

三重県上野市近傍の木津川断層に沿う 重力異常の分布

西 田 潤 一

Abstract

Gravity survey was carried out around Ueno City, Mie Prefecture. Fault system, called Kizugawa fault, exists at the boarder of Iga basin and Shigaraki plateau. The fault structure of Kizugawa fault cannot be clearly discerned from the distribution of gravity anomaly. This situation is explained by the effect of subduction of Phillipine sea plate to the southwest Japan. Sharp decrease of gravity anomaly from south to north direction is recognized in Kii Peninsula. The gravity anomaly caused by vertical difference of Kizugawa fault structure was recognized after the correction of large trend by subducting plate.

はじめに

三重県上野盆地の北縁と信楽高原の南縁の急斜面には、木津川断層系と呼ばれる右横ずれ活断層系が存在する(活断層研究会, 1991)。この断層系は嘉永7年(1854)7月9日に発生した伊賀上野地震の震源断層であると推定されている(萩原, 1982, 宇佐美, 1996)。萩原はこの地震を木津川断層系, 花ノ木断層, 桑名・四日市断層が動いたことで説明している。中西等(1999 a, 1999 b)はこの地震に関する歴史資料の再検討を行い, 桑名・四日市断層の運動を想定しなくても, 地盤の影響を考慮するならば被害分布を説明できるかもしれないとしている。

今回の報告は上野市近傍の重力探査により, この断層の地下構造を推定することを目的として行っている。断層周辺の重力異常の分布を測定し, 断層

落差を推定する試みは活断層研究の手法としてよく用いられている。

西南日本の広域重力異常分布図は、Gravity Research Group in Southwest Japan, (1994) によって報告されているが、この報告に用いられているデータは様々な研究機関の行った既存の測定値をまとめたものであり、上野市近傍における測定点の分布は決して密であるとは言い難い。この地域の北側では Nishida et.al. (1990) によって琵琶湖近傍の重力異常の分布についての研究があり、そこではかなりの密度で測定が行われている。彼らは琵琶湖周辺の断層および重力異常から推定される古琵琶湖層群の盆地構造について報告している。この地域は彼らの調査の南側であるとともに、古琵琶湖層群の最下部の分布する地域でもあるのでその研究の延長に位置づけられる。この研究ではできるだけ精密に測定を行い上野市近傍の重力異常の精密な分布を求めることから、木津川断層系の断層落差を求める試みを行った。

重力測定

測定範囲は図1に示すように三重県上野市、阿山町、鳥ヶ原村を含む範囲である。上野市の北方には木津川が流れ、その北側の山地との境界には木津川断層が走っている。なおこの断層は文献によっては鳥ヶ原断層と記載されていることもあるが本論文では日本の活断層(活断層研究会, 1991)にしたがって、木津川断層とする。

重力測定は京都大学総合人間学部生物地学教室のラコスト重力計(計器番号G-506)を用いて行った。重力測定は絶対重力値の既知の場所との相対測定で行うのが普通である。本測定では京都大学理学部地質学鉱物学教室の国際基準点(F.S. $g=979707.27\text{mgal}$)に依拠して測定を行った。測定に際しては調査範囲内に現地基準点を起き、この現地基準点の値をF.S.との数次の往復測定を行うことにより決めた。現地基準点としては測定に際して振動などの影響が少ないこと、将来同じ地点での測定が可能であることが望ましいという理由から地域内の国土地理院の水準点を用いるのが通常である。本測定においては佐那具町近傍の国土地理院水準点BM1423を現地基準点とした。測定地内の重力測定はこの現地基準点を出発時に測定し、終了時に同じ基準点で測定するループ法で行った。基準点の測定値に潮汐補正を行い重力計の恒数表に従い重力値を計算し、出発時と終了時の測定値の差が一定の許容範囲内であれば、測定が完了したと見なす方法をとった。潮汐補正は中

