

Global Positioning System (GPS) を用いた地震予知の可能性

アイダン・オメル^{*1}

The Possibility of Earthquake Prediction by Global Positioning System (GPS)

Ömer AYDAN

Abstract

Many large earthquakes have been recently occurring in Japan and worldwide. The risk of Tokai earthquake has also been increasing day by day. Earthquakes cause huge loss of lives as well as properties and result in tremendous social and economical damage. If earthquake prediction can be done, it will result in not only saving lives but also minimizing the damaging effects of earthquakes.

In this study, an interpolation technique of finite element method proposed by Aydan [Aydan, 2000; Aydan, 2003] is first outlined and it is used to compute the strain rate and consequently stress rate in the tangential plane to the surface of the earth's crust from crustal deformation measurements by Global Positioning System (GPS). The stress rates derived from the GPS deformation rates for Turkey indicated that they can be effectively used to locate the areas with high seismic risk.

The method is then applied to the daily GPS measurements in the northern part of Miyagi prefecture during the period between 1998 and 2003. The computed variations of various components of strain and stress clearly indicated that remarkable changes started after the beginning of 2003 before the M7.0 Kinkazan earthquake that occurred on May 26, 2003 and M6.2 Miyagi-ken Hokubu earthquake on July 26, 2003. Changes occurred within 3 months before the M6.2 earthquake. The computed strain-stress variations clearly indicated that they tend to increase exponentially before large events. This type behaviour resembles to the tertiary stage in creep tests of geomaterials. They may be useful for near future earthquake prediction. However, they can not be used for very near future predictions, say, in the order of several hours to days unless their sensitivity of measurements is substantially improved.

The method is also used to compute the strain rate and consequently stress rate in Tokai and Kanto regions of Japan using GPS observation points operated by JGSI between 1997 and 2004. The computations indicated that there are high stress concentrations in Sagami Bay and at the northern part of Tokyo Bay. The stress and strain rates for the area in the close vicinity of the epicentres of anticipated Tokai are compared with seismic activity, and their implications are discussed. The stress variations since 1997 in Suruga Bay, where M8 Tokai earthquake is expected, are directly correlated with seismicity.

1. 序 論

近年、国内では2003年宮城県北部地震 (Mj6.2), 2004年新潟県中越地震 (Mj6.8) など大地震が連続して発生し、国外でも2004・2005年スマトラ沖地震 (M9.1, M8.6) など大地震が起きている。ここ東海地域でも、今後起こるであろう東海地震への恐怖が日々高まっている。地震は、尊い生命を奪い、住居を失わせ、今まで築いてき

た生活の全てを一瞬にして破壊する。また地震には津波や火災などの第二、第三の災害をもたらす危険性も含まれる。もし、地震予知ができれば、人の命を救うだけでなく、災害を最小限に抑える事も可能であると考えられる。

これまでに起きた地震の前兆現象として、動物の異常行動や地震雲の発生など様々な現象が報告されている。しかしこれらの現象は科学的には証明されていない。最近では、地震予知に、FM電波などを利用した新しい方法が注目を集めている。しかし、地震活動とは本来地殻に生じる

2007年1月24日受理

*1 東海大学海洋建設工学科 (Tokai University, Department of Marine Civil Engineering Shizuoka, Japan)

力学的な破壊活動であり、その意味で地殻の力学的活動を詳細に検討する必要があるものと考えられる。

本研究では、トルコにおける地震と2003年宮城県北部地震を例として、地震予知の重要なパラメータである発生位置および発生時刻に関して GPS データによる予知の可能性を検討した。また、これらの結果を踏まえて、関東・東海・東南海地震に対して GPS 計測による予知の可能性についても論じた。

2. GPS による地殻の変位計測

GPS とは、人工衛星を利用した測量システムであり、正式名称は Global Positioning System, 日本名では汎地球測位システムと呼ばれるものである。この衛星は軌道高度 20,200km, 周期12時間の人工衛星で、GPS 衛星と呼んでいる (図-1)。GPS 衛星から発信される電波を利用して、その位置と時刻を地上で受信することにより、地球上の経度、緯度及び高度の三次元的な位置を正確に決定することができる (たとえば、Dana (1998) を参照)。GPS は当初アメリカによって軍事目的として開発されたが、現在では、様々な分野で利用されている。その一つはプレートの変形を求めるのに利用されている (Oral, 1994; Aydan, 2000; Hori *et al.* 2000; Mazotti *et al.* 2001)。例えば、国土地理院では、1993 年以来各種測量の基準点と別に、地震や火山噴火予知研究のための GEONET と呼ばれる広域地殻変動監視システムを約 20km 間隔で約1200点の電子基準

点を設置している。正確で信頼性のある測定を可能にするためには、少なくとも4つの衛星から同時に信号を受けることが必要である (図-2)。その受信点の位置は衛星の出す信号の到達時刻から幾何学的に算出される。

3. GPS による地殻のひずみと応力場の求め方

3.1 地殻のひずみ速度と変位速度の関係

連続体力学にしたがって (Eringen, 1980), 地殻のひずみ速度は垂直およびせん断ひずみ速度成分に分離され、次のように定義される (図-3) (Aydan 2000)。

$$\begin{array}{ll} \text{垂直ひずみ速度成分} & \text{せん断ひずみ速度成分} \\ \left. \begin{array}{l} \dot{\epsilon}_{xx} = \frac{\partial \dot{u}}{\partial x} \\ \dot{\epsilon}_{yy} = \frac{\partial \dot{v}}{\partial y} \\ \dot{\epsilon}_{zz} = \frac{\partial \dot{w}}{\partial z} \end{array} \right\} (1.a) & \left. \begin{array}{l} \dot{\gamma}_{xy} = \frac{\partial \dot{v}}{\partial x} + \frac{\partial \dot{u}}{\partial y} \\ \dot{\gamma}_{yz} = \frac{\partial \dot{w}}{\partial y} + \frac{\partial \dot{v}}{\partial z} \\ \dot{\gamma}_{zx} = \frac{\partial \dot{w}}{\partial x} + \frac{\partial \dot{u}}{\partial z} \end{array} \right\} (1.b) \end{array}$$

ここで、 $\dot{u}$ と、 $\dot{v}$ および $\dot{w}$ はそれぞれ x 方向、 y 方向、および z 方向の変位速度を表す。 $\dot{\epsilon}_{xx}$, $\dot{\epsilon}_{yy}$ と $\dot{\epsilon}_{zz}$ は、 x , y および z 平面に作用する垂直なひずみ成分を表し、 $\dot{\gamma}_{xy}$, $\dot{\gamma}_{yz}$ と $\dot{\gamma}_{zx}$ は、せん断ひずみ成分を表す。GPS より得られる情報は地表面上で3次元であるが、地球の内部方向の変形に対する情報を得ることができない。そこで地殻のひずみや応力状態を求める際には、問題を以下のように2次元に取り扱うことにする。

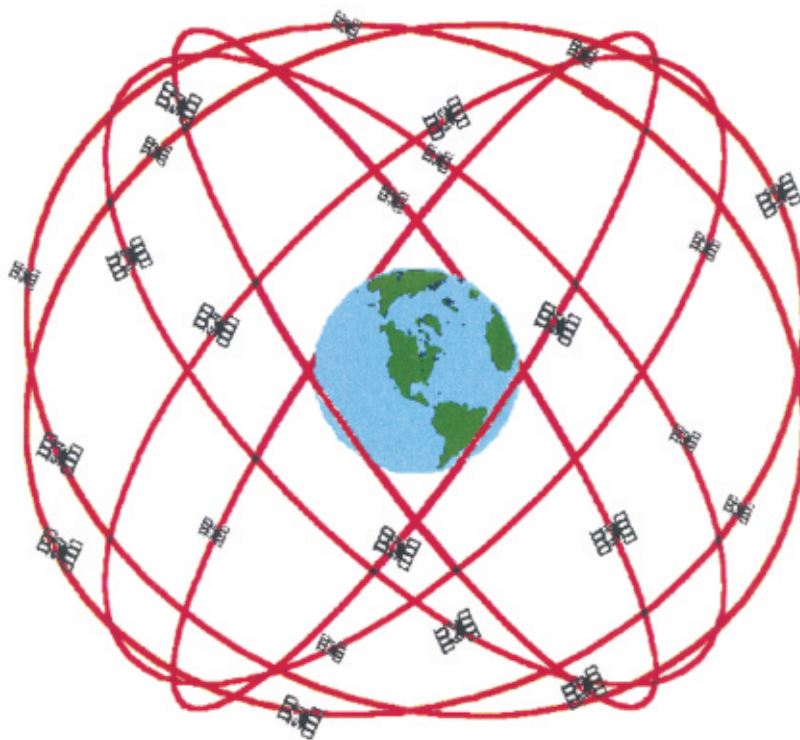


図-1: GPS 衛星の起動と配置 (Dana, 1998)

