

(研究題目)

地震予知のためのマン・マシン・インターフェイスにおける地殻変動の可視化の研究  
Study on Visualization of Crustal Deformation for Man-machine-  
interface of Earthquake Prediction

(代表研究者) 竹本 修三 京都大学理学部・助教授

Shuzo Takemoto, Associate Professor, Faculty of Science, Kyoto Univ.

(協同研究者) 坪井 泰住 (Taijyu Tsuboi) 京都産業大学工学部・教授

天神林孝二 (Koji Tenjinbayashi) 工技院機械技術研・主任研究官

H. スペツラー (Spetzler Hartmut) コロラド大学・教授

藤森 邦夫 (Kunio Fujimori) 京都大学理学部・助手

東 敏博 (Toshihiro Higashi) 京都大学理学部・助手

Electronic Speckle Pattern Interferometry (ESPI) enables small strains of 3-D objects to be measured quantitatively in terms of the wavelength of laser light without any touching the object. We introduced this technique to develop a new strain-monitoring system for earthquake prediction. This system is characterized as a human-friendly system in which crustal strain can be visually presented.

#### 1. 研究目的

わが国は、太平洋プレート、フィリピン海プレートおよびユーラシアプレートの3つのプレートの接合部に位置し、地殻活動のきわめて活発な地域にあり、有史以来数多くの大地震に見舞われてきた。人口の都市への集中が過度にすすみ、しかも、産業基盤が高度に発達したわが国において、地震の予知は、きわめて重要な研究テーマの1つである。

地震予知、特にその直前予知のためには伸縮計(ひずみ計)や傾斜計を用いた地殻変動の精密観測が最も有効と考えられており、首都圏や東海地方を中心に多数の観測計器が配置されている。しかし、これまでの観測結果を検討すると、地震の前兆的ひずみ変化の信頼できる観測例はまだきわめて少ない。その原因の1つとして、従来方式の伸縮計や傾斜計が3次元的地殻ひずみ量の独立な6成分のうちの1成分のみしか検出できず、これらの計器によって得られる1次元的数据では、たとえ1つの計器に異常が見いだされたとしても、それが機械的原因あるいは環境ノイズによるものか、真の地殻ひずみ変化を反映したものかの判断がむずかしいことがあげられる。そこで、2次元ないしは3次元的地殻ひずみ変化を同時に測定でき、しかも、それを人間になじみやすい可視的なパターン変化として表現できるような新しい地震予知監視システムを開発する必要がある。

本研究の目的は、工学の分野で自動車や航空機用機材の非破壊検査のほか、岩石や金属、プラスチック材料などの“応力”と“ひずみ”の関係を調べる室内実験にも利用されてい

る電子式スペックル・パターン干渉法(E S P I法)を地震予知の研究に導入し、地殻ひずみの3次元のパターン変化をモニター・テレビの画面上で可視的に表現できるシステムを開発することであり、その特徴は次のようなものである。

(1) E S P I法は、ホログラフィ干渉計測法と同様の原理に基づき、3次元的な物体の微小な形状変化をレーザー光の1/2波長を単位として定量的に検出することができる。この技術は、主として工学の分野で製品の非破壊検査などに利用されているが、地震予知の研究分野にこの方法を応用しようという試みは、本研究が世界で初めてである。

(2) 従来からの地殻ひずみ・傾斜の観測計器がいずれも1次元的な変化しか検出できなかったのに対して、E S P I法を用いた地震予知監視システムは2次元あるいは3次元の地殻ひずみ変化を同時に、しかも定量的に検出することができる。

(3) 本研究は、これまで地震予知研究に長年従事してきた日米の理学系の研究者と、光計測、特にE S P I法の専門家である工学系の研究者とが互いに協力し、人間の特性や機能の本質的な理解を起点としてハードウェアからソフトウェアまでを含めたE S P I式地震予知監視システムを開発しようとするものであり、特に地震予知のためのマン・マシン・インターフェイスとして、地殻変動の可視化をめざす学際的な研究である。

