

5. 地殻変動

ここでは、主に傾斜計・伸縮計（歪計）の観測によって報告されている地震の前兆現象（以下、単に前兆、あるいは、前兆現象という）の概略を記す。測地測量や応力測定装置によるものは別項（4, 6章）に記されている。傾斜計・伸縮計による観測を、間歇的な測地測量と区別して、連続地殻変動観測と呼ぶ。

長期にわたる歪みの蓄積があって、その後に初めて地震が発生する、というのが地震発生の「科学的」見方である。したがって、前兆的地殻変動を長期にわたって追って行くと地震予知も可能であろうという考えは当然の結果である。このためには、測地測量の方法が最重要なものとして考えられてきたことも当然のことである。しかしながら、測地測量にかかる時間と経費を無視したとしても、測量と測量の間の時間的ギャップは、特に、短期的前兆の捕捉にとっての隘路であった。それを補足することが傾斜計、歪計による地殻変動連続観測の目的の一つであった（坪井忠二・他、1962）。したがって、観測点という一点での傾斜・歪み観測と空間的により広い地域を対象とした測地測量との整合性が問題となるところであるが、二者は必ずしもいつも整合的であるとは言えない（志知・岡田、1979に詳しい記述がある）。その原因の一つは両者の観測対象としている地殻変動の時間的・空間的スケールの違いにあることは勿論であるが、ここでは、一点での観測が非常に局所的な変化を追っている可能性のあることはいつも念頭に置いておく必要はある。しかしながら、地震予知の立場からは両者が必ずしも整合的である必要はない。連続地殻変動観測の結果が広域歪み場（これが地震と関係あるものとして）と何らかの関係があり、また、地震の発生そのものとも何らかの関係があればよい。これらの関係（例えば、変化の振幅が比例している、変化の方向が系統的にずれている、あるいは、その観測点の癖、等々）は地震発生と連続地殻変動観測結果との長期の比較によって明らかにされる。

連続地殻変動観測が地震予知のなかに占める重要性は、地震の前兆をその長期変動の中ではなく、短期変動の中に見つけられるという考えが中心になりつつあることにある。確かに、測地測量による観測には地震予知に必要な時間分解能を期待することはかなり難しい。このことは地殻変動の観測に長期変動のそれが不必要になったことを意味する訳では、もちろん、ない。連続地殻変動観測は近年測定技術が進歩したといっても、やはり、短周期変動の観測の方が得意である。前兆観測は、長期変動の中に地震の近づきつつあるのを見て取った上で、短期的前兆の発現に注目する、という方法に落ち着くのではなかろうか。

地殻変動の観測に基づいた多数の前兆報告の信頼度をどう決めるか？ 東海地震のための判定会招集基準は、[1]気象庁で展開している体積歪計のうち一ヶ所で3時間以内に 0.5×10^{-6} 以上の歪み変化が発生し、ほぼ同時間帯において少なくとも他の3ヶ所で明瞭な変化が発生した場合；

[2] 1時間にマグニチュード4以上のもの3回以上を含む10回以上の群発性地震が発生し、2時間以上続き、かつ、ほぼ同時刻ごろから体積歪観測点のうち2ヶ所以上で明瞭な変化が発生した場合、である（地震予知情報業務ハンドブック、1985）。

上の文章は地殻変動観測による前兆報告の信頼性判断基準を設定するのに、重要な表現が用いられている。前兆報告の信頼度評価に則して、少し表現を弱めて要約すると、(a)2ヶ所以上の同種の前兆報告があった方がよい；(b)現象は明瞭に現れている方がよい；(c)他種の前兆もあった方がよい。(a)は同一地点でも、同種の観測が独立に行われている場合には、その全てに同程度の変化が現れている方がよい、で代用できるかも知れない。この判定基準の全てに合う連続地殻変動に関する前兆報告には信頼度評価1(真の前兆である)を与えたいのであるが、残念ながら大部分の前兆報告はこれを満たさない。なお、前兆評価は原論文の記述と図とからのみ判断することを断っておく。