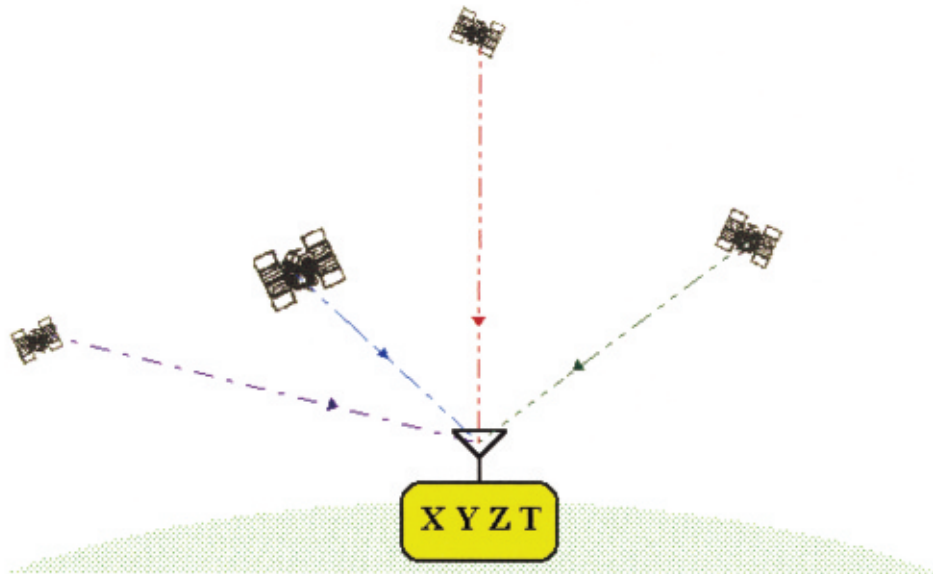


図-2：GPS測定の原理 (Dana, 1998)

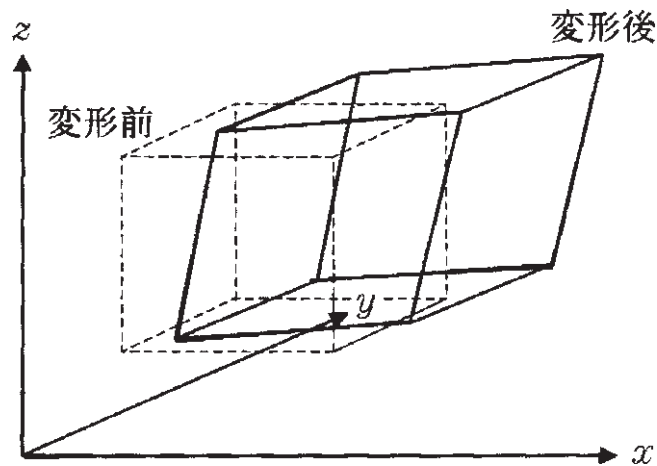


図-3：物質の変形図

$$\dot{\epsilon}_{xx} = \frac{\partial \dot{u}}{\partial x}; \quad \dot{\epsilon}_{yy} = \frac{\partial \dot{v}}{\partial y}; \quad \dot{\gamma}_{xy} = \frac{\partial \dot{v}}{\partial x} + \frac{\partial \dot{u}}{\partial y} \quad (2)$$

また、上述したように、GPS では、地球の内部の変形に対する情報が得られない。そのため、 $\dot{\epsilon}_{xx}$, $\dot{\gamma}_{yz}$, $\dot{\gamma}_{zx}$ のひずみ速度を求めることは不可能である。

そこでせん断ひずみ速度を変形し、傾斜ひずみ速度と解釈し下記のように表すことにする。

$$\dot{\gamma}_{zx} = \frac{\partial \dot{w}}{\partial x} \quad \dot{\gamma}_{zy} = \frac{\partial \dot{w}}{\partial y} \quad (3)$$

GPS によって観測される変位速度を用いてひずみ速度の求め方に関して有限要素法で利用されている形状関数の考え方を導入する。有限要素法では、一般的に任意の要素内において (図-4)、変位速度は次式のように与えられる。

$$\{\dot{\epsilon}\} = [N]\{\dot{U}\} \quad (4)$$

ここで $[N]$ は形状関数行列、 $\{\dot{U}\}$ は接点の変位速度ベク

トルを表す。要素の接点数とタイプによって具体的な形が異なる (詳細について、たとえば Reddy (1993), 市川 (1990) などを参照)。また、式 (1) と式 (4) を利用して任意の要素内におけるひずみ速度と変位速度の関係は、次式のように得られる。

$$\{\dot{\epsilon}\} = [B]\{\dot{U}\} \quad (5)$$

3.2 地殻のひずみ速度と応力速度の関係

地殻の応力場とひずみ場を関係付けるため地殻の構成則が必要である。地殻を構成する媒体に関して様々な構成則が提案されている。その中で線形的な構成則としては Hooke 則, Newton 則, Voigt-Kelvin 則を取り上げることができる。地殻が非線形挙動を示す場合、弾塑性や粘弾塑性のような構成則の利用が必要となる。本研究では最も単純である Hooke 則を利用することにし、次のように表す。

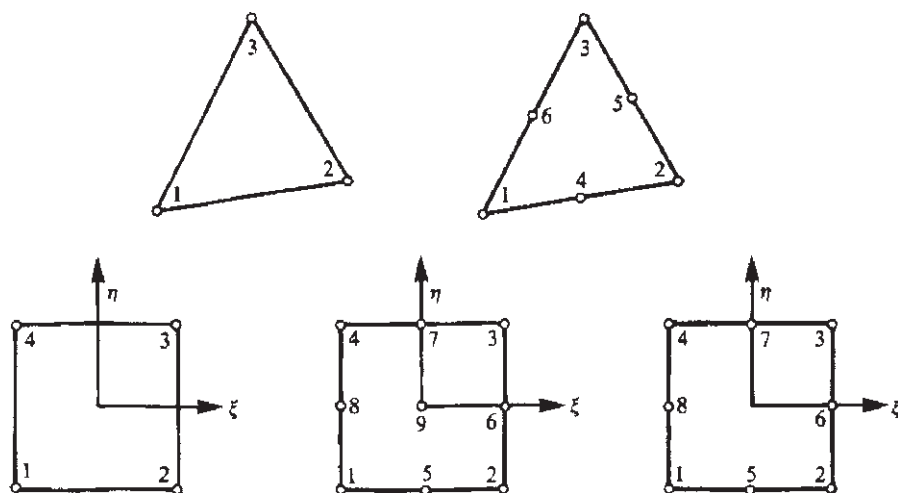


図-4：有限要素法で用いられる要素例（アイダゲン，2006）

$$\begin{Bmatrix} \dot{\sigma}_{xx} \\ \dot{\sigma}_{yy} \\ \dot{\sigma}_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda+2\mu & \lambda & 0 \\ \lambda & \lambda+2\mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\epsilon}_{xx} \\ \dot{\epsilon}_{yy} \\ \dot{\epsilon}_{xy} \end{Bmatrix} \quad (6)$$

