

## 富士川河口（富士川断層系）を横断するマイクログラビティ探査

楠本成寿\*1・衣笠元樹\*2・阿部泰介\*3・根元謙次\*1・竹本修三\*3

### Micro gravity survey across the estuary of the Fujikawa River (Fujikawa Fault System), Shizuoka, Japan

Shigekazu KUSUMOTO, Motoki KINUGASA, Taisuke ABE,  
Kenji NEMOTO and Shuzo TAKEMOTO

#### Abstract

We carried out micro gravity survey across the estuary of the Fujikawa River in order to get information on shallow subsurface structures of the Fujikawa Fault System, and got the Bouguer anomaly for which the optimum Bouguer density was assumed to be  $2.3\text{g/cm}^3$ . It was qualitatively shown that the observed Bouguer anomaly reflects the shallow subsurface structures, by comparison with depth distributions of lava flows and andesite estimated from the drilling data. In addition, location of the Iriyamase Fault was indicated by the discontinuity of the Bouguer anomaly.

#### はじめに

富士川断層系は、駿河トラフ北方の富士川下流域に分布する南北性の活断層群である。本断層系は、入山瀬、大宮、安居山、芝川—入山の4断層（下川ほか，1997）のほか，富士川東岸の東名高速道路付近で，入山瀬断層に合流する善福寺断層（大塚，1938）からなっている。このうち入山瀬断層は，恒石・塩坂（1981）では富士川断層とよばれており，東海地震を引き起こす断層の一つとして注意が喚起されている。

本研究では，浅部地下構造の推定にターゲットを絞り，Fig.1に示される測線で，通常の重力探査より測定間隔が狭いマイクログラビティ探査（例えば，野崎，1997；岩野ほか，2001）を実施した。測定間隔は，富士川の西側測線で50m，東側測線で100mである。重力探査には，構造がユニークに決まらないという欠点がある。しかし他の物理探査と異なり，重力探査は，大まかな基盤構造等を直感

的に理解できるという利点をもっている。

本論では，速報として今回実施したマイクログラビティ探査結果を示し，その定性的な議論を行った。

なお，本重力測定点を含む東海地域の重力異常は，多重衝突の証拠としての重力異常（Satomura，1989；駒澤ほか，1992），富士山のアイソスタシー（Tanaka and Satomura，1995）など，さまざまな視点から研究が行われてきている（例えば，駒澤，1982；里村，1995；駒澤，2000；楠本ほか，2002）。しかし，いずれも大規模な地殻構造の解明などを目指しているため，測定間隔が広く，データ処理法等も地下浅部の微細構造の推定には対応していない。

#### 重力測定及びデータ処理

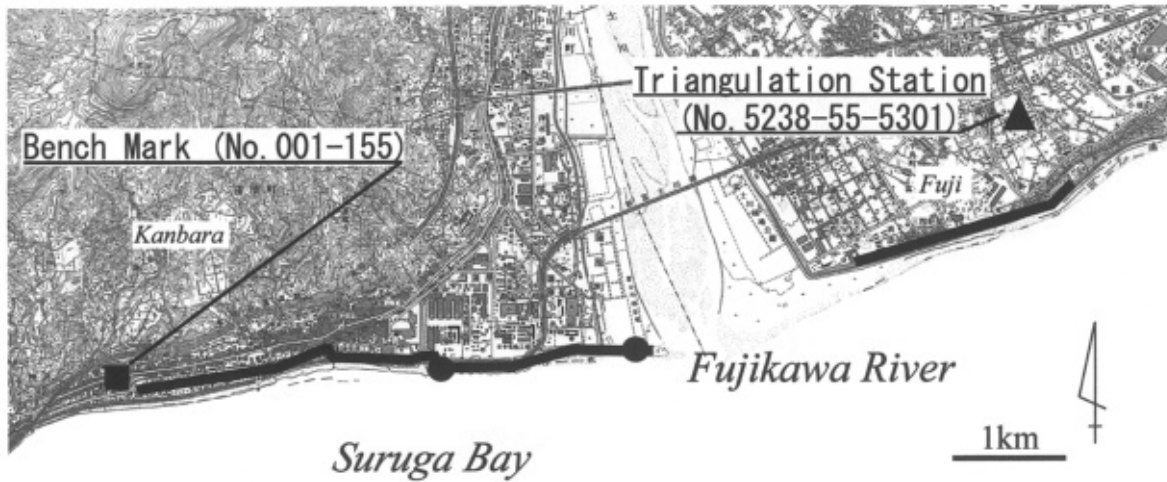
測定にはLaCoste & Romberg重力計G-680を用い，測定法としてループ法を採用した。また測定精度向上のため3回読みを行い，それらの平均値を測定値とした。測定

