

福井県芦原温泉地域における重力探査

京都大学理学部地質学鉱物学教室 阿部 悦夫

福井大学教育学部地学教室 安川 克巳

A Gravity Survey in the Area of Awara Hot Springs, Fukui Prefecture

Etsuo ABE

Department of Geology and Mineralogy, Faculty of Science, Kyoto University

Katsumi YASUKAWA

Geological Laboratory, Faculty of Education, Fukui University

In August of 1967 in Fukui Prefecture a gravity survey was made with a Worden gravimeter occupying 181 stations in the area of Awara Hot Springs and its vicinity.

The purpose of this survey was to get a clue for the underground geologic structure related to an exploration of the hot springs.

The result of the gravity measurements is tabulated at the end of the present report. Distributions of Bouguer anomalies and of residual gravity anomalies are shown in Fig. 1 and in Fig. 2 respectively.

In Fig. 2, the most remarkable is a "gravity high" with its maximum value situated near Awara railway station, which suggests the existence of andesitic rocks in the basement. This is consistent with drilling data and a surface geological survey.

1. 序 言

福井県芦原町は福井平野をつくっている沖積層地域の北隅にあり、温泉街のすぐ北側には加越台地と呼ばれている洪積台地が広がっている。これらの第4紀層の下には新第3系に属する諸岩層があってこの地域一帯の基盤岩となっている。

在来芦原温泉では主として泉源保護を目的とするいくつかの制約のうちの一つとして、温泉井の掘さく深度を制限し第4紀の砂礫層の中からのみ採湯してきたので、上記の基盤岩に達する井戸は皆無であった。ところが近年揚湯量が増加するに伴って水位や水温の低下が見られ、この対策に基盤面付近の地下地質構造をできるだけ明らかにする必要性が生じてきた。この目的で昭和29年以来数回にわたって水理地質学的な研究^{1,2,3)}が繰り返され、特に昭和39年の調査の際には温泉街周辺地域の4個所にはじめて基盤に達する観測井が掘さくされたのである。これによって目的の地下構造を推定するかなり有効な手がかりを得たのであるが、これらの井戸はいずれも前述のような位置にあり、この温泉の湧出機構をもっと明瞭にするためには街の中心部付近にも基盤にまで達する観測用の深井戸を掘さくすることが望まれるに至った。

この井戸の最も適当な位置を決める一助とし、あわせてこの地域の地下構造のあらまし、す

なわち主として基盤面の深さや形状などを知るために、昭和 42 年 8 月重力探査が実施された。以下これについてまとめるが、深井戸の掘さくは諸般の事情により未だ行なわれていないので、探査による推定との照合は将来に残されている。

2. 測定と結果

重力探査を行なった地域は芦原町を中心とし、東西および南北の方向にいずれも約 3 km にわたる区域内で、測点数は計 181 点である。これらの測点の位置は第 1 図と第 2 図に示される通りである。このうち測点 No. 118 は北陸農政局によって設置された水準点で、その標高は海拔 5.52 m と定められているが、全測点の海拔高はこれに比較して 2 等水準測量により求められている。次に重力測定には京都大学理学部所属の Worden 重力計 No. 127 (目盛常数 0.1004 mgal/div.) を使用し、測定の基点には測点 No. 83 を採用した。この基点における重力値

$$g = 979.87170 \text{ gal}$$

は福井気象台地震計室の地震計台上の値 979.85147 gal⁴⁾ に、相互間の往復測定によって見いだされた重力差 20.23 mgal を加えて決定したものである。

さて、探査地域における重力測定はすべてこの基点を出発測点および帰着測点とするいわゆる loop method によって行なわれた。この 1 つの loop 内の測定点数は平均 10 数点とし、loop を閉じるのに要する時間をほぼ 1 時間程度に限定した。このため潮汐の影響はこれを含めた見かけの drift に対する補正のみを行なえば十分除き得るものとして観測値を処理してある。また 1 つ loop を閉じた場合の見かけの drift、すなわち閉塞差が $\pm 0.15 \text{ mgal}$ をこえた場合は原則として再測定を行なった。