さらに、長期的前兆も含めた理想的な信頼度評価に近付けるためには次の条件も満たされている方がよい。(d)前兆であると報告者が判断した特殊な現象の発現が特別のものであるか、どうか読者に判断できる程度に十分長期間の記録が報告に添えられている方がよい（これは、本項でとりあげている地殻変動連続観測については、特にそうである）；(e)観測記録に欠落が無く、観測は連続して行われている方がよい；(f)コサイスマックな変化は、それが無くても不思議では無いというメカニズムがはっきりしている場合を除いて、前兆変化程度にはあった方がよい。この他、例えば、予知されるべき地震以外の原因による変化は除去しておいた方がよいのは当然であるが、これは、条件(a)、(c)などが満足されていれば、あえて行う必要が無い場合もある。

これ等の基準の大部分にあてはまらないのに、高い評価を与えたものに、次のものがある。Parkfield地震(1966, M=6.5)発生前に農業用水の灌漑用のパイプが地面がずれて折れるという事故があったという(Bakun & Lindh, 1985)。いつ折れたかは特定できないが、地震発生の数日から数週間前であったらしい。場所は本震の断層上であり、変位の方向も本震と同じであった。これに高い評価を与えたのは、我々が持っている地震発生のメカニズムと完全に合っているからである。この例のように「物理学的」に妥当な説明がつく場合には、上記の基準を満たす必要は無い。

さて、上記の基準を完全に満たす地殻変動に関する前兆報告は、残念ながら皆無である。したがって、これらの基準をそのままあてはめて信頼度評価を実行すると、真の前兆かも知れない報告を全て無にしてしまうことにもなる。我々は前兆報告の信頼度を決めるに当たって、上記の基準を一応の指針にとどめ、少なくとも、次の条件は満足している報告を「信頼‘可能な’前兆(信頼度2)」とした。すなわち、①だれが見ても変化があると見てとれる；②記録あるいは解析期間が、十分とは言えぬまでも適当な長さがある；あと一つ付加えると、③予知された地震が余りに

小さくない(ここでは、 $M \sim 5$ 以下は予知するには地震が余りに小さすぎる、とみなす)。かなり諮意的な基準であることは否定しないが、図5-1、5-2、5-3は我々が一応この基準を満たしていると考えている例である(各図の説明は下でふれる)。

ところで、傾斜および歪みの観測値の分解能および時間の分解能はどの程度必要であろうか。上述の東海地震のための判定会招集基準では、気象庁で展開している体積歪計に3時間以内に 0.5×10^{-6} 以上の歪み変化という表現が出ている。これによると、 $M 8$ クラスの地震の前兆の場合でも時間分解能1時間程度、振幅分解能 10^{-7} 以上が「生」の記録上で必要である。この基準設定のいきさつは我々には不明であるが、前兆現象の話ではいつも取り上げられてきた1944年の南海地震直前の測量結果である 10^{-5} のオーダーの傾斜変化(茂木, 1982)の数%程度の歪み変化を一応の基準にしたにではなかろうか。 $M 7$ クラスの直下型地震の場合には、前兆をとらえるのに、これより一桁以上のより精密な観測を必要としよう。生の記録の分解能は、時間については一分、振幅については 10^{-8} が最低限必要であると思われる。さらに、適切なデータ処理によってその精度をさらに一桁か二桁高めることが不可欠であろう。以下では、前兆報告の例をいくつかを見てみよう。

[I] 主に傾斜計による観測

まず最初に、第2次大戦の前後にかけて、京都大学の佐々憲三、西村英一等によってなされた一連の仕事をあげなくてはならない。1937年に観測を始めて以来、西日本を中心に彼等が行ってきた精力的な観測・研究は驚くばかりである。彼等の使用した機器は、熔融シリカ、あるいは、スーパーインヴァール製の水平振子型傾斜計、スーパーインヴァール製の伸縮計、あるいは、佐々式と呼ばれる弛みワイヤ(スーパーインヴァール線)式伸縮計等である。これ等の機器を鉱山の廃孔を利用して観測を行ってきた(Sassa and Nishimura, 1951; Nishimura and Hosoyama, 1953)。記録方法は光学式の連続記録である。傾斜計に関していえば、それを「見る」方法は傾斜の各成分を直接見るか、成分を合成していわゆる図5-1(佐藤他, 1984)の様な傾斜のベクトル図を作って見るかであって、アナログ記録を読み取って合成するか、デジタル記録から直接合成するかの違いはあるが、現在と本質的な違いはない。そして、ベクトル図のほうが傾斜の変化を強調してみせるようであり、それもまた、現在と同じである。