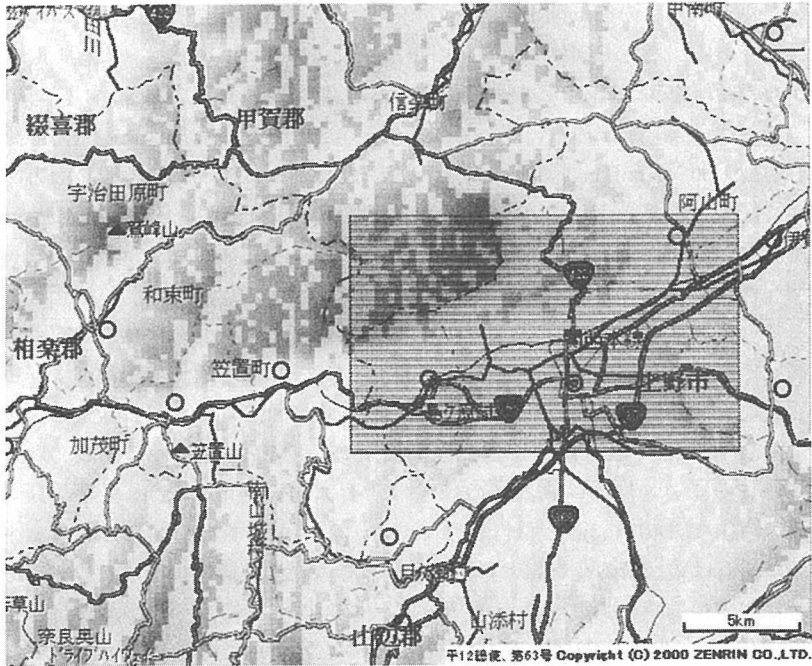


図1 測定範囲

井（1978）の方法を用い、太陽及び月の起潮力の1.2倍を補正した。この測定では出発時と終了時のドリフトの許容範囲を0.1mgalとしている。

重力測定においては測定点の緯度・経度・高度のデータが不可欠であるが、本測定においては、市町村の1/2,500基本図に記載されている標高点を測定点として用いた。これらの標高点は0.1mの精度で記載されており、これによる高度の誤差は0.03mgal以内に収まるものと考えられる。また測定点の緯度・経度は基本図のXY座標を読みとり、緯度経度に換算した。

本測定の目的が木津川断層の地下の落差を求めることであるために、木津川を挟んで測定点をできるだけ細かく配置することを目標においたが、木津川の北側の山岳地帯には道路が信楽に向かう数本しかなく勢い測定地点は南側に偏ることとなった。第2図には測定点の分布を国土地理院の地形図に重ねて示す。基本図の標高点は原則的には道路上においてあるが、ときには道路から少し離れた場所にある場合もある。またこの図において南北の枠が描

4 (西田)

いてあるが、この枠は国土地理院の1/50,000地図投影法 (UTM 図法) の座標系であり、南北方向は赤道からの距離、東西方向は基準経度 (東経132度) からの距離を km 単位で表す。ここでの測定点の数は113点である。

ブーゲー異常を求めるときに際して、フリーエアリダクションは正規重力の鉛直勾配0.3086mgal/m を用いて補正した。地形補正は桂・他 (1987) の方法で、国土地理院の KS110-1標高データを用いて各測定点から50km まで行った。地形補正が50km で切断されているので、この距離に見合う球殻のブーゲー補正は無限平板に近似される (萩原, 1978) ので、 $2\pi\rho GH$ の補正を行っている。ここで ρ , G , H はそれぞれ補正密度、万有引力常数、測定点の高度である。本地域は領家変成岩帯に属し、木津川断層北側の山地および伊賀盆地の古琵琶湖層群の基盤は花崗岩より構成されている。伊賀盆地の古琵琶湖層群はそのほとんどが古琵琶湖層群最下層の伊賀累層である。川辺 (1986) によれば、伊賀累層の層厚は伊賀大山田地域で150m 程度、島ヶ原・阿山では40-50m と報告されている。したがって本地域に分布する主要な岩石は領家帯の花崗岩と考えてよい。領家帯の花崗岩の密度については直接測定の結果があり (西田他, 1991, 中野他, 1995), その平均値はほとんど地殻の平均密度2.67g/cm³である。このことからこの地域のブーゲー補正及び地形補正には2.67g/cm³を用いた。正規重力式として測地基準系1967を用い、大気補正を行った。

