

中国の最近における地震予知に関する研究

著者	国立防災科学技術センター
雑誌名	防災科学技術研究所 研究資料
号	18
ページ	1-24
発行年	1975-08
URL	http://doi.org/10.24732/nied.00001632

中国の最近における地震予知に関する研究

目 次

まえがき	1
チャオトン(昭通)のM7.1の地震に関する前兆異常の特徴について	3
地下水を利用した地震予報についての若干の発見	15
アルシーリチャンシヤン(二十里長山)の応力測定	21

中国の最近における地震予知に関する研究

中国国立地震局地震戦線編集部編

まえがき

われわれは今年5月のなかばに「地震戦線」1975年第2期版を入手することができた。この雑誌は、中国国家地震局が編集し、隔月刊で出版しているものである。内容は、中国の地震研究に関するいくつかの学術論文、それに、いわゆる毛沢東思想の啓蒙的な論調の記事が掲載されている。

この第2期には、日本の新聞が3月14日付で報道した「遼寧省地震」の予知について、その概要が記してある。それによると、内容は地震観測にあたった人々や予報が行われたことについて、全般的に思想的、政治的配慮の書き方がなされ、学術的な論文の形態はとっていない。

しかし、地震予知の問題は、わが国にとっても重要な問題であり、これにとりくんでいるわれわれにとってはいかなる内容の記事でも価値がある。

そこで、地震戦線1975年第2期から、直接、地震予知に関係する三編の論文について邦訳を行った。これらの論文は、「1975年2月4日の遼寧省南部地区における地震予知」を扱ったものではない。しかし、地震予知の研究に従事している関係者にとって、大いに参考になるであろうと考え、防災科学技術研究資料として刊行することとした。紹介する論文の邦訳は、当センター平塚支所の都司嘉宣研究員が行った。

なお、初めに紹介する三編の論文の内容について、当センター第2研究部首都圏地震予知研究室による短評を記しておく。

チャオトン(昭通)のM7.1の地震に関する前兆異常の特徴について

内容は、M7.1の地震を予知研究の立場から取り扱ったものである。どこで起こった地震か、ということは大したことではなく、論文は大変貴重なものである。一つには、このような大地震に対してこそ予知の実現が望まれているからであり、二つには、研究する機会に恵まれることが非常に少いからである。三番目の理由は、大地震の震源域は、その大きさに相当して広いため、歪蓄積の過程、ダイラタンシーディフュージョンの過程が、量的に中小地震とくらべて異っており、従来から予知が行われている中小地震の場合を、そのままあてはめて考えられるかどうか疑問もあるからである。

地下水を利用した地震予報についての若干の発見

地下水位変動からの地震予知は、中国の報告（昨年、日本の地震学者が中国訪問した後の報告）以来、注目されだし、地下水利用の地震予知として真剣に考えられだした。しかし、日本の場合特に予知を必要としている都市域の場合、工業用水のくみ上げや、地域住民の協力がうすいという問題もあり、簡単には実現されないであろうと思われる。それでも、予知的中率を考えると非常に有益な方法であり、関係者の努力しだいでは実現の可能性はある。

アルシーリチャンシヤン（二十里長山）の応力測定

岩石中の応力測定については、日本でも同様の方法で測定が行われたことがある。（たとえば、高瀬川地下発電所の建設時に、岩盤中で11個所の測定を行い、主歪として東西方向の圧縮歪が測定された）この方法によると測定結果から広域の応力を求めるためには、数多くの個所で観測を行う必要がある。そのため、アメリカではレーザを利用した簡単な測定器が開発され、市販されている。従来のように歪の変化測定でなく、このような、直接その場所の歪なり応力なりを測定することは、多くの時間と労力を必要とするが、重要なことであり、地震予知のためにはぜひ実施しなければいけないことと考える。

さて、総合的にこれらの論文から知りうる中国の地震予知研究は、すべて日本においても研究されているものばかりであり、現在も観測と理論の両面から研究された事例（松代群発地震の際の例を除いて）はなかったが、今後は少しずつでも可能になると思われる。上記の現象はすべて岩石膨張と水の拡散作用に基いて地震の成長、その発展プロセスを見ているものであり現在の大勢と同一の見方である。それらの種々の現象の同時観測から予知が可能となるものであり、個々の単一現象のみからでは予知はかなりむずかしいと思われる。

日本においても、中国のような組織的な総合観測が望まれるが、現在必ずしも組織的・総合的とはいえない。

（1975年6月13日 原稿受理）

チャオトン（昭通）のM7.1の地震 に関する前兆異常の特徴について

四川省革命委員会地震事務室成都地震大隊編*

1974年5月11日3時25分21秒、ユンナン（雲南）省、チャオトン（昭通）地区のヨンシェン（永善）県とターカン（大関）県、四川省レイポー（雷波）県地区でM7.1の地震が発生した。

観測および広域調査によれば、震源は北緯28.2度、東経103.9度、深さ9～10Km、発震機構は表1のようである。これはほぼ垂直な断層での水平すべりを主とする地震であった。

本震前の地震活動と速度比の異常

地震後にまとめられた結論によると、今回の地震は速度比の異常が比較的是っきりと現われた地震であった。 V_p/V_s は1965年から1972年末までずっと下降線をたどり、そこで初めて再上昇のきざしをみせ、はっきりと上昇に向かったのは1973年である。再上昇時には激しい上下変動を示して上昇している。1973年末から1974年の初めにかけて速度比の異常はすでに回復しており、地震直前の1か月にはこの速度比が急激に上昇して、地震直前の1か月にはこの速度比が急激に上昇して、地震直前の力学的状態の急激な変化、すなわち震源での岩石体積の収縮あるいは水の過飽和状態が現われた可能性がある。

M7.1の地震以前の地震活動は、比較的確な異常現象が生じていて、しかも震源の地震エネルギー蓄積過程と震源の応力場とは緊密な関連性が認められる。

震央付近の1965年以来の地震活動分布を示したのが図2である。一見してわかるように、本震発生前の地震活動はM7.1の本震の2本の節線の北西端の近くで起こっている。

M7.1の本震の余震もまたこの二本の節線で起こっているのである（図3）。

1965年から1966年の震源域周辺での地震活動はかなり活発であった。1966年10年11日、ヨンシェンでM5.2の地震が発生したが、概して震源域では活動は少なかった。それ以後、地震活動は次第に外に向かって広がっていき、1971年8月16日にマーピエン（馬辺）でM5.8の地震群が起こり、震源付近では以前より異常に静かになり、空白部分を形成した。マーピエン地震の後、周辺地域の地震は次第におさまり、30Kmの範囲内での弱い地震活動がかえって次第に増加していった。さらにこれが外から中に向かって移動し

* 訳者：都司嘉宣（国立防災科学技術センター平塚支所）

ていった(図4, 5)。1973年末から1974年5月11日大地震までの間に、震源付近で一連の有感地震があった。震源内区域でも外区域でも各年の最大級の地震についても、ここにのべたような等徴がみられる。これらの特徴に加えて速度比異常の変化も似た変化を示している。

図6はM7.1の地震が起こる前の中程度の地震の主圧力軸(P軸)と、本震に対して理論的に計算した応力場の圧力方向との対比図である。両者は比較的よくあっている。大地震前後のその周辺地区に発生した一連の地震活動を説明するとすれば、これらの地震活動が空間的な分布状況からいっても、発震機構の時間的发展変化記録からいっても、ともに本震エネルギー蓄積過程と密接に対応していて、それらの活動が本震の応力を少しずつでも緩和解消する方向に作用した結果であるということになる。同時にまた震源地域での膨張は地震エネルギー蓄積区域全体にはじめから広がっていたわけではなく、中心付近から局部的にはじまり、内から外へと發展していったので、地震活動もまた内から外へと拡大し、本震の節線上で最大のせん断応力を持ち、この方向において亀裂、断層がよく発達したので、大地震前の地震活動と地震後の余震も、また主として節線上にそって発生し、ひろがっていったといえることができる。