長期的前兆例としては、日向灘に発生する地震と宮崎県檜峰の鉱山に設置した傾斜計の記録との関係、すなわち、各成分に見られる振動的変化(シーソー運動)の山谷と地震の発生との同時性、 M_2 -潮汐成分の記録振幅の増大と地震の発生等が記されている(Nishimura, 1950; 西村他, 1962, 1964; 田中, 1965)。それぞれの変化に特定の地震を対応付けている場合が多いが、長期的変化は、やはり、特定の地震ではなく、この場合は日向灘の地震活動との対応程度に押えておくべきであろう。短期的前兆として主となるものは、傾斜速度の急増、傾斜方向の急変である。鳥

取地震(1943, $M=7.4$), 東南海地震(1944, $M=8.0$), 南紀地震(1950, $M=6.5$), 大聖寺地震(1952, $M=6.8$), 吉野地震(1952, $M=7.0$), 大台ヶ原地震(1960, $M=6.0$), 日向灘地震(1961, $M=7.0$), 兵庫県西部群発地震(1961, 4月~7月), 北美濃地震(1961, $M=7.0$), 白浜地震(仮称, 1962, $M=6.4$), 越前岬沖地震(1963, $M=6.9$)について, 本震発生の数時間前から数十日前に傾斜のS字型変化を観測することができた。これらの地震のなかで, 特に前兆発現の例としてよく話題になるのは, 鳥取地震時の兵庫県生野鉾山の観測である。図5-2は Sassa and Nishimura (1951) による記録である。この記録では, 本震発生の6時間前からの傾斜の急変動(約 $0.1''$)が明瞭に見

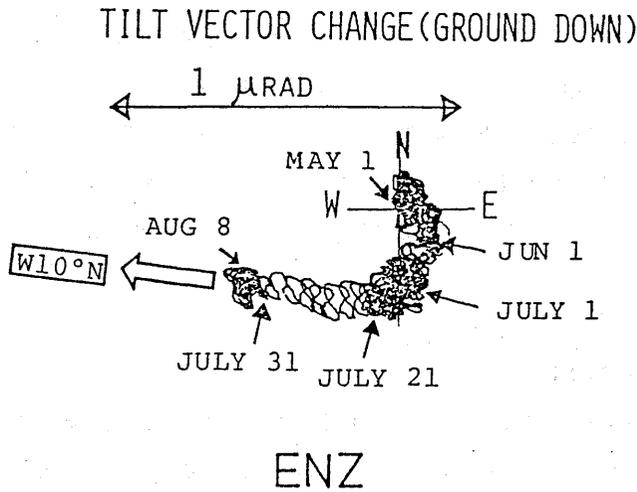


図5-1 1983年8月8日山梨県東部の地震 ($M=6.0$) に先行した傾斜ベクトルの変化 (佐藤他, 1984)

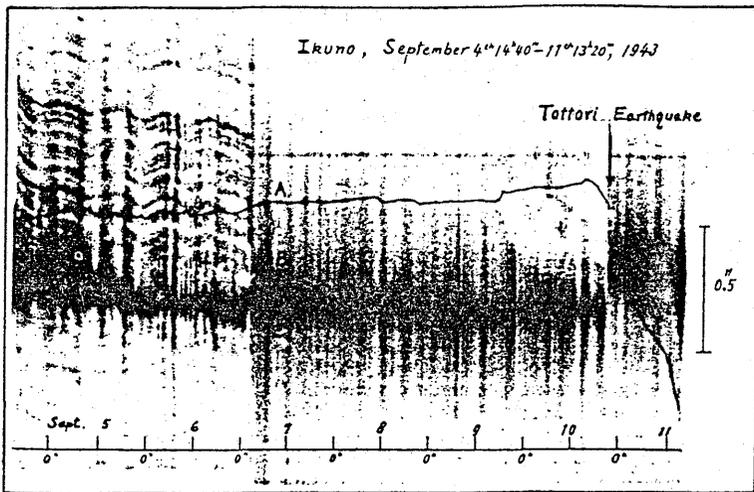


図5-2 1943年9月10日鳥取地震 ($M=7.4$) 前後の生野鉾山における傾斜記録 (Sassa and Nishimura, 1951)

