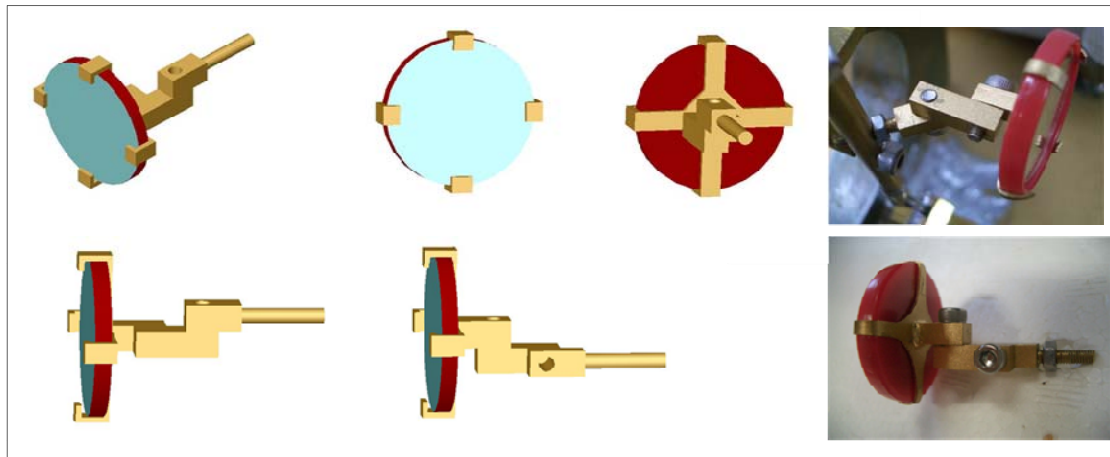


● 図 3 ミラー固定金具

● 写真 3

### (3) ミラー固定支持金具

- 1 : 図 4、写真 4 の様に 5 mm 角長さ 10 mm に径 4mm の穴をあけ十字型の真鍮板に半田付。
- 2 : 図 4、写真 4 の様に真鍮の 5 mm 角長さ 20 mm の接続棒に径 3mm の穴を 2 ヶ所あける。



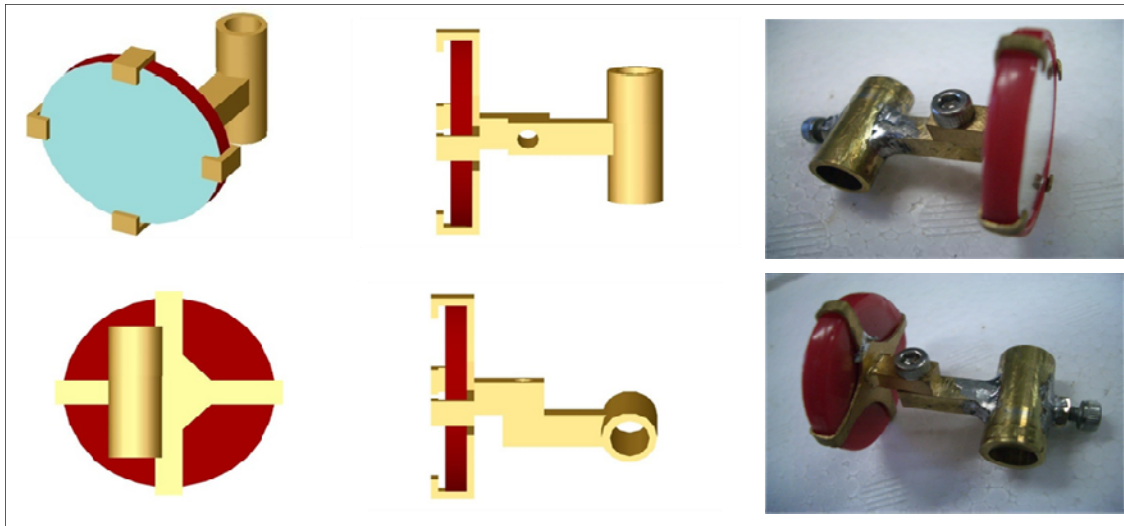
● 図4 NS・EWミラー支持金具

● 写真4

(4) ゼロミラー支持金具

論文記述では「直径 35mm のミラーが縦棒の T 字接合部の近くに取り付けられている。横の真鍮管の長さは 21cm で、その先端には 20g の錘がついている。同じ構造の二つの振子 (No. 1 と No. 2) が直角に交わるように配置されており、No. 1 が 42.380g、No. 2 が 42.459g の重さをもつ。そして、」ゼロ線用のミラーが二つの振子の間に置かれている。二つの振子は、大気擾乱等を避けるために、直径 27cm の鋳物製円筒のなかに納められ、その上部は厚いガラス板でカバーされているとある。

- 1 : 図 5 の模式図と写真 5 の様に、真鍮棒 5 mm 角長さ 15 mm を切断加工 4 mm の穴をあける
- 2 : 図 5、写真 5 の様に径 10 mm 長さ 20 mm の真鍮パイプを内径 7mm のパイプにする。
- 3 : 図 5、写真 5 の様に 5mm 角長さ 15mm の真鍮棒を、上記の支持パイプの真鍮棒の中間で半田付
- 4 : ミラー固定金具に支持パイプを 4 mm ボルトで連結してゼロミラー支持金具とする。



● 図5 ゼロミラー

● 写真5

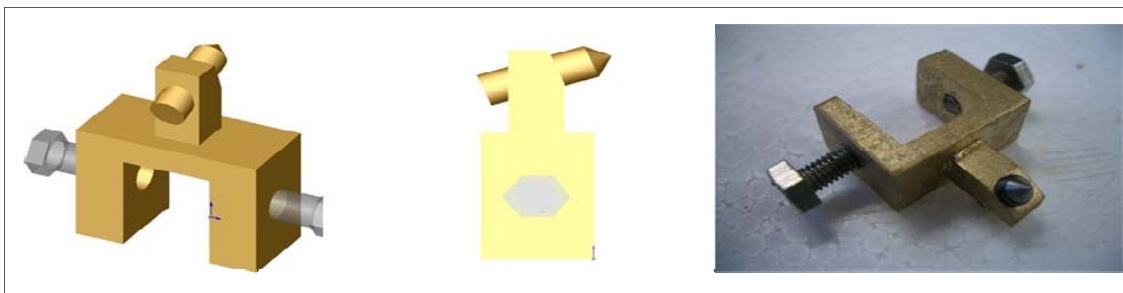
(5) 下部固定用センサー支持金具

「論文記述では基本的に T 字型ですが、短い縦棒 (12cm) の中央あたりに長い横棒 (21cm) がついた T 字型のようです。そして、横棒と背中合わせでミラーが付いていて、支持棒より後ろ側に縦棒が見えますね。支持棒との 2ヶ所の接点ですが、やはり志田先生の論文に書いてあるように、縦棒の上と下みた

100 年前のレボイル・パシュウィッツ、ドイツ傾斜計の復元 (7)

いです。下は凹が付いているとある。≫センサー（振子の本体）の支持は縦棒の上下で自由に回転できるように支えられるが、傾斜計ケース側の上部の支点は発見されたそのままで使用可能であったが、下部支点は円筒ケースの底部に位置し、工作の手が入らずそのまま元のものを使用するのは困難であったので、新たな支持金具を上付けして機能的な復元を行うこととした。本来の円筒ケースは取り外しができる構造であり、ケースをはずした状態でこの部分の工作・調整がなされたものと考えられるが、ねじが固着してはずすのは不可能な状態となっている。

- 1 : 図 6 の 3 次元模式図、写真 6 の様に真鍮角棒 10 x 15 x 15 mm に 10 x 10 mm の溝を切る
- 2 : 図 6、写真 6 の様に溝の両端に固定用 3 mm 六角ボルトを取付けベースに固定する
- 3 : 図 6、写真 6 の様に製作した上部に調整支持ボルト付支持枠を、半田付けし固定用六角 4 mm ボルトを取付けて下部センサー支持金具とする。