前兆異常の特徴

今回のM7.1の地震の前に、本震震央の周囲30kmの範囲内の大部分の観測所で比較的にっきりした異常が観測された。図7に観測所の分布図を示す。大部分の観測所には最近3カ年のデータがそろっている。

1. 岩石の見かけの比抵抗と水中ラドン(地下水中のラドン(Rn)含有量)の異常

大地比抵抗と地下水ラドンの異常な変化はとくに注目される。図8, 9はシーチャン(西昌), ミーイー(米易), ホンコー(紅格), クーツアン(姑), カンティン(康定), トウコウ(渡口)での比抵抗とラドンの5日平均値変化図である。比抵抗とラドンとは良い相関を示している。たとえば、シーチャンでの比抵抗の南北と東西の両成分は、1972年から急速に上昇し、1973年3月20日ごろに最大となり(第一極値)、その後下降に転じて1974年1月初頭に最低となり(第二極値)、そこからまた屈曲して上昇に向かい、両成分の最大変化幅は11.7%となったシーチャンでのラドンの変化も比抵抗のそれと似たようなもので、1972年に上昇を続け1972年12月と、1973年はじめに最高点に達し、その後下降に転じ、1974年に下降の傾向が加速され、とりわけ大地震直前の半月間に急に下がり、そのまま大地震発生時刻をむかえた。下降の幅は最大49%に達した。シーチャン以外にもカンティンやクーツアンのラドン、クーツアンの比抵抗、トウコウのラドン、ホンコーでの比抵抗も似た変化をしている。そればかりでなく一般に同一地点(震央距離の同じ点)でのラドンが第一極値を示した時期は、比抵抗

が第一極点に達した時期の1～2カ月ほど前であることがわかる。このことは、比抵抗とラドンの異常変化と地下水の拡散過程には密接な関係があることを物語る。

ラドンの半減期は3.8日であり、それに大地比抵抗の値は地下300～400mの深さでの状態を反映したものであるから、地下水中のラドンの変化は比抵抗の変化よりもずっと直接的に、かつ敏感に地下水の拡散過程を反映していることになり、ラドンの変化が比抵抗の変化に先行するのである。

シーチャン観測所は震源域の外縁部に位置していて、震央から159kmのところにある。全異常過程の期間中ずっと、震源応力場のうちの引っ張り応力をうけていたところである。M7.1の地震エネルギーの蓄積の第一段階では、受けていた引っ張り応力はかなり小さかったようで、異常もほとんど認められないほどであった。あるいは、ずっとよその地区のさらに大きな地震ルーフォ（炉雀）のM7.9地震からの震源応力の影響をうけたのか、あるいは他のノイズ要因にうもれたのか、前兆となる異常現象ははっきりとは現れなかった。こんな状態が第2段階中の比較的長い期間続いたようである、M7.1地震の震源応力場の作用のかなり大きくなった時になってはじめて、シーチャン観測所に異常現象がキャッチされはじめ、上昇する変化があらわれた。速度比異常から1972年7、8、9月の一時期震源の膨張がすでに、ほとんど最大に達していたことが知られた。この時期に、急速に広がってゆく膨張が、震源以外のそれまでの引っ張り応力区域へ圧縮応力作用を及ぼし、比抵抗の値が除々に上昇している傾向にある中で一つの下降過程をつくり出したのである。だからこの時期シーチャンでの、大地比抵抗、水中ラドン、それに磁場がやや下がったのである。これ以後、震源域は第3段階—すなわち水の拡散が卓越する段階に入った。このため、シーチャンでの地下水は、震央の方へ向って拡散し、地下水が減少したために地下水位は低下し、比抵抗、ラドンは同時に上昇した。この状態が1973年始めまでずっと続き、震源域での水はすでにある程度飽和に達した。このため周辺から震源への水の拡散は速度を減とした。このような時期をむかえて西昌では、震央方向へ向って拡散して出てゆく水が、もっと遠い所からここへ来る水より少なくなってきたので、地下水は余った分だけ増加しはじめ、ラドン、比抵抗は上昇から下降に転じ、そうした過程を経て1974年1月はじめ、震源域の地下水はすでに飽和し速度比異常はもとに戻り、周囲から震源域への地下水拡散はすでに止り、本震発直前の段階をむかえた。震源応力場に急変する場面があったため、M7.1の震源域の応力場の引きおこしていた前兆となった諸現象にもみな急な変化があらわれた。図にもみられるように水中ラドンはもちろん、比抵抗もシーチャン、カンティン、クーツアン、ミーイー、ホンコー、トウコウの各地で、1973年末から1974年初頭にほとんど時を同じくして急変している。この事情は速度比異常がもとに戻る時の時間についてもあてはまる。多くの種類の測定が同じ時期に、異常なことがおこったというのは、震源の力学状態の変化によって引きおこされたため

ある。

2 地磁気の異常

地震前の透磁率の長期的な傾向は、比較的是っきりしている。図10はマーピエン(馬辺)観測所の透磁率の月平均値図である。見てわかるように今度のM7.1の地震前は1972年9月まで下降傾向をもち、それからだんだん上昇しはじめ1973年末に最高点に達してそれから下降に転じて地震をむかえた。マーピエンでの透磁率変化とM7.1地震の速度比異常の変化とは相応している。さらに図からいまひとつわかることは、1971年8月16日、馬辺のM5.8群発地震のときも、馬辺での透磁率変化にはっきり異常がみられ、これにもまた速度比異常と相応じた変化をしているということである。

マーピエン観測所は、マーピエンM5.8群発地震から8Kmのところであり、震源域の圧縮応力地域に入っている。この群発地震のエネルギーの成長する第二段階、つまり膨張段階に速度比異常は下がり、透磁率は上昇した、そうして第三段階すなわち水の震源への拡散が卓越する段階に入ると、速度比異常は回復し、透磁率は下がった。

ヨンシエン(永善)M7.1地震の方についていうと、マーピエンはその震央から7.2Km離れていて、震源域外の圧縮地区に入っている。震源が第II段階のとき、マーピエンは圧縮応力をうけていたから透磁率は下がった。第三段階になってマーピエンの地下水は震源に向かって拡散をはじめ、地下の岩石の水が減少してマーピエンでの透磁率は上昇した。1973年末から1974年初頭には、震源は本震発生直前段階に入っていたので、マーピエンでの透磁率は、その他の観測所の他の測定項目と歩調を合わせて急変が起り、上昇から下降に転じた。このことからわかるように、透磁率の変化と地下水の拡散とは相互に関連しているのであって、大地比抵抗と、水中ラドンとこれまた歩調が一致しているのである。図11はソーチャンでの透磁率、比抵抗、ラドンの月平均変化図である。すぐわかるように磁場変化と比抵抗、ラドンの変化は一致がみられるだけでなく、透磁率変化はラドンの変化と同じく比抵抗の変化に先行していることがわかる。透磁率もまたもっと深い層の変化と地下水拡散作用を反映しているらしい。このために地磁気の長期的な異常変化を生ずる原因としてはそこにかかってくる(全地球的な：訳者注)磁場の変化もその一つの要素であろうが、主要な部分は、地震による応力場と震源でのエネルギー成長発展過程と、水の拡散作用による岩石の空隙中にたくわえられる地下水の変化によって、比抵抗やそれと関連して局地的な地磁気の変化がひきおこされると考えられるのである。してみると、大地震前の地磁気の変化の長期的変化がありうることであるだけでなく、その異常の範囲や規模の方が全地球的にかかってくる磁気変化よりも大きいこともありうる、ということになる。