られ、また、原論文 (Sassa and Nishimura, 1951) のベクトル図ではこの他に、さらに、3時間前からの傾斜方向の急変が見える。

〔II〕主に伸縮計による観測

まず、小沢 (1969) に触れておこう。この論文では、1968年8月18日と27日の京都市周辺に発生した地震についての前兆報告が記載されている。上述の傾斜計・伸縮計の他に、ここでは水管傾斜計や回転歪計が用いられている。また、連続地殻変動観測に特有な局地性を避けるために距離の離れた坑道に同種の観測機器を多数配置し観測を行っている。記録方式は光学式である。18日の地震 ($M=5.6$) については、地震発生の数時間前から異常な土地の収縮が始まり地震発生に至った。また、28日の地震 ($M=4.9$) についても同様な変化があり、さらに、地震発生直前に急激な土地の膨脹に転じた。後者の地震は観測点 (逢坂山) 直下のものであり、多種多様な観測項目についての変化が報告されている。

〔I〕および、ここまでの〔II〕の報告を見ての一般的な感想は、①急変化の前後の記録が短すぎる。長期的前兆の場合には、変化の期間の数倍以上の期間の記録を見たい。また、短期的前兆の場合にも、やはり、数年の記録を見て、その前兆的变化がありふれたものであるのか、それとも、特異なものなのかを判断したい；②記録の質が十分良いとは言えない。特に、時刻の精度には問題がある；したがって、③原記録から傾斜ベクトル図を描く時のデジタル化の信頼度についての判断の材料がない。不満は少なからずあるが、しかし、これだけ系統的に、かつ、長期間にわたっての観測・研究は、今までのところ皆無である。観測機器やデータ処理の方法は、彼等の時代と現在とでは格段の差があるが、データ中の何を「異常」とみなすかの本質的なところはほとんど変わってはいない。

地震予知計画により観測所の整備が進んできた1960年代後半以降に起こった岐阜県中部地震 (1969, $M=6.6$)、渥美半島沖地震 (1971, $M=6.1$) および根室半島沖地震 (1973, $M=7.4$) について、石英管伸縮計記録、あるいは、水管傾斜計記録に基づいた前兆報告がいくつかある (飯田・志知, 1972；志知・木股・飯田, 1973；笠原, 1973)。これ等の報告中では生のデータにフィルターを掛けたり、湧水量等の補正を行ったりする解析手法がとられるようになっている。記録がデジタル記録になったことによる進歩である。しかし、生記録中の1年以上の変動をフィルターによって取出してから前兆的変動 (歪速度の急変等) を見つけるという、やはり、前兆は地殻変動の長期的変化の中に見出だされるであろう、という立場からの解析である。また、解説と図とが必ずしも、第三者には納得がいくほど一致していると思われぬ部分もある。

水管傾斜計による観測であるが、松代群発地震時の地震活動の活発化あるいは顕著な地震の発生と水管傾斜計による観測結果との間の著しい相関についての報告があることを記しておく (Hagiwara and Rikitake, 1967)。

[III] 予測に基いた予知

ここで、上述までの仕方とは違う方法で前兆的異常を見つける方法を示した論文を紹介する。それは、「予測」変化と「実」変化との差から異常を見つけるものである。一つは、過去のデータをチェビシェフ多項式で近似して、その多項式を用いて現在から何十日か後のデータの変動を予測し、その予測値と実際の観測値との差を異常の判断に用いるものである (Ishii, 1976)。データとしては、水管傾斜計と石英管伸縮計を用いている。この方法により、根室半島沖地震 (1973)、新潟地震 (1964, $M=7.5$) など5ヶの地震について、地震発生前からデータに予測値と異なる変化が現れ、やはり、前兆的な傾斜、あるいは、歪み変化があったものと結論している。もう一つの論文は山内・他 (1981) のもので、降水の影響をモデル化する手段であるタンク・モデルによる予測を利用している。これによると降水があった後に、もし地震がある場合には、歪みのタンク・モデルによる予測値と石英管式伸縮計によって実際に記録された変動との間にズレが生ずるというものである。この方法は地震発生の前に雨が降らないと利用できないという欠点はあるが、論文中では11回の異常が認められそのうち10回まで地震と関連があったと記されている。驚くべき中率ではあるが、発生場所と観測点との位置的・物理的関連について疑問が無い訳ではない。