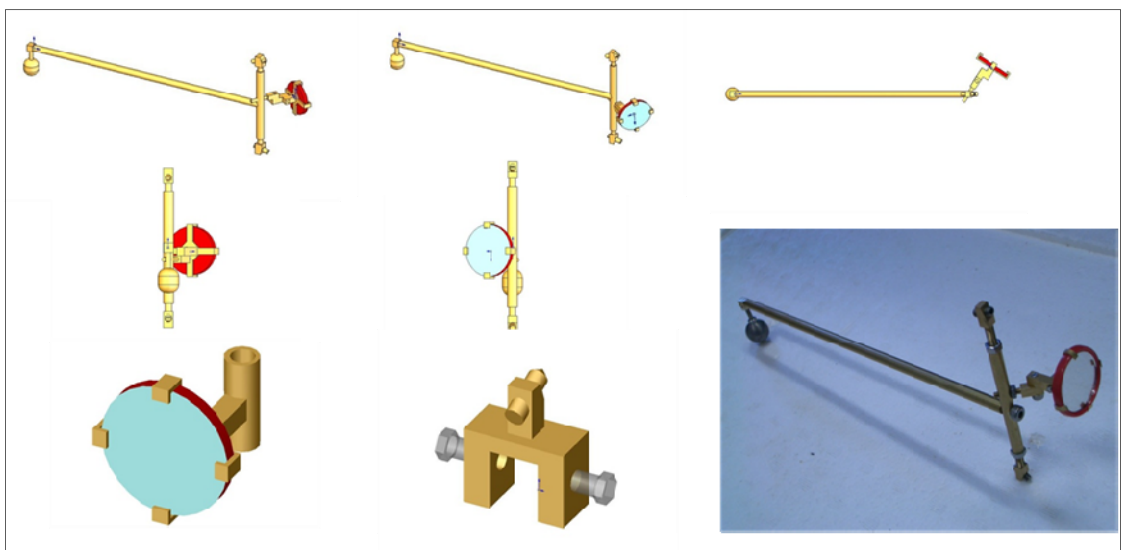
● 図 6 下部支持金具

● 写真 6 写真

(6) センサー全体図

- 1 : 図 7 の 3 次元模式図と写真 7 の様に製作した各部品を T 字型に組立て、それに錘、支点用 4mm ボルトのついた調整付ボルト、ミラー支持金具を取り付けた。
- 2 : 図 7 はセンサー支持用固定金具であるが、総称してドイツ傾斜計センサー部とする。
3. 3D/CAD によるドイツ傾斜計模式図と復元全体写真

図 8、写真 8 はドイツ傾斜計の 3 次元模式図と復元全体写真であるがこの模式図はセンサー部製作前に 3 次元で作成した。全体の概要が 3 次元で掌握出来て今回の様な何も姿がみえない状態では大変重要である。

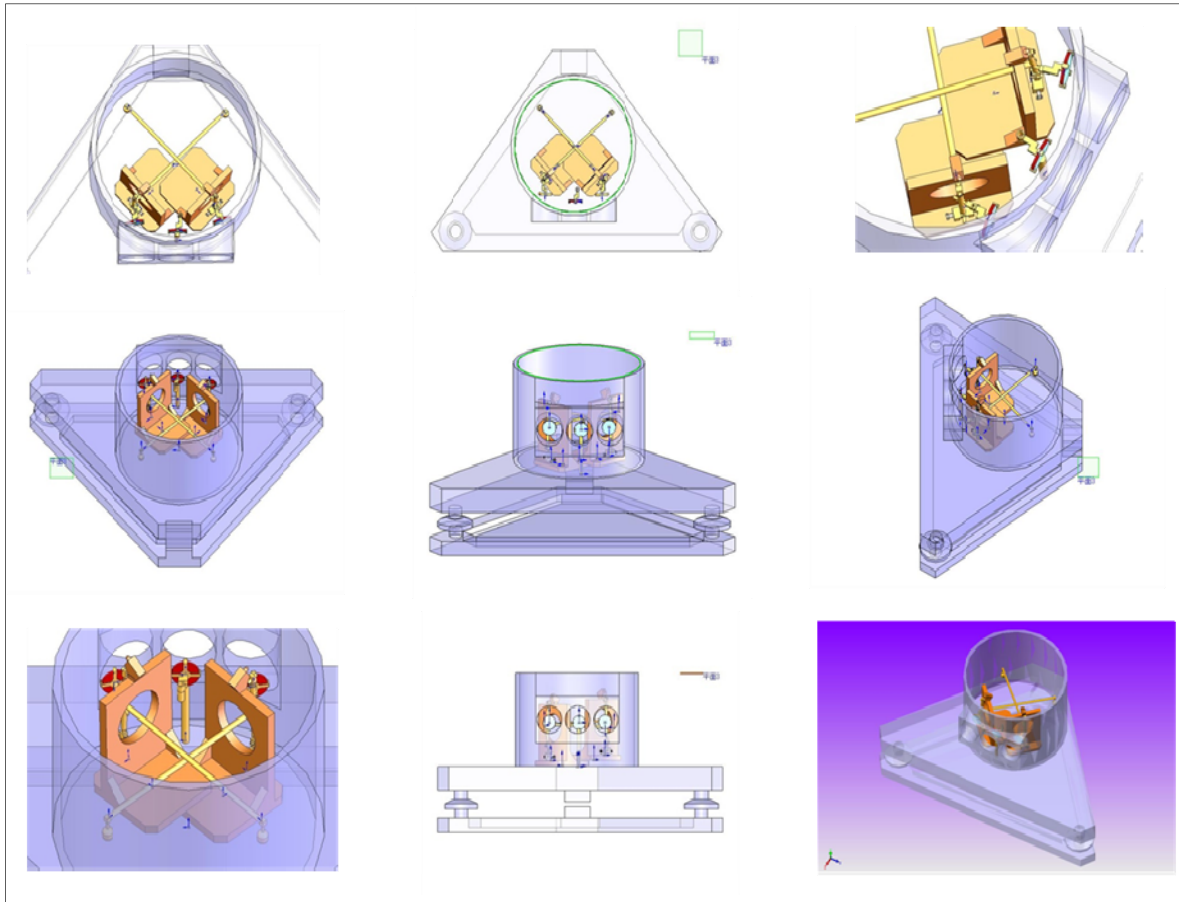


● 図 7 センサー部 3 種

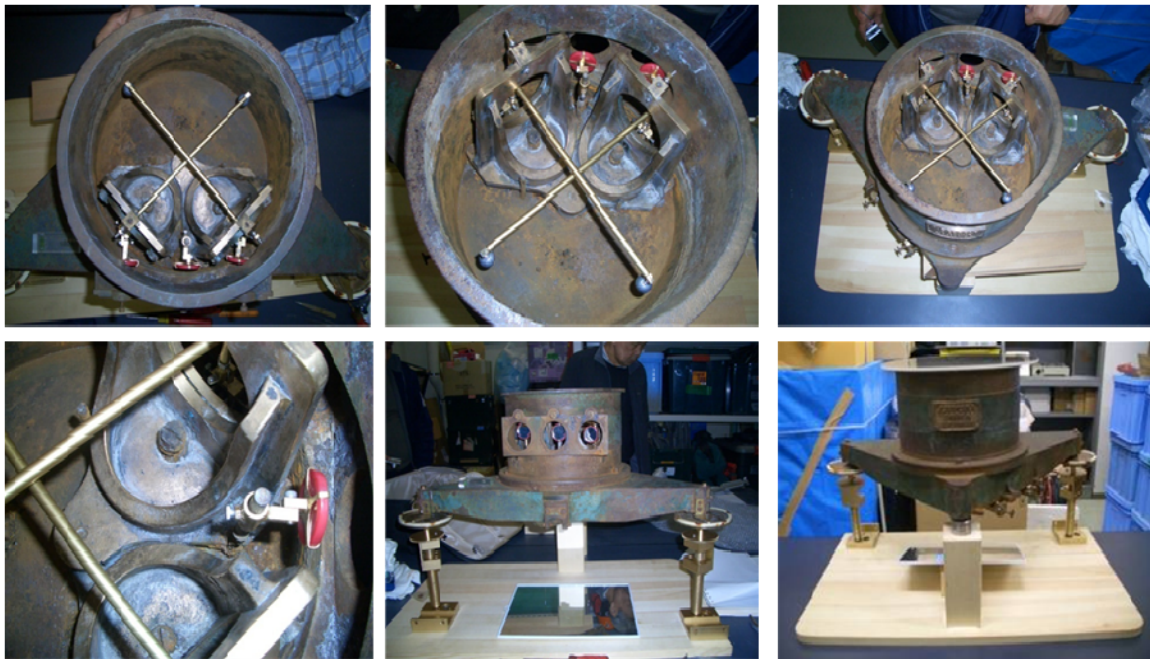
● 写真 7



100年前のレボイル・パシュウィッツ、ドイツ傾斜計の復元 (8)