2004年9月13日受理

\*1 東海大学海洋学部 (School of Marine Science and Technology, Tokai University)

\*2 JA鳥取いなば (JA Tottori Inaba)

\*3 京都大学大学院理学研究科 (Graduate school of Science, Kyoto University)



**Figure 1** Location of the micro gravity survey lines. Bold lines are gravity survey lines. Two marks, ■ and ▲, are the bench mark and triangulation station, respectively. The part enclosed by ● on the west side gravity survey line is the line of the past seismic prospecting (Shimokawa *et al.*, 1997).

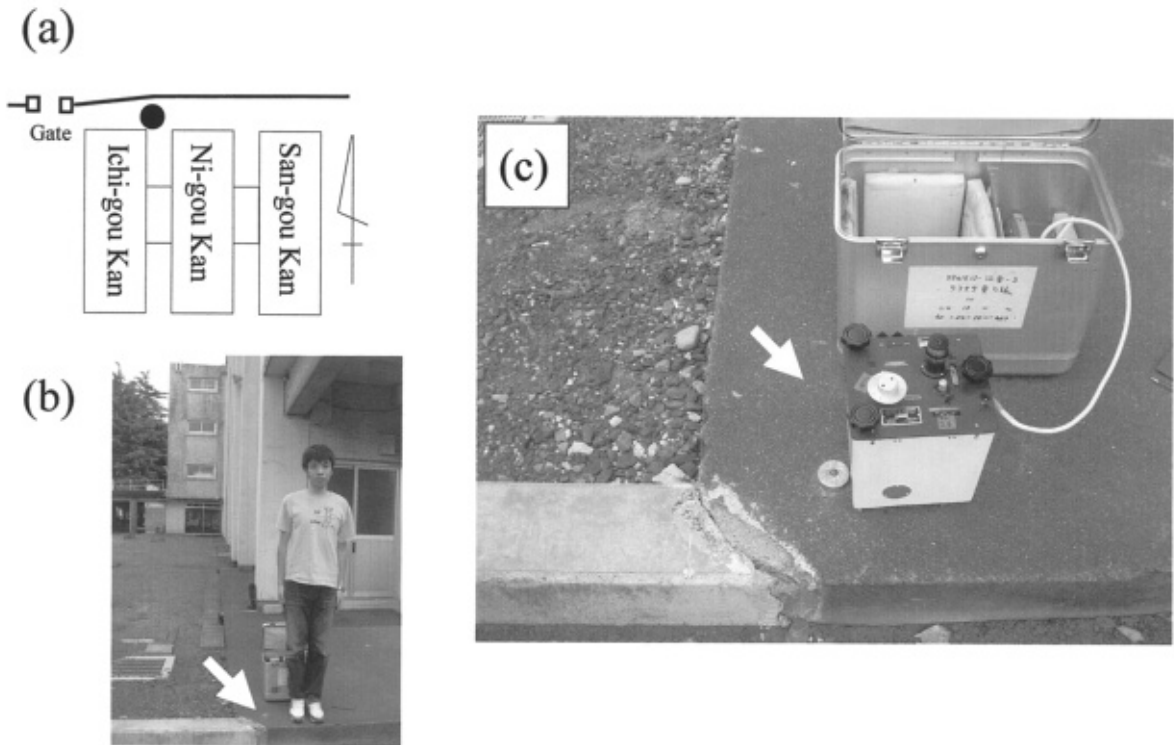
点数は全部で104点である (Table 1).