[IV] アメリカにおける地震予知

外国の例にも、少しだけ触れておこう。サンアンドレアス断層沿いは、いわゆる、直下型地震の絶好のテスト・フィールドである。実際、この地域の何か所かで、集中的な観測が行われている。Hollister 付近での傾斜観測 (Johnston & Mortensen, 1974; Mortensen & Johnston, 1975, 1976), Parkfield での傾斜・歪み観測 (Bakun & Lindh, 1985), Piñon Flat (Agnew & Wyatt, 1986) での傾斜・歪み観測であり、各フィールドでは、かなり計画的かつ系統的な観測が行われている。使用されている観測機器は、液体中のバブルの位置で平面の傾斜を測る biaxial shallow-borehole tiltmeter とか、700 m 以上のスパンの laser strainmeter とか、測定部分にレーザー干渉計を利用した 535 m の長さの long-base tiltmeter, そして、後述するサックス・エヴァートソン型の体積歪計など新しい機器が展開されている。結果は、それほど華々しいといえるものではない。例えば、上述の傾斜計による Hollister 付近の観測においては、幾つかの地震の前に傾斜方向の急変を観測しているが、前兆とみなすには、地震が余りに小さい上に、機器の性能自体にも疑問が持たれている。しかし、観測装置の実地観測による性能評価は地震予知にとって、たとえそれが否定的であっても積極的になされるべきである。また、予知についての肯定的な記述ではないが、震源域の大きさの10倍以上離れた観測点ではこのような変化が観測されることはほとんどない、という指摘 (Johnston & Mortensen, 1974) については、この観測での真偽を別にして、重要な記述であろうと考える。なぜなら、やはり、震源に近い観測点の方が前兆が出易いだろう

という考えは捨て去ることはできない。

アメリカ以外の例として、力武 (1976) の教科書にソ連における地震前の傾斜および歪み変化の観測例が二、三記載されている。

[V] 体積歪計による観測

我々が歪み変化として現れる前兆の発見、それも、特に短期的前兆発見に最も期待をもっているサックス・エヴァートソン型の歪計 (以下、SE歪計と記す) による観測について記す。現在、気象庁によって31点の観測点が関東・東海地方にルーチン展開されている他、北海道大学、東北大学などの幾つかの研究機関でも、この型の歪計による観測を続けている。気象庁のSE歪計による観測結果は、大部分は『地震予知連絡会会報』に記載されている。データ処理についても、格段の進歩が見られる。気圧の影響は簡単な1次式で除去されているがその結果は「生」の記録による異常判定能力を1桁以上上げている。また、潮汐の影響は計算機プログラムBAYTAP-G(石黒他, 1984)等により除去することができる(結果のトレースを見るだけでも 10^{-9} 以下の変動も見てとれるのではなかろうか)。サンプリング間隔は気象庁の場合では、短周期成分で1秒あるいは2秒、長周期成分でも5秒あるいは10秒であり、時刻管理も一つの時計でやっている。図5-3は伊豆大島近海地震(1978年1月14日, $M=7.0$)前後の記録(長周期成分)であり、石廊崎では、前年11月10日にはっきりとした伸び変化が現れ、暫く一定の値をとった後、12月3日に今度はかなり大きな縮みが起り、地震直前の1月10日伸びに転じ本震に至った(気象庁地震課, 1979; 檜皮他, 1983)。この様な変化はそれ以前にはなく、また、図19-2にしめされている様に、中伊豆でのラドン濃度観測データにも同時期似た変化が現れており(Wakita *et al.*, 1980)、信憑性の