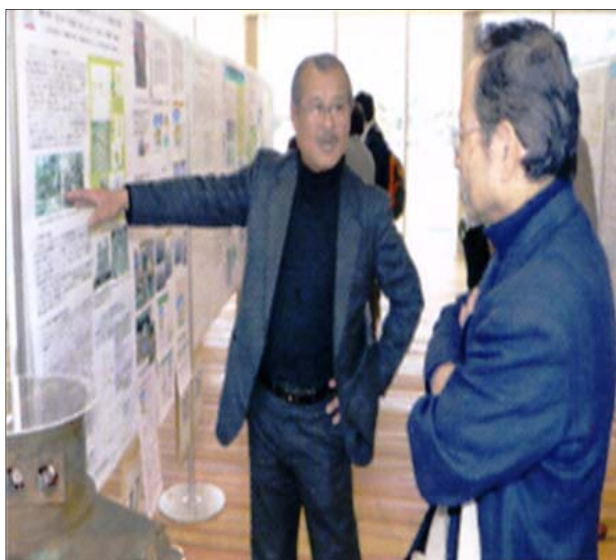
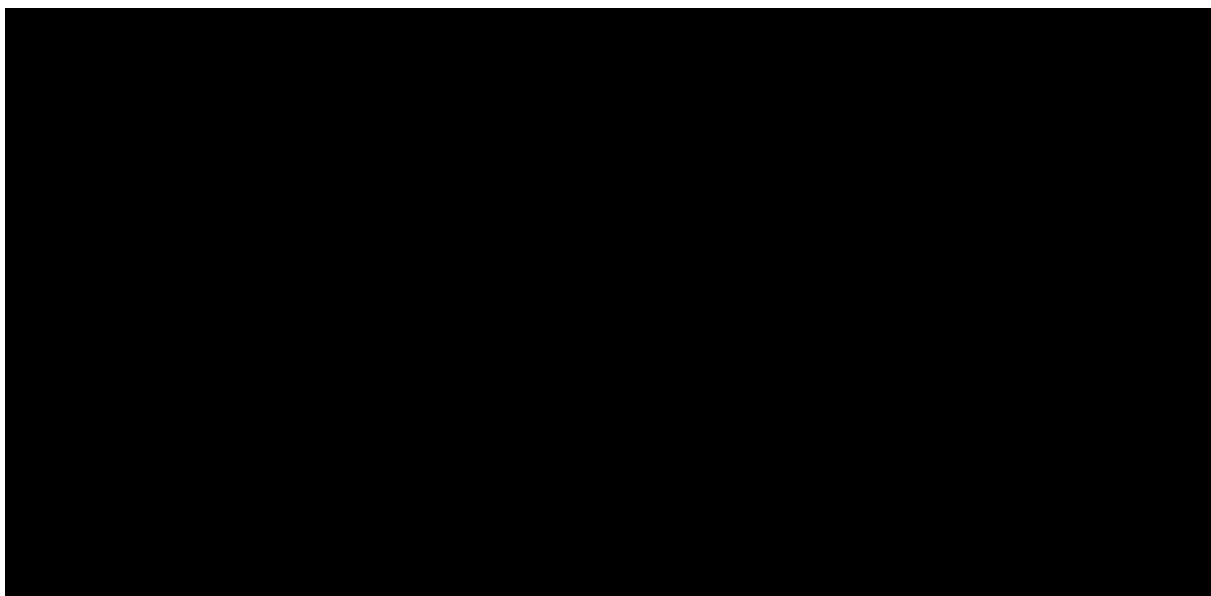


● 3D/CADで表示のドイツ傾斜計模式図

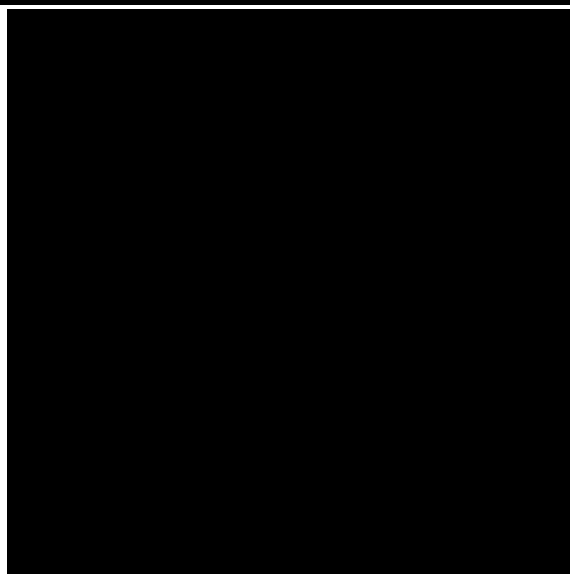


● 傾斜計復元全体写真

100年前のレボイル・パシュウィッツ、ドイツ傾斜計の復元 (9)



● 防災研究所講演会：園田ポスター



● 新聞記事：100年前のドイツ傾斜計復元(園田)



● 博物館展示風景：中央奥が常設展示場入口でその右のガラス戸が博物館入口ですから入場してすぐの一等地に展示され、松本総長はじめ多くの関係者も含めての来訪がありました。直前に京都新聞、読売新聞に掲載されましたので、地質関係者からはこのお蔭でお客さんが多かったと感謝されました。







### 3. 謝辞

昨年7月上賀茂地学観測所で見つかったレボイル・パシュウィッツ式傾斜計センサー部分の復元作業は、京都大学防災研究所技術室機器開発グループ：園田保美が全面的に受け持ったが、防災研究所地震予知研究センター：大谷文夫氏・寺石眞弘氏には地殻変動観測計器関係情報のご協力を得た。資料提供には地震防災研究部門：Jim Mori 教授・野川氏、ビデオ記録にあたっては技術室：吉田義則室長・坂副技術グループ長のご協力を得た。竹本修三：国際高等研究所（京都大学名誉教授）には傾斜計復元の陣頭指揮をとってもらった。大野照文・塩瀬隆之：京都大学総合博物館には今後京都大学博物館に展示するにあたり展示場開設の協力をしてもらった。これらの方々に厚く御礼を申しあげる。

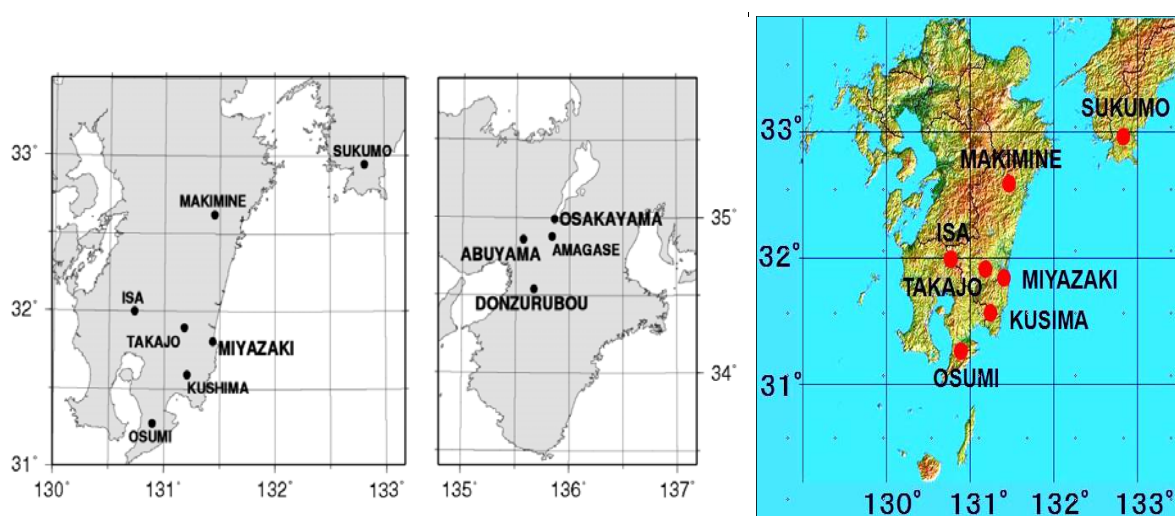
### 参考文献

- 1982, 地震学百年 東京大学出版会, 233pp
- 1986, 理学部地球物理学教室一創始者志田 順先生, 京大広報, No. 307, 53-55
- 1924, 地震研究の方針, 大正大震火災誌, 山本美編, 改造社, 37-44
- 1941, 地球潮汐に就いて, 其一, 地球外殻の剛性, 地球物理, 5, 10-32
- 1944, 地球潮汐に就いて, 其五, 緯度の潮汐変化(第二報), 地球物理, 8, 66-72
- 1940, 気象諸変化に起因する土地昇降変動について, 天文学及び地球物理学邦文輯報, 1, 17-26
- 1941, 土地傾斜変化の観測序論, 地球物理, 5, 4-8
- 1929, 「地球及び地殻の剛性並に地振動に関する研究」回顧, 東洋学芸雑誌, 45, 275-289
- 2006, 京大の地殻変動研究短評, 測地学会誌, 53, 123-133
- 1912, on the elasticity of the earth and the earth's crust, Memoirs of the College of Science and Engineering, Kyoto Imperial University, 4, 1-286