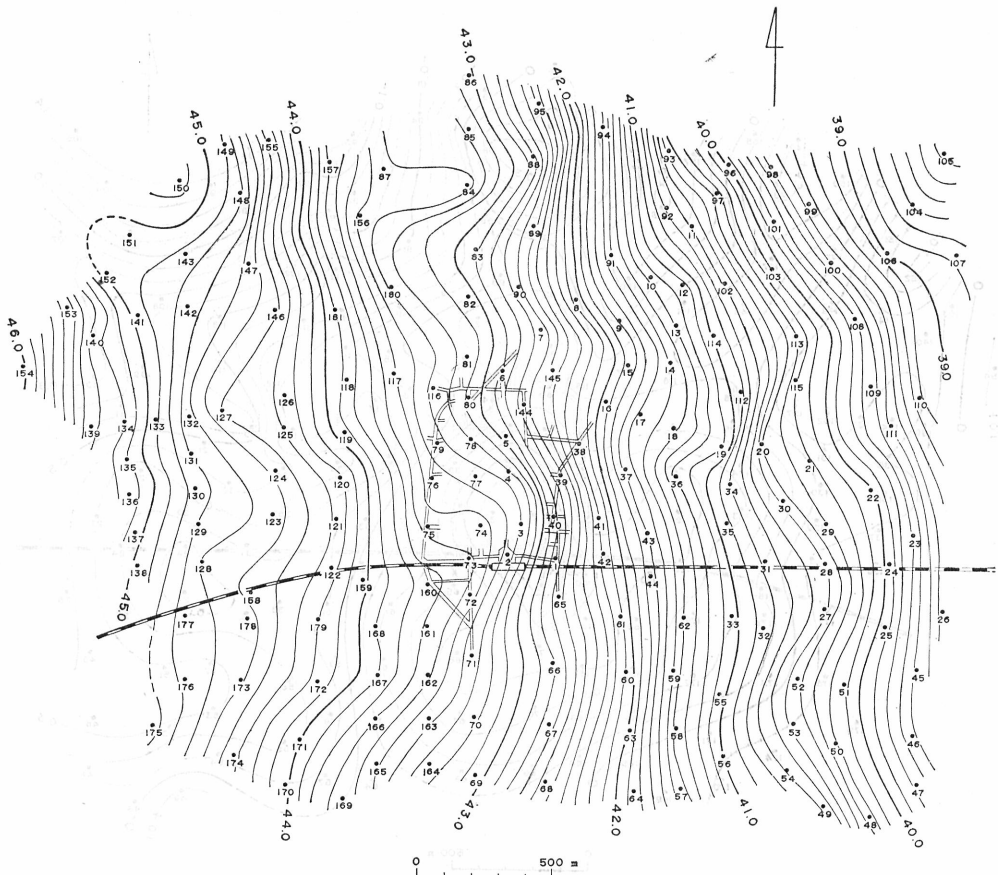
次に重力異常を見いだすための手続きのうち、高度補正のための重力鉛直勾配には一様に正規勾配 0.3086 mgal/m を採用し、地形補正と Bouguer 補正のための岩石の密度には 1.6 gr/cm³ を仮定した。地形補正を必要とする測点数は計 43 点 (表参照) であった。また標準重力は Helmert の 1901 年式によって計算したものである。

以上すべての測点に対する結果はこの報告の終りに付した一覧表に示される通りであるが、第 1 図はこれらの Bouguer 異常の分布を用い 0.1 mgal ごとにひかれたその等値線図である。

3. 考察と結語

第 1 図によると Bouguer 異常は大きくみて東から西へ約 6 mgal 増加しており、その中にいくつかの局所的な小異常が含まれている。Bouguer 異常はいうまでもなく地下におけるあらゆる密度分布の総括的な反映であるが、この探査の目的は地表からせいぜい 100 m 内外の深さ (この深さは序言に述べた温泉街周辺部の 4 本の観測井の掘さく結果による概略値である) にあると思われる基盤上面付近の地質構造のみであって、これよりも深いところに存在する構造がもたらす異常は不要であるといえることができる。