重力異常は次の式で求められる。

$$\delta g = g + 0.3086H - 2\pi\rho GH + T_c + A_{tm} - \gamma \dots (1)$$

ここで δg , g , H , ρ , G , T_c , A_{tm} , γ はそれぞれブーゲー異常, 重力測定値, 地形高度, 地殻の平均密度, 万有引力常数, 地形補正量, 大気の質量補正量, および正規重力値である。

重力異常の分布

測定点は図2に示されるように不規則に分布しているので、ブーゲー異常図を作るために塩野他 (1985) の方法に従って格子データに変換した。変換されたデータから Excel の等高線作成プログラムを用いてブーゲー異常図を作成した。作成したブーゲー異常図を図2の測定点分布図に重ねて図3に示す。コンター間隔は2mgal である。この結果から本地域の重力異常は南側が高く、北側に向かって急激に減少することが読みとれる。また、北東側の

上野市北側から阿山町近傍で重力異常のパターンが緩やかになることが認められる。上野市の西側では重力異常は南から北に向かってかなり急激に減少し、東側のような乱れは認められない。本地域では木津川断層を挟んでその北側の山地は隆起していて、かつ前にも述べたように南側の伊賀盆地には伊賀累層が分布している。通常このような場合には、北側の山地がより高密度の岩石から構成されている関係から高重力異常となり、南側の伊賀盆地が低密度の堆積層の影響で低重力異常が予想されるにもかかわらず、実際の分布はその逆である。

この理由として次のようなことが考えられる。日本列島はプレートの会合地域であり、関東よりも西側の太平洋側ではフィリピン海プレートは南海トラフから日本列島の下に沈み込んでいる。この沈み込むプレートの高密度のためにプレートの深度の浅い太平洋側は重力異常が大きくなり、北側に向かって減少すると考えられる。西南日本の広域重力異常図 (Gravity Research Group in Southwest Japan, 1994) では、紀伊半島近傍においてはフィリピン海プレートの沈み込みのために、重力異常は南から北に向かって急激に減少することが読みとれる。Nishida et.al. (1990) による琵琶湖周辺の重力異常の研究では、この傾向は本研究の地域を越え北緯 35° 10′ 付近まで続くことが指摘されている。彼らは古琵琶湖層群の堆積盆地の影響を示す重力異常はこのフィリピン海プレートの影響を除去すれば求められることを指摘した。上記広域異常図ではこの急激な変化は紀伊半島中部で特に大きいことが読みとれる。この大局的傾向が予想される木津川断層の局地的な重力異常を覆い隠しているために、一見して矛盾した結果をもたらしているものと考えられる。

このことは次のことから推定できる。(1)式を次のよう変形する。

$$g-\gamma = -(0.3086 - 2\pi\rho G)H - T_c - A_{tm} + \delta g \cdots (2)$$

本地域の測定結果を縦軸に $g-\gamma$ 、横軸に H をとり図 4 に示す。ここで地形補正量やそのほかの質量補正量、重力異常は相対的に小さいのでこの分布はほぼ直線に乗っている。この分布から最小二乗法によってその傾きを求めるならば、その傾きは $-(0.3086 - 2\pi\rho G)$ に近似されることになる。この傾きから求められる ρ は測定地近傍の岩石の平均密度を示すと考えることができる。この方法で求めた平均密度は $1.93\text{g}/\text{cm}^3$ である。前にも述べたように、この地域の基盤岩は領家帯の花崗岩であり、その直接測定結果は $2.67\text{g}/\text{cm}^3$