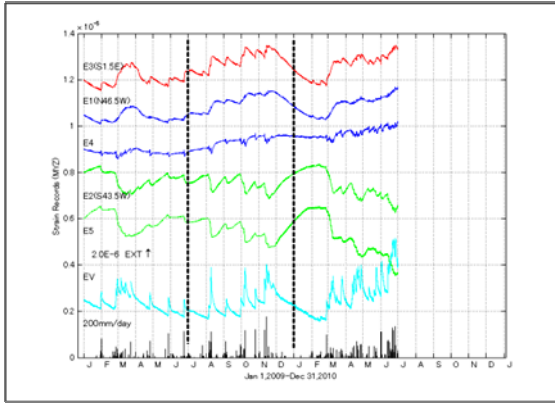
## 1. はじめに

京都大学では地震予知計画以前から、多くの観測坑道で伸縮計・水管傾斜計などによる地殻変動連続観測を実施してきている。予知計画ではいくつかの観測所が新設され、またセンサーやデータ収録の電子化、データ伝送のテレメータ化などが進められた。多くの地震で観測された strain step が発震機構と結び付けられ、また降雨や気圧、温度の影響を明らかにする研究も進みつつあるが、一般化しにくいのがネックである。地殻歪の経年的な変化も検出され地震活動との関係も研究しているが、最近頻繁に発生している地震において地震直前の前兆現象を見つけ出した経験を持つには至っていない。

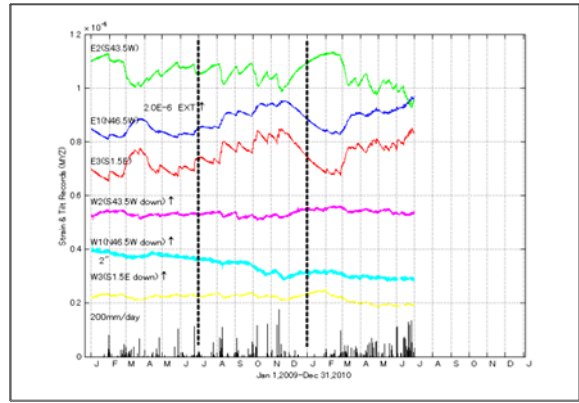
京都大学における観測体制の特質として長い歴史と多くの研究者が関わってきたという事情があり、さまざまな点で統一されていない点があるのは否めない。GPS や Hi-net 傾斜計観測網などの登場で地殻変動観測データは多様化しており、連続観測データに要求される信号も、対象とする現象がスロースリップや地球コア振動などに広がり、高い周波数が要請される一方で、直流域までの周波数帯域を持つ地震計としての面も期待されている。別の要因として携わる人材が今後さらに少なくなってくる。そのような現状のもとで坑道内観測の高精度化を目指すにあたり、現在稼働中の観測施設・観測データの系統的評価が必要だと考えられる。今回はその第一段階として、各点の伸縮計データの潮汐解析を同一方法で行い、ノイズレベルなどの比較・評価を行うこととした。P13、P14、P15 の3課題を通して、京都大学防災研究所地震予知研究センターが観測を管理し現在稼働中の全点のデータに対して、潮汐解析プログラム Baytap-G を適用し、その結果を理論値と比較検討した。ポスターでは3課題連続で全観測点の結果を通覧できる形で発表する予定であるが、本発表では、このうち宮崎観測所で管轄している日向灘地殻活動総合観測線の7点を対象とする。近畿地方および日向灘地殻活動総合観測線の主要点の坑道内歪観測結果の最近1年分を示す。近畿地方では2003年から異常変動が続いており別稿として1999年以後の記録を示している。逢坂山の9月はじめに見られる顕著な地下水位の低下は、紀伊半島南東沖地震時の coseismic な変化である。この地震では近畿各観測点にもステップなどが観測されたが、本稿のスケールでは阿武山での局所的な余効変動や屯鶴峯における地震動による擾乱などが認められる。上に述べたトレンドの変化は継続しているが、雨量依存の部分が多い年周期的な変化は例年と比べて特に異なった顕著な変動は生じていない。



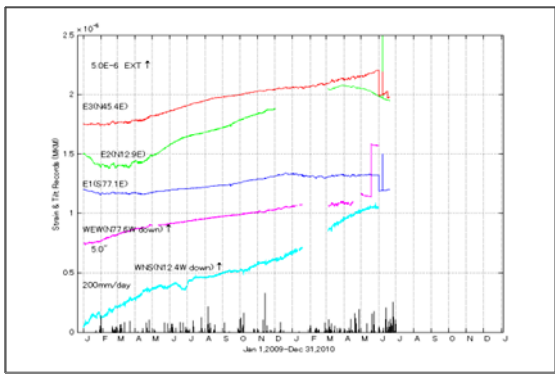
● 日向灘地殻活動総合観測線 (7点)・近畿観測点 (4点)



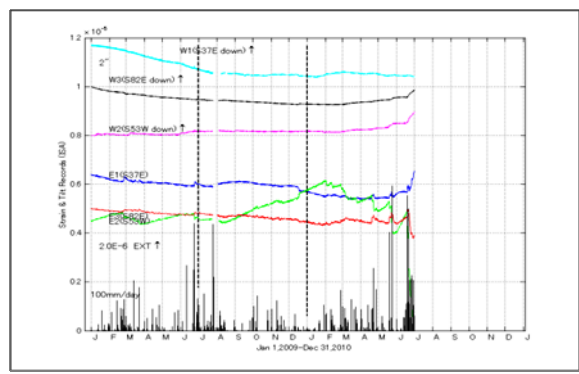
● 宮崎E成分



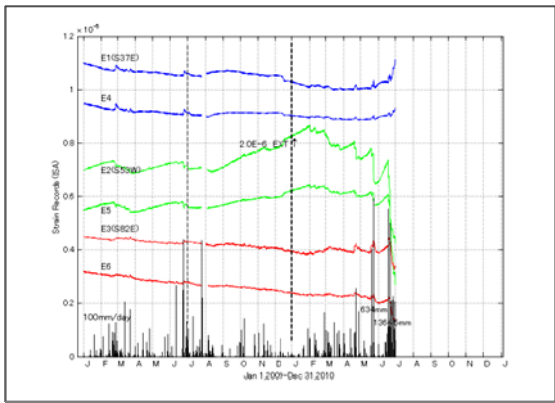
● 宮崎W成分



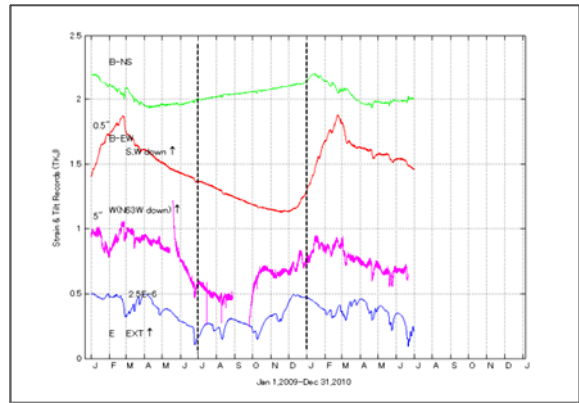
● 檜峰E-W成分



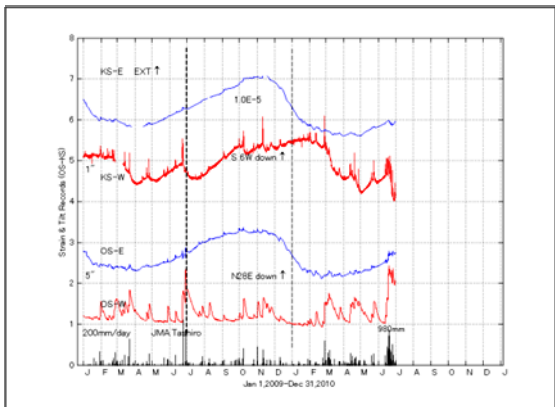
● 伊佐W成分



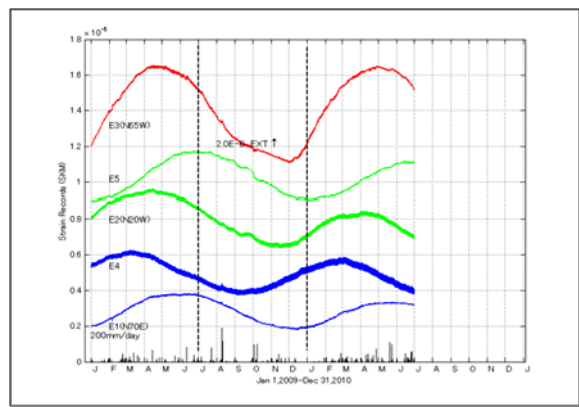
● 伊佐E成分



● 高城E-W成分



● 串間E-W成分



● 宿毛E成分



< 要旨 >

九州東南部における地殻変動連続観測

Continuous observation of crustal deformations in the southeastern part of the Kyusyu District

○園田保美・寺石眞弘・大谷文夫・大志万直人

○Yasumi Somoda, Masahiro Teraishi, Fumio Ohya and Naoto Oshiman

We have operated some observatories for crustal deformations with extensometer, but these instruments and observation vaults have various characteristics each other because of long history of installation and network configuration. In recent years, extensometer records have been used not only for crustal movement research but also for DC-seismology. We intend to improve the accuracy of the observation to the level enough to study recent interested geophysical phenomena. As the first step of quantitatively assessment of each instrument, we will evaluate the tidal constants and noise level by the common procedure in all available records with extensometers operated by RCEP in three posters from P13 to P15. In our presentation we will treat 7 observatories in the Hyuganada monitoring network.