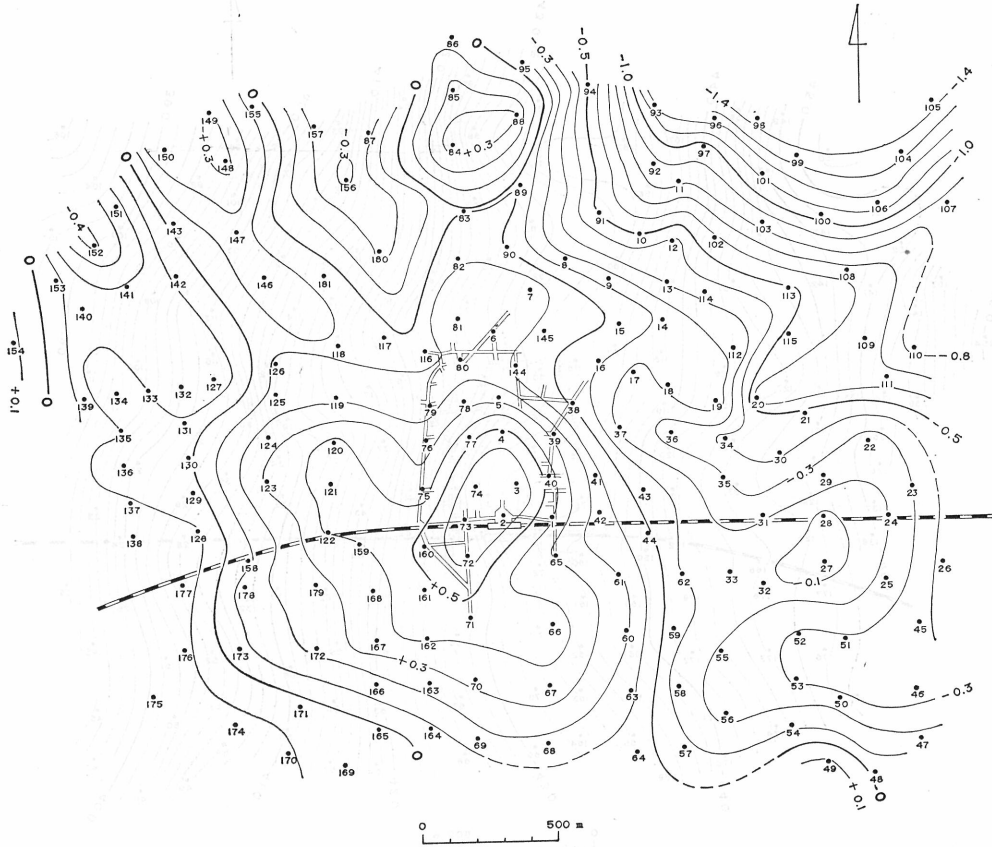
東京大学地震研究所ならびに建設省国土地理院が行なった全国的な重力測定の結果得られた Bouguer 異常図^{4, 5)}において、当該地域における分布を外挿的に推察してみると、ほぼ東から西へ向って単調に増加していることがうかがわれる。これらの全国的な測定は 1 等水準点でのみ行なわれたもので、その測点間隔から考え合わせると上記の増加はこの地方一帯の一般的な



第1図 Bouguer 異常分布図 単位: mgal

傾向で、地下深部の大構造に起因するものと考えてよさそうである。従って第1図中に見られる局所的な小異常が目的としている基盤付近の構造を説明する資料にほかならないものと思われ、この小異常のみを明瞭にとり出すため下記の手続きを行なった。すなわち第1図によると測定地域の南端付近は局所的な異常がほとんど無く東西に比較的単調に変化しているから、この付近にあって最も適当と考えられる測点 20 点を選び最小自乗法によって処理した結果、東から西への単調増加の水平勾配を 0.001782 mgal/m と算出することができた。これを前述の一般的傾向とみなし、全測点からとり除く作業を行なって得られたいわゆる残留重力図が第2図である。第2図中 0 mgal の線は特別に意味がなく、相対的な正または負の重力差のみが問題であることはいうまでもない。第2図は測定地域内の基盤の状況を直接反映している重力異常図ということになるが、芦原駅付近を最大値とする約 0.7 mgal におよぶ正の異常が最も顕著であり、この傾向が北および北西の方向に続いているのが注目される。またこのほかには、2, 3 負の異常が存在している。