地磁気異常が長期的な変化を示すだけでなく、大地震直前の短い異常変化も示す。本震が発生する約1週間前(5月3日)全四川省の7つの磁気観測所の記録には地磁気垂直成

分Xの日変化形の異常が記録された（図12）。本震直前の震源からの電磁幅射によるものであるらしい。さらに1974年4月の一時期、四川省全体の多くの観測所で、「紅緑灯」が出現し「2倍法」によって推定して、だいたい4月末から5月11日までの間に地震がおこると考えられた。もっとも正確なデータの組はミーイーとソンバン（松潘）のペアであって、5月11日と推算したのである。地磁気“紅緑灯”（この言葉は本来「交通信号」の意味である；訳注）法は具体的な地震時刻の予測がはっきりできるのであるが、当たらないことも多く、実際の適用にはおのずと限界がある。その理論的解釈にいまひとつ研究の余地がある。

3. 傾斜変化

傾斜の変化はわりに複雑であった。シーチャン観測所では1971年以来測定をはじめたが、その南北、東西成分を13図に示した。1973年9月以前シーチャンでの傾斜の年変化は南西下りの傾向があった。1973年9月以後この傾向はご破算となり、これ以後速度比異常の回復と歩を一にするようになり、これまた地震が間近いことを示す指標となった。1974年4月末になってはじめて西南方向の傾斜にもどり、地震の2日前には傾斜は震央の方へ向くようになった。1973年末以前は、シーチャンでは震央の反対方向に傾斜していた。これに対しカンティン観測所でも1973年2月6日のルーフのM7.9の地震以後は、震央とは反対の西北方向をむくことになった。

このことは、震源域はこの期間は膨張段階にあり、岩石が膨張して震源域の地殻の隆起がひきおこされたことを意味する。1973年9月以後膨張がしだにおさまってこのためシーチャンでの傾斜はもはや西南下がりとはならなくなり、「打結」の状態が出現した。これは大地震の直前期に入ったことを意味し、その結果は速度比異常の値から来る結果とよく符合している。

このほか、今度のM7.1の地震では地応力と重力も一定の異常な変化をした。ツオウシーシャン（走石山）観測所は、今回のM7.1地震の震源域外の圧縮区域の主応力軸方向上に位置しているため、その三方向のストレングージの電気抵抗曲線はみな下りつづけており、負の異常を示している。重力は上昇して正の異常を示した。圧縮を受けて密度がふえたためとみられる。ルーテメン（瀘定）観測所はM7.1地震の北西（原文通り、北「東」の誤りか；訳注）へ向かう節線付近に位置しているが、その地応力の三成分のストレングージは走石山の時と異なり、正の異常を示すものも負の異常を示すものもあった。このカーブから推定すると、その圧縮の主応力方向はほぼ東西方向を向いており、引っぱり主応力はほぼ南北方向に向いていることになるが、これは震源応力場から推定された結果と一致する。（図15、16）

余震発生機構とその前兆

大地震の発生によって、震源に貯えられたエネルギーの全部が解放されてしまうわけではない。応力の解消は断層面全体にわたって完全になされるわけではなく、局地的には依然として部分的なせん断力が残っており、一定の条件の下でこれらの残存応力は余震というかたちでさらに解消されてゆく。余震の時間的な変化と、空間的な分布もまた本震と同様に水の拡散現象と応力場とが密接にかみあったものである。

余震はしばしば地震中核地区（二枚の節面，一枚が断層面，もう一枚が補助面）を意味するようだ（訳注）の一方の端または二方の端にかたよって分布する。このことは本震による応力解消の状況は震源付近での応力の蓄積の仕方や地質構造に関するもの以外に、水の拡散過程によって集中してきた震源付近の地下水の飽和度にも関係していることを意味する。地震の中核地区では、地下水の飽和はほぼまんべんなく行きわたっており、応力エネルギーはほぼ完全に解消して余震は大変少ないが、地震の中核地区の端の方では、地下水の飽和度の差によって、あるいは、それ以外に地質、構造の影響を受けて、応力の解消が不完全であるか、全く解消されないで残る。大地震の発生によって地下水のこのような場所への移動が加速され、余震が多くなる。したがって地震発生のパターン（群発型、孤立型、本震—余震型）と地質構造上の特徴と、それに関連して地下水の地震エネルギー蓄積地区での拡散過程と、その飽和の程度が広く均一であるか否かと密接に関係している。たとえば地下水の飽和度が極端に不均一だと群発性の地震になるか、あるいは地震活動期間が大変長くなる。もし逆に、飽和の程度が均一であれば、応力はほぼ完全に解消されるので、余震はかなり少なくなり、孤立型地震となる。この両極端の中間のケースだと、本震—余震型となる。得られた速度比異常のデータからみて、異常の回復が比較的速く、つまり水の拡散移動の卓越する期間の比較的短いものはだいたい群発型地震か地震活動期間の比較的長いものが多いようであるが、この点に関してはなお一層の研究の余地のあるところである。

今度の5月11日ヨンシエンのM 7.1地震の余震は二本の節線上に集中して分布しており、とりわけ地震中核地区の東北端と東南端に集まっている（図15：（原文ミスプリか、これに相当するのは（図3）：訳注））。強い余震の発震機構は本震とほぼ同じである。しかし、6月5日以後発生した比較的大きな余震の位置は、かなりかたよって分布するようになり、その発震機構は本震とはかなり違っている。

6月15日と7月10日の2回、強い地震がおこり一部の観測所では部分的には前兆としての異常の諸現象がはっきり現れており、強い余震の成育、発展、発生メカニズムは本震と相似な関係があることを示している。ただ本震によって地下水の岩石のすきまを移動する過程が促されるために（つまり水が移動しやすくなるため）、余震の場合前兆となる異常の現れる段階の持続時間が本震のそれよりずっと短くなる。

震源の応力場と、岩石の膨張特性、地下水の拡散作用をみることによって地震の成長、発

チャオトン（昭通）のM7.1の地震に関する前兆異常の特徴について

展プロセスと、それに伴う地震活動と一連の前兆現象の主な特性の解釈を与えることができる。

一回の大地震は決してだしぬけにやってくるものではない。その成長発展、プロセスのうちにきつとまわりに地震活動やその辺の異常前兆現象を伴っており、それによって自分の性質を表現している。このために、地震には前兆があり、われわれは予知することができるのである。われわれはきつと広汎な人民大衆の実践を通じてたえず各種の前兆現象の間にある関係を見つけ出し、次第次第に地震の成長、発展過程の法則を明らかにして行くことである。

（1975年6月13日 原稿受理）

表 1

	节面 A			节面 B		
	走向	倾角	仰角	走向	倾角	仰角
1	N40°W	NE	80°	N46°E	NW	85°
2	328°	NE	85°.5	57°	NW	81°

	X		Y		P	
	走向	仰角	走向	仰角	走向	仰角
1	N44°W	7°	N46°E	12°	92°	3°
2	327°.5	9°	58°	4°.5	282°.5	3°.2