測定に先立ち、静岡地方気象台内の一等重力点 (979741.63mGal) と本重力測定基準点 (東海大基準点: Fig. 2) の重力結合を行い、東海大基準点の重力値として 979730.32mGal を得た。

重力異常を求める際には各重力測定点の標高データが必要であるため、重力測定と並行して水準測量も実施した。

富士川を挟んだ西側測線の水準測量は、JR 蒲原駅西 50m の一等水準点 (No. 001-155) を基準点として実施した。東側測線では、測線近傍に適当な水準点が無かったため、田子の浦中学校内の三角点 (No. 5238-55-5301) を測量の基準点とした。

得られた重力値に、潮汐補正、機械高補正、正規重力・大気補正、フリーエア・リダクション、ブーゲー補正を施



**Figure 2** Gravity reference point for gravity survey.  $g=979730.32\text{mGal}$ . (a) Location of the Gravity reference point in the Shimizu campus (School of marine science and technology) of Tokai University. The mark, ●, indicates the Gravity reference point. The point is located in the northeast corner of the ichi-gou kan (the first building) in the campus. (b) The Gravity reference point. Arrow indicates the point. (c) The reference point and LaCoste & Romberg gravity meter (Serial number: G-680).

Table 1 Gravity station data (I)

Obs. Name	deg.	Latitude min.	sec.	deg.	Longitude min.	sec.	Elevation. m	Gravity mGal	Bouguer Anomaly mGal
TKU01	35	6	37.18	138	35	12.50	8.07	979726.65	-13.0
TKU02	35	6	37.23	138	35	16.35	7.88	979726.85	-12.9
TKU03	35	6	37.47	138	35	20.55	7.72	979726.88	-12.9
TKU04	35	6	38.06	138	35	24.40	8.11	979726.93	-12.8
TKU05	35	6	38.11	138	35	26.39	8.27	979726.98	-12.7
TKU06	35	6	38.11	138	35	28.37	8.49	979727.01	-12.6
TKU07	35	6	38.36	138	35	31.05	8.69	979726.99	-12.6
TKU08	35	6	38.55	138	35	32.34	8.97	979726.96	-12.6
TKU09	35	6	39.00	138	35	35.32	9.02	979726.93	-12.6
TKU10	35	6	39.15	138	35	37.30	8.81	979726.95	-12.6
TKU11	35	6	39.44	138	35	39.28	9.00	979726.87	-12.7
TKU12	35	6	39.44	138	35	41.27	9.23	979726.73	-12.8
TKU13	35	6	39.44	138	35	43.25	9.38	979726.68	-12.8
TKU14	35	6	40.08	138	35	45.24	9.58	979726.58	-12.9
TKU15	35	6	40.23	138	35	47.22	9.79	979726.48	-12.9
TKU16	35	6	40.42	138	35	49.21	9.50	979726.43	-13.0
TKU17	35	6	41.11	138	35	51.19	9.25	979726.37	-13.2
TKU18	35	6	41.21	138	35	53.17	8.80	979726.40	-13.2
TKU19	35	6	41.50	138	35	55.16	7.89	979726.60	-13.2
TKU20	35	6	42.10	138	35	57.14	7.06	979726.67	-13.3
TKU21	35	6	42.49	138	35	59.13	6.42	979726.70	-13.5
TKU22	35	6	43.18	138	36	1.11	6.61	979726.60	-13.5
TKU23	35	6	43.47	138	36	3.09	7.07	979726.46	-13.6
TKU24	35	6	44.36	138	36	4.56	7.49	979726.29	-13.7
TKU25	35	6	45.00	138	36	6.54	7.93	979726.16	-13.7
TKU26	35	6	45.24	138	36	8.41	7.72	979726.20	-13.7
TKU27	35	6	46.13	138	36	10.51	7.30	979726.01	-14.0
TKU28	35	6	46.52	138	36	12.50	6.81	979726.39	-13.8
TKU29	35	6	47.11	138	36	14.36	6.42	979726.35	-13.9
TKU30	35	6	47.50	138	36	15.59	6.14	979726.36	-14.0
TKU31	35	6	48.39	138	36	17.58	5.83	979726.38	-14.0
TKU32	35	6	48.49	138	36	19.09	5.60	979726.42	-14.1
TKU33	35	6	48.00	138	36	20.55	5.93	979726.23	-14.2
TKU34	35	6	47.02	138	36	22.42	6.37	979726.03	-14.2
TKU35	35	6	47.02	138	36	24.40	5.87	979725.90	-14.5
TKU36	35	6	46.52	138	36	26.39	6.58	979725.87	-14.3
TKU37	35	6	46.32	138	36	28.37	7.26	979725.82	-14.2
TKU38	35	6	46.57	138	36	30.36	7.74	979725.79	-14.2
TKU39	35	6	47.02	138	36	32.10	8.14	979725.73	-14.2
TKU40	35	6	47.02	138	36	34.32	8.10	979725.75	-14.2
TKU41	35	6	46.57	138	36	36.07	6.90	979726.05	-14.1
TKU42	35	6	46.57	138	36	38.06	6.61	979726.11	-14.1
TKU43	35	6	47.02	138	36	40.04	9.56	979725.50	-14.1
TKU44	35	6	47.02	138	36	42.02	10.18	979725.44	-14.0
TKU45	35	6	46.57	138	36	44.24	10.70	979725.35	-14.0
TKU46	35	6	46.23	138	36	45.59	11.47	979725.18	-14.0
TKU47	35	6	46.13	138	36	48.33	11.65	979725.14	-14.0
TKU48	35	6	45.54	138	36	50.32	11.39	979725.18	-14.0
TKU49	35	6	46.23	138	36	52.18	11.28	979725.26	-14.0
TKU50	35	6	46.23	138	36	53.29	11.17	979725.17	-14.1
TKU51	35	6	46.23	138	36	55.28	11.20	979725.41	-13.8
TKU52	35	6	45.34	138	36	57.14	10.98	979725.38	-13.9
TKU53	35	6	43.42	138	36	57.38	11.29	979725.31	-13.8
TKU54	35	6	43.47	138	36	59.36	11.28	979725.35	-13.8
TKU55	35	6	43.52	138	37	2.16	12.75	979725.06	-13.8
TKU56	35	6	43.47	138	37	4.21	12.79	979725.15	-13.7

