

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

東海地方における地殻活動モニタリングの高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(1) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化

ウ．東海・東南海・南海地域

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

ウ．広域の地殻構造と地殻流体の分布

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

これまでの観測研究の結果は、東海地域における観測研究の継続的実施の重要性を如実に示している。そこで、今次 5 か年計画においても東海地域における地殻変動、電磁気及び重力の観測を継続実施し、この地域の地殻活動を連続的にモニタリングする。特に GPS 及び電磁気観測においてはテレメータ方式を増設し、モニタリングの高度化並びに観測にかかる労力の軽減を実現して、データのより高度な数理解析への展開を計る。

1) 東海地方において稠密 GPS アレイ観測を実施し、詳細な地殻変動をモニタリングする。

東海地方に設置されている高密度 GPS 観測網の観測を継続し、GEONET データと併合処理することにより東海地方の地殻変動を詳細にモニタリングする。また、テレメータ化した観測点では 10Hz の高頻度サンプリング観測を実施し、地震波等の高速の現象が検出できるか試験的な研究観測を実施する。得られたデータに基づき沈み込むフィリピン海プレートの固着の時間変化を明らかにする。相良においては地殻活動総合観測装置による観測を継続し、富士川観測所などの石英管伸縮計、水管傾斜計およびボアホール歪計などの連続観測から得られる歪・傾斜変化と比較し、地殻活動の時間変化を連続的にとらえる。

2) 東海地方において電磁気変化をモニタリングする。

東海地方において、広域的応力場変化、地殻内流体の移動をモニターするための、全磁力、3 成分磁場連続観測を実施する。観測点項目ないし配置の見直しにより、地殻活動に関連した電磁気現象の検知能力を高める。

3) 東海地方において重力観測を実施する。

東海地方の複数点で絶対重力観測を年間 3 回程度繰り返すとともに、その周辺域で相対重力観測を同時に実施して、重力値の時間変化を面的に捉える。

4) 地殻変動・地磁気及び重力変化を統合した東海地域のプレート運動とそれに伴う各種現象のモデル化の試みにチャレンジする。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要 :

平成 21 年度においては以下の観測研究を実施する :

1) GPS 観測の継続実施

高頻度サンプリング GPS 観測の導入

相良におけるポアホール連続観測の継続実施

観測データの整理・解析と解析処理によるプレート固着変化及び短期スローイベントの検出

2) 地磁気観測の継続実施

観測データの整理・解析と東海地方の地磁気活動の解明

3) 絶対及び相対重力観測の継続実施

観測データの整理・解析とプレート運動に伴う重力変化の検出とモデル化

4) フィリピン海北縁部(東海・東南海・南海) で実施している観測網のデータの総合的解析とモデル化を推進するため, 関連研究者による研究集会を実施する .

平成 22 年度においては以下の観測研究を実施する :

1) GPS 及び連続観測の継続実施

観測データの整理・解析と解析処理によるプレート固着変化及び短期スローイベントの検出

2) 地磁気観測の継続実施

観測データの整理・解析と東海地方の地磁気活動の解明

3) 絶対及び相対重力観測の継続実施

観測データの整理・解析とプレート運動に伴う重力変化の検出とモデル化

4) フィリピン海北縁部(東海・東南海・南海) で実施している観測網のデータの総合的解析とモデル化を進める . また, 関連研究者による研究集会を実施する .

平成 23 年度においては以下の観測研究を実施する :

1) GPS 及び連続観測の継続実施

観測データの整理・解析と解析処理によるプレート固着変化及び短期スローイベントの検出

2) 地磁気観測の継続実施

観測データの整理・解析と東海地方の地磁気活動の解明

3) 絶対及び相対重力観測の継続実施

観測データの整理・解析とプレート運動に伴う重力変化の検出とモデル化

4) フィリピン海北縁部(東海・東南海・南海) で実施している観測網のデータの総合的解析とモデル化を進める . 関連研究者による研究集会を実施する .