京都大学では地震予知計画以前から、多くの観測坑道で伸縮計・水管傾斜計などによる地殻変動連続観測を実施してきている。予知計画ではいくつかの観測所が新設され、またセンサーやデータ収録の電子化、データ伝送のテレメータ化などが進められた。多くの地震で観測された strain step が発震機構と結び付けられ、また降雨や気圧、温度の影響を明らかにする研究も進みつつあるが、一般化しにくいのがネックである。地殻歪の経年的な変化も検出され地震活動との関係も研究しているが、最近頻繁に発生している地震において地震直前の前兆現象を見つけ出した経験を持つには至っていない。京都大学における観測体制の特質として長い歴史と多くの研究者が関わってきたという事情があり、さまざまな点で統一されていない点があるのは否めない。GPS や Hi-net 傾斜計観測網などの登場で地殻変動観測データは多様化しており、連続観測データに要求される信号も、対象とする現象がスロースリップや地球コア振動などに広がり、高い周波数が要請される一方で、直流域までの周波数帯域を持つ地震計としての面も期待されている。別の要因として携わる人材が今後さらに少なくなってくる。そのような現状のもとで坑道内観測の高精度化を目指すにあたり、現在稼動中の観測施設・観測データの系統的評価が必要だと考えられる。今回はその第一段階として、各点の伸縮計データの潮汐解析を同一方法で行い、ノイズレベルなどの比較・評価を行うこととした。P13、P14、P15 の 3 課題を通して、京都大学防災研究所地震予知研究センターが観測を管理し現在稼動中の全点のデータに対して、潮汐解析プログラム Baytap-G を適用し、その結果を理論値と比較検討した。ポスターでは 3 課題連続で全観測点の結果を通覧できる形で発表する予定であるが、本発表では、このうち宮崎観測所で管轄している日向灘地殻活動総合観測線の 7 点を対象とする。

横軸は(観測振幅/理論振幅)。1ならば理論と観測が一致。1より大きければ観測値が大きすぎる。1より小さければ観測値が小さすぎる。

- ・ 縦軸は位相差(観測値-理論値)(単位は度)。
- ・ 横軸で2.3以上、縦軸の絶対値で40以上の値はプロットせず。異常値として値そのものを表記。
- ・ ○はM2、◎はS2、+はO1を示す。
- ・ ○◎+が横軸上で中央(横軸1のところ)に集中するのが理想的。
- ・ 縦軸方向のばらつきが大きくても、また、横軸上のどの位置にあっても、○◎+が縦一直線に近い並び方をする観測点は良好な観測点であることを示す。理由は、絶対感度はともかく、各分潮の比率が理論値に近い程、縦一直線に近い並びになるから。
- ・ S2が理論値から大きく外れる観測点は、外気温の影響を大きく受けている。
- ・ 位相が理論値からずれる原因の一つは、岩盤に含まれる間隙水の影響。
- ・ 天ヶ瀬は気圧・温度変換による補正を施した結果をプロットしている。
- ・ 逢坂山は気圧・温度変換による補正を施した後、更に水位記録を用いて間隙水圧による誤差の補正を施している。

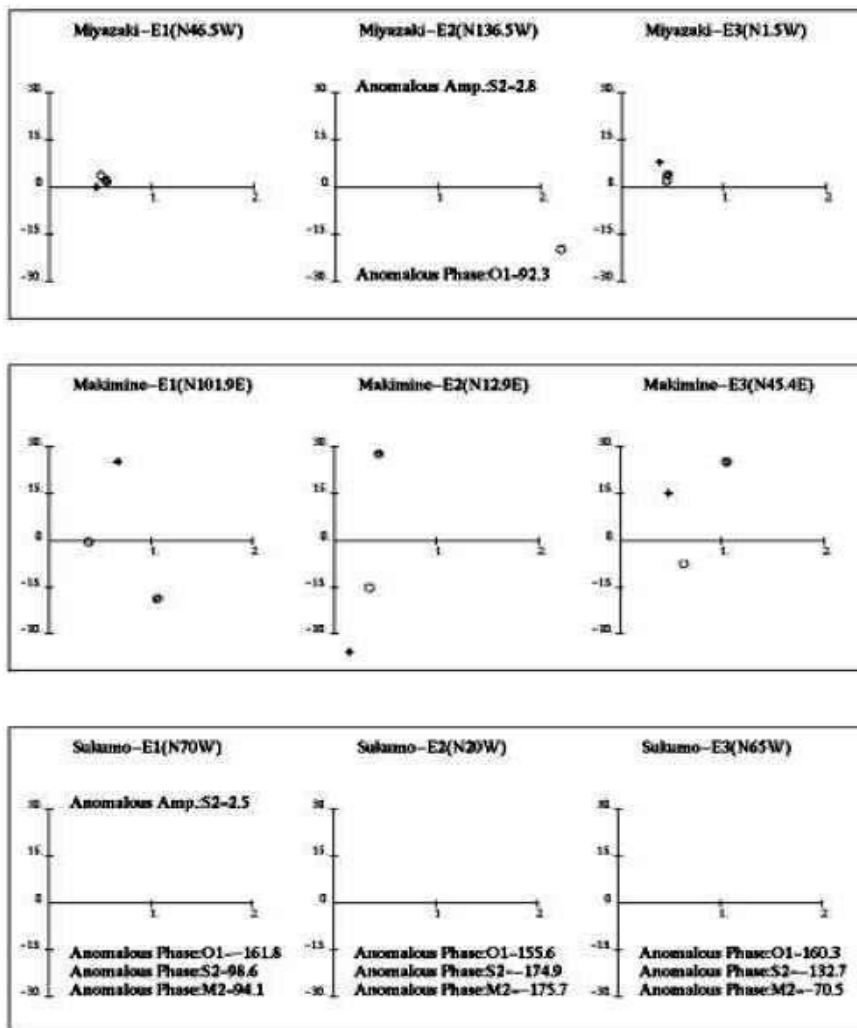


Fig.6 Results of tidal analysis for data recorded at Miyazaki, Makimime and Sukumo observatories. Graphs are constructed by the same manner as Fig.1.