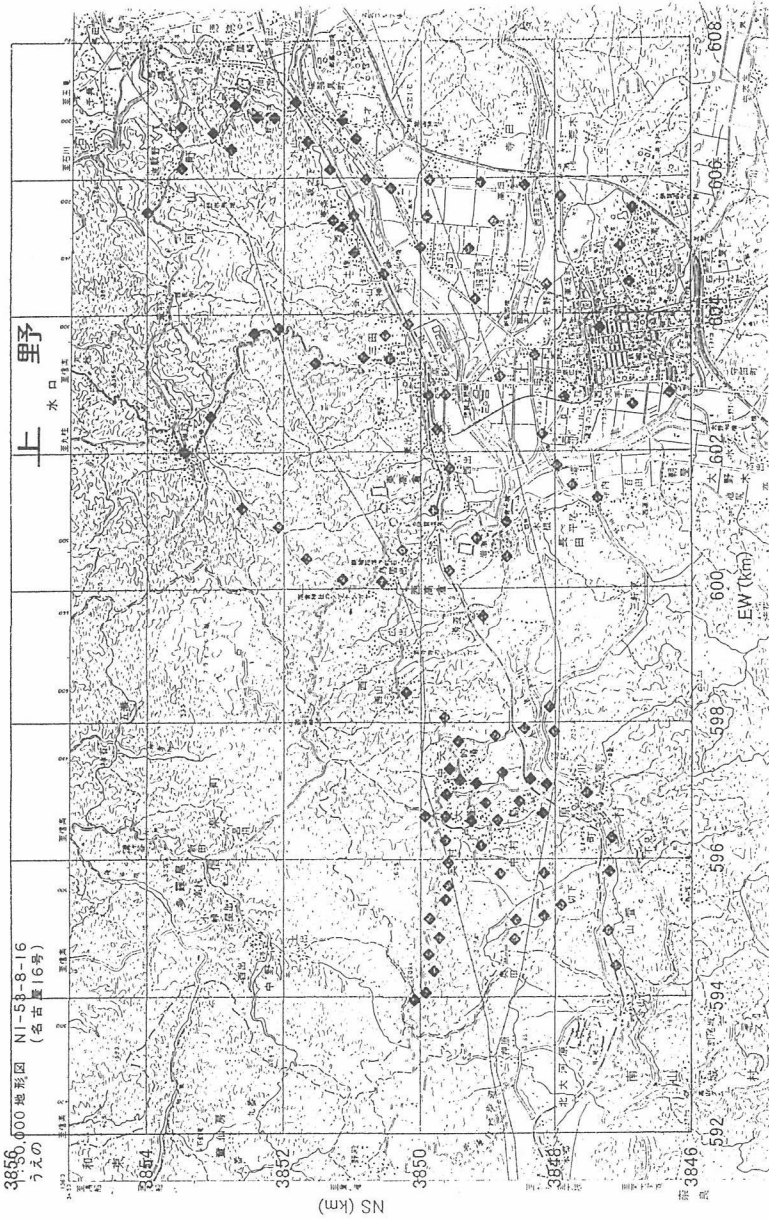


図 2 測定点の分布 枠は UTM 座標系

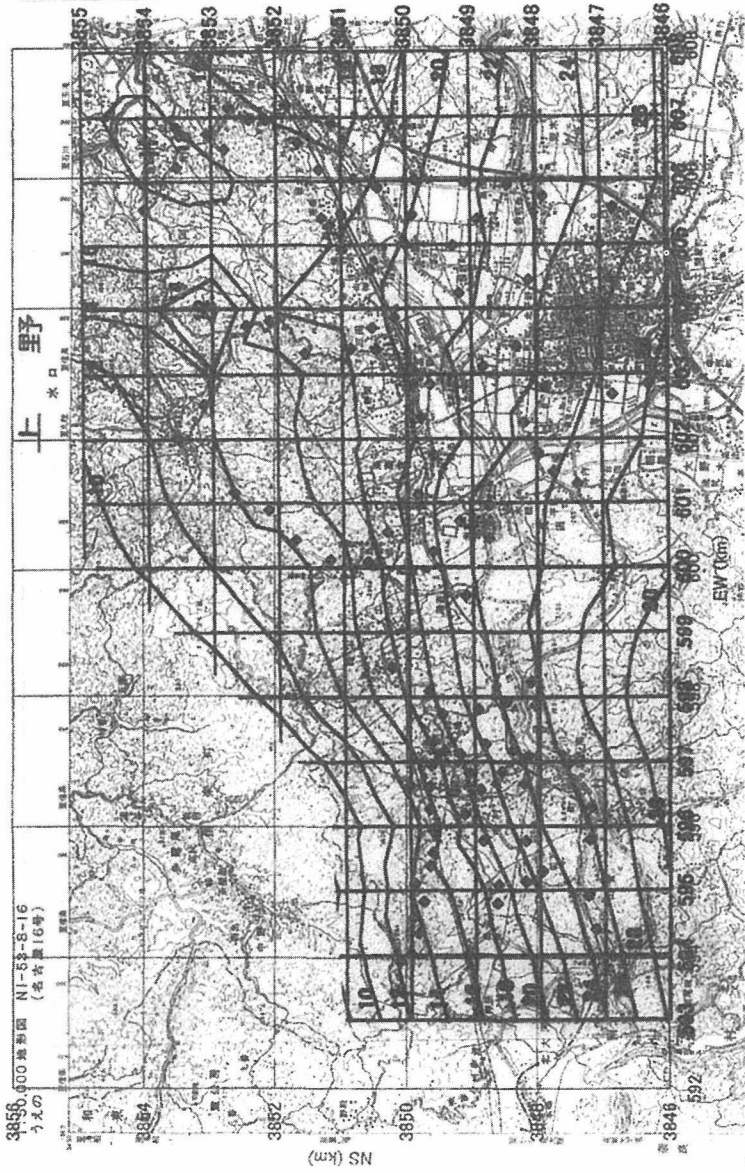


図3 プレーグー異常の分布 単位は mgal コンタナー間隔は 2mgal 枠は UTM 座標系 H は部分的な高重力異常の中心を示す

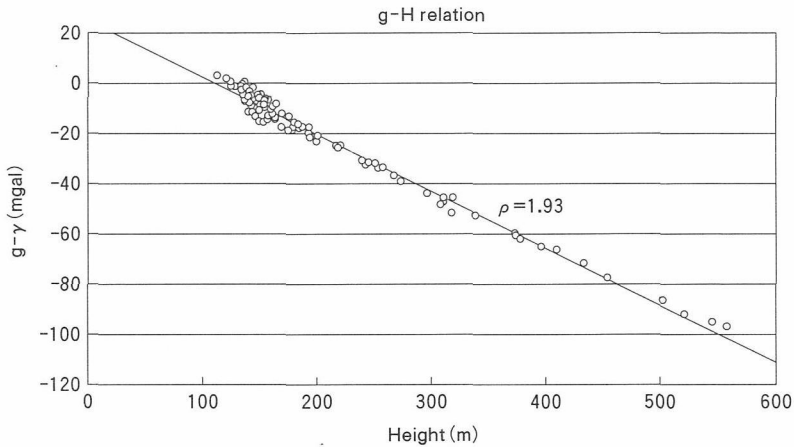


図4 測定地域の $g-H$ 関係

である。

上記 $-(0.3086 - 2\pi\rho G)$ に近似される関係から求められた傾きが大きければ密度は小さくなるので、何らかの影響でこの傾きが実際以上に大きくできていることが考えられる。この地域の地形高度分布は南側が伊賀盆地であり、木津川断層の北側は山地である。第4図の高度の低いところは南側であるために大局的傾向の影響を受けて $g-\gamma$ は大きく、その逆に地形高度の高い北側が小さくなっていると考えるならば、傾きの大きい理由とその結果の低密度が説明できる。したがって目的とする木津川断層による重力異常はこの大局的傾向の陰に隠されていると推定できる。