さて一方、これらの異常を生じる地質構造には次の2通りが考えられる。それは (1) 基盤自体の起伏、あるいは (2) 密度分布の異常、である。そこで本探査の場合であるが、最も注目す



第 2 図 残留重力異常分布図 単位: mgal

べき正の異常が存在する芦原駅あたりの基盤の深さが前述の通りおよそ 100 m 内外であることと、測定地域の地下を構成する岩石の密度が比較的小さいことを考慮すれば、残留重力異常が近傍に対して相対的に負の地域は (1) によるもの、すなわち第 4 紀層が厚いものと仮定するほかないが、相対的に正の地域には (1), (2) 双方の考え方が可能である。まず (1) による影響を新第 3 紀層と第 4 紀層との密度差を 0.5 gr/cm^3 として概算したところできるだけ大きく見積っても、 0.2 mgal 程度の異常しか説明できないことがわかり、計算の上では上記 0.7 mgal の正の異常に限って密度差の大きい火成岩の存在を仮定しなければ解釈がつかないことになった。

実際に、序言にも述べた温泉街周辺部における 4 本の観測井のうち、西南部の温泉発祥地に掘さくされた井戸では深さ 102 m で安山岩に到達⁵⁾ しており、また芦原町の北西方向にあって、加越台地の西端陣ヶ岡付近に露出する基盤岩中にも安山岩類が含まれている⁶⁾ ことなど今日までの研究をみても、この正異常地域下部の基盤付近には安山岩が貫入存在するものと仮定して無理ではないと考えられる。

しかし確かな結論を下すには重力探査の資料のみでは不十分であり、今後他の研究にまたね

ばならない点もあって現在のところ以上の想定にとどまっているが、詳細なモデル計算を目下筆者の一人安川が行なっている。これによる推論はきわめて近い将来別途に報告されるはずである。

終わりにあたって、この探査の機会を与えられ種々の助言をいただいた京都大学理学部初田甚一郎教授に、また終始有益な批判をしていただいた福井大学塚野善蔵教授に深く感謝の意を表するものである。

文 献

- 1) 坂本峻雄・益子 安・伊藤幸二：温泉の地球化学的研究(第3報), 温泉科学, 7, 86-99 (1956).
- 2) 塚野善蔵：芦原温泉の水理地質学的研究, 福井大学学芸学部紀要, 第II部, 第10号, 第5集, 119-146 (1960).
- 3) 福井県厚生部：福井県芦原温泉源保護ならびに開発のための基礎調査, 1-41 (1966).
- 4) Tsuboi, C., JITSUKAWA, A., TAJIMA, H.: Gravity Survey along the Lines of Precise Levels throughout Japan by means of a Worden Gravimeter. Part 6. Chubu District, *Bull. Earthq. Res. Inst., Suppl. Vol.*, 4, 199-310 (1955).
- 5) Geographical Survey Institute: Gravity Survey in Japan (3), III. Gravity Survey in the Kantō and Chūbu District, *Bull. Geog. Surv. Inst.*, 9, 155-340 (1964).
- 6) 三浦 静：福井県加越台地の地質—第1報—, 福井大学学芸学部紀要, 第II部, 第7号, 第5集, 149-161 (1957).

測定結果の表

H : 重力測定点の海拔高 $\delta g''$: Bouguer 補正值
 g : 重力観測値 γ_0 : 標準重力 (Hermelt 1901)
 δg_0 : 高度補正值 $\Delta g_0''$: Bouguer 異常
 $\delta g'$: 地形補正值

