

6. 地 殻 応 力

地殻応力の測定による地震予知の試みは、まだ歴史が浅く研究段階にあるといっても過言ではない。しかし応力は地震に直接結び付く物理量であるので、直接測定が可能であればその意義は大きい。以下では地殻応力測定による地震予知の可能性について述べると共に、前兆現象としてとりあげた事例について検討する。

地震は外部から働く力が高まって応力が増大し限界強度に達した所で起こる (例えば, Mogi, 1981) とすれば、絶対応力の空間分布と応力の時間的変化を明らかにすることによって、地震の発生場所と時期の予測を行うことが原理的に可能になる。実際、西オーストラリアで、周囲に比べて異常に高い応力値が観測されていた地域で 1979 年に M 6.4 の地震が発生し、更に地震後の再測定で 150 バールの応力の低下が見いだされた例がある (Denham, 1980)。また中国でも、海城 (1975, M 7.3), 唐山 (1976, M 7.8), および竜陵 (1976, M 7.5, M 7.6) の地震後、それぞれ震央付近と周辺地域で応力測定が行われたが、それらの結果によると、いずれも震央付近の方が周辺地域に比べて低い値を示し、地震による応力降下を裏付けた (李・王, 1979)。この事実は地殻応力測定が地震発生場所と時期の予測におおまかなながらも有効であることを示すと同時に、実際の地殻応力状態を把握する上での応力測定の信頼性を示すものである。一方、地殻応力が不変でも媒質の強度が低下することによって地震が発生する場合があることにも注意をする必要がある。米国コロラド州の油田地帯で、測定された地殻応力の値に基づいて破壊を生じさせるのに必要な間隙水圧の大きさを推定し、その後実際に水を繰り返し圧入して人工的に地震を発生させたところ、水圧が推定された圧力レベルに達すると地震が多発することが確認された (Raleigh *et al.*, 1972)。このことは、地殻応力が一定でも、間隙水圧が高まると実効強度が低下するために、地殻内部で破壊もしくは断層面のすべりが生じ易くなることを反映したものと考えられている (Raleigh *et al.*, 1972)。

このように 1970 年代から地震予知を目的とする絶対応力の測定が世界各地で実施されるようになり、それぞれの地域における応力場の特徴が次第に明らかになってきた (例えば, Zoback and Zoback, 1980; 田中・斉藤, 1980)。しかし最近では、破碎帯や不均質帯により深さ方向にも応力が大きく変化する場合があること等も明らかになり (池田・塚原, 1987)、応力分布が地質構造の複雑な違いにより不均一になることが判ってきた。絶対応力測定には現在のところ応力解放法と水圧破壊法が主に用いられているが、ともにボーリングを実施する必要があり、測定深度の大きい水圧破壊法によっても測定可能なのはせいぜい 5 km である (Haimson, 1976)。このような地殻の応力分布の不均一性や測定深度の限界を考慮すれば、直接応力測定によって震源の応力状態やその周辺の応力分布を把握することは非常に困難と云わざるを得ない。この方法により震源域

やその位置を予測するとすれば、当然対象となるのは内陸の比較的浅い地震に限られるであろうし、応力測定の実施についても相当高密度に行う必要がある。

一方、応力の時間変化については、特に中国で盛んに観測が行われており、すでにいくつかの地震の短期的（数カ月から数週間）予知の際に用いられている（尾池，1978；田中，1978；中国国家地震局分析予報中心第一研究室，1984）。例えば，1975年の海城地震の際には，震央から150 kmの地点で1年ほど前から磁歪素子型の応力変化計に変動が観測されるようになり，地震発生直前になって測定している3方向の内の主応力方向について急激な変化が見られたという報告がある。また1976年の唐山地震の際には，震央距離10 kmと20 kmの2地点で8ヶ月前から明瞭な変化が現れた他，数カ所の観測点でも何らかの変化が現れ，地震直前にも極めて大きな変化が見られたことが報告されている。このように複数箇所や複数成分で観測が行われているものについては地震の前兆としてある程度の評価を下すことができる。しかし，データの表示の中には意味不明の補助線や斜線が引かれてあったり，地震後のデータが欠落していたりするために公平な判断が難しい場合がある。さらにノイズレベルやドリフトが大きく実際の予知に有効であるかどうか判断できないものが多い。応力変化の測定法は，中国ではほとんどの場合磁歪素子を用いる方法か炭素粉とゴム粉の混合材の電気抵抗の変化を測る方法が用いられており，ごく一部で振動弦式のものが用いられている。これらの方法は，いずれも地面もしくは地中の穴の中で孔径方向の応力変化を測るものであるが，周囲の地盤のクリープや不均質性によって不安定となることも想像される。米国では，カリフォルニア州サンアンドレアス断層沿いで起こったM4.1の地震に