平成 24 年度においては以下の観測研究を実施する :

1) GPS 及び連続観測の継続実施

観測データの整理・解析と解析処理によるプレート固着変化及び短期スローイベントの検出

2) 地磁気観測の継続実施

観測データの整理・解析と東海地方の地磁気活動の解明

3) 絶対及び相対重力観測の継続実施

観測データの整理・解析とプレート運動に伴う重力変化の検出とモデル化

4) 関連研究者による研究集会を実施し, フィリピン海北縁部(東海・東南海・南海) で実施している観測網のデータの総合的解析とモデル化を推進すると共に次期計画に向けての課題を洗い出す .

平成 25 年度においては以下の観測研究を実施する :

1) GPS 及び連続観測の継続実施

観測データの整理・解析と解析処理によるプレート固着変化及び短期スローイベントの検出

2) 地磁気観測の継続実施

観測データの整理・解析と東海地方の地磁気活動の解明

3) 絶対及び相対重力観測の継続実施

観測データの整理・解析とプレート運動に伴う重力変化の検出とモデル化

4) 関連研究者による研究集会を実施し、5年間の研究を総括すると共に成果をとりまとめる。

(7) 平成23年度成果の概要：

1) GPS 観測

平成23年度においてはGPS観測を継続するとともに、これまでに得られたデータを解析し、以下の成果を得た。

(1) 前年度に引き続き、東海地域のひずみ解析を行った(野村, 2012)。解析に使用したのはGPS大学連合31点、GEONET53点の合計84点で、解析期間は2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地震時変位と余効変動の影響を調べるため2011年2月24日~2011年9月12日とした。図1に余効変動速度を示す。ここでは、東海地域の局所的な変化に注目するため、観測網南西端の田原という観測点を固定して示している。これで見ると、網の東北の領域が大きく東北東に引き伸ばされているのが見て取れる。全体として時計回りに回転しているようにも見える。また、図2には面積ひずみ変化を示している。地震後は地震前の圧縮場が反転してほぼ伸長場となっている他、地震前に伸長場であった静岡県中部が地震後には圧縮場になっていることが興味深い。

(2) 2000年から2005年に発生したいわゆる“東海スローイベント”について、落(2012)はGPSと水準測量を用いたインバージョン解析を行ってこのイベントの実態がどのようなものであったのか、詳細な検討を行った。これまで1996年から1999年のドリフトを定常的固着とみて時系列から除去してきたが、本研究では元の時系列をそのまま使い、プレート間固着とすべりを直接推定することを試みた。1996年から2009年のGEONETデータと水準測量データを用い、1年ずつずらした2年毎の時系列データから各期間の変位速度を求めて入力データとし、曲面近似したプレート境界面上の固着点すべりをいわゆるバックスリップインバージョンによって推定した。図3に2000年から2005年の従来のやり方によるスローイベント発生域と、本研究による発生域を比較して示す。スローイベントの領域が、本研究の方が深い方にずれていることが分かる。図3(右)には本研究によるすべりに深部低周波微動も重ねてあるが、スローイベントの中心部で発生していることがわかる。この領域は半年くらいの間隔で短期スローイベントが発生している領域でもあり、2000年から発生した長期スローイベントはこの短期スローイベントが巨大化したものであることが判明した。

(3) GPSが地震計として活用できるかについて、シミュレータを用いた実験を行い、高頻度サンプリング時における受信機の周波数特性と地震波の再現性の調査を行った(Ebinuma and Kato, 2011)。また、静岡における観測網のうち3か所(芳川小, 知波田小, 気田小)で20Hz、別の3か所(川奈, 静大観測棟, 相良)で50Hzの観測を開始した。