上式における Lamé 定数 λ と μ の値は 30GPa であると仮定する (Fowler, 1990)。

3.3 破壊基準

岩盤力学の分野では、Tresca, Von-Mises, Mohr-Coulomb, Drucker-Prager のような破壊基準（降伏基準）が利用されている。特に、地殻に関して Mohr-Coulomb 破壊基準はよく利用され、この破壊基準は下記のように与えられる。

$$\sigma_1 = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} \sigma_3 + \frac{2c\cos\phi}{1-\sin\phi} \quad (7)$$

ϕ は摩擦角で、 c は粘着力を表す。しかし、この破壊基準は中間主応力との関係がない。それゆえ、Drucker-Prager 破壊基準は、Von-Mises と Mohr-Coulomb の破壊基準を合わせて一般的に数値計算に使用される有効的な破壊基準である (Owen and Hinton, 1980)。この破壊基準は次の式のように与えられる。

$$\alpha I_1 + \sqrt{J_2} = K \quad (8)$$

ここで

$$I_1 = \sigma_I + \sigma_{II} + \sigma_{III};$$

$$J_2 = \frac{1}{6} [(\sigma_I - \sigma_{II})^2 + (\sigma_{II} - \sigma_{III})^2 + (\sigma_{III} - \sigma_I)^2]$$

$$\alpha = \frac{2\sin\phi}{\sqrt{3}(3+\sin\phi)}; K = \frac{6c\cos\phi}{\sqrt{3}(3+\sin\phi)}$$

(Mohr-Coulomb 六角形の内側の頂点に合わせた場合)

3.4 地震発生の可能性がある場所の同定

地震発生の可能性がある場所を同定するためには、3.3 節で紹介した全応力と与えられる地殻の破壊規準と地殻の

応力状態を比較しなければならない。その応力状態は、GPS 測量開始前の応力状態（初期応力）と GPS 測量開始後の応力変化の線形的な和に等しく、次式で与えられる。

$$\{\sigma\} = \{\sigma\}_0 + \int_{t_0}^t \{\dot{\sigma}\} dt \quad (9)$$

GPS の結果より応力増分を求めることができて、初期応力 $\{\sigma\}_0$ が分からなければ、地震発生場所は同定することができない。多くの国では、地殻の初期応力を把握できていないのが現状である。しかし、GPS 結果から得られる応力速度より地震発生の可能性がある場所の同定をするため、最大せん断応力速度 ($\dot{\tau}_{\max}$)、平均応力速度（体積応力速度）($\dot{\sigma}_m$)、破壊接近度応力速度 ($\dot{\tau}_d$) の三つの応力速度を定義する。

$$\dot{\tau}_{\max} = \frac{\dot{\sigma}_1}{2} - \frac{\dot{\sigma}_3}{2} \quad (10a)$$

$$\dot{\sigma}_m = \frac{\dot{\sigma}_1}{2} + \frac{\dot{\sigma}_3}{2} \quad (10b)$$

$$\dot{\tau}_d = |\dot{\tau}_{\max}| + \beta \dot{\sigma}_m \quad (10c)$$

ここで β は、摩擦係数に相当するものである。これらの応力速度が集中する場所は、地震発生の可能性がある場所として考えられる。例えば破壊接近度応力速度と名づけた応力速度は平均応力速度と最大せん断応力速度に関連したもので、地殻破壊の可能性を表す最も有力なパラメータとなる可能性がある。

4. GPS 計測結果に基づいた地震予知の可能性

地震を予知することは、地震の発生位置、発生時刻および規模（マグニチュード）を予測することである。この節では GPS データからそれらの予測が可能かどうかについて、具体的な事例を通して検討する。

4.1 発生位置の予知（トルコにおける地震への適用）

Massachusetts Institute of Technology and General Command of Mapping of Turkey (MIT-GCMT) が設置した50個所のGPS観測点 (Reilinger *et al.* 1997) に関して、三角要素網を作成した。図-5は、1988～1994年間の平均変位速度ベクトルを示す。

地球表面のひずみ速度と応力速度状態は、前節で説明した手法を利用して計算した。Lame定数を30GPaとして計算した応力速度状態は図-6に示す。中央アナドルにお

いて変化がほとんど見られないが、NAFに沿ってBoluとMarmara海域で応力が集中し、また図-6においてNAFとEAFが交差するKarliovaとWAFSのGedizとB. Menderes地溝はやはり注目するところである（地名と断層について図-7を参照）。特に、1967年でのMudurnusuyu地震の震源近くでの応力変化は、引っ張りの性質をもっている。同様な応力変化は、Manyas, Dikili, Torbalı, およびDenizliの近くで観察される。それらが近い未来に地震発生に影響されやすいと考えられるので、