# 京都大学防災研究所の地殻変動連続観測の現状と展望(1)

< 森井 互 : 記 >

森井 互・尾上謙介・中村佳重郎・大谷文夫・竹内文朗・寺石眞弘・細 善信・和田安男・園田保美

## 1. はじめに

京都大学防災研究所では近畿地方を中心に、その他、中部・北陸・四国・九州の各地で地殻変動連続観測を行ってきた。既に観測を終了し、廃止された観測点もある。現在は6箇所の観測所(上宝・北陸・逢坂山・阿武山・屯鶴峯・宮崎)を中心として、その衛星観測点も含め、19の施設で観測が続行されている。夫々の観測施設は、地震予知事業によって設置されたもの、研究者個人の研究的な興味によって開設されたもの等、設立の経緯は様々である。観測の継続年数も観測施設ごとに異なり、長いところでは30年以上にわたって観測が継続されている。地殻変動連続観測は、その性格から長期の連続性が重要であることは周知のところであるが、諸般の事情から、夫々の観測施設を今後継続して維持していくべきかどうかを再評価するべき時期に来ていると考えられる。第一に、研究者の個人的な興味によって開設された施設については、開設した研究者が引退し、次の世代に受け継がれているものも多く、既に一定の成果も上がり、その使命を終えたと考えられるものもある。また、観測施設の条件によっては、検出できる地殻変動の信号レベルが低く、近年整備されたGEONETやHINETの記録でも十分に代替が可能なものも存在する。以上の理由から、現在稼働中の地殻変動連続観測施設の質的な評価を行い、観測を継続する価値があるか否かを検討する事とした。

## 2. 観測施設の現状評価

本章では、観測施設の質の評価に当たり、どのような観点から評価基準と評価方法を採用したかを述べる。また、採用した評価方法を現在稼働中の観測施設の記録に適用した結果を示す。各観測施設には、伸縮計以外に、水管傾斜計、振子型傾斜計等、各種の観測計器が設置されている場合があるが、ここでは、全ての観測施設に設置されている伸縮計の記録を対象とした。

### 2-1 評価基準

周知のように、地殻変動連続観測は地球物理学的な諸問題を解明するために行われてきた。例えば、地球潮汐の観測に基づいて地球の内部構造を推定することや、長期にわたる地殻歪の変動傾向と地震活動の関連から地震予知に資する情報を得る試みなどが主としておこなわれてきた。一方、近年整備が進んだGEONETやHINETの記録は、その設置密度の高さと広域性から、旧来の地殻変動連続観測では難しかった「広域な歪場の統一的な解析」を可能にした。そのため、「この事実が旧来の地殻変動連続観測の使命の終焉を告げている」とする議論が一部でなされている。しかし、この考え方には根本的な誤りがある。本来、一点の無限小歪を観測する地殻変動連続観測は、機器の設置と保守に多大な労力を要するため、高密度・広域な展開には不向きな観測手法である。しかし、GEONETやHINETが整備される以前においては、地殻歪の変化をリアルタイムで検出できる唯一の方法が地殻変動連続観測であった故、本来不向きである広域歪場の検出も担わざるを得なかったのである。10<sup>-6</sup>~10<sup>-7</sup>程度の広域歪場の検出が他の観測手法によって可能になった現在、地殻変動連続観測は、本来の超高感度・超広帯域という特性を活かして、GPSや埋設型観測機器では検出不可能な地球物理学的諸現象の検出・解明に特化した観測に立ち戻るときである。事例として、数Hzから直流帯域までの広い周波数帯域幅と100dBを超える広い動帯域を持つ伸縮計の記録は、大規模地震の震源過程の解明、地球自由振動による地球内部構造の推定、スロースリップ・イベントの検出、等のための有力な情報として期待されている。以上述べた観点から、今後も観測を継続する意義を持つ観測施設の条件は、GPSや埋設型観測機器の検出限界を超える微小変動を捉え得る環境を備えているか否かである。



## 2-2. 評価方法

現在のところ、GPS の最小分解能は  $10^{-6}$ ~ $10^{-7}$ 、埋設型観測機器の検出限界は地球潮汐 ( $10^{-8}$ ~ $10^{-9}$ ) のレベルである。従って、地殻変動連続観測施設については、少なくとも地球潮汐程度の信号が確実に捕らえられるか否かが、観測を継続する意義を持つか否かの指標になると考えた。この考えに基づいて、現在稼働中の19の観測施設の評価を行った。Fig.1に観測施設の地理上の分布を示す。実際の評価方法は次のとおりである。1) 評価対象とすべき伸縮計の記録を、潮汐解析プログラム BAYTAP-G によって解析し、主要分潮である M2、S2、O1 の振幅と位相を推定する。2) GOTIC2 プログラムを用いて、評価対象とした伸縮計の設置座標と方位に対応する各分潮の振幅と位相の理論値を求める。3) 各分潮ごとに、観測値と理論値の振幅比及び位相差を求めてグラフにプロットする。以上の操作によって得られた図を Fig.2~7に示す。図の横軸は分潮の振幅比 (観測値/理論値) を、縦軸は観測値と理論値の位相差 (観測値—理論値: 単位は度) を夫々示している。また、○は M2、◎は S2、+は O1 の各分潮を示している。振幅比において 2.3 を超えるか、位相差の絶対値が 40 度を越えた場合はグラフ上にプロットせず、異常値として値そのものを表記した。当然のことながら、グラフの横軸上中央 (横軸の '1' の位置) に 3 分潮のマークが集中するのが理想的な場合、即ち、振幅・位相ともに観測値と理論値が一致した場合を示す。

## 2-3. 評価結果の解釈

解析結果に見られるように、同一の観測施設においても、観測機器によって良否に差の有る場合が見られた。従って、以後の判定においては、観測施設という表現ではなく、観測成分という表現を使う。前述の様に、3 分潮のマークが横軸上中央に集中するのが理想的な場合である。次に良好な場合は、中央から外れても、横軸上の一点に 3 分潮のマークが集中する場合である。この場合は、絶対値はともかく相対値としては正しく地殻歪を記録していることになるので、観測計器 (或いは観測坑道の応答特性も含めて) の感度検定を正確に行えば、理想的な歪記録を得られる可能性があると判定した。また、横軸方向の値は 3 分潮でほぼ等しいものの、縦軸方向の値にばらつきが見られる場合があるが、この場合も、振幅については 3 分潮の相対的な比率が理論値のそれに近いことを示しているため、比較的良好的な観測成分であると判定した。観測値と理論値の位相差が大きくなる原因としては、観測施設周辺の岩盤に含まれる間隙水の影響など、非弾性特性が考えられるが、この点の考察は今後の課題である。S2 分潮の振幅比が他の 2 分潮のそれと大きく異なる観測成分は、外気温の影響を大きく受けていると考えられる。このような観測成分においては、信頼できる微小変動を観測することは難しいと判定した。3 分潮のいずれかの振幅或いは位相が「異常値」と判定された観測成分は、地球潮汐レベルの信号でさえ十分に分離できない程 S/N が低い観測成分であり、微小変動の観測には適さないと判定した。但し、稼働中の観測施設の中には、活断層の動きを検出することを目的として、意図的に断層を跨ぐ様に伸縮計を設置した場合など、特化した目的で開設されたものも有り、廃止・継続の判定は上記の判定指標を考慮しつつ、各観測施設の運用目的も含めて個別に判断する必要があることは言うまでもない。

## 3. 今後の展望

前章に示した内容が現状であるが、今現在も伸縮計記録の精度を向上させる取り組みを行っている。一つは、気象影響による記録の擾乱因子を除去する試みであり、もう一つは、新たな計測器と記録装置の開発である。本章においては、この二点を中心に報告する。

### 3-1. 気圧による擾乱の補正

Fig. 2~7 で示した解析結果は、逢坂山と天ヶ瀬を除いて気圧・温度の補正を行っていない生データの解析結果を示している。逢坂山と天ヶ瀬の記録については、同時観測された高感度気圧計のデータが存在し、データのサンプリング間隔が1秒であることから、「気圧—温度変換」を考慮したデータの補正(森井, 2001) が可能であった。Fig. 8に「気圧—温度変換」を考慮した補正の有効性を示す。Fig. 8に示したように、補正前の記録ではS2分潮の振幅比が他の2分潮のそれと異なり、位相差も大きくなっているが、補正後のデータではS2分潮の振幅比・位相差とも改善していることがわかる。外気温の影響を殆ど受けない深い観測坑道においても、準静的断熱膨張(圧縮)によって大気圧変動が坑道内の気温を変化させ、その温度変化が固体基準尺の長さを変化させる。このような「気圧—温度変換」による歪観測への影響は概ね  $10^{-10}/\text{Pa}$  の桁であり、気圧荷重が直接岩盤を変形させることによって生じる歪の値よりも、1~2桁大きなものである。日射の影響によって生じる大気の潮汐は周期12時間の成分を含み、それと等しい周期を持つS2分潮にかなりの影響を与えるが、「気圧—温度変換」を考慮した補正はその影響を殆ど除去していることが分かる。このことは、地殻変動連続観測施設に高感度気圧計を設置し、短いサンプリング間隔でデータ収録を行えば、気圧の影響を  $10^{-9}\sim 10^{-10}$  の桁まで除去することが可能であることを示している。逢坂山と天ヶ瀬以外で、S2分潮の振幅比が他の2分潮の振幅比と異なる観測施設においても、その差異が2~3割程度の場合は、擾乱の原因が外気温の直接伝播ではなく、気圧変動に伴う坑内気温変化である可能性が高い。そのような観測施設においては、高感度気圧計を設置し、サンプリング間隔の短いデータ収録方式を導入して、「気圧—温度変換」を考慮した補正が出来るようにすれば、記録の精度を向上させ得る可能性がある。