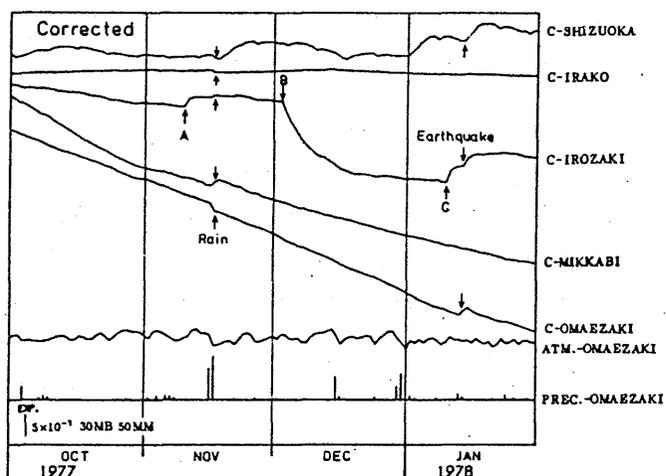


図5-3 1978年1月14日伊豆大島近海地震 ($M=7.0$) 前後の体積歪み変化 (檜皮他, 1983)

かなり高い前兆現象であると考えている。

1983年の日本海中部地震の前兆報告に Linde *et al.* (1988) がある。東北大学では、1982年11月から東北地方3ヶ所に SE 歪計による観測を行っていた。この地震に最も近い秋田県男鹿半島の五城目の歪計記録には設置直後から大きさ 10^{-8} 程度の湾状変化が頻発していたが、この地震の発生直後にその信号の発生はピタリと止まった。Linde *et al.* (1988) は、この原因を日本海中部地震の断層の延長上、観測点・五城目の下あたりに発生した前兆的な slow earthquake による応力再配分 (Sacks *et al.*, 1978) に帰している。山梨県東部地震 (1976, $M=5.5$) に際して、静岡の SE 歪計 (末広, 1978) に、また、東京大学地震研究所富士川地殻変動観測所の石英管伸縮計 (岡田 [義光], 私信) にも似た様な現象が見られた。ただし、静岡と富士川での異常歪み発生 of の同時性はなく、地震後も異常の発生回数は減少したが、全くなくなってしまった訳ではない。地震予知の立場からは非常に貴重なデータであるが、一点のみの観測であるので、全面的に信頼するには少しばかり躊躇する。

最後に、上記の応力 (あるいは、歪み) 再配分の考えについて触れておく。地震の発生は長年月かけて歪みが蓄積された結果であることは明らかである。しかし、地震の発生以前にその場所に必ずしも十分歪みが集中している訳ではなく、前震あるいは slow earthquake を引金として地震発生前、短時間 (数分~数時間) のうちに震源域に歪みが集中して、より大きな地震が発生する、というのが応力再配分仮説である。この説は地震直前の大きな地殻変動を期待する説でもある。

以上、傾斜変化および歪み変化として現れる地震の前兆現象の報告を見てきた。これ等が真の前兆現象であったかどうかを判断するのはかなりむずかしい。天気予報と違って一つ一つの観測が互いに関連しあっているという訳ではないからである。観測機器もデータの処理技術も 10 年 20 年前と比べて格段の進歩がある。前兆発現の統一モデルもほしいが、100 年ないし 1000 年単位とする現象を十分理解するにはまだ長期にわたる観測を必要としよう。 (古屋逸夫)

参 考 文 献

- Agnew, D.C. and F.Wyatt, 1986: High precision continuous crustal deformation measurement in southern California, (read at) 第5回 UJNR 地震予知専門部会日米合同部会, 筑波.
- Bakun, W.H. and A.G.Lindh, 1985: The Parkfield, California, prediction experiment, *Earthq. Predict. Res.* 3, 285-304.
- Hagiwara, T. and T. Rikitake, 1967: Japanese program on earthquake prediction, *Science*, 157, 767-768.
- 桧皮久義・佐藤 馨・二瓶信一・福留篤男・竹内 新・古屋逸夫, 1983: 埋込式体積歪計の気圧補正, 験震時報, 47, 91-111.
- 飯田汲事・志知竜一, 1972: 1969年9月9日の岐阜県中部地震および1971年1月5日の渥美半島沖地震