	T		N	
	走向	仰角	走向	仰角
1	1.8°	11°	197°	79°
2	12°.5	9°.2	172°	80°

1——成都地震大队计算结果。

2——昆明地震大队计算结果。

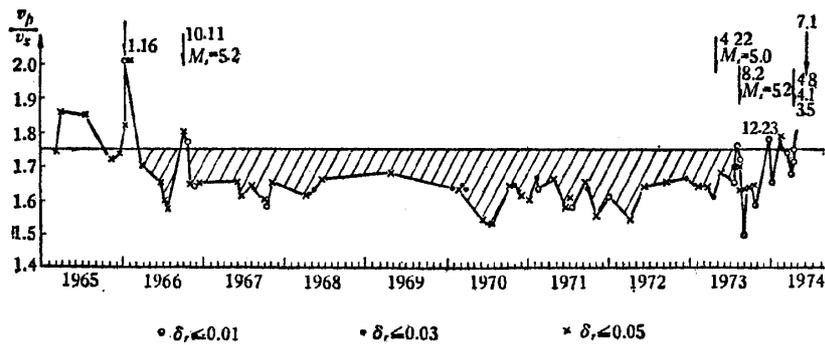


图1 永善7.1级地震波速比异常图

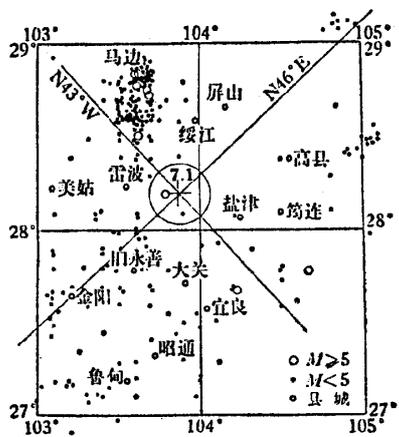


图 2

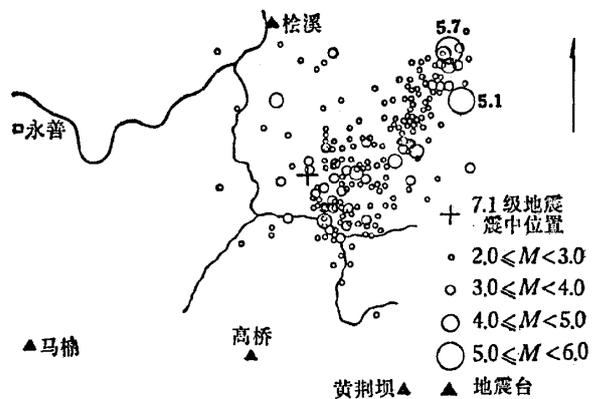


图3 余震震中分布图(1974. 5. 15.—6. 20.)

チャオトン（昭通）の M7.1 の地震に関する前兆異常の特徴について

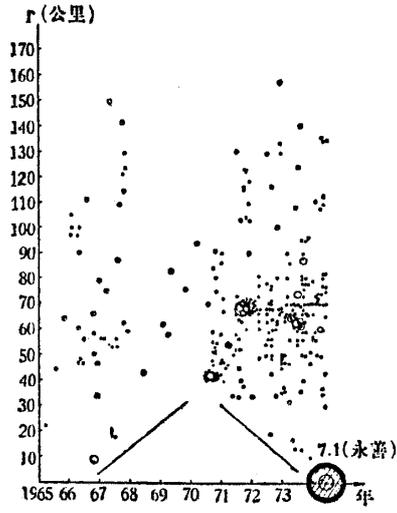


图 4

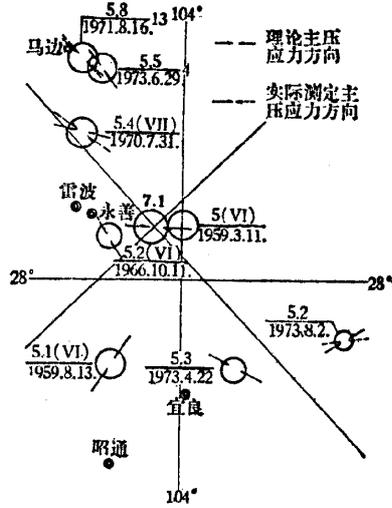


图 6 理论主压应力方向与地震主压应力轴图

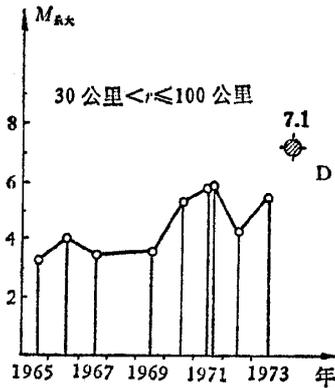
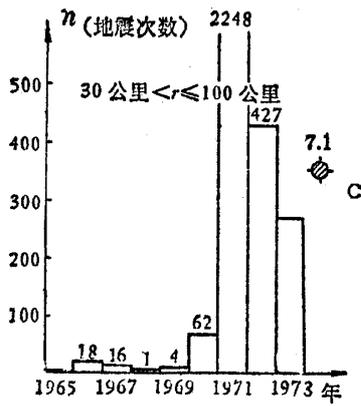
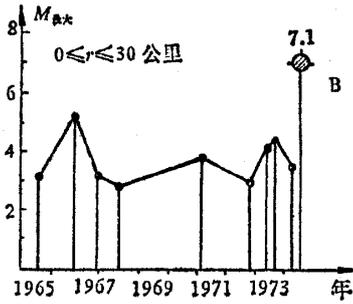
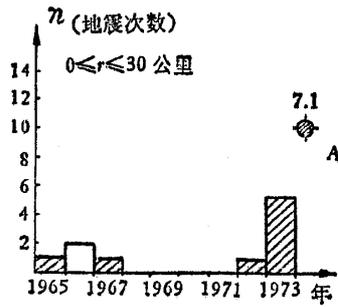