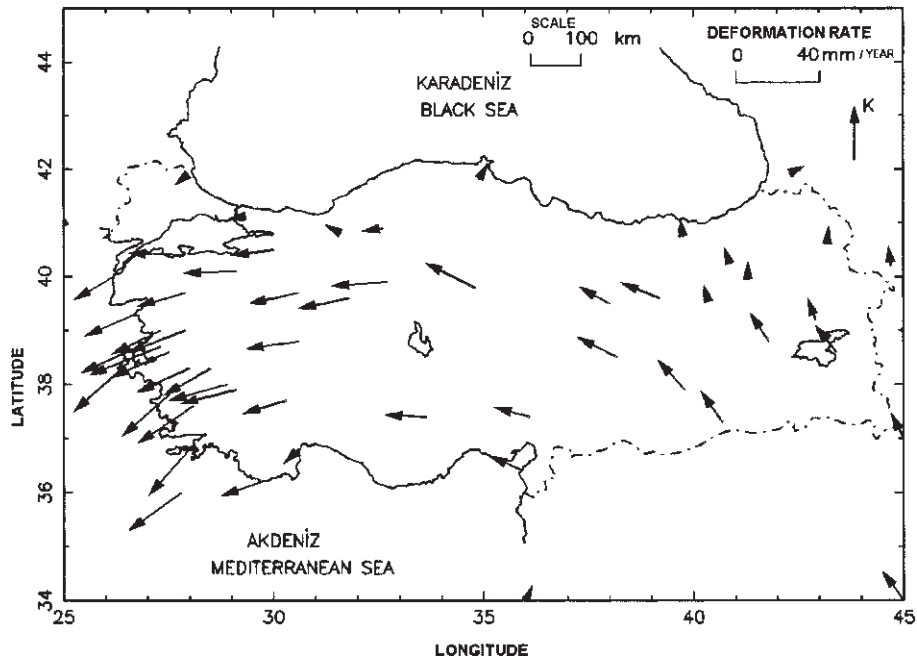


図-5：トルコのGPS観測点における1988～1994年の期間の水平変位速度ベクトル

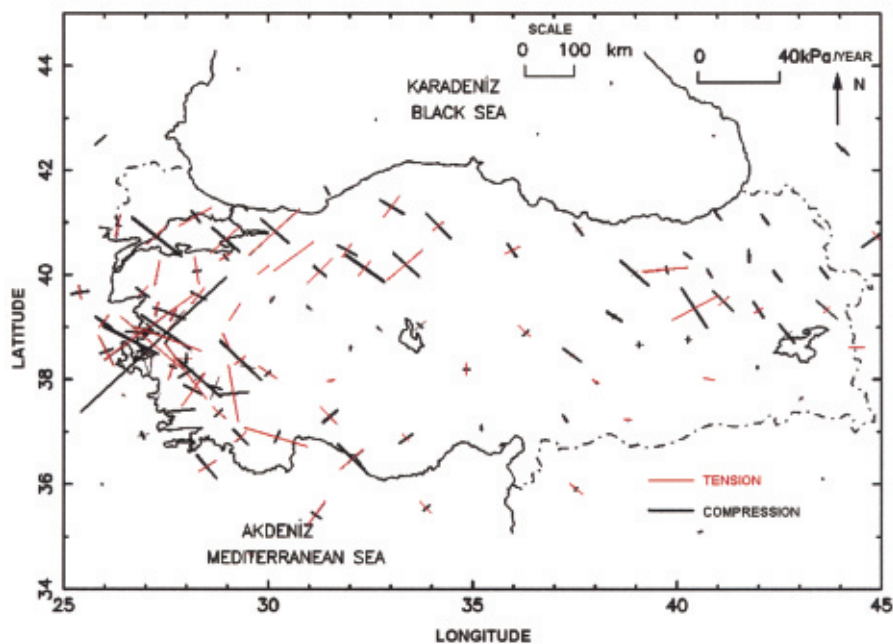


図-6：トルコ全域での主応力増分状態

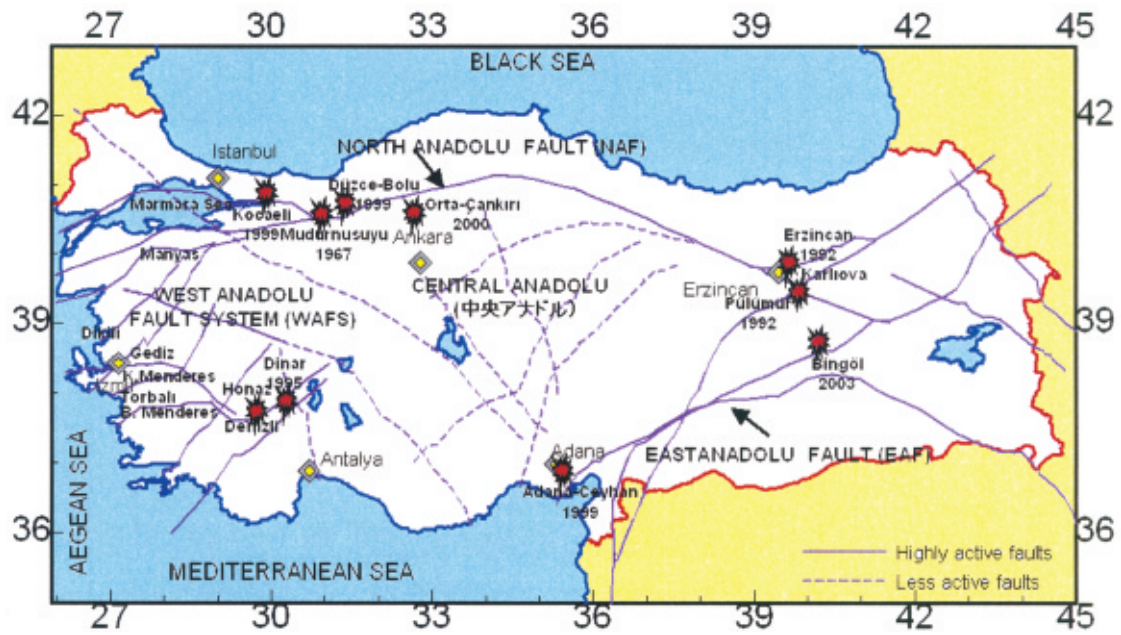


図-7：地名、主な断層および主な大地震

これらの地域は慎重に監視しなければならない。

1988～1994年の期間に二つの大きな地震が発生している(図-7)。それは、1992年のErzincan地震(M6.8)とPütümür地震(M6.0)で、この期間の後に1995年にDinar地震(M6.0)、1998年にAdana-Ceyhan地震(M6.2)、1999年にKocaeli地震(M7.4)とSapanca地震(M5.8)そしてDüzce-Bolu地震(M7.2)が起きている。第3節で定義

した平均応力速度のコンターを図-8に示す。図-9では1995年と2003年の間に起きたマグニチュード5以上の地震の震源(震央)と共に、破壊接近度応力速度を示す。Aydanら(2000)が示した通り、トルコでの最近の地震の震源地はほぼ最大せん断応力、破壊接近度応力速度あるいは平均応力速度が大きく発生しているところと一致している。従って、最大せん断応力、平均応力速度と破壊接近