2) 地磁気観測

既存の電磁気観測点に加え、駿河湾沿岸北部、焼津市に小浜(OBM)全磁力観測点を新設した(図4)。既存電磁気観測点における全磁力の深夜2時から4時までの毎分値の、YAT(八ヶ岳地球電磁気観測所)における全磁力との差の日別平均値の時間変化を図5に示す。3月15日静岡県東部地震の際にコサイスマックに、震源断層に近いSHN/FJM観測点で約2nTの全磁力の減少が検出される一方、震源断層から南西に約30km離れたOKY観測点では顕著な全磁力変化は検出されなかった。富士山北東山麓の山梨県富士吉田市内の東大地震研・国土地理院の計2点の全磁力観測点でもコサイスマックにそれぞれ負、正の全磁力変化が検出される一方、国土地理院の静岡県富士市の全磁力観測点では全磁力変化は検出されなかった。

この全磁力変化は、ピエゾ磁気効果に基づくと応力磁化係数を 10^{-8} Pa^{-1} 程度と仮定すれば最も変化量の大きかったSHN/FJM観測点の全磁力減少量を説明できた(図6)。その際に採用した断層パラメータについては、初期パラメータとした国土地理院のもの、防災科研のものともにそのままでは北東山麓の2観測点の間を節線が通る全磁力変化を再現できないとともに、これらの断層モデル自身が余震分布と調和的ではないことが判明した。断層の位置と形状を余震分布により適合するものへと修正することで、SHN/FJM観測点における全磁力減少量、節線の位置と変化の検出されなかった観測点の組み合わせを説明できるようになった。地磁気観測・データが断層パラメータの精度のよい推定に

寄与しうる可能性が示された。

また全磁力変化は 2011 年 3 月 15 日の SHN/FJM におけるステップ状変化以外にも、2010 年 10 月頃、約 2ヶ月間の所要時間の元、HRN、SAG、FNK、OKY などの観測点において全磁力の増加が、立ち上がり時刻や量の相違を含んで出現したことが判明した。

3) 重力観測

東北地方太平洋沖地震後の平成 23 年 3 月 23 日から 3 月 28 日に御前崎および豊橋において、絶対重力測定を実施した。23 年度にデータ解析を行い、地震前の平成 23 年 1 月下旬の同地の測定値と比較して、御前崎で 6 マイクロガルの減少、豊橋では ± 0 マイクロガルという変動量を得た。同地震の重力変化を断層モデルを用いて見積もり、測定値がモデルで説明できることが分かった。

平成 23 年 9 月 26 日から 9 月 28 日に御前崎で絶対重力測定を行い、3 月の測定値と比較して 7 マイクロガルの増加を確認した。2 月 27 日から 3 月 4 日には豊橋で絶対重力測定を実施し、解析を進めている。

4) 観測網データの総合的解析とモデル化

研究を推進するため、平成 24 年 2 月 15 日に研究集会を実施した。その結果、3 種のデータを統合的に処理することが有益であることが再度確認され、今後統合処理化を進めることとした。

- (8) 平成 23 年度の成果に関連の深いもので、平成 23 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- 野村晋一 2011 年東北地方太平洋沖地震による東海地域の地殻変動, 静岡大学理学部地球科学科 2011 年度卒業論文 20 ページ + 図 19 & 表 5, 2012
- Ochi, T., Temporal change of plate coupling distribution during Tokai slow slip event inferred from GPS and leveling data, Dr. of Sci., Dissertation, the University of Tokyo, 80pp, 2012.
- Ebinuma, T., and T. Kato, Dynamic characteristics of high-rate GPS observations for seismology, Earth Planets Space, 2011 (in press)
- 国土地理院・東京大学地震研究所, 2011, 第 193 回地震予知連絡会資料 2011, 御前崎における絶対重力変化
- 東京大学地震研究所・国土地理院, 2011, 第 121 回火山噴火予知連絡会資料, 3 月 15 日静岡県東部地震に伴うピエゾ磁気変化.