Table 1 Gravity station data (II)

Obs. Name	deg.	Latitude min.	sec.	deg.	Longitude min.	sec.	Elevation. m	Gravity mGal	Bouguer Anomaly mGal
TKU57	35	6	43.47	138	37	6.19	12.77	979725.33	-13.5
TKU58	35	6	43.47	138	37	8.17	12.78	979725.41	-13.4
TKU59	35	6	43.47	138	37	10.16	12.77	979725.59	-13.2
TKU60	35	6	43.47	138	37	12.14	12.79	979725.73	-13.1
TKU61	35	6	43.47	138	37	14.13	12.77	979725.87	-13.0
TKU62	35	6	43.42	138	37	16.11	12.76	979726.01	-12.8
TKU63	35	6	43.47	138	37	18.09	12.76	979726.13	-12.7
TKU64	35	6	43.42	138	37	20.08	12.75	979726.23	-12.6
TKU65	35	6	43.42	138	37	22.12	12.73	979726.30	-12.5
TKU66	35	6	43.47	138	37	25.04	12.72	979726.36	-12.5
TKU67	35	6	44.36	138	37	27.02	12.69	979726.46	-12.4
TKU68	35	6	44.41	138	37	29.01	12.70	979726.55	-12.3
TKU69	35	6	45.00	138	37	30.59	12.70	979726.65	-12.2
TKU70	35	6	45.24	138	37	32.58	12.69	979726.74	-12.1
TKU71	35	6	45.29	138	37	34.26	12.68	979726.89	-12.0
TKU72	35	6	45.49	138	37	35.56	12.67	979726.98	-11.9
TKU73	35	6	46.13	138	37	37.54	12.68	979727.09	-11.8
TKU74	35	6	46.52	138	37	39.52	12.69	979726.98	-11.9
TKU75	35	6	47.41	138	37	41.51	12.71	979726.93	-12.0
TKU76	35	6	47.45	138	37	43.49	12.69	979727.05	-11.9
TKU77	35	6	48.19	138	37	45.47	12.71	979727.19	-11.8
TKU78	35	6	47.06	138	37	47.46	9.94	979727.98	-11.5
WSF01	35	6	47.02	138	37	51.43	4.27	979729.44	-11.3
WSF02	35	6	47.02	138	37	55.39	6.47	979729.18	-11.1
WSF03	35	6	46.52	138	37	59.36	6.13	979729.39	-10.9
WSF04	35	6	46.13	138	38	3.33	6.19	979729.50	-10.8
WSF05	35	6	46.13	138	38	7.30	5.32	979729.48	-11.0
ESF21	35	7	12.58	138	39	25.28	16.95	979732.62	-6.0
ESF20	35	7	13.47	138	39	29.54	16.97	979732.79	-5.9
ESF19	35	7	14.11	138	39	33.21	16.93	979733.06	-5.6
ESF18	35	7	15.00	138	39	37.18	16.95	979733.35	-5.3
ESF17	35	7	16.13	138	39	41.15	16.95	979733.57	-5.1
ESF16	35	7	17.02	138	39	45.12	17.12	979733.69	-5.0
ESF15	35	7	18.15	138	39	49.09	17.13	979733.98	-4.7
ESF14	35	7	19.03	138	39	52.36	17.13	979734.20	-4.5
ESF13	35	7	20.16	138	39	56.03	17.16	979734.48	-4.3
ESF12	35	7	21.05	138	40	0.00	17.15	979734.72	-4.1
ESF11	35	7	21.54	138	40	3.27	16.93	979735.01	-3.8
ESF10	35	7	22.42	138	40	6.54	17.10	979735.25	-3.6
ESF09	35	7	23.31	138	40	10.51	17.05	979735.54	-3.3
ESF08	35	7	24.19	138	40	14.48	16.99	979735.84	-3.1
ESF07	35	7	25.57	138	40	17.46	16.94	979736.12	-2.8
ESF06	35	7	26.45	138	40	21.43	17.12	979736.29	-2.6
ESF05	35	7	28.23	138	40	25.39	17.13	979736.56	-2.4
ESF04	35	7	29.11	138	40	29.36	17.12	979736.85	-2.1
ESF03	35	7	30.29	138	40	32.34	17.08	979737.11	-1.9
ESF02	35	7	32.26	138	40	35.32	17.13	979737.33	-1.7
ESF01	35	7	34.52	138	40	38.29	17.01	979737.59	-1.5