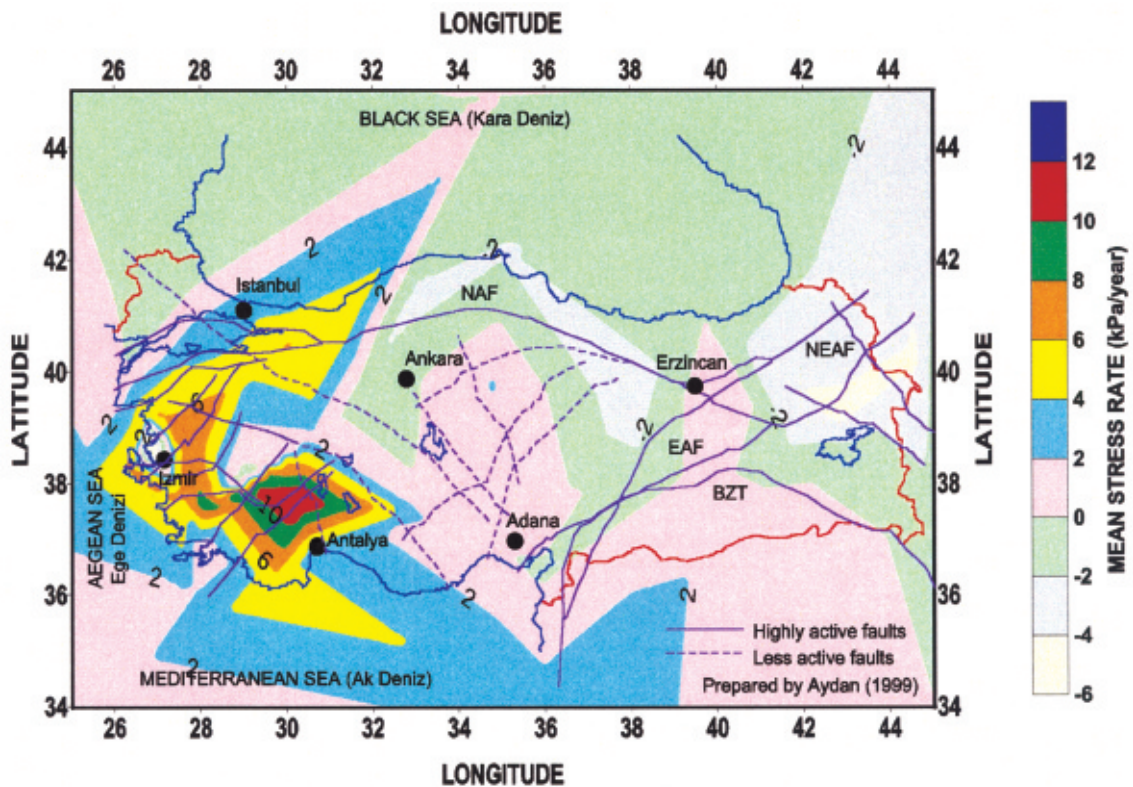


図-8：平均応力速度のコンター図

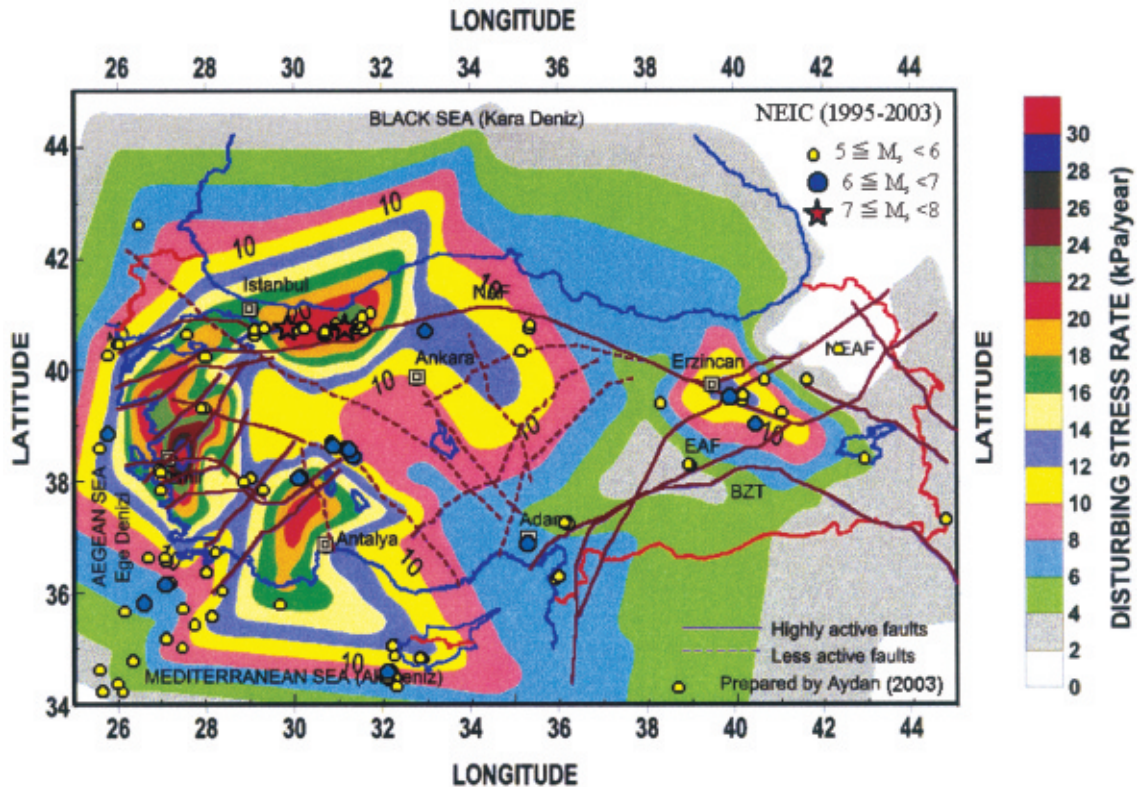


図-9：破壊接近度応力速度のコンター図と1995～2003年の地震震源地の関係

度応力速度が集中するところは地震発生のある場所を同定する上で有効的な判断基準になると期待される。特に1999年のKocaeli, Düzce-Bolu, 2000年のOrta-Çankırı, Honaz-Denizli地震の震源地は、これらの応力速度成分が集中している地域と一致している。

4.2 発生時刻の予知（宮城県北部地震における検討結果）

2003年に発生した宮城県北部地震は、マグニチュードMj6.2、深さ12km、震央38.43°N, 141.20°E、逆断層地震である。図-10に宮城県北部地震の震源地付近のGPS観測点、三角網図、およびマグニチュード1.7以上の地震を示す。図-10に示した各GPS観測点のGPS計測データより、3章で定義した式を用い、変位変化、ひずみ変化、および傾斜ひずみ変化を求めた。ここで、最大主ひずみおよび東西方向の傾斜ひずみ変化として表した結果を図-11に示す。同図にひずみ・応力変化と観測点近傍で発生する地震との関係を検討するため、地震影響指数（MRI）と呼ぶ下記のようなパラメータを棒グラフとして表示した。

$$MRI = \frac{M}{R} \times 100 \quad (11)$$

ここにMは地震のマグニチュード、Rは観測位置と震央の間の距離である。この結果は、クリープ試験結果に類似している。破壊接近度応力の変化を図-12に示す。地震の発生する3ヶ月前あたりから、応力速度が変化している様子が鮮明に見てとれる。この地震の前兆現象は、クリープ

試験での応答と類似し、GPSのデータによる地震予知の妥当性を示すものであると考えられる。また、一日における変動幅が大きい、週単位で岩石・岩盤のクリープ破壊過程に類似したひずみの変化を鮮明に見受けることができる。したがって、週単位で地震の発生時刻の予測は高いといえよう。

4.3 東海地域の各種応力速度

図-13と図-14は、1997年1月1日から2004年6月30日までの富士、御前崎、および南伊豆のGPS計測の変位より求めた各種応力速度と地震影響指数の関係を示している。伊豆沖地震によって各種応力速度に大きな変化が見られる。また、2003年初めにも大きな変化が見られるが、これはアメリカがイラク戦争の際、変位に異常が出たためであると考えられる。しかし、上記の期間中に伊豆沖群発地震時期以外に大きな異常が見受けられない。

4.4 東海・関東地域のGPS観測および三角要素網図

東海・関東地域から、91箇所のGPS観測点を選定し、各観測点の変位速度より、最大せん断応力の変化、平均応力の変化、破壊接近度応力の変化を求めた（図-15, 16, 17）。解析期間は1996年4月26日から2004年4月4日までとした。ここでは平均応力、最大せん断応力と破壊接近度応力の変化を示す。平均応力変化を見ると、伊豆半島の周辺では圧縮が大きい。逆に相模湾や東京湾で引っぱりに転