- (9) 平成 24 年度実施計画の概要 :

1) GPS 観測

GPS 観測網における GPS 観測を継続する。ひずみ場の解析を進め、想定東海地震震源のアスペリティ分布の推定の高精度化を図る。高頻度サンプリング GPS の観測を継続し、GPS を地震計として活用できるか検討する。

2) 地磁気観測

現行の観測を継続するとともに、地磁気 3 成分観測網の稼働によりデータが蓄積されつつあり、3 成分磁力計のキャリブレーション(地磁気絶対観測) を各観測点で進める。地磁気 3 成分の経年変化の議論を開始する。その際、地殻活動とは関係のない地磁気永年変化の空間分布を考慮した、観測量変化の標準場・異常場の分離を行う。プレート境界に仮想する地殻内部流体移動を起源とする流動電位による地表における電磁場の評価手法を確立し、磁場・重力変化の観測事実との対比検証の環境を構築する。

3) 重力観測

御前崎・豊橋・菊川における絶対・相対重力観測を 1 回以上実施し、重力の経年変化および中期的な揺らぎについてさらにデータの蓄積をすすめる。また、プレート運動およびスローリップから期待される地殻変動と重力変化を計算するモデルの改良に取り組む。合わせて、東北地方太平洋沖地震による地震時、地震後の重力変化を取り除くためのモデル開発を進める。

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震研究所 加藤照之・上嶋誠・小河勉・小山茂・大久保修平・田中愛幸
他機関との共同研究の有無 : 有
静岡大学 里村幹夫
東海大学 長尾年恭

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所 地震火山噴火予知研究推進センター
電話 : 03-5841-5796
e-mail : teru@eri.u-tokyo.ac.jp
URL :

(12) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 加藤照之
所属 : 東京大学地震研究所 地震火山噴火予知研究推進センター

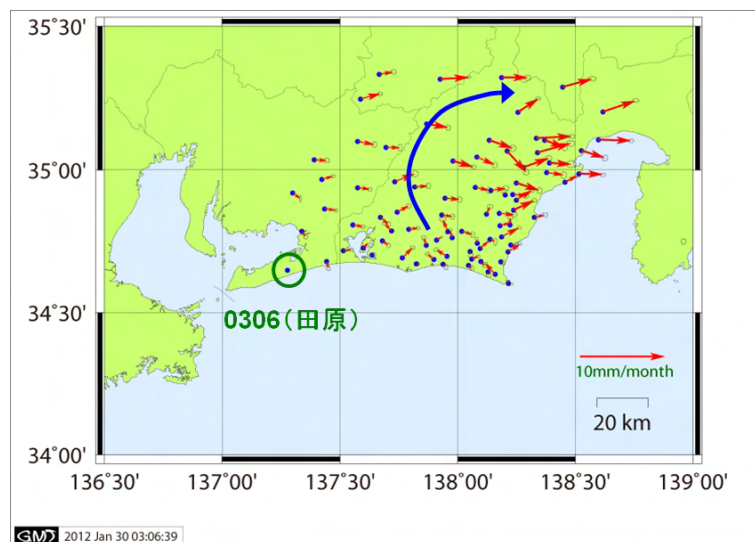


図 1 : 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震発生後の東海地方の GPS 変位速度場 (2011 年 3 月 17 日から 7 月 13 日) . 田原 (0306) 観測点を不動と仮定 .