### 3-2. 新しい機器の開発

本論で紹介した19の観測施設の大部分において、データは1分間隔のサンプリングで収録されてきた。これまで地殻変動連続観測が対象としてきた現象は、ほとんどが直流帯域のものであり、最も周期の短い信号が地球潮汐であったので、データのサンプリング間隔は1分で充分であると考えられて来た。しかし前章で述べた様に、現在では、数秒或いはそれよりも短い周期帯域まで解析可能な歪記録が求められるようになってきた。また前節で紹介したように、気圧計記録を使用してデータの精度向上を図る場合にも、サンプリング間隔の短いデータが必要であることが分かってきた。このような要求に応え得るデータを収録するために、我々は新しい機構を備えたデータ収録装置の開発も行った(森井, 他 2006)。今後、この収録装置を各観測施設に順次展開してゆく予定である。この他にも、シリコン薄膜抵抗を使用した高感度気圧計の開発や、差動トランス式変位計の改良等も行ってきた。更に、計測器と収録装置の間のアナログ伝送路におけるノイズを低減させるために、光データ伝送方式の導入なども計画している。

### 3-3. 今後の課題

前章に示した評価結果から、 $\sim 10^{-10}$  レベルの微小歪が十分に観測可能な観測施設・成分と、そのような微小歪の観測には適さないものが存在することが明らかになった。同時に、微小歪の観測が可能かもしれないが、そのためには、もう少し記録の質を向上させる必要があると判定される観測施設・成分も存在することが分かった。逢坂山と天ヶ瀬の例に見られるように、記録を擾乱させる原因を明らかにし、それを適切に補正することが出来れば、記録の質を向上させ得ることは明らかである。本章の第1節で

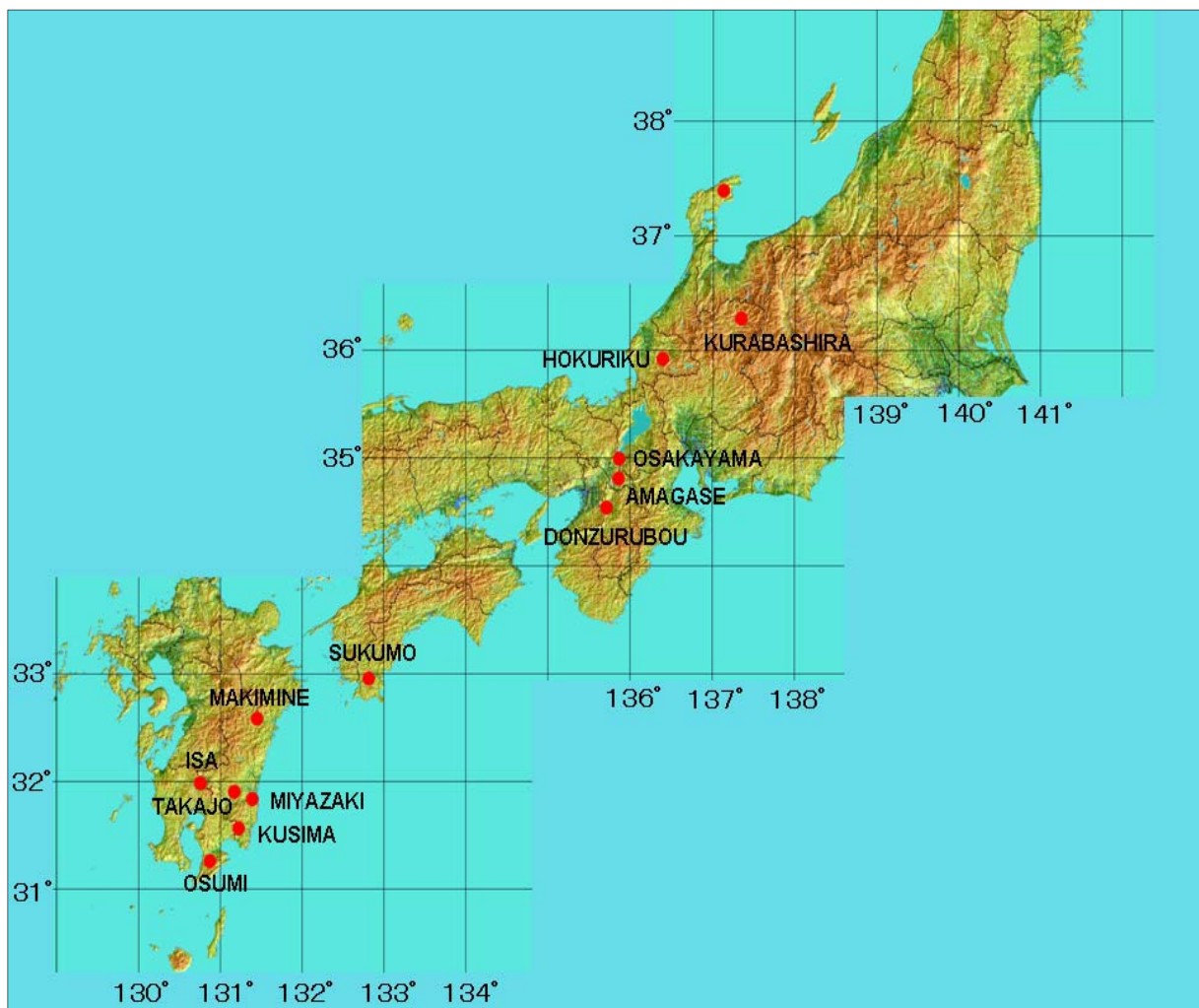
## 京都大学防災研究所の地殻変動連続観測の現状と展望(4)

< 森井 互 : 記 >

述べたように、気圧変動が原因となって生じる歪記録の擾乱はかなり良好に補正できるようになっている。気圧変動と並んで歪記録の擾乱源と考えられている地下水の影響については、過去に多くの研究例があるが、 $10^{-9}$ ~ $10^{-10}$  レベルで歪記録を補正できるまでには明らかにされていない。この点についての研究を進め、更に歪記録の質を向上させることが、当面の課題である。

### 4. おわりに

最初に述べたように、京都大学防災研究所の19の地殻変動連続観測施設の質の評価を行った。その結果、夫々の観測施設が現在求められている $10^{-9}$ ~ $10^{-10}$  レベルの歪観測に適切な施設であるか否かはかなり明瞭になった。同時に、歪記録を擾乱させる外的要因を特定し、それを適切に補正することによって記録の質が高められることも示された。第2章の最後にも述べたように、観測施設の中には特殊な目的で設立されたものもあるので、今回行った評価結果のみを基準に観測の継続・廃止を即断することは出来ない。従って諸条件も考慮したうえで、研究上の必要性の軽重と観測を維持するために必要な労力・経費を勘案し、各観測施設における観測の継続・廃止を決定する心算である。また、観測を継続することが決まった施設については、更に記録の質を高める努力を続けることは言うまでも無い。



● 防災研究所地震予知研究センター地殻変動連続観測点



○園田保美・寺石眞弘・尾上謙介・大谷文夫・中村佳重郎・竹内文朗・森井亙・細 善信・和田安男

○Yasumi Sonoda, Masahiro Teraishi, Kensuke Onoue, Fumio Ohya, Kajuro Nakamura, Fumiaki Takeuchi, Wataru Morii, Yoshinobu Hosono, and Yasuo Wada

We have operated some observatories for crustal deformations with extensometer, but these instruments and observation vaults have various characteristics because of long history of installation and configuration of the observation network. In recent years, extensometer records have been used not only for crustal movement research but also for DC-seismology. We intend to improve the accuracy of the observation to the level enough to study recent interested geophysical phenomena. As the second step of quantitatively assessment of each instrument, we will evaluate the seasonal variations and noise level by the common procedure in all available records with extensometers operated by RCEP in two posters (P15 and P16). (The first step was the report about the tidal constants.)