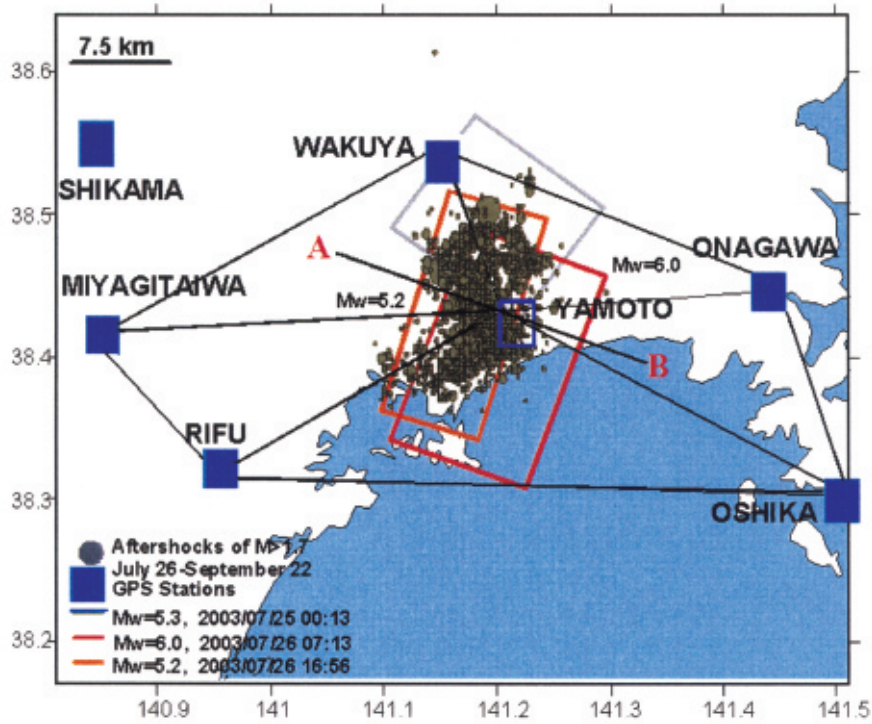


図-10：GPS観測点に対する三角要素網図

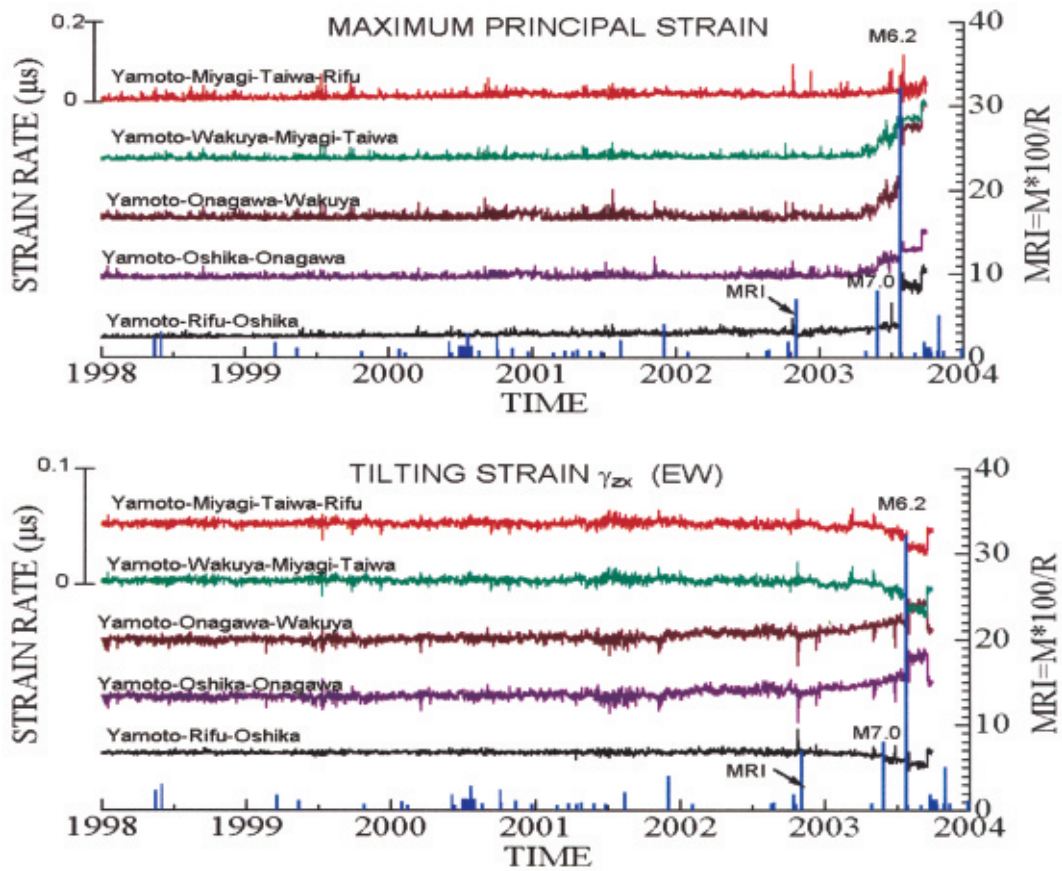


図-11：最大主ひずみおよび東西方向の傾斜ひずみ変化

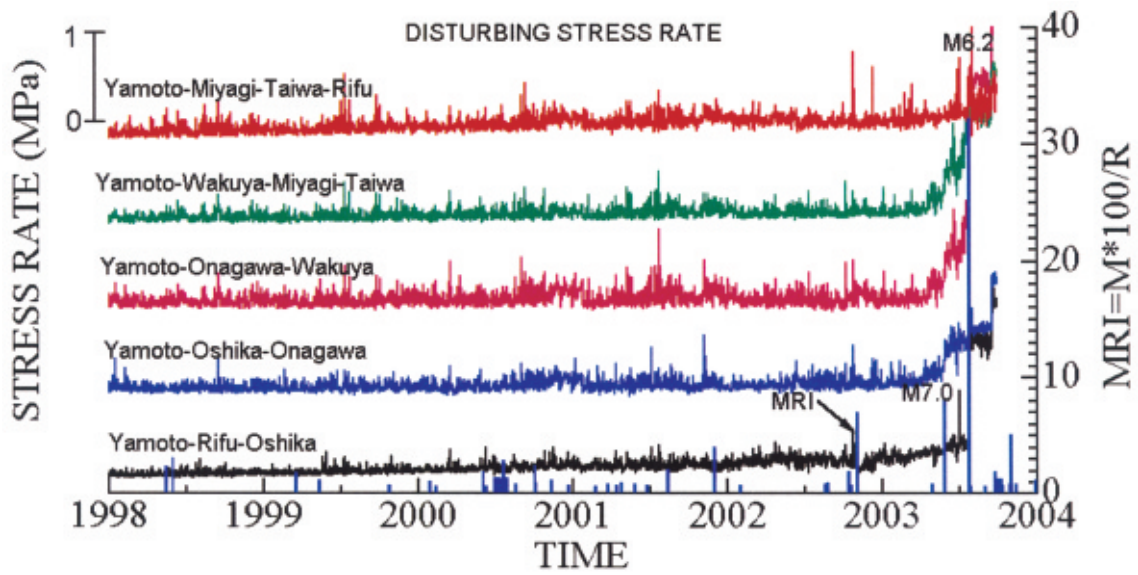


図-12：破壊接近度応力速度地震分布図

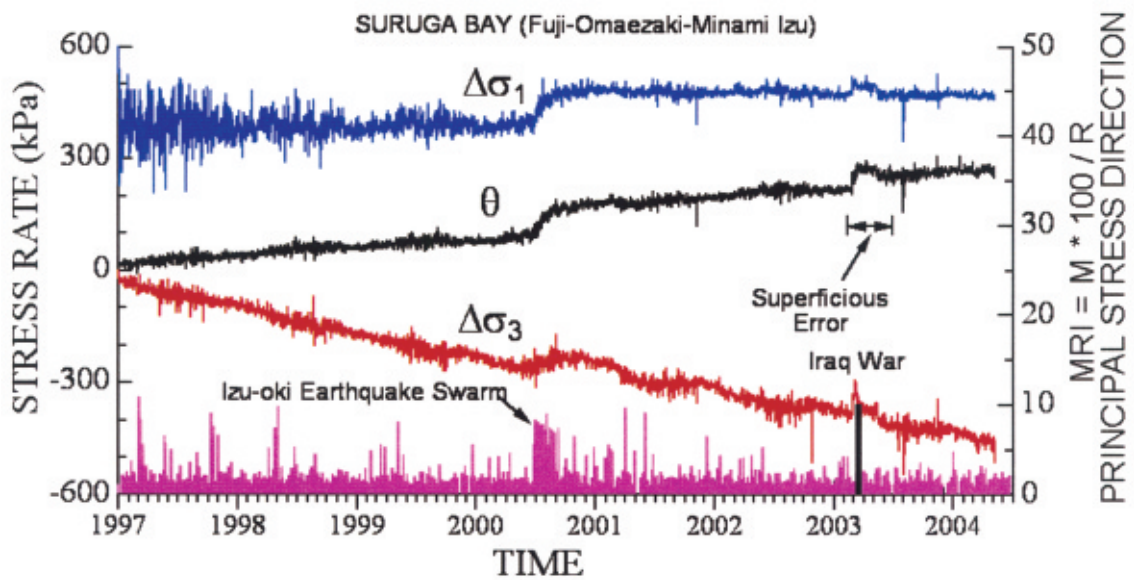


図-13：駿河湾地域の主応力およびその方向の変化と地震影響指数の関係

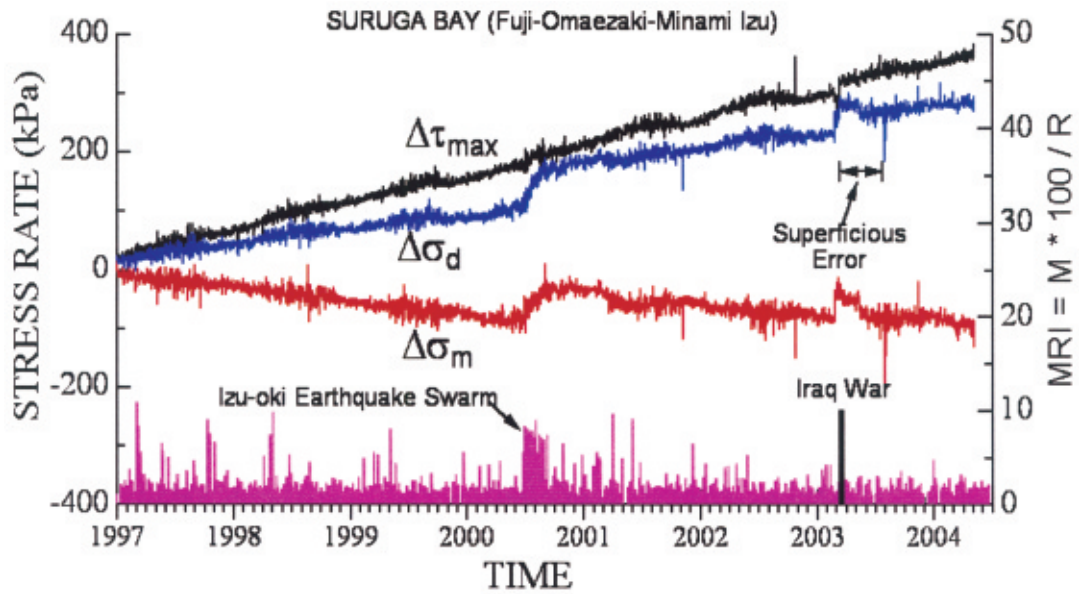