し、ブーゲー異常を得た。

本研究では正規重力式として1967年正規重力式を用いた。また、ブーゲー補正を行う際に必要なブーゲー密度の推定には、地形と重力異常の相関が最も低くなるように密度を推定する相関法（例えば、萩原，1978）を採用し、測定地域の最適ブーゲー密度  $2.3\text{g/cm}^3$  を得た。なお、本重

力測定測線は6 km と短いことから、山体の影響は測線全体にほぼ均一に分布することが予想される。そこで本研究では、重力測定点周辺の地形の影響を補正する地形補正を施さなかった。したがって、本論文中のブーゲー異常は、厳密には、単純ブーゲー異常である。

ブーゲー異常とその解釈

Fig. 3 に得られたブーゲー異常を示す。ブーゲー異常値は、測線西端部から約 2 km の地点で最小値 (約 -14 mGal) をとり、東側に向かって 1.7mGal/km 程度の勾配で大きくなっている。これはこの地域の広域ブーゲー異常図 (例えば、楠本ほか, 2002) と調和的である。

本研究では、プレートなど深部構造に由来する広域ブーゲー異常を 1 次式で近似し、浅部構造を反映する 1 次傾向残差ブーゲー異常を求めた。

1 次傾向残差ブーゲー異常を Fig. 4 に示す。Fig. 3 同

様、測線西端部から約 2 km の地点で最小値をとる。重力勾配は、最小値をとる地点の東側で約 0.6mGal/km、西側で約 2.5mGal/km となっており、西側の方が大きくなっている。

本研究の重力測定測線から若干離れた場所であるが、Fig. 5 は、富士川周辺に分布するボーリング・データを基に推定した、笹場-富士川-内房の地下浅部の地質断面図である (恒石・塩坂, 1981)。測線の位置は、恒石・塩坂 (1981) の 図2を参照していただきたい。

富士川の東側に分布する新富士溶岩流 (YF) 及び古富士溶岩流 (OF) は、地下から地表に緩やかに現れているが、富士川の西側に分布する岩淵安山岩 (IA) は、地下