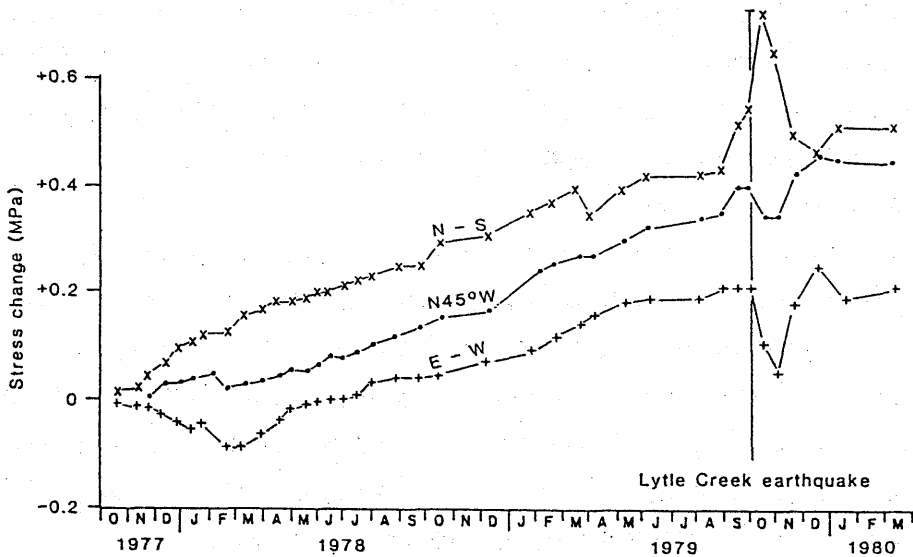


図 6-1 Lytle Creek (サンアンドレアス断層沿い) 地震に関連して現れた地震前後の応力変化 (+ が圧縮) (Clark, B.L., 1981)

先だって、震央から15 kmの観測点で振動弦式の応力変化計に、図6-1に示すように、1カ月前から応力が解放されるセンスの変化が生じ、さらに地震前後をはさんで、発震機構と広域応力場に調和的な方向の応力変化が観測された例が報告されている(Clark, 1981)。しかし、この場合もノイズレベルやドリフトが大きく地震予知の上で客観的に役立つかどうかは疑問である。日本でも、歪ゲージ式の応力変化計による観測が試験的に行われたことがある(小出, 1980; 地質調査所, 1982)が、まだ地震との直接的な関連が見いだされた例はない。これは、観測設備や観測期間等の不足が第一の原因と考えられるが、観測場所の地質が広域の応力場を捉えるほど均質でないことも一因と考えられる。(吉川澄夫)

参 考 文 献

- Clark, B.R., 1982, Monitoring changes of stress along active faults in southern California, *J. Geophys. Res.* 87, No. B6, 4645-4656.
- 中国国家地震局分析予報中心第一研究室, 1984, 中国地震前兆資料図集(1962-1980年), 地震出版社.
- 地質調査所, 1982, 丹沢山地における多軸歪計による応力変化観測, 地震予知連絡会会報, 27, 139-141.
- Denham, D., 1980, Can in situ stress measurements be used to predict earthquakes? Some evidence from Western Australia. IASPEI, 1980, Abstract.
- Haimson, B.C., 1976, The hydrofracturing stress measuring technique——method and recent field results in U.S., I.S.R.M. Symp. Investigation of Stress in Rock. 23-30.
- Hast, N., 1958, The measurement of rock pressure in mines, *Sveriges. Geol. Undersokning*, Arsbok, Ser. C, 52, 1-183.
- 池田隆司・塚原弘昭, 1986, 水圧破壊法による地殻応力測定——茨城県石下町・山梨県芦川村での測定——, 地震学会講演予稿集, No. 2, 231 pp..
- 小出仁, 1980, 地震予知のための応力測定の問題点. 月刊地球, 2, No. 9, 578-585.
- Mogi, K., 1981, Earthquake prediction, Maurice Ewing Series, IV, 43-51, AGU, Washington D.C.
- 尾池和夫, 1978, 中国における大地震の前兆現象と地震予報, 1977年地震学会訪中代表団報告集, 135-148.
- Raleigh, C.B., Healy, J.H., and Bredehoeft, J.D., 1972, Faulting and crustal stress at Rangely, Colorado, *Geophys. Monogr.* (Griggs Volume "Flow and Fracture of Rocks"), 16, Amer. Geophys. U., 275-284.
- 李方全・王連捷, 1979, 華北地区地殻応力測定, 地球物理學報, 22, 第1期, 1-7.
- 田中豊・斉藤敏明, 1980, 応力解放法による地殻応力の測定, 月刊地球, 2, No. 9, 630-647.
- 田中豊, 1978, 中国における地殻応力, 地殻変動および重力変化の観測と地震前後の異常変化, 1977年地震学会訪中代表団報告集, 89-111.
- Zoback, M.L. and M. Zoback, 1980, State of stress in the conterminous United States, *J. Geophys. Res.* 85, No. B11, 6113-6156.