図-14 最大せん断応力速度，平均応力速度，破壊接近度応力の変化と地震影響指数の関係

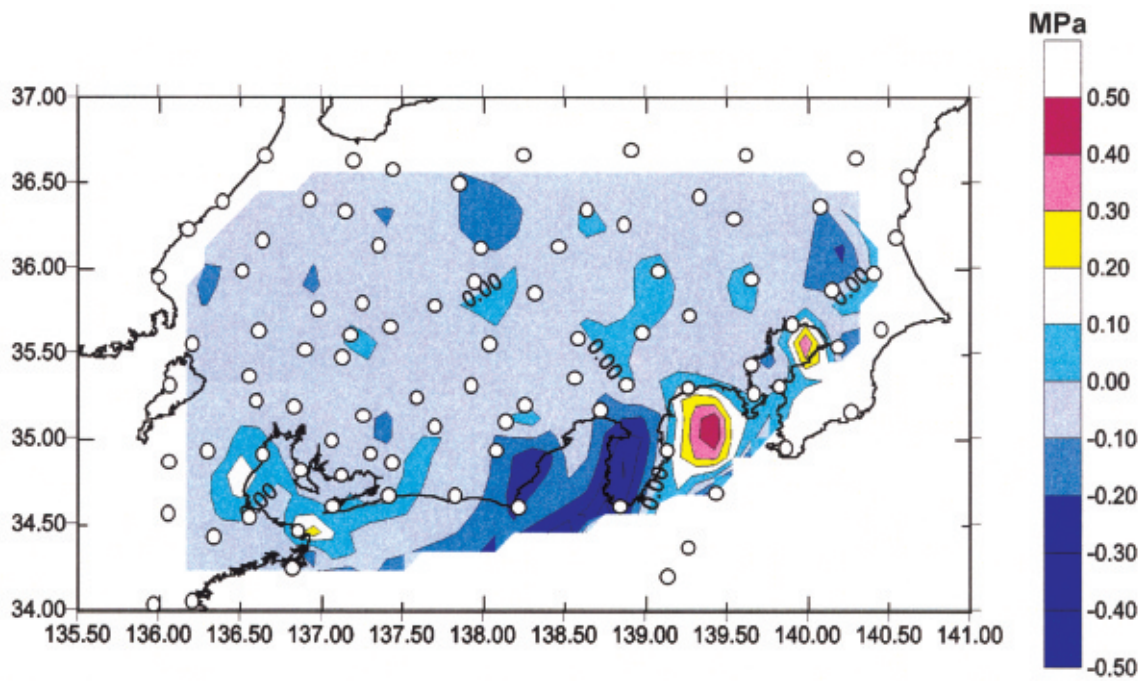


図-15：平均応力の変化のコンター図

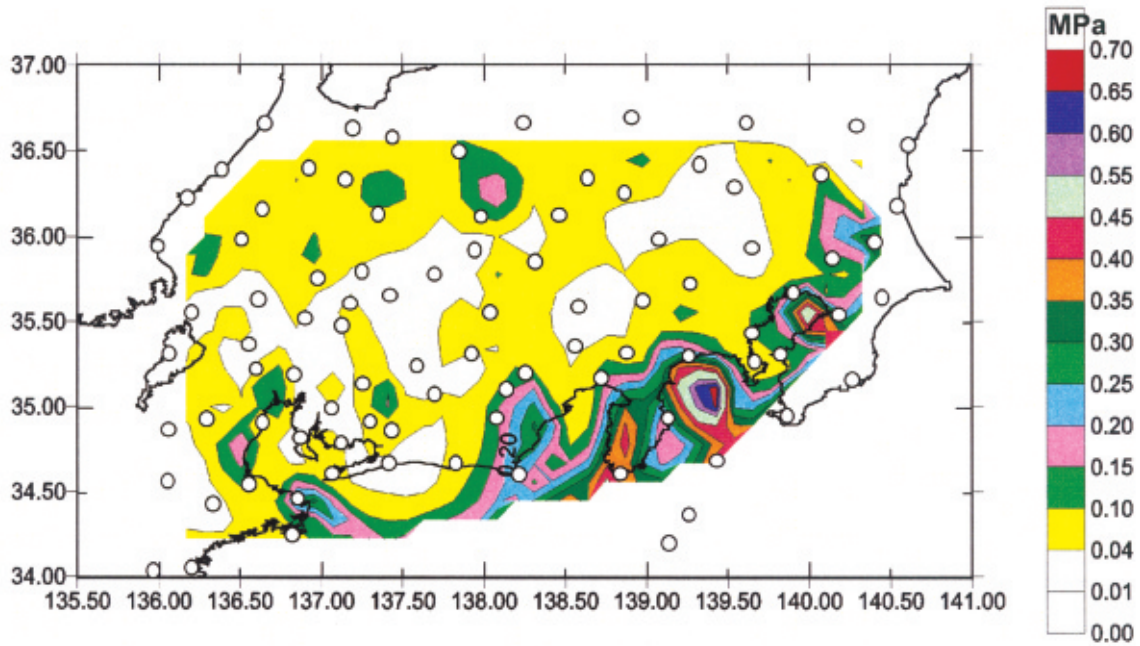


図-16：最大せん断応力変化のコンター図

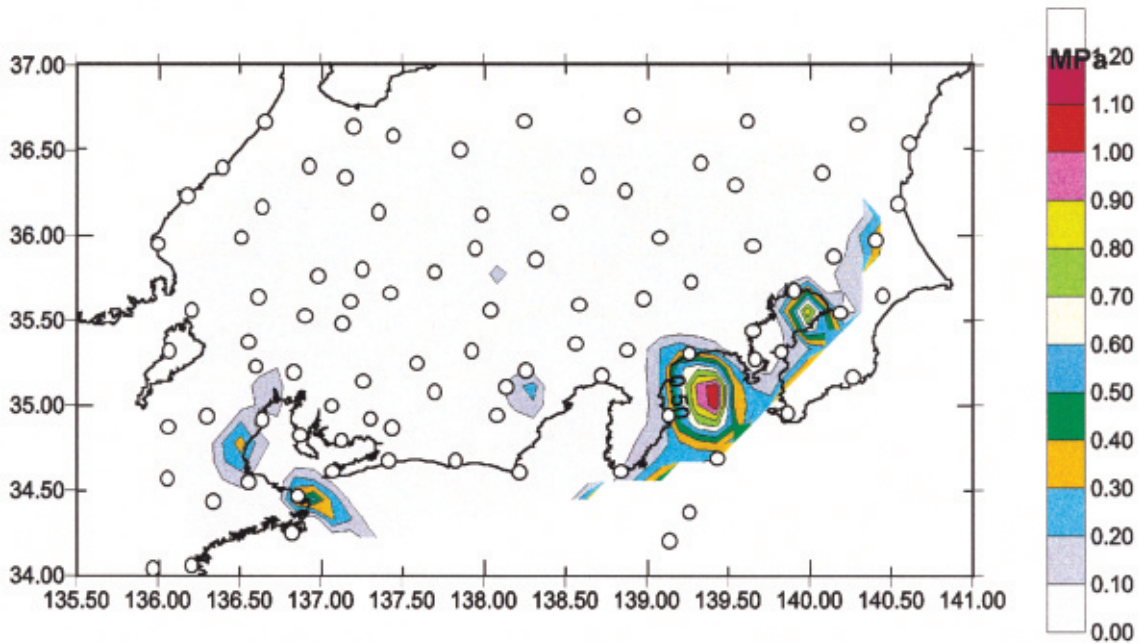


図-17：破壊接近度応力の変化のコンター図

じている。最大せん断応力および破壊接近度応力変化よりも、相模湾と東京湾の北部分に大きな変化が見られる。4.1節で説明したトルコの事例を考慮すると、これらの地域で地震が起こる可能性が高いと考えられる。