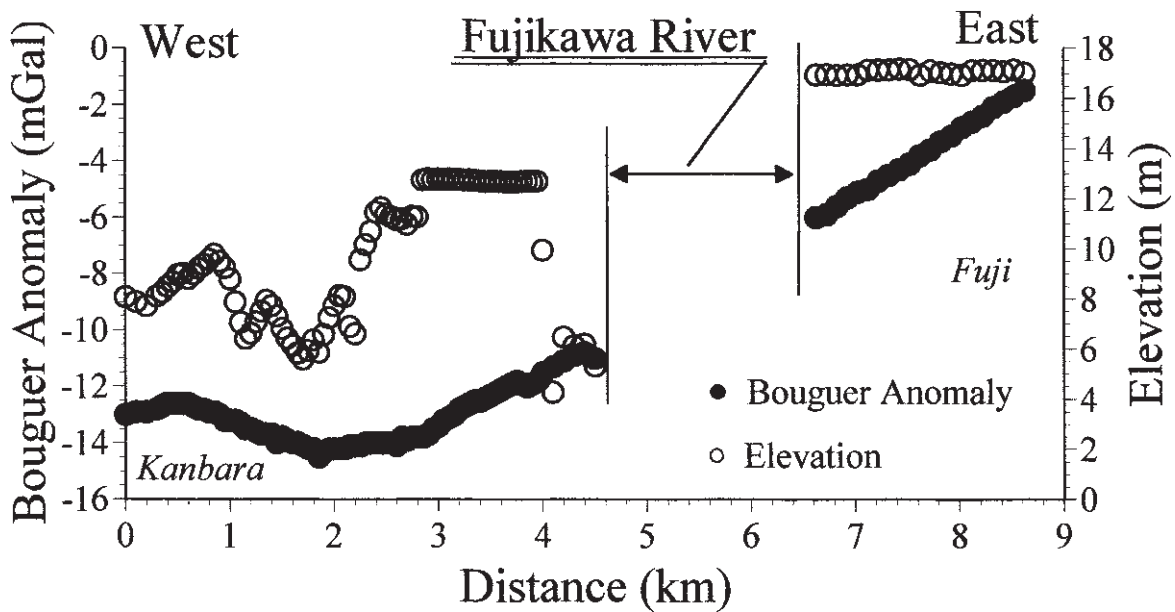


Figure 3 Bouguer anomalies along the survey lines. The Bouguer density is 2.3g/cm<sup>3</sup>.