図3のブーゲー異常の分布から上野市北側から阿山町近傍においてブーゲー異常の分布が、南から北に向かう単調減少から乱れていることが読みとれる。この近傍において木津川断層の影響が見られるのではないかと考えられる。それに対して上野市よりも西側の島ヶ原では単調に減少し、重力異常の乱れは認められない。このことは木津川断層の影響はこの測定範囲の北側にあるのではないかと考えられる。

考 察

前節で述べたように木津川断層の影響は上野市よりも東側に見られるようである。ここではどのような南北の大局的傾向があるかを調べるために南北

方向に3本の断面をとってみた。断面は図3のY座標（通常UTM座標系では東西方向がY座標、南北方向がX座標である）で西からY=604, Y=606, Y=608の3測線であり、その重力異常断面を図5a, 5b, 5cに示す。

この3断面すべてについて重力異常は南から北に向かってほぼ2mgal/kmの割合で南北座標3851-3852間で減少する。その近傍からこの傾向が乱れ、ときには少しながら増大する。この割合はNishida et.al. (1990) が本地域の北側琵琶湖南部で推定した20mgal/10arc min (1.1mgal/km) の約2倍である。西南日本の広域重力異常図 (Gravity Research Group in Southwest Japan, 1994) で調べるならば、紀伊半島からその北側にかけて南北方向の傾きのもっとも大きな地域もこの付近に来ると考えられる。

この3本の断面のX座標で3851-3852近傍に木津川断層がほぼ東西方向に走っていると推定される。木津川断層の垂直落差はいま述べた南北の大局的傾向を補正しなければ、浮かび上がってこないものと考えられる。そこでこの3本の断面から推定される南側の傾きを大局的傾向と仮定して補正した結果を図6a, 6b, 6cに示す。補正後の断面を見るならば、図6aではX座標で3853前後に少し落ち込みが見られるが、その北側に向かって増加することが認められる。また図6b, 6cではX座標で3851まではほぼ平坦で、それより北側に向かって増加することが認められる。これは先に述べたように木津川断層の北側に密度の大きな花崗岩が分布し、その南側に低密度の古琵琶湖層群が分布することと調和的である。ここで認められる北側に向かつての重力異常の増加量は図6aでは約4-5mgal, 図6b, 6cでは8-10mgalであるが、古琵琶湖層群と花崗岩の密度差を0.4と仮定するならば、その落差は図6a断面では250-300m, 図6b, 6c断面では400-500mと推定される。

結 論

上野市近傍の重力異常の分布は南から北に向かって急激な減少を示す。そのために木津川断層の落差は重力異常の分布からは直接読みとりにくい。この原因として西南日本では太平洋プレートが南海トラフから沈み込んでいるために、太平洋側から日本海側に向かって重力異常が減少することが考えられる。上野市近傍での重力異常の減少する割合はその北側の琵琶湖南部での測定結果と比較してもきわめて大きいと考えられる。