No.	H (m)	g (gal)	δg_0 (mgal)	$\delta g'$ (mgal)	$\delta g''$ (mgal)	γ_0 (gal)	$\Delta g_0''$ (mgal)
		979.				979.	
1	3.54	87625	1.09		-0.24	83433	42.77
2	3.56	87686	1.10		-0.24	83434	43.38
3	3.16	87695	0.98		-0.21	83442	43.30
4	3.60	87694	1.11		-0.24	83457	43.24
5	3.74	87672	1.15		-0.25	83467	42.95
6	4.74	87662	1.46		-0.32	83486	42.90
7	4.88	87642	1.51	0.04	-0.33	83498	42.66
8	34.55	86863	10.66	0.15	-2.32	83507	42.05
9	13.13	87351	4.05	0.12	-0.88	83501	41.79
10	24.87	87020	7.67	0.17	-1.67	83513	41.24
11	26.82	86947	8.28	0.01	-1.80	83528	40.68
12	25.60	87000	7.90	0.08	-1.72	83511	41.15
13	21.47	87098	6.63	0.11	-1.44	83500	41.28
14	23.51	87067	7.26	0.02	-1.58	83489	41.48
15	25.76	87046	7.95	0.08	-1.73	83488	41.88
16	5.67	87533	1.75	0.02	-0.38	83477	41.95
17	7.70	87441	2.38	0.06	-0.52	83474	41.59
18	8.23	87401	2.54	0.11	-0.55	83470	41.41
19	7.91	87375	2.44	0.13	-0.53	83465	41.14
20	5.96	87358	1.84	0.02	-0.40	83465	40.39
21	6.99	87311	2.16	0.03	-0.47	83462	40.21
22	6.45	87297	1.99	0.02	-0.43	83453	40.02
23	5.80	87257	1.79	0.11	-0.39	83440	39.68
24	5.65	87290	1.74		-0.38	83432	39.94
25	5.17	87281	1.60		-0.35	83413	39.93
26	4.83	87236	1.49		-0.32	83418	39.35
27	4.30	87368	1.33		-0.29	83419	40.53
28	4.75	87366	1.47		-0.32	83431	40.50
29	4.86	87356	1.50		-0.33	83443	40.30
30	4.62	87382	1.43		-0.31	83449	40.45
31	4.30	87404	1.33		-0.29	83432	40.76
32	3.54	87414	1.09		-0.24	83413	40.86
33	3.25	87443	1.00		-0.22	83416	41.05
34	4.51	87425	1.39		-0.30	83454	40.80
35	4.11	87437	1.27		-0.28	83442	40.94
36	4.11	87476	1.27		-0.28	83456	41.19
37	3.87	87531	1.19		-0.26	83458	41.66
38	4.09	87586	1.26		-0.27	83465	42.20

(その2)

No.	H (m)	g (gal)	δg_0 (mgal)	$\delta g'$ (mgal)	$\delta g''$ (mgal)	γ_0 (gal)	$\Delta g_0''$ (mgal)
39	3.82	87625	1.18		-0.26	83456	42.61
40	3.53	87643	1.09		-0.24	83444	42.84
41	3.68	87577	1.14		-0.25	83444	42.22
42	3.00	87580	0.93		-0.20	83434	42.19
43	3.55	87525	1.10		-0.24	83440	41.71
44	2.99	87529	0.92		-0.20	83427	41.74
45	4.49	87250	1.39		-0.30	83401	39.58
46	4.67	87231	1.44		-0.31	83382	39.62
47	4.80	87230	1.48		-0.32	83368	39.78
48	3.96	87286	1.22		-0.27	83358	40.23
49	3.84	87337	1.19		-0.26	83361	40.69
50	4.08	87301	1.26		-0.27	83379	40.21
51	4.34	87304	1.34		-0.29	83396	40.13
52	3.88	87347	1.20		-0.26	83398	40.43
53	3.75	87341	1.16		-0.25	83385	40.47
54	3.62	87352	1.12		-0.24	83371	40.69
55	2.89	87428	0.89		-0.19	83393	41.05
56	2.93	87405	0.90		-0.20	93375	41.00
57	2.79	87443	0.86		-0.19	83366	41.44
58	2.74	87456	0.85		-0.18	83384	41.39
59	2.46	87492	0.76		-0.17	83400	41.51
60	2.34	87553	0.72		-0.16	83399	42.10
61	3.13	87552	0.97		-0.21	83415	42.13
62	3.60	87468	1.11		-0.24	83415	41.40
63	2.42	87521	0.75		-0.16	83382	41.98
64	2.58	87489	0.80		-0.17	83365	41.87
65	2.70	87620	0.83		-0.18	83422	42.63
66	2.25	87631	0.69		-0.15	83402	42.83
67	2.41	87603	0.74		-0.16	83384	42.77
68	2.38	87569	0.73		-0.16	83368	42.58
69	3.20	87598	0.99		-0.22	83369	43.06
70	2.90	87639	0.89		-0.19	83386	43.23
71	2.47	87681	0.76		-0.17	83404	43.36
72	2.82	87710	0.87		-0.19	83421	43.57
73	3.13	87717	0.97		-0.21	83432	43.61
74	3.09	87723	0.95		-0.21	83441	43.56
75	3.50	87714	1.08		-0.24	83441	43.57
76	3.62	87711	1.12		-0.24	83455	43.44
77	3.37	87710	1.04		-0.23	83456	43.35
78	3.70	87697	1.14		-0.25	83466	43.20
79	3.75	87707	1.16		-0.25	83465	43.33
80	3.86	87693	1.19		-0.26	83478	43.08
81	14.14	87451	4.36	0.15	-0.95	83490	43.17