图 5

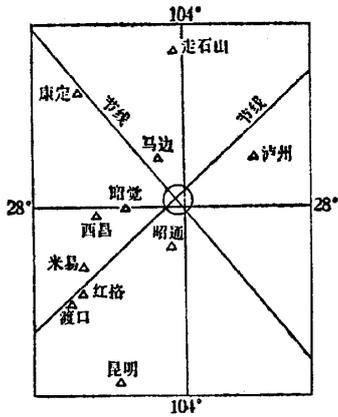


图7 台站分布图

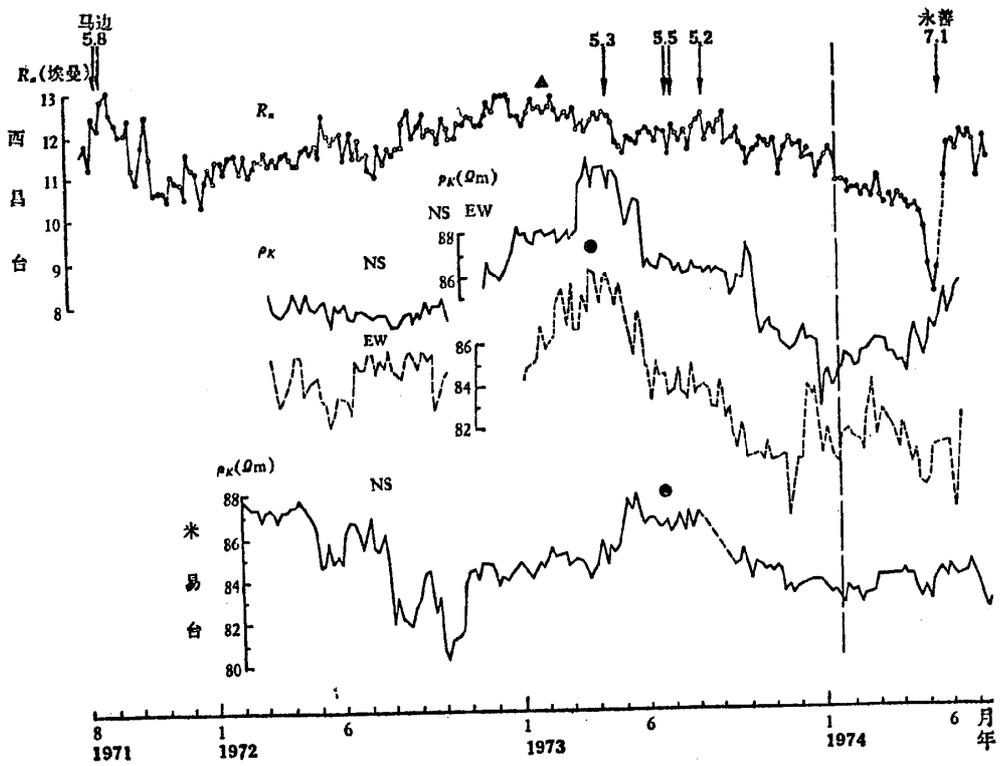


图8 姑咱电阻率、水氦,康定水氦,红格电阻率和渡口水氦五日均值图

チャオトン（昭通）のM7.1の地震に関する前兆異常の特徴について

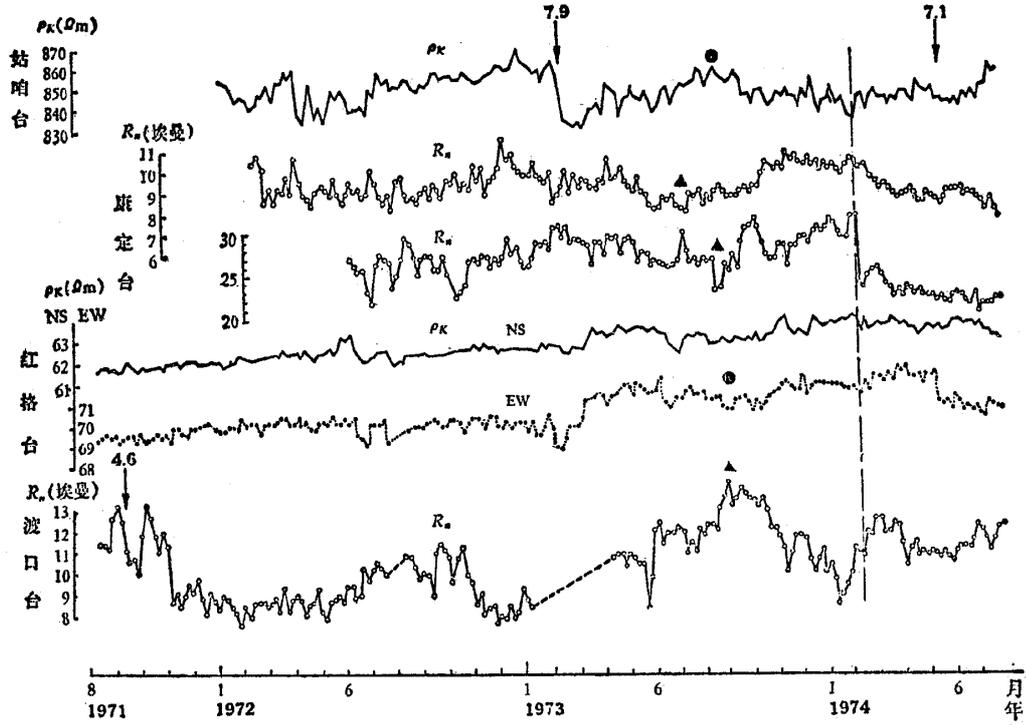


图9 西昌台水氡、电阻率、米易台电阻率五日均值图



图10 马边感磁与永善7.1级地震

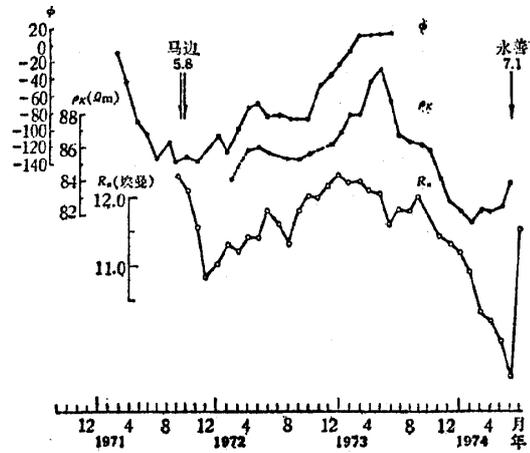


图11 西昌台感磁、电阻率、水氡月均值图

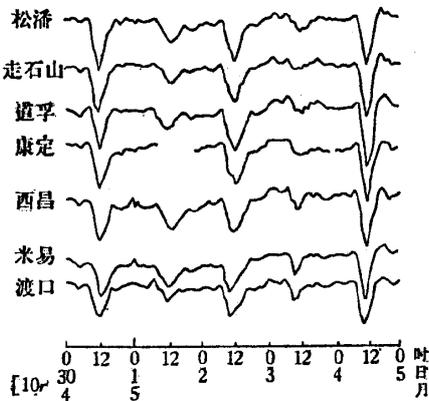


图12 7.1级地震全川地磁X日变形态曲线图

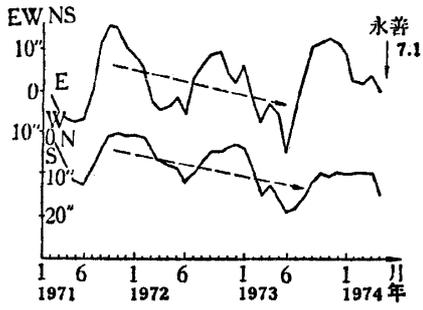


图13 西昌地倾斜单分向月均值图

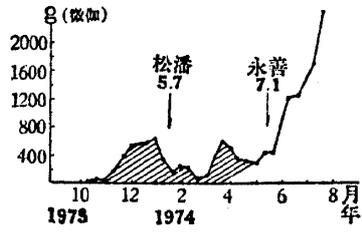


图15 走石山重力变化图线图

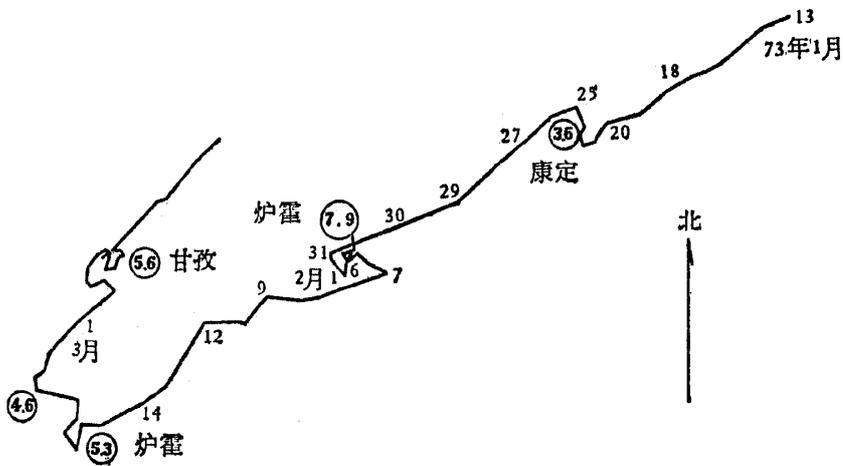


图14 康定地倾斜月均值分量图及矢量图

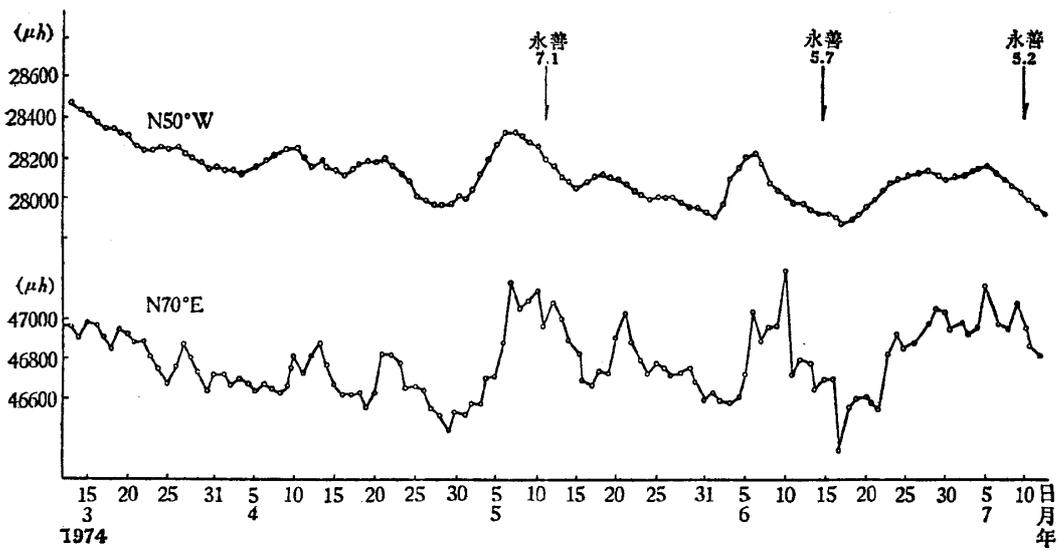


图16 走石山地应力电感曲线日均值图

地下水を利用した地震予報についての若干の発見

ホーペイ（河北）省地質局水文地質観測センター
ランファン（廊坊）観測所編*

ここ数年来、人民大衆は大量のデータを測定し、地下水異常の状況とその予測意見を提出し、われわれの事業に堅実な基礎を与えている。地下水一つをとっても、観測点一つ一つが二千以上のデータを提供していて、6年余の全地区のものをすべて合せれば数十万のデータになるであろうし、毎日百余の観測員が同時に水位を測定していて、24枚余の水位変動分析図が作成された。地下水異常が地震予知の役に立たないかどうかを集積された大量のデータと一定の経験によって調べ、地下水を利用して地震を予知することに一応の成果をみた。

1972年末、われわれは地下水分布の平面的な動向の特徴から一つの帰結を得た。つまり、水位上昇区域と下降区域が共に細長い帯状をなして、ある間隔をおいて一定方向に並んでいるような分布が現れると、地震が発生することを発見した。われわれはしばらくこれを「異常図形」と呼ぶことにして、それと地盤との関連性を統計的に調べてみた。その結果は以下の通りである。

統計期間	1969年—1972年
観測総日数	1440日
地震活動回数	198回（地震の間隔が1日を越えないときは一連の地震活動とみなした。）
異常図形の出現回数	104回
異常図形と地震活動の対比	
異常図形あり、地震ありのケース	77回
異常図形あり、地震なしのケース	27回
異常図形なし、地震ありのケース	121回

統計から言えることは

1. 異常図形が現れたのは総観測日数の7.3%であって 偶発的に現れる。
2. 異常図があるときの地震発生率 7.3%
3. 地震活動の前兆率 3.9%

この3のパーセンテージが低いのは次のようなことが原因であろうと考えられる。

1. あるかなり遠くで発生する地震には、われわれの地区の地下水の動向には影響ないためである。統計の中には北京近郊の小地震が大量に含まれている。

* 訳者：都司嘉宣（国立防災科学技術センター平塚支所）

2. その他の原因(たとえば農業灌漑, 測量, 伝達誤差)で自然状態が乱れるであろう。
3. 別の原因による異常図形かもしれない。

この第1の原因によるものをのぞくため, われわれは陸地に発生したM3以上の地震と, 渤海に発生したM4以上の地震のみを取上げて統計をとりなおした, すると4年間に28回の該当する地震活動があり, そのうち18ケースにこの前兆が現れていた。つまり前兆率は64%ということになる。(表1)