## 2. 研究経過および成果

(1) 地殻ひずみの時間的变化をスペックル・パターン干渉縞の移動の解析から精度よく検出できるE S P I式地震予知監視システムの開発への前段階として、1993年前半に、E S P I式孔中ひずみ計を開発した。この装置を用いて、種々の条件下における金属筒の微小ひずみ変化を実験室内で観測し、ひずみ変化に伴うスペックル・パターン干渉縞の時間的变化の一連の実験データを得た。

(2) 1993年11月に、コロラド大学のスペッツラー教授を本研究経費で日本に招聘し、上記実験で得られたデータを検討し、改良すべき問題点を明らかにした。その結果に基づいて、E S P I式記録装置の改良を行った。

(3) 都市雑音による振動がなく、しかも、温度変化が少ない地下坑道内に、E S P I式記録装置を設置するためのシステム設計を1993年の後半に行った。1994年前半に、京都市北区の京大理学部・上賀茂地学観測所の観測坑道内の入口から約15m奥に、E S P Iシステムを設置するためのベースを作った。器機取り付け用の基礎台の完成を待って、1994年度中に、同観測所内にE S P Iシステムを設置し、連続観測を開始する予定である。

京都大学においては、伸縮計や傾斜計を用いた地殻変動の連続観測を20年以上にわた

って続けている。また、最近ではレーザー・ホログラフィの干渉計測技術を地殻変動連続観測に応用する試みを世界に先駆けて行なった。その結果、地下観測坑道に設置された大型ホログラフィ装置を用いて、潮汐力によってひきおこされる観測坑道の変形の空間的なパターン変化をホログラム乾板上に現われる干渉縞の移動から精度よく求めることに成功した。しかし、この方法の最大の弱点は、手間のかかる湿式の写真処理（乾板の現像・定着・水洗など）の技術を必要とすることであり、また、長期間の連続観測に使用するためには乾板の吸湿によるホログラム像の劣化も問題になることも明らかになった。これらの問題点を解決するためには、電子式スペckル・パターン干渉法（ESP I法）の導入が最も有効であるとの結論に達した。ESP I法は、写真乾板を使用せずに、テレビ・カメラを通じて計算機のメモリーにいったん取り込んだ過去の画像データ（基準画像データ）と、現在見えている壁面からの反射波の画像データ（実時間画像データ）を計算機のなかで重ね合わせるにより干渉縞のパターンを得られるので、乾板処理の煩わしさから解放され、長期にわたるルーチン観測にも使用可能な地殻ひずみの精密測定装置をつくることができる。ESP I法を利用した地震予知監視システムは、高精度で、しかも、多次元的なひずみ変化の連続観測を可能にすることから、従来とは質的に異なる地殻変動観測データを地震予知のために提供することができ、地震の短期的予知という社会的要請において貢献できると考えられる。従来からのひずみ解析の方法に比べて、このシステムの最大の利点は、対象となる被写体に非接触で多次元的なひずみ変化を定量的に検出でき、しかも、地殻変動の可視化という人間になじみやすい測定システムを構築できることである。本研究の成果は、ポア・ホール内の地殻応力測定や地下構造物（例えば地下発電所や石油備蓄施設など）の動的および静的ひずみ解析などの工学的分野の研究にも広く応用できると期待される。

### 3. 発表論文リスト

1. 竹本修三：地球動力学研究におけるレーザー干渉法，応用物理，第63巻，第5号，495-498，1994.
2. Hirabayashi, J. and S. Takemoto, S.: Development of Crustal Stress Measurement Systems Using Electronic Speckle Pattern Interferometry, in Proceedings of the Optics Within Life Science III (OWLS III): Optical Methods in Biomedical and Environmental Sciences, ed. by H. Ozu and S. Komatsu, April 10-14, 1994, Tokyo, Japan, Elsevier, the Netherlands, 1994.