(その3)

No.	H (m)	g (gal)	δg_0 (mgal)	$\delta g'$ (mgal)	$\delta g''$ (mgal)	γ_0 (gal)	$\Delta g_0''$ (mgal)
82	30.06	87086	9.28		-2.02	83507	43.05
83**	26.57	87170	8.20		-1.78	83521	42.91
84	25.11	87266	7.75		-1.68	83539	43.34
85	24.77	87276	7.64		-1.66	83555	43.19
86	24.76	87276	7.64		-1.66	83571	43.03
87	25.80	87251	7.96		-1.73	83543	43.31
88	25.88	87206	7.99	0.02	-1.74	83547	42.86
89	6.28	87617	1.94	0.11	-0.42	83527	42.53
90	5.11	87641	1.58	0.08	-0.34	83510	42.63
91	28.13	86990	8.68	0.02	-1.89	83520	41.51
92	25.82	86983	7.97	0.04	-1.73	83533	40.78
93	5.62	87455	1.73	0.04	-0.38	83550	40.44
94	30.91	86965	9.54	0.04	-2.07	83556	41.60
95	25.12	87202	7.75	0.01	-1.69	83563	42.46
96	23.95	86960	7.39	0.04	-1.61	83546	39.96
97	25.69	86950	7.93	0.01	-1.72	83538	40.34
98	15.75	87114	4.86		-1.06	83546	39.48
99	11.48	87192	3.54		-0.77	83535	39.34
100	21.93	86937	6.77		-1.47	83518	39.49
101	19.98	87025	6.17		-1.34	83530	39.78
102	18.56	87130	5.73		-1.25	83512	40.66
103	18.19	87086	5.61		-1.22	83516	40.09
104	30.32	86669	9.36		-2.03	83536	38.66
105	33.29	86582	10.27		-2.23	83550	38.36
106	29.15	86716	9.00		-1.96	83521	38.99
107	41.62	86404	12.84		-2.79	83521	38.88
108	33.86	86654	10.45		-2.27	83502	39.70
109	23.39	86870	7.22	0.12	-1.57	83483	39.64
110	7.60	87201	2.35	0.05	-0.51	83479	39.11
111	7.16	87242	2.21	0.03	-0.48	83471	39.47
112	9.89	87323	3.05	0.09	-0.66	83480	40.91
113	29.33	86819	9.05		-1.97	83497	40.30
114	27.88	86921	8.60		-1.87	83497	40.97
115	37.20	86600	11.48	0.07	-2.50	83484	40.21
116	4.08	87704	1.26	0.03	-0.27	83480	43.26
117	4.15	87733	1.28	0.03	-0.28	83484	43.52
118*	5.45	87736	1.68	0.02	-0.37	83483	43.86
119	3.04	87785	0.94		-0.20	83468	43.91
120	2.64	87814	0.81		-0.18	83454	44.23
121	2.27	87816	0.70		-0.15	83443	44.28
122	2.20	87801	0.68		-0.15	83429	44.25
123	1.97	87852	0.61		-0.13	83444	44.56
124	2.59	87841	0.80		-0.17	83456	44.48