分析をいま一步すすめて, 異常図形の現れた場所の違いによる地震の類型を発見した。パオタイ(宝坻)県——ニンホ(寧河)県の間に出現する東北方向に向う帯状のペアは, とくに天津地区東北方面と, 渤海地震に対応がつく。ウエンアン(文安)県——ターチヨン(大城)県——チン(青)県——チンハイ(静海)県に発生する東北方向の帯状ペアに対しては, とくに天津地区南部と渤海地震に対応する, サンホー(三河)県——アンツー(安次)県に現れる西北方向に向いた帯のペアに対しては天津西北方面の地震に対応する。地震の起こる時間は異常図形が現れてから五日以内であって, 一般には1~2日であることが多い。

これらの初歩的な結果に力を得て, この異常図形を利用してわれわれは1973年と74年の前半の地震を予測して一定の成果を上げた。

73年には上述の異常図形を利用し予報を10回出した。そのうちまずまず的中したのは4回, 予報と違った地震が起ったのは3回(錯報), 全く空張りに終わったのが3回である。(具体的には表2参照)

74年にはまたクーアン(固定)県, ニウトウオ(牛駝)一带に現れる異常図形に注目して予報を出し, 上半期に全部でM3以上の地震が4回起こったが, われわれは3回の予報を出した。(表2)

われわれの研究はまだ始まったばかりで得られた結論もまだまだ粗末なものである。定量的な予報を出すのになお一層の経験を積む必要があろう。(以下数行は略す)

(1975年6月13日 原稿受理)

地下水を利用した地震予報についての若干の発見

表 1 对 1969—1972 年廊坊地区、邻区三级以上，渤海四级以上地震，地下水动态反应统计

地震时间	地点	震级	地下水群井动态反应	异态超前时间	地震时间	地点	震级	地下水群井动态反应	异态超前时间
1969.2.5	河间	3.9	文安—青县呈东北向条带形升降相间	3 天	8.10	渤海	4.75	无异常反应	
2.16	天津	3.4	无异常反应		11.1	大城	3.6	宝坻—宁河呈东北向条带形升降相间	1 天
5.6	夏垫	3.8	三河—安次呈西北向条带形升降相间	2 天	1970.10.23	汉沽东	3.6	宝坻—宁河呈东北向条带形升降相间	1 天
6.6	汉沽	3.1	文安—青县呈东北向条带形升降相间	当天	1971.4.23	玉田	3.3	文安—青县呈东北向条带形升降相间 2 次	当天—5 天
6.14	文安	3.0	无异常反应		4.24	渤海	4.3	宝坻—宁河呈东北向条带形升降相间	当天—5 天
7.18	渤海	7.4	宝坻—宁河呈东北向条带形升降相间	2 天	5.2	渤海	4.25	宝坻—宁河呈东北向条带形升降相间 3 次	4—7 天
			大城—青县呈东北向条带形升降相间	当天—1 天	12.13	香河东	3.1	无异常反应	
8.21	渤海	4.3	宁河在全区上升情况下，出现下降带	当天	12.27	渤海	4.0	文安—青县呈东北向条带形升降相间	1—3 天
10.17	渤海	4.9	无异常反应		1972.1.30	渤海	4.75~5.0	异常不明显	
12.31	安次	3.0	武清—安次呈西北向条带形升降相间	2 天	3.25	怀柔	4.5	三河、大厂、香河呈西北向条带相间 2 次，其余地区呈东北向条带相间	1—5 天
1970.2.3	里坦	3.5	文安—青县呈东北向条带形升降相间		3.27	白家疃	3.5	无异常反应	
2.12	渤海	5.25	大城—青县呈北偏东向条带形升降相间	4—5 天	4.22	大城	3.4	文安—青县呈东北向条带相间，宝坻—宁河呈东北向条带相间	1—4 天
3.21	河间	3.1	无异常反应		6.26	渤海	4.0	无异常反应	
5.16	渤海	4.5	无异常反应		8.13	大城	3.1	文安—青县呈东北向条带相间	2—5 天
5.25	丰南	5.2	宝坻—宁河呈东北向条带形升降相间	1 天					