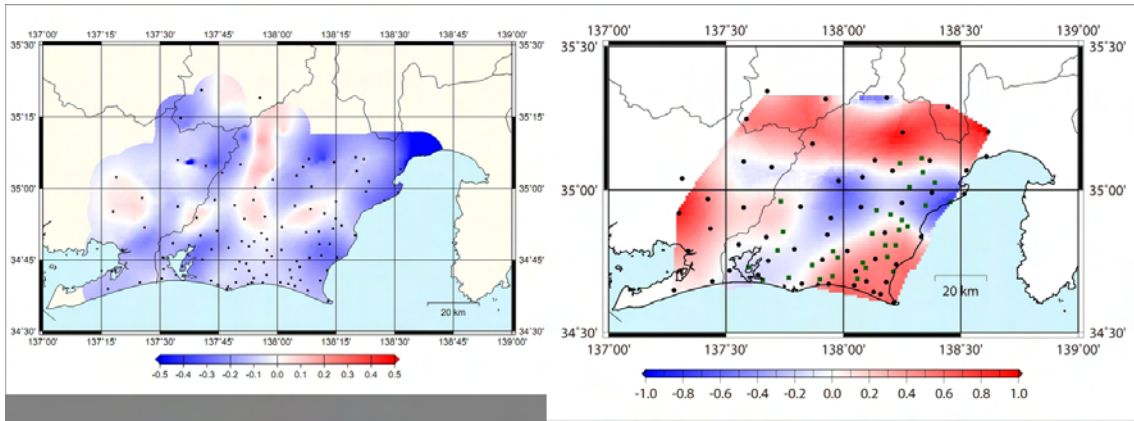


図2：面積ひずみ速度（左）地震前（2005/8/1～2006/12/31），と（右）地震後（2011/3/17～2011/7/13）．赤は伸長，青は収縮を示す．単位： μ strain/yr

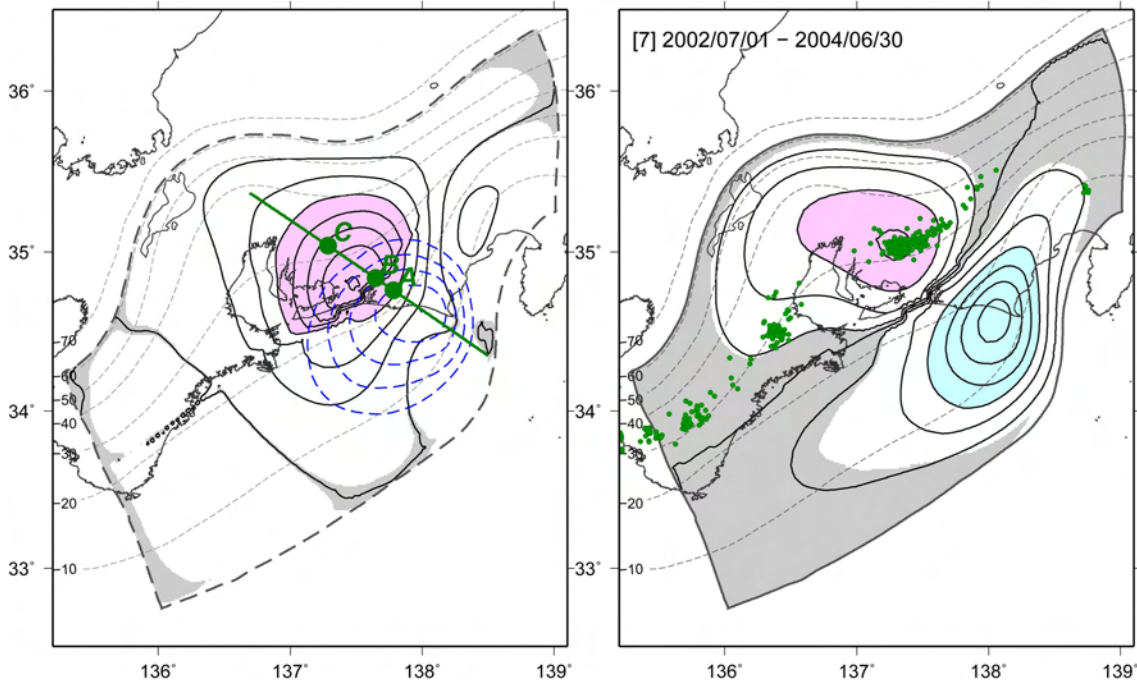


図3：2002年7月1日から2004年6月30日の期間における（左）従来の手法による“東海スロースリップ”，と（右）本研究によるスロースリップと固着の領域．従来の手法より本研究によるスロースリップの領域が深い方によっていることがわかる．同期間の深部低周波微動（緑点）の分布も示す．