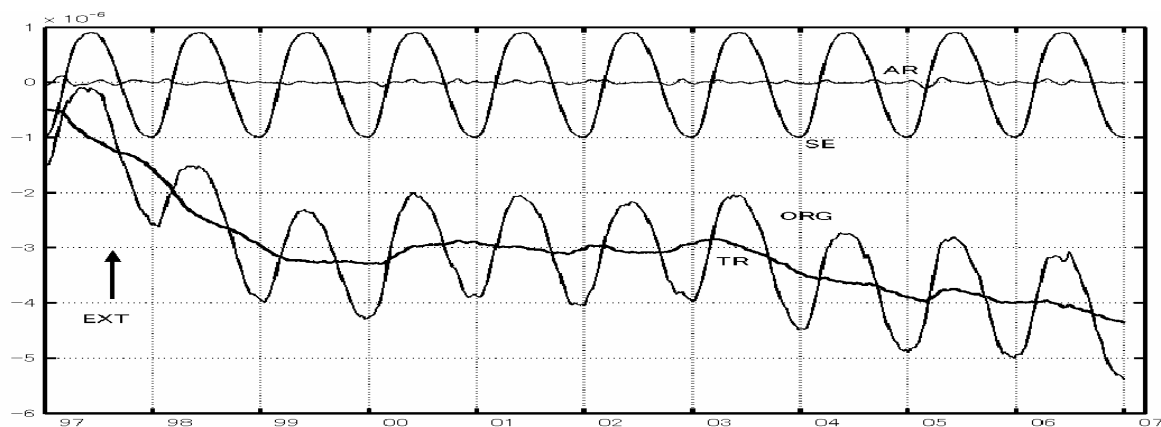
### < 解析結果 >

これまで京都大学では、多くの(横坑式)観測坑道で伸縮計・傾斜計などによる地殻変動連続観測を行ってきた。これらは主に、測地的な興味の対象として進められて来た。また、これらの連続観測は観測坑道を取り巻く環境・立地条件により、経年変化、季節(年周)変化など、各観測点別に非常に多様性に富んでいる。一方近年においては、センサーやデータ収録の電子化、データ伝送の発達により、歪分解能や時間分解能の高精度化が進められ、スロースリップの検出、超長周期の表面波や地球自由振動等の地震波形など、地震学分野への取り組みがなされるようになって来た。このような動きの中、これまでの連続観測記録、観測施設の系統的評価が必要だと考えられる。

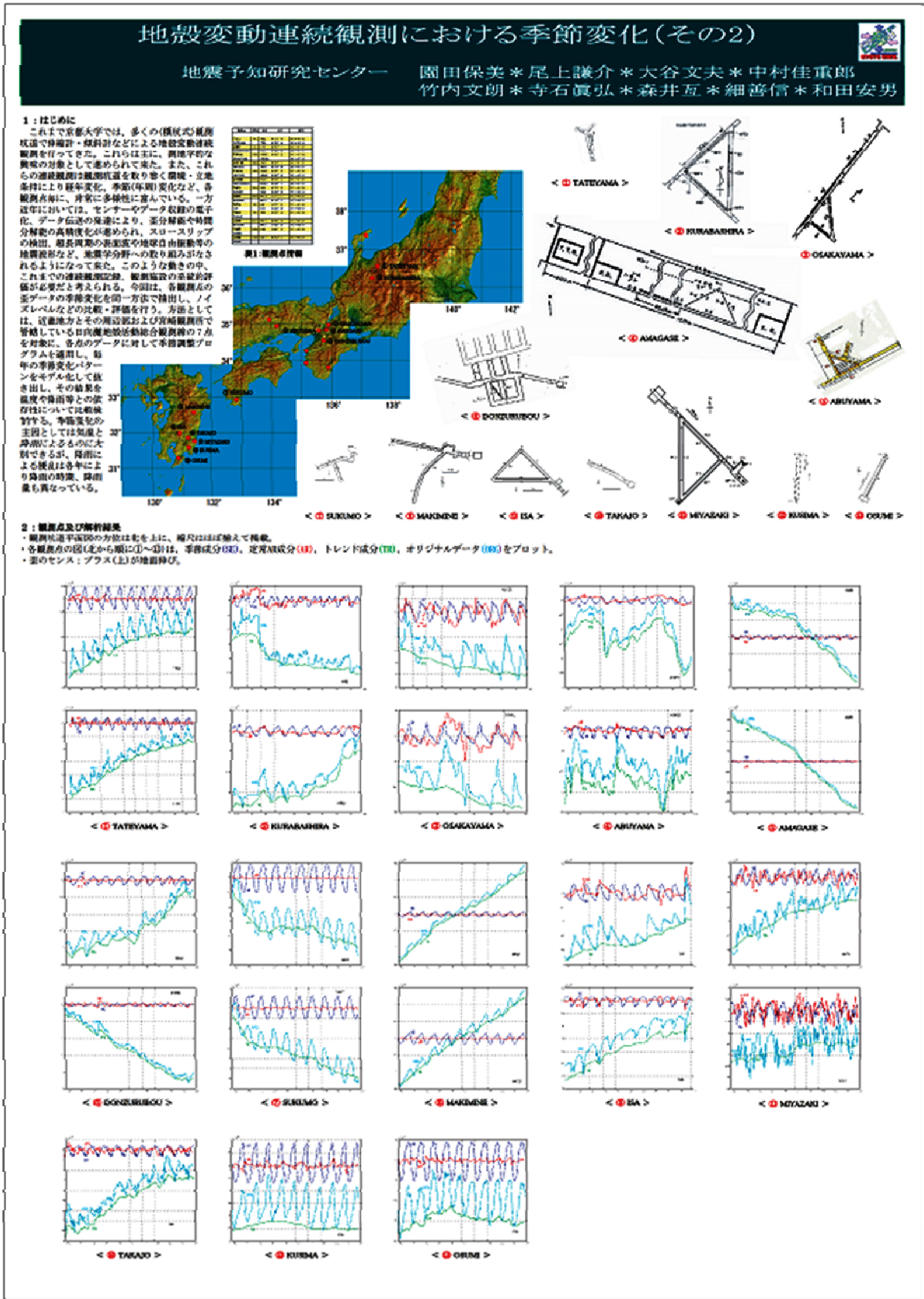
今回は、各観測点の歪データの季節変化を同一方法で抽出し、ノイズレベルなどの比較・評価を行う。方法としては、近畿地方とその周辺部および宮崎観測所で管轄している日向灘地殻活動総合観測線の7点を対象に、各点のデータに対して季節調整プログラムを適用し、毎年の季節変化パターンをモデル化して抜き出し、その結果を温度や降雨等との依存性について比較検討する。

季節変化の主因としては、気温と降雨によるものに大別できるが、降雨による擾乱は各年により降雨の時期、降雨量も異なっている。

下図は温度変化に対応した顕著な季節変動が現れている宿毛観測点の歪記録の例で、ORG(原データ)、TR(トレンド成分)、SE(季節成分)、AR(定常AR成分)を示す。



< ポスター >



## —— おわりに ——

退職にあたって最後に、42年間かけた私の物づくり人生は、北九州をふりだしに、東京、京都、宮崎と歩んできました。所属も民間会社、国家公務員、団体職員と多彩に変わり、変わらないのはいつの時も物づくりに携わってきたという事です。北九州、東京にいた時の民間会社は日本の基幹産業である製鉄所で溶鉱炉を、京都大学では地球の裏の地震を観測できる観測計器をまさにタイタニック船体の図面からエンジンルームのボルト図面までを3D/CADで作図したごとく、微小なものから特大なものまでさまざまに描けた物づくり人生でした。民間会社では5年間いましたが月の残業が100時間ほどあり、まさに超特急で現場は動いていたし私も動きました。京都大学では37年間、防災研究所技術室技術職員として、また地震予知研究センター宮崎観測所の技術職員として物づくり（観測計器製作）人生をおくらせてもらいました。私は有意義な職場環境であった事と同時に、教授や技術職員など多彩な人間と関係できた事を誇りに思っています。技術関係では機械工作の上司として、津島さん、小林さん、西さん、松尾さん、山田さん、みなさんもうこの世にはいませんが、それぞれに個性のあるいろんな面の貴重なアドバイスをしてもらい大変助かりました。おかげで無事技術職の物づくりとして全うする事ができました。私が採用された37年前、地殻変動研究室での最初の観測が桜島集中観測でした。桜島の黒神ではケーブルの接続方法で自衛隊方式を教えてくださいましたが、それから37年間ケーブル接続の時には、その事を思い出しながら観測したように思います。終わってみれば観測の大半が桜島関係だったように思いますが、桜島のみなさん、また関係者のみなさん方にはいろいろお世話になり、有難うございました。私も今年度で定年ですが、昨年から新人技術職員の小松さんが宮崎観測所に勤務しています。1年限りですが園田の技術継承をスムーズにというのはからいですので、何もない私ですが少し頑張っています。同じような観測所で屯鶴峯・北陸観測所は平成23年度末、鳥取・徳島観測所は平成24年度末で廃止らしいですがさびしい限りです。いつの世も時代はかわるといいますが寂しいものですね。おわりにになりましたが、私を最後に団塊世代の技術職員は姿を消し、新しい世代の技術職員だけの技術室になるでしょう。新しい技術で防災研究所の研究を補佐してほしいと思いますが、技術室又地震予知研究センターのみなさん頑張ってください。

**宮崎の地より、みなさん、永い事お世話になり有難うございました！**

文責：園田