表 2

预 报			实 震			评价
时间	震级	地点	时间	震级	地点	
1.15	小震	渤海	1.19	2.3	渤海	基本正确
1.23—26	3 士	渤海	1.28	2.9	渤海	基本正确
2.11—14	3 士 < 3	本区南部 本区南部	2.15	2.1	渤海 黄华	错报
2.6—9	3 士	渤海	2.10	2.7	河间	基本正确
3.12—15	< 3	大城				虚报
3.16—19	3 士	大城	3.16	1.1	武清	错报
5.7—10	2 士	大城河间	5.10	2.8	永清	错报
6.1—6	3 士	东北部及渤海				虚报
7.8—11	< 3	南部				虚报
10.10	小震	南部	10.13 10.14	2.3 1.5	文安	基本正确

表 3

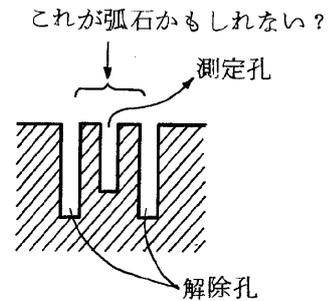
预 报			实 震			评价
时间	震级	地 点	时间	震级	地 点	
1974. 1.22—25	3 ±	廊坊地区南部	1.27	3.2	文 安 东	基本正确
3.19—22	3 ±	坝县、永清、固 安	3.24	3.6	坝县文安	基本正确
4.17—20	3 ±	永清、固安、坝 县	4.18	3.0	坝县文安	基本正确
			1.3	3.2	河间沙河桥	漏 报

アルシーリチャンジャン（二十里長山）の応力測定

地震地質大隊掘さく探査隊試験班編*

岩石中の応力測定作業は、単に地殻運動の研究の一手段としてだけではなく、あるいは予知問題を解決するのに重要な意味があるだけでもない。それは、鉱山開発、水利工事、トンネルやその他の地下工事などにも重要で現実的な意味をもっているのである。

近年、われわれと地質力学研究所の研究者との協力によって、自分達の手で設計、製作した新式の地応力測定ゲージ（ストレインゲージ）と、井戸用加圧装置を採用し、室内測定、孤石の解除（注1）、孤石荷重の解除、岩石の物理特性などの実験研究を行ってきた。多くの実験を通して新しく設計したゲージは比較的良好な特性と高い信頼性を備えていることが判明した。さらに、もう少しストレインゲージと加圧システムの信頼性を検査するため、われわれはアルシーリチャンジャン（二十里長山）において地応力測定実験を行なった。



1. 実験フィールドの地質学的概況

この実験フィールドは北北東方向に広がったシンホアシア（新華夏）系破砕帯と山字型構造より成っている。シンホアシア系破砕帯は山字型構造の西翼をつき破っており、最も新しい地質年代以来、強い活動を続けている。応力解除実験地点の構造上の位置は、ちょうどこのシンホアシア系破砕帯と山字型構造西翼との交差点近くに当たっている。

アルシーリチャンジャン（二十里長山・山脈）は北58度西方向に伸びており、山字型構造の西翼を形成する部分である。実験点はアルシーリチャンジャンふもとのパンジャン（龐山）とウーションスー（吳雄寺）に置いた。この二点間の距離は約20 Kmである。

パンジャンは山字型構造西翼の反射弧近くに位置している。パンジャンの近くを、走向北40度東の引張性（注・tensionalの意味）の断層が走っていて、泉が湧いている。地層はアオタオ（奥陶）系の泥質を含む結晶質石灰岩であって、層面傾斜角は85度でほとんど鉛直に立っているとよい。アルシーリチャンジャンの地層の走向はほぼ北60度西であるが、パンジャンのところで大きく屈曲していて、北5度西から北42度西に転じ、局部的にはほぼ鉛直に向いていたり、あるいは逆転していたりしている所もある。地層の中に

* 訳者：都司嘉宣（国立防災科学技術センター平塚支所）

（注1）意味不詳、解除とはこの論文を通じ応力の解除の意味。上図参照。

三つの破砕面があり、一つは正断層で、他の二つはX字型の垂直に層面をなしている。サンプルとしてくり抜いて採取した岩芯中には、極度に発達した小さな構造があった。ウーションスーは山字型構造の西翼と、シンホアシア系破砕帯の交叉点付近に位置している。地層はアオタオ系の石灰岩であり、走向は北60度西で、傾きは南西落ちで傾斜角は7.3度であり岩石は比較的整っている。

2. 応力解除の技術

ガソリンエンジンのドリルに合金のきり先をつけて、応力解除実験を行なった。測定用小孔の直径は3.6mmで、応力解除孔の直径は15.0mmである。測定孔は、そのきり出し面はなめらかで、軸の向きがまっすぐで、孔の形が正しい円形であって、上下の錐度の小さいこと(注3)が要求される。応力解除時には解除槽と測定孔とが同心でなくてはならない。つまり、測定孔が岩芯のちょうど中心に合っていないとなくてはならない。したがって、測定孔をあけるきり先は特別のもので、周囲の刃の部分には四列の合金が並んでいて、孔あけ時に孔面がみがかれるようになっている。解除孔と測定孔が同心になるようにするために、測定孔をあける前に、平らなきり先で孔の奥の面をみがいておき、次に錐形のきり先でロート状のらっぱ口をあけて狂いを直した。同時に測定孔と解除孔をあけると、15.0mmの岩芯管を使って狂いを直した。測定孔をあける前に、孔の内に残っている合金のかけらをきれいにのぞいておかななくてはならない。孔あけの時には操作に十分注意し、力が均等にかかるように、回転速度はゆっくりとして、測定孔と解除孔の質を保たなくてはならない。同時に、孔あけが正常に行なわれているかどうか、岩石中のひび割れの存在があるかどうかを調べてとくに注意しなければならない。

3. データ処理と計算結果

(1) われ目の判断とデータのとり方

「奪芯法」によって応力解除するとき、岩石は完全に整っていて均質でなくてはならない。実際には、岩石にはしばしば節理や割れ目が存在している。これらのさけ目は、とくにそれが切り出し面の近くを走っているとき測定値に大きく影響して、その結果は信頼性が大変低いものとなる。したがって割れ目のあるなしの判断は、正確なデータを取る上で重要なことになってくる。正常な状況の下では、応力解除の深さがゲージのある位置の張角45度の影響深度の位置まで達していないうちは、つまり影響深度を超えないうちは、測定値は一定しているが、張角が45度になって解除槽の深さが深くなるにつれて、測定値は少しずつ変化していく(図1)。もしわれ目に出あって岩芯を切ったときには、測定値は一定せずしかも突発的なジャンプが現われ、応力値は突然の急増を示し、ひどいとき

(注3)上から下まで同じ径の同形の意味か

にはゲージがはずれてしまう（図2）。このような正常でないケースは前もってとりぞいておかななくていけない。

(2) 測定結果

- ① ウーションスーでの応力解除実験では、地表より7mから9mまでを連続的に測っていて、1回ごとに互いに60度の角度をなす3個のゲージを取付け、有効データを12個とった。17mから19mの深さで得られた結果を表1に示す。表1からわかるように、主芯力の大小、方向と最大剪断応力の平均とがかなりの一致をみせている。

さらに正確に測定データを見積るために、われわれは最小二乗法によってデータ整理をした。最小二乗法の原理に基づいて、まず記録された応力値の回帰曲線を求めた（図3）。それから実測値を回帰曲線上にプロットした。第3図を見てわかることは、実測値のばらつきが大変小さく、測定結果が十分信頼をおくことができることを示している。