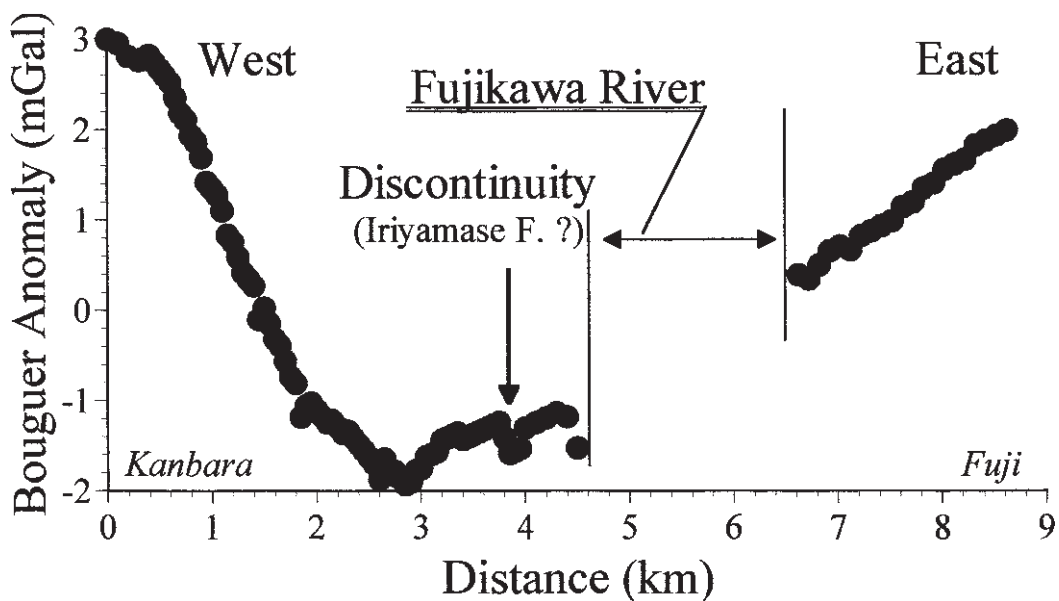
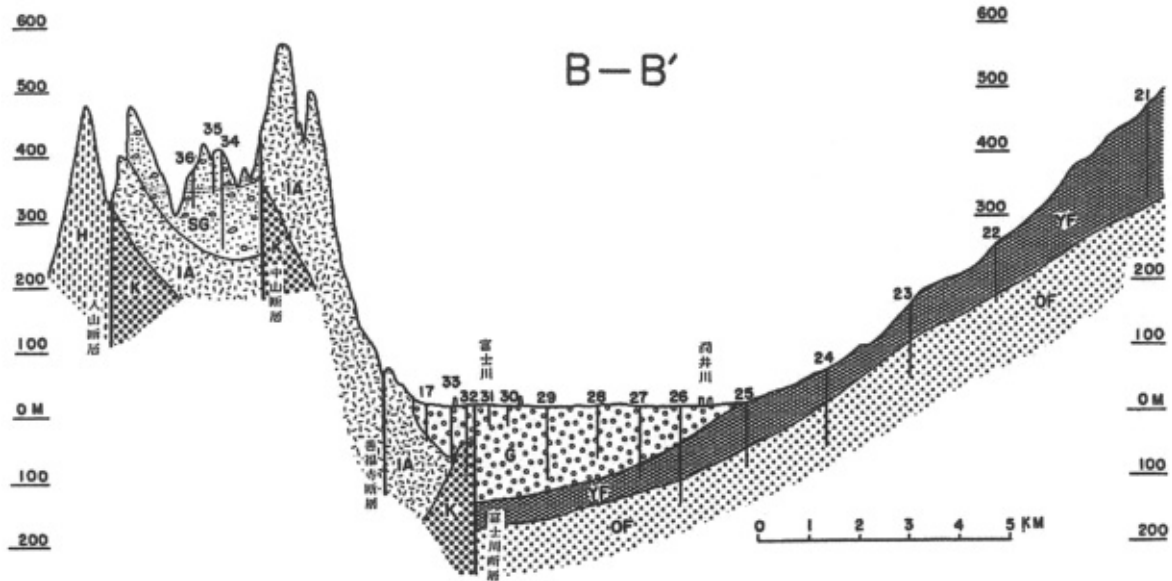


Figure 4 Bouguer anomalies along the survey lines after removing the linear trend.



**Figure 5** Subsurface structure (Sasaba-Fujikawa-Uchihusa cross section) estimated by the drilling data. Numbers shown in this figure indicate the drilling hole number. Location of this cross section (B-B') is shown in Fig. 2 of Tsuneishi and Shiosaka (1981). G: Fan Gravel Layer, YF: Shin-Fuji Lava Flow, OF: Ko-Fuji Lava Flow, SG: Saginota Gravel Layer, IA: Iwabuchi Andesite, K: Kanbara Gravel Layer, H: Hamaishi-dake Layer. (After, Tsuneishi and Shiosaka, 1981)

から急勾配で地表面に達している。密度の高いこれらの溶岩流や安山岩の分布パターンと、1次傾向残差ブーゲー異常のパターンが調和的であることより、本観測で得られたブーゲー異常は、大筋で地下浅部構造の特徴をよく表しているといえる。

ブーゲー異常をもう少し詳しく見てみると、測線西端部から東側3.8km付近に、断層の存在を示唆する不連続がみられる。現段階では、断層の落差や密度差等の定量的な地下構造推定を行っていないが、波長と振幅から、原因となっている断層は、浅いところに存在し、東落ちであると考えられる。富士川河口西岸では、本重力探査の他、反射法地震波探査が実施されている(下川ほか, 1997)。地震探査測線と今回のマイクロ重力探査測線はほぼ一致しており、ブーゲー異常の不連続部近傍に反射面の不連続が認められている。この反射面の不連続は、東落ちの逆断層であり、入山瀬断層である可能性が指摘されている(下川ほか, 1997)。この探査結果を考慮すると、今回観測されたブーゲー異常の不連続は、入山瀬断層に起因するものと考えられる。