observation network

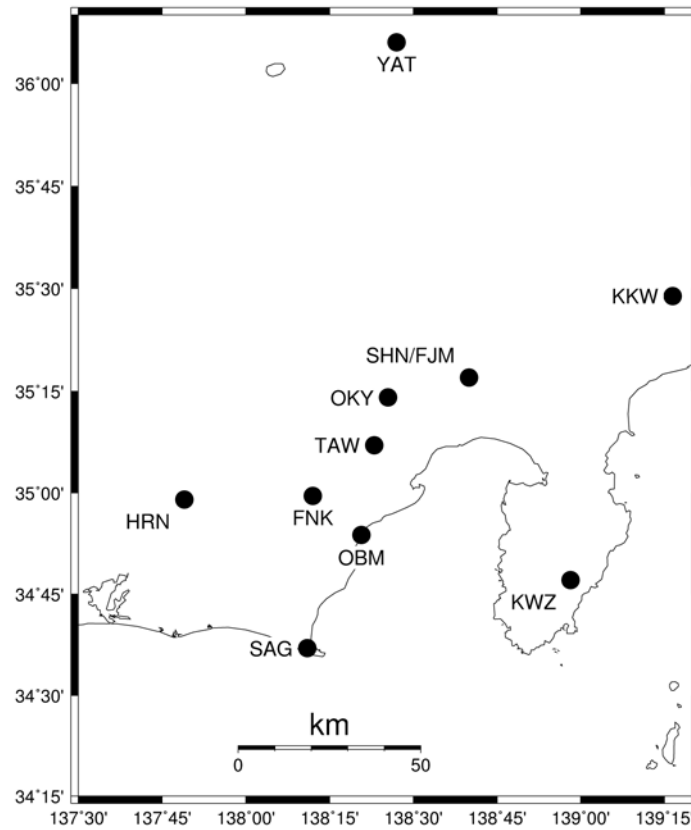


図4：東海地方の地球電磁気連続観測点分布。全観測点で全磁力を、また KWZ、SHN/FJM、TAW、SAG、YAT で地磁気3成分も観測している。

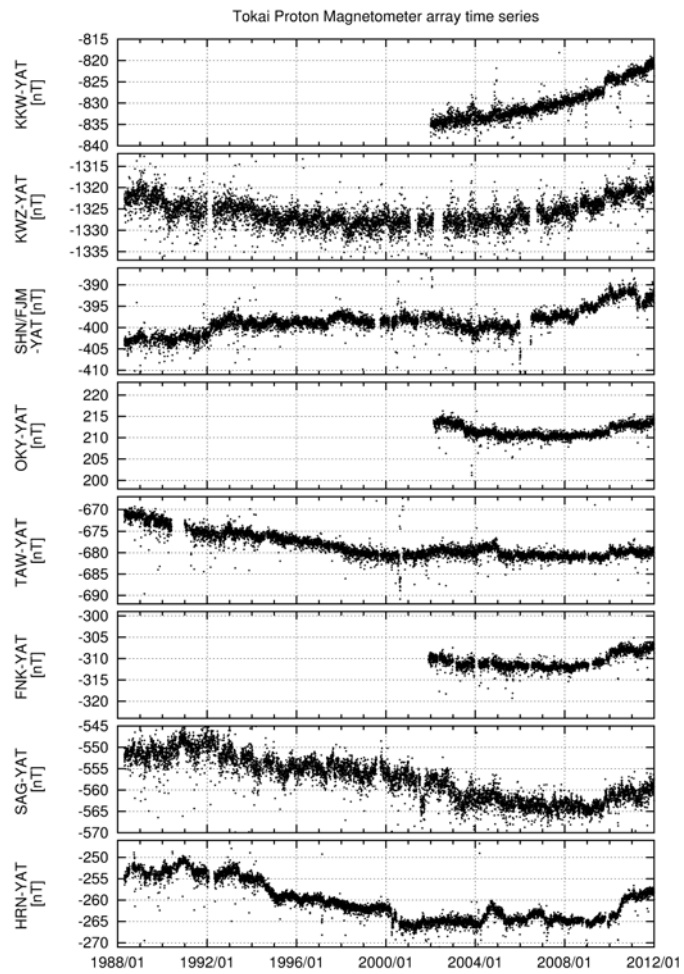


図5：YATを基準とした1988年4月から2011年12月までの全磁力時間変化。上からKKW、KWZ、SHN/FJM、OKY、TAW、FNK、SAG、HRN。