17mから19mのデータを最小二乗法で処理した結果を示せば表2のようになる。

- ② パンシヤンの応力解除実験では、地表より3mから5.5mの深さで18回の測定を行った。それを最小二乗法によって総合計算した結果は第3図のようである（注4）。

4. 測定結果の分析

上述の結果から次のようなことがわかる。

- ① フィールド実験の結果の再現性はかなり良い。
- ② 測定精度は比較的高い。測定した応力の値の誤差は±2kgを超えない。角度誤差は±3%を超えない。信頼性は95%に達し、アメリカで普通使われているUSBM三分量孔あけ形計の測定結果よりよい（表4）。
- ③ 解除している最中の測定値の変化曲線も正常である。測定の変化は45度張角の影響が始まるところで起こり、45度張角の外にあるときは一定値を示して揺らぎがない（図1参照）。
- ④ 地質構造との関連性について
- (1) パンシヤン付近には北東向きの引張性の破砕があり、また、現在発達中の何組かの割れ目もある。あるものは層面に平行であり、あるものは垂直である。したがってパンシヤンの応力値はやや小さい。
- (2) 当地区シンホアシア破砕帯は、北10～20度東にのびており、地震調査と断層のわずかな変位測量によって、最近の地質年代から現在までずっと活動を続けていることが判明した。破砕帯上の張家観測所のデータでは、1971年から73年の間に2mmのずれがあった。ほぼ西北西—東南東の圧縮力がこの地区の作用に主役をなし

（注4）①、② 2地点での測定結果→第3図となっている。第3図は①のウーションスーでの結果のようであり、②のパンシヤンの結果の図はない。

ている。われわれの応力の測定結果も、その最大主応力の方向はその破砕帯にほぼ垂直であって、この地区のシンホアシア系構造の応力場の分布図とも符合し、断層の微量変位測定の結果とも一致している。

5. むすび

大量の室内実験とフィールド実測を通じて、ここで開発した測定方法が十分正確でありかつデータも信頼のおけるものであることが判明した。同時にアルシーリチャンシヤンの応力の実測結果から、応力の分布には一定の規則があって、地質構造と密接に関連していることが判明した。

(1975年6月13日 原稿受理)

アルシーリチャンシヤン (二十里長山) の応力測定

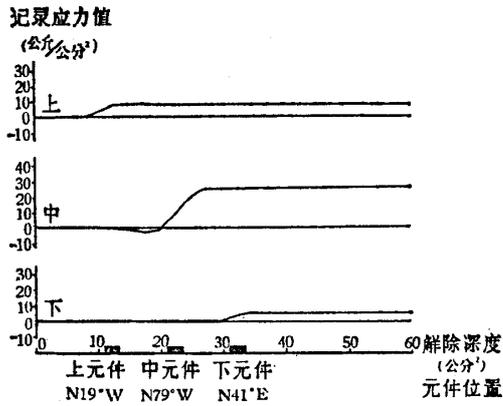


图1 1973年11月14日应力解除曲线
(测量孔深18.47—19.07米)

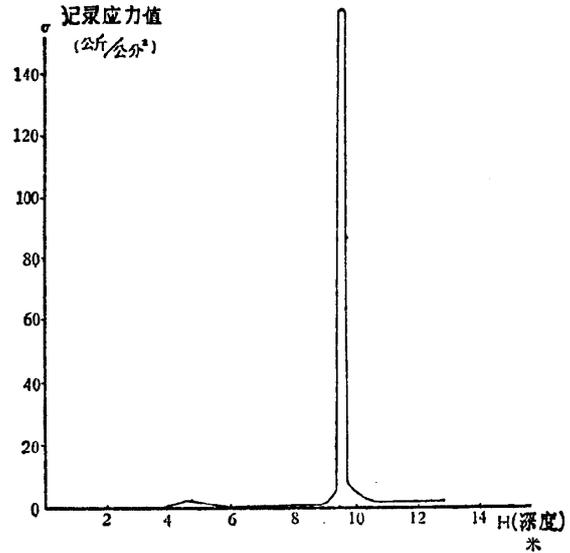


图2 裂隙对应力测值的影响
(9.5米处有裂隙穿切岩芯)

表 1

深度 (米)	最大主应力 (公斤/ 平方厘米)	最小主应力 (公斤/ 平方厘米)	最大主应 力方位角	最大剪应力 (公斤/ 平方厘米)
17	23	-2	北 73° 西	12.5
18	28	5	北 68° 西	11.5
19	27	7	北 78° 西	10

注: 正为压应力, 负为张应力

表 2

最大主应力 (公斤/ 平方厘米)	最小主应力 (公斤/ 平方厘米)	最大主应 力方位	最大剪应力 (公斤/ 平方厘米)	可信度
26 ± 2	4 ± 2	北 73° ± 3° 西	11	95%

做了 18 次测量, 对所取得的数据用最小二乘法进行了综合计算, 其结果见表 3。

表 3

最大主应力 (公斤/平方厘米)	最小主应力 (公斤/平方厘米)	最大主应力方位
4	2	北 58° 西

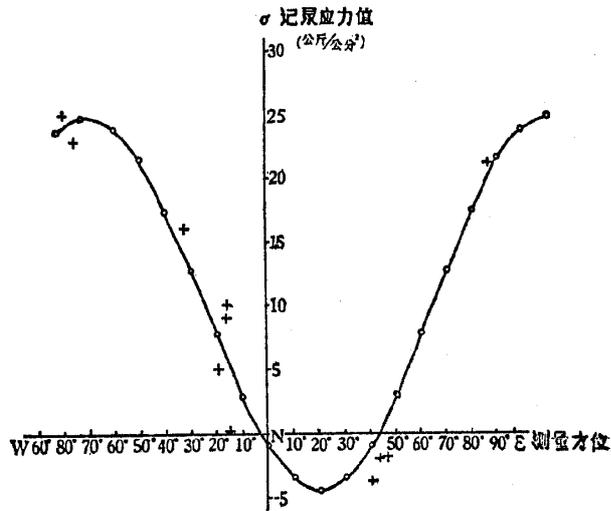


图 3
 误差±5公斤/厘米², 可信度90%
 (根据7—19米所取得的12个数据计算)
 + 实测值 ○ 理论值

表4 我们所使用的元件与美国通常所使用的 USBM 三分量钻孔形变计所测结果对照表

结果 方法	次 数	最大主应 力方位角	最大主应力 (公斤/平方厘米)	最小主应力 (公斤/平方厘米)	最大剪应力 (公斤/平方厘米)	注
我们在吴雄寺的 测量	1	北73°西	23	-2	12.5	角度变化范围: 由北18° 西到北78°西, 最大相差 10°。最大主应力由2.公 斤/平方厘米到28公斤/平 方厘米, 最大相差5公斤/ 平方厘米。
	2	北68°西	28	5	11.5	
	3	北78°西	27	7	10	
	平均	北73°西	26	3.3	11.3	
美国克鲁斯等用 USBM 三分量钻孔 形变计在科罗拉多 兰吉里地区的测量	1	北48°东	5.7	1.5	2.0	角度变化范围: 由北17° 东到北38°西, 最大相差 115°。最大主应力由-0.35 公斤/平方厘米到10.7公 斤/平方厘米, 最大相差11 公斤/平方厘米。
	2	北67°东	-0.35	-0.42	0.04	
	3	北50°东	4.9	2.3	1.3	
	4	北6°东	4.7	3.0	0.8	
	5	北38°西	7.2	2.2	2.5	
	6	北77°东	10.7	7.8	1.4	
	平均	北63°东	5.5	2.7	1.3	