今後は、測定間隔50mや100mといった高密度重力測定の分解能を生かせる高精度な地形補正を施し、上述の地震探査結果および周辺地域のボーリング・データ等を利用した地下構造の定量解析を行っていききたい。

## まとめ

富士川河口周辺の地下浅部の構造を知るために、LaCoste & Romberg 重力計 (G-680) を用いてマイクロ

重力探査を実施した。得られた重力値に各種補正を行い、ブーゲー密度  $2.3\text{g/cm}^3$  のブーゲー異常を得た。

広域重力場の影響を除去した1次傾向残差ブーゲー異常を抽出し、ボーリング・データ等から推定した地質断面図と比較を行ったところ、溶岩流や安山岩の分布との対応が非常によく、本観測で得られたブーゲー異常は、地下浅部構造の特徴をよく表していることが分かった。また、測線西端部から東側3.8km付近に、断層の存在を示唆するブーゲー異常の不連続がみられた。現段階では、断層の落差や密度差等の定量的な地下構造推定には至っていないが、波長と振幅、さらに近傍で実施された反射法地震探査の結果から、このブーゲー異常の不連続は、入山瀬断層によるものと考えられる。

## 謝辞

匿名の査読者から戴いた適切なコメントにより、本稿は大きく改善されました。ここに記して深く感謝の意を表します。重力測定に先立ち、東海大学大学院海洋学研究所海洋科学専攻の梶塚氏、海洋学部海洋資源学科の田中敏広、小倉広嗣両氏には、水準測量を実施して頂きました。本研究は、東海大学海洋学部2003年度学部等研究教育補助金(代表者:根元謙次)により行われました。記して皆様に感謝申し上げます。

## 文献

- 萩原幸男 (1978): 地球重力論, 共立出版, 東京, 242pp.  
 岩野祥子・福田洋一・石山達也 (2001): 1次元重力探査によ

- る断層周辺の密度構造推定—檜原断層および麓村断層について—, 地学雑誌, **110**, 44-57.
- 駒澤正夫 (1982): 相模・駿河湾沿岸地域の重力異常, 地質ニュース, **337**, 232-233.
- 駒澤正夫 (2000): 富士山の重力異常と山体の密度構造推定, 月刊地球, **22**, 539-543.
- 駒澤正夫, 石原丈実, 広島俊男 (1992): 日本列島の重力図の作成と主な特徴, 月刊地球, **14**, 166-173.
- 楠本成寿・長尾年恭・駒澤正夫・石原丈実 (2002): 重力異常の水平勾配からみた駿河湾周辺の地下構造, 地震2, **55**, 291-294.
- 野崎京三 (1997): マイクログラビティ探査の現状とその利用, 応用地質技術年報, **19**, 35-60.
- 大塚弥之助 (1938): 静岡県庵原郡東部の地質構造, 地震研究所彙報, **16**, 415-451.
- 里村幹夫 (1994): 東海地方の重力異常, 月刊地球 号外 **11**, 62-68.
- Satomura, M. (1989): Bouguer gravity anomalies in the south fossa magna, central Japan, Modern Geology, **14**, 47-67.
- 下川浩一・山崎晴雄・水野清秀・井村隆介 (1997): 富士川断層系の活動履歴及び活動性調査, 地質調査所研究資料集, **259**, 73-80.
- Tanaka, T. and M. Satomura (1995): Reconsideration on the Isostasy of Mt. Fuji, J. Geod., Soc., Jnp., **41**, 251-262.
- 恒石幸正・塩坂邦雄 (1981): 富士川断層と東海地震, 応用地質, **22**, 52-66.

## 要 旨

富士川断層系の浅部地下構造についての情報を得るために富士川河口を横断するマイクログラビティ探査を実施し, 最適ブーゲー密度が  $2.3\text{g/cm}^3$  であるブーゲー異常を得た。ボーリングデータから推定された安山岩や溶岩流の深さ分布と比較すると, 観測されたブーゲー異常は浅部地下構造を反映していることが定性的に示された。また, ブーゲー異常の不連続から入山瀬断層の位置も示唆された。