4.5 規模の推定

紹介した事例より地震の発生位置と発生時刻を予測することが可能であると思われるが、規模について現段階で具

体的な検討例がない。しかし、1999年に発生した Kocaeli (M7.4) および Düzce-Bolu 地震 (M7.2) の例 (図-8 を参照) より、ひずみエネルギーが蓄積される領域の大きさと地震の規模の間に密接な関係があると考えられる。今後の課題として残されているが、今までの地震に対するさらなる検討によって、その可能性が明らかになるでしょう。

5. 結 論

本研究で、GPS 測定結果から地表面近傍のひずみと応力状態を求めることができる手法を紹介した。この方法の実例としてトルコ、宮城県北部および中部日本における GPS 測定結果を適用した。トルコでの最近の地震の震源地はほぼ最大せん断応力、破壊接近度応力速度あるいは平均応力速度が大きく発生しているところと一致している。従って、最大せん断応力、平均応力速度と破壊接近度応力速度が集中するところは地震発生の可能性がある場所を同定する上で有力的な判断基準になると期待される。

宮城県北部地震のように GPS の測定結果を利用して求めたひずみ速度、応力速度、最大せん断応力速度、平均応力速度および破壊接近度応力速度結果から、一日における変動幅が大きいが、週単位で岩石・岩盤のクリープ破壊過程に類似したひずみの変化を鮮明に見受けることができた。よって、GPS は地震予知に関して有力な手段であり、週・月単位で予知の可能性が高い。しかし、測定精度を高めないと短期予知（日・時単位で）は難しいと判断される。

1997年1月1日から2004年6月30日までの富士、御前崎、および南伊豆の GPS 計測の変位より求めた各種応力速度と地震影響指数の関係より伊豆沖群発地震時期以外に大きな異常が見受けられない。

東海・関東地域に関して91箇所の GPS 観測点の変位速度より、最大せん断応力の変化、平均応力の変化、破壊接近度応力の変化を求めた。特に最大せん断応力および破壊接近度応力の変化より、相模湾と東京湾の北部分に大きな変化が見受けられた。したがって、これらの地域が近い未来に地震発生に影響されやすいと考えられるので、これらの地域は慎重に監視しなければならない。

参考文献

- Aydan, Ö. (2000). A stress inference method based on GPS measurements for the directions and rate of stresses in the earth's crust and their variation with time. *Yerbilimleri*, **22**, 21-32.
- Aydan, Ö., Kumsar, H. and Ulusay, R. (2000). The implications of crustal strain-stress rate variations computed from GPS measurements on the earthquake potential of Turkey. *Int. Conf. of GIS on Earth Science and Applications*.

- ICGESA' 2000, Menemen.
- Aydan, Ö. (2003): The earthquake prediction and earthquake risk in Turkey and the applicability of Global Positioning System (GPS) for these purposes. *Turkish Earthquake Foundation, TDV/KT 024-87*, 1-73 (in Turkish).
- Aydan, Ö. (2004): Implications of GPS-derived displacement, strain and stress rates on the 2003 Miyagi-Hokubu (Japan) earthquakes. *Yerbilimleri*, 30.
- アイダグ・オメル (2006): 岩盤力学の立場から GPS 法を含む地震予知の可能性を探る. 深田研究所, No.88.
- Dana, P. H. (1998). *The Geographer's Craft Project*, Department of Geography, The University of Colorado at Boulder.
<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.f.html>
- Eringen, A. C., 1980. *Mechanics of Continua*, R. E. Krieger Pub. Co., New York.
- Fowler, C.M.R., 1990. *The solid earth-An introduction to Global Geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Hori, M., Kameda, T. and Kato, T. (2000). Prediction of stress field in Japan using GPS network data, *Earth Planets Space*, **52**, 1101-1105.
- 市川康明 (1990): 地盤力学における有限要素法入門. 日科技連出版社.
- 国土地理院: <http://www.gsi.go.jp/>
- Mazzotti, S., Henry, P. and Le Pichon, X. (2001). Transient and permanent deformation of central Japan estimated by GPS: 2. Strain partitioning and arc-arc collision. *Earth and Planetary Science Letters* **184** (2001) 455-469.
- Oral, M. B. (1994). *Global Positioning System (GPS) Measurements in Turkey (1988-1992): Kinematics of the Africa-Arabia-Eurasia Plate Collision Zone*. PhD Thesis, Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology.
- Owen, D. R. J. and Hinton, E. (1980). *Finite Elements in Plasticity. Theory and Practice*. Pineridge Press Limited, Swansea, UK.
- Reddy, J. N. (1993). *Introduction to the Finite Element Method*. McGraw-Hill.
- Reilinger, R. E., McClusky, S.C., Oral, M.B., King, R.W., Toksöz, M. N., Barka, A. A., Kınık, I., Lenk, O., Şanlı, I. (1997). Global positioning system measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Euroasia plate collision zone, *J. Geophysical Research*, **102**, B5, 9983-9999.

要 旨

近年、国内外で大地震が起きている。東海地域でも、今後起こるであろう東海地震への恐怖が日々高まっている。地震は、尊い生命を奪い、住居を失わせ、今まで築いてきた生活の全てを一瞬にして破壊する。また地震には津波や火災などの第二、第三の災害をもたらす危険性も含まれる。もし、地震予知ができれば、人の命を救うだけでなく、災害を最小限に抑える事も可能であると考えられる。

本研究で、Aydan (2000, 2003) が提案した GPS 測定結果から地表面近傍のひずみと応力状態を求めることができる手法を紹介した。その手法をトルコ、宮城県北部および中部日本における GPS 測定結果に適用した。トルコでの最近の地震の震源地はほぼ最大せん断応力、破壊接近度応力速度あるいは平均応力速度が大きく発生しているところと一致していること明らかになった。従って、最大せん断応力、平均応力速度と破壊接近度応力速度が集中するところは地震発生の可能性のある場所を同定する上で有効的な判断基準になると期待される。

宮城県北部地震のように GPS の測定結果を利用して求めたひずみ速度、応力速度、最大せん断応力速度、平均応力速度および破壊接近度応力速度結果から、一日における変動幅が大きい、週単位で岩石・岩盤のクリープ破壊過程に類似したひずみの変化を鮮明に見受けることができた。よって、M6 クラスの中規模の地震でも GPS は地震予知に関して有効的な手段であり、週・月単位で予知の可能性が高い。しかし、測定精度を高めないと短期予知（日・時単位）は難しいと判断される。1997年1月1日から2004年6月30日までの富士、御前崎、および南伊豆の GPS 計測の変位より求めた各種応力速度と地震影響指数の関係より伊豆沖群発地震時期以外に大きな異常が見受けられない。

東海・関東地域に関して91箇所の GPS 観測点の変位速度より、最大せん断応力の変化、平均応力の変化、破壊接近度応力の変化を求めた。特に最大せん断応力および破壊接近度応力の変化より、相模湾と東京湾の北部分に大きな変化が見受けられた。したがって、これらの地域が近い未来に地震発生に影響されやすいと考えられるので、これらの地域は慎重に監視しなければならない。