- の前の地殻変動について, 地震予知連絡会会報, 7, 41-44.
- 石黒真木夫・佐藤忠弘・田村良明・大江昌嗣, 1984: 地球潮汐データ解析, 統計数理研究所彙報, 32, 71-85.
- Ishii, H., 1976: Application of prediction method for analysis of crustal movement, 測地学会誌, 22, 299-301.
- 地震予知連絡会会報, 1969, Vol.1~1989, Vol.41.
- Johnston, M.J.S. and C.E.Mortensen, 1974: Tilt precursors before earthquakes on the San Andreas fault, California, *Science*, 186, 1031-1034.
- 笠原 稔, 1976: 1973年根室半島沖地震の前兆的地殻変動, 地震予知研究シンポジウム, 3-14.
- 気象庁地震課, 1979: 地殻変動連続観測と埋込式歪計 (I), 測候時報, 46, 9-25.
- Linde, A.T., K.Suyehiro, S.Miura, I.S.Sacks and A. Takagi, 1988: Episodic aseismic earthquake precursors, *Nature*, 334, 513-515.
- 茂木清夫, 1982: In: 日本の地震予知, サイエンス社, 267-268.
- Mortensen, C.E. and M.J.S.Johnston, 1975: The nature of surface tilt along 85km of the San Andreas fault — preliminary results from a 14-instrument array, *Pageoph*, Vol.1, 113, 237-249.
- Mortensen, C.E. and M.J.S.Johnston, 1976: Anomalous tilt preceding the Hollister earthquake of November 28, 1974, *J. Geophys. Res.*, 81, 3561-3566.
- 二瓶信一・上垣内 修・佐藤 馨, 1987: 埋込式体積歪計による観測 (1), 験震時報, 50, 65-88.
- Nishimura, E., 1950: On earth tides, *Transactions, Amer. Geophys. U.*, 357-376.
- Nishimura, E. and K. Hosayama, 1953: On tilting motion observed before and after the occurrence of an earthquake, *Transactions, Amer. Geophys. U.*, 597-599.
- 西村英一・田中 豊, 1964: 最近の地震に伴う地殻の異常変動について (第2報), 京都大学防災研究所年報, 第7号, 1-16.
- 西村英一・田中 豊・田中寅夫, 1962: 最近の地震に伴う地殻の異常変動について (第1報), 京都大学防災研究所年報, 第5号A, 1-16.
- 小沢泉夫, 1969: 京都市および上和地震前後の地殻のひずみの観測, 京都大学防災研究所年報, 第12号A, 1-14.
- 力武常次, 1976: 地震予知論入門, 共立出版, pp. 84-85, 212頁.
- Sacks, I.S., S.Suyehiro, A.T.Linde and J.A.Snoke, 1978: Slow earthquakes and stress redistribution, *Nature*, 275, 599-602.
- Sassa, K. and E. Nishimura, 1951: On phenomena forerunning earthquakes, *Transactions, Amer. Geophys. U.*, 1-6.
- 佐藤春夫・立川真理子・大久保 正, 1984: 山梨県東部の地震 (1983年8月8日) に先した異常な地殻傾斜変化, 地震, 37, 197-205.
- 志知竜一・岡田義光, 1979: 坑内における歪観測, 測地学会誌, 25, 101-134.
- 志知竜一・木股文昭・飯田汲事, 1973: 犬山における地殻変動の連続観測 (IV), 測地学会誌, 19, 160-170.
- 末広重二, 1978: 地殻変動の連続観測, 浅田敏編「地震予知の方法」, 東京大学出版会, 117-145.

田中豊, 1965: 地震に伴う地殻異常変動の諸段階について, 京都大学防災研究所年報, 第8号, 91-108.

坪井忠二, 和達清夫, 萩原尊礼, 1962: 地震予知——その現状とその推進計画——, p. 31.

Wakita, H., Y. Nakamura, K. Notsu, M. Noguchi and T. Asada, 1980: Radon anomaly: a possible precursor of the 1978 Izu-Oshima-Kinkai earthquake, *Science*, **207**, 882-883.

山内常生・山田 守・奥田 隆, 1981: 降雨に対する地殻歪レスポンスの異常と地震発生, *地震*, **34**, 301-310.