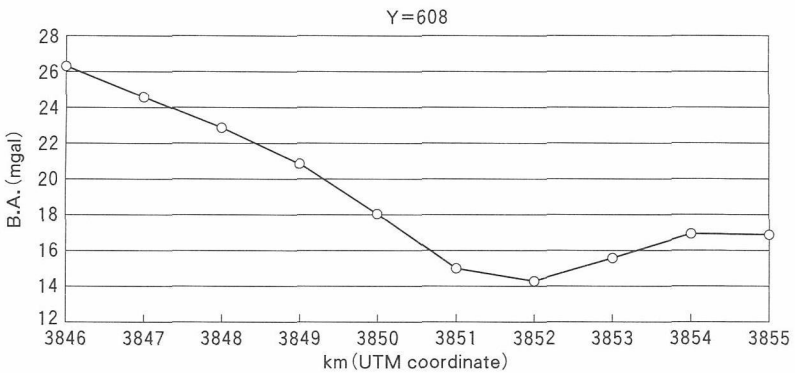
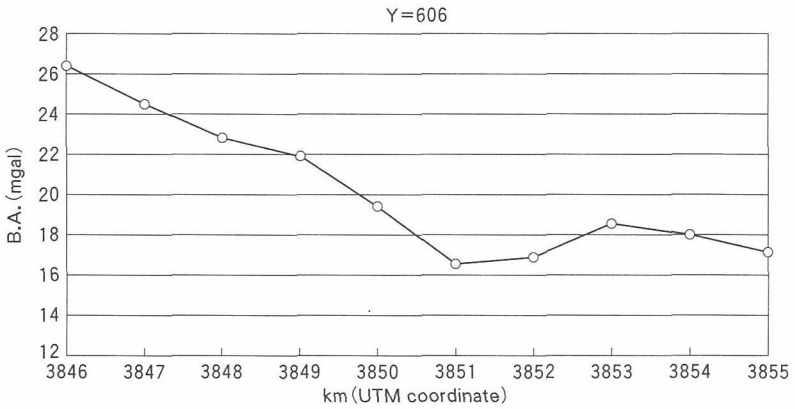
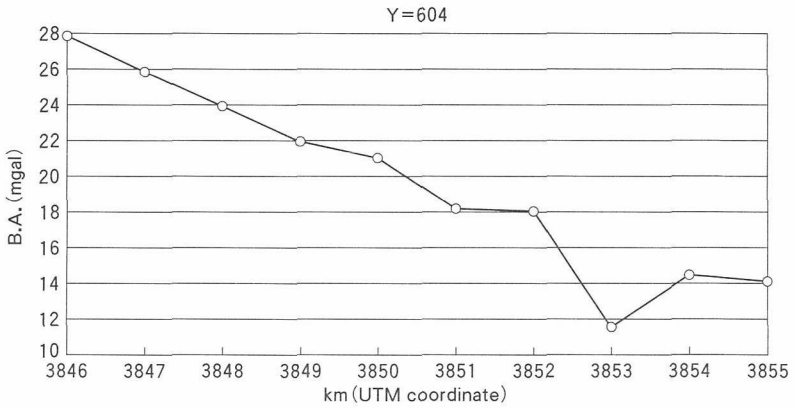