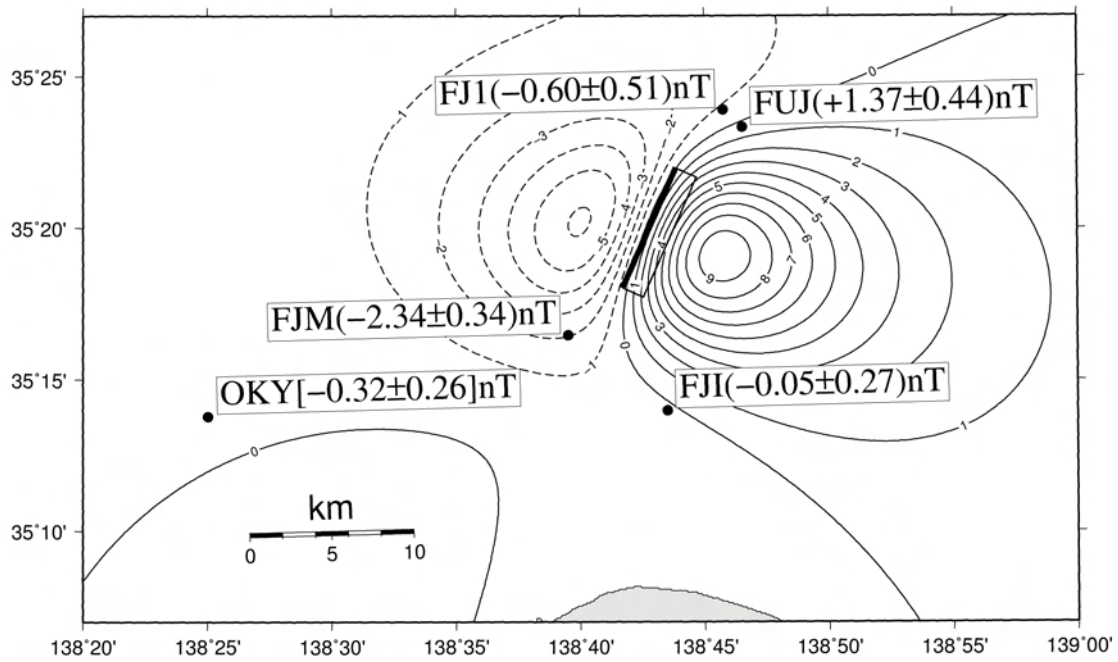


図6：ピエゾ磁気効果による3月15日静岡県東部地震に伴う全磁力変化量の分布。矩形が断層の地表面への投影。観測点名にあわせて、OKY以外ではOKY基準の、OKYではYAT基準の、3月15日前後各3週間の全磁力の平均値の変化量とその標準偏差を示す。FJ1、FUJはそれぞれ東大地震研、国土地理院の全磁力観測点（山梨県富士吉田市）、FJIは国土地理院の全磁力観測点（静岡県富士市）。