(その4)

No.	H (m)	g (gal)	δg_0 (mgal)	$\delta g'$ (mgal)	$\delta g''$ (mgal)	γ_0 (gal)	$\Delta g_0''$ (mgal)
125	3.04	87825	0.94		-0.20	83469	44.30
126	4.02	87800	1.24	0.09	-0.27	83478	44.28
127	3.31	87833	1.02		-0.22	83473	44.40
128	1.60	87852	0.49		-0.11	83430	44.60
129	1.85	87865	0.57		-0.12	83441	44.69
130	2.16	87874	0.67		-0.15	83451	44.75
131	2.54	87869	0.78		-0.17	83461	44.69
132	2.99	87864	0.92		-0.20	83471	44.65
133	3.53	87878	1.09		-0.24	83470	44.93
134	3.16	87914	0.98		-0.21	83470	45.21
135	2.66	87905	0.82		-0.18	83459	45.10
136	2.17	87915	0.67		-0.15	83449	45.18
137	1.64	87902	0.51		-0.11	83438	45.04
138	1.67	87886	0.52		-0.11	83429	44.98
139	3.29	87922	1.02		-0.22	83469	45.33
140	20.42	87530	6.30		-1.37	83495	45.28
141	21.44	87478	6.62		-1.44	83501	44.95
142	19.88	87498	6.13		-1.33	83503	44.75
143	19.69	87530	6.08		-1.32	83518	44.88
144	3.94	87647	1.22		-0.26	83476	42.67
145	4.75	87618	1.47		-0.32	83486	42.47
146	21.75	87419	6.71		-1.46	83502	44.42
147	18.30	87530	5.65	0.02	-1.23	83516	44.58
148	19.34	87552	5.97		-1.30	83536	44.83
149	19.45	87569	6.00		-1.30	83550	44.89
150	18.23	87614	5.63		-1.22	83539	45.16
151	17.88	87587	5.52		-1.20	83523	44.96
152	19.35	87540	5.97		-1.30	83513	44.94
153	18.26	87615	5.64		-1.22	83503	45.54
154	22.53	87544	6.95		-1.51	83485	46.03
155	4.59	87872	1.42	0.05	-0.31	83551	44.37
156	5.38	87732	1.66	0.03	-0.36	83530	43.35
157	4.83	87790	1.49	0.07	-0.32	83545	43.69
158	2.35	87811	0.73		-0.16	83422	44.46
159	2.54	87767	0.78		-0.17	83425	44.03
160	2.75	87733	0.85		-0.18	83425	43.75
161	2.35	87723	0.73		-0.16	83412	43.68
162	2.21	87707	0.68		-0.15	83398	43.62
163	2.26	87673	0.70		-0.15	83385	43.43
164	2.26	87642	0.70		-0.15	83372	43.25
165	2.09	87674	0.64		-0.14	83372	43.52
166	2.19	87702	0.68		-0.15	83385	43.70
167	2.09	87739	0.64		-0.14	83398	43.91

(その5)

No.	H (m)	g (gal)	δg_0 (mgal)	$\delta g'$ (mgal)	$\delta g''$ (mgal)	γ_0 (gal)	$\Delta g_0''$ (mgal)
168	2.21	87750	0.68		-0.15	83412	43.91
169	2.26	87683	0.70		-0.15	83363	43.75
170	2.36	87711	0.73		-0.16	83366	44.02
171	2.30	87723	0.71		-0.15	83379	44.00
172	2.16	87761	0.67		-0.15	83396	44.17
173	2.10	87798	0.65		-0.14	83397	44.52
174	2.27	87753	0.70		-0.15	83375	44.33
175	1.45	87831	0.45		-0.10	83382	44.84
176	1.54	87826	0.48		-0.10	83396	44.68
177	1.39	87845	0.43		-0.09	83414	44.65
178	2.37	87812	0.73		-0.16	83414	44.55
179	2.94	87764	0.91		-0.20	83414	44.21
180	4.47	87709	1.38	0.16	-0.30	83510	43.23
181	4.34	87772	1.34	0.15	-0.29	83503	43.89

* 水準測量の基点

** 重力測定 of 基点