図5 Y=604, Y=606, Y=608の南北断面における重力異常の分布

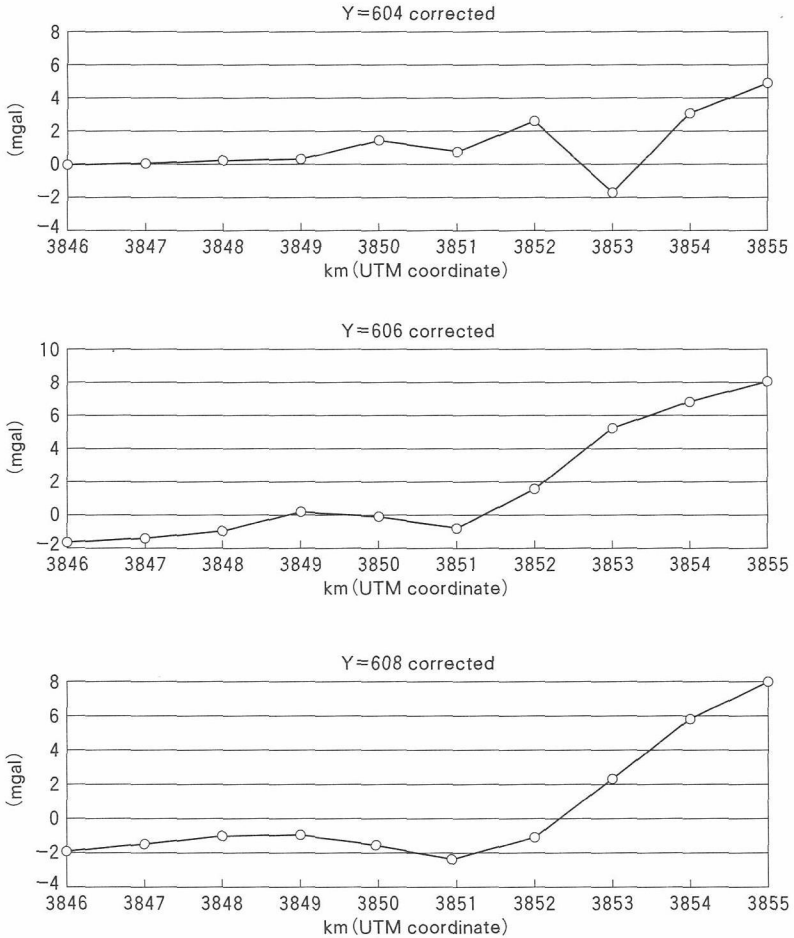


図6 Y=604, Y=606, Y=608の南北断面における南北の大局的傾向を除去した後の重力異常の分布

測定値から推定される南から北にかけての重力値の減少量を大局的傾向として補正するならば、木津川断層の東側で南落ちの断層落差を見いだすことができた。ただしこの落差は地質調査で報告されている伊賀盆地の古琵琶湖層群の厚さに比べるならば、かなり大きいと考えられる。これは地表面で推定されるよりも厚い古琵琶湖層の堆積層の存在か、あるいは推定した密度差がもっと大きいことを示唆するのかもしれない。

参考文献

1. 活断層研究会 (1991), 「新編」日本の活断層 東京大学出版会
2. 桂 郁雄・西田潤一・西村 進, (1987), KS110-1標高データを用いた重力の地形補正プログラム, 物理探査, **40**, p. 161-175
3. 川辺孝幸 (1986), 上野盆地西部, 花の木丘陵の古琵琶湖層群, 地球科学, **40**, p. 383-393
4. Gravity Research Group in Southwest Japan, (1994), Bouguer gravity anomaly map in Central Japan, 地質調査所報告 第280号, p. 29-36
5. 塩野清治・弘原海清・升本眞二, (1987), パソコンによる格子データのコンターマップ作成プログラム, 情報地質, **10**, p. 47-54
6. 志知龍一・山本明彦 (1992), 中部・近畿全域の超精密重力異常図の作成及びデータベース化, 平成三年度科学研究費補助金研究成果報告書 (研究代表者, 志知龍一), 名古屋大学理学部地震火山観測地域センター, 名古屋, 106 p
7. 中井新二 (1978), 実用的な起潮力計算プログラム, 緯度観測所彙報, 水沢, **81**, p. 124-135
8. 中野茂暢・桂郁雄・西田潤一・山田悦久・西村進 (1995), 奈良県五條市付近での重力探査—中央構造線近傍の地下構造—, 地震, **48**, p. 11-26
9. 中西一郎, 土佐圭, 荒鳥千香子, 西山昭仁, 1999, 安政元年 (1854) 伊賀上野地震に関する史料調査—京都南部について—, 歴史地震, 第15号, p. 125-131
10. 中西一郎, 土佐圭, 荒鳥千香子, 西山昭仁, 1999, 安政元年 (1854) 伊賀上野地震の断層運動の再検討(2), 歴史地震, 第15号, p. 138-162
11. Nishida J., I. Katsura, S. Nishimura and E. Abe (1990), Gravity Survey around Lake Biwa, Southwest Japan, J. Phys. Earth, **38**, p 1-17
12. 西田潤一・桂郁雄・西村進・阿部悦夫, (1991), 奈良県生駒市高山地区の重力探査から推定される活構造, 地震, **44**, p. 345-354
13. 萩原尊禮 1982, 古地震—歴史資料と活断層から探る, 東京大学出版会
14. 萩原幸男 (1978) 地球重力論 共立出版 p. 120-121
15. 宇佐美龍男, 1996, 新編日本被害地震総覧, 増補改訂版, 東京大学出版会

(本学教授 自然科学)