



Title	4. 北海道くったら湖上の重力異常
Author(s)	横山, 泉; YOKOYAMA, Izumi; 中井, 新二 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 17, 23-31
Issue Date	1967-02-20
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.17.23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13922
Type	departmental bulletin paper
File Information	17_p23-31.pdf



4. 北海道くったら湖上の重力異常

横山 泉・中井新二

西田泰典・広田知保

(北海道大学理学部地球物理学教室)

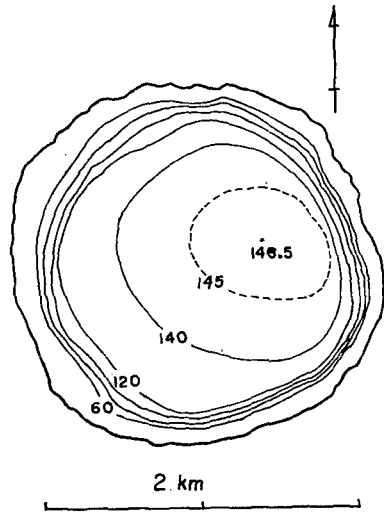
— 昭和41年10月受理 —

1. ま え が き

くったら湖は登別温泉の東方に位置し、直径2.4 kmの円形の湖で湖面の標高は海拔257 mである。田中館¹⁾によれば、平均深度105 m、最深146.5 mで、その深度分布は第1図に示されている。くったら湖は流入河川も流出河川もない全くの閉塞湖であり、その水収支に関する研究は、中尾ら²⁾によって既になされている。

この湖の外周に、直径約3 kmの環壁がめぐらされ、「くったらカルデラ」が形成されている。この環壁は高さが略400 mから500 mまでで、東部および西部が高くて530 mを越すところがあり、南部および北部には345 m程の鞍部がある。周辺の地形は第2図に示される：東南方約4 kmで太平洋岸に達するが、南方および東方も大体これに似た傾斜である。ただ北西方に、500 mを越す小台地があり、西方には四方嶺(549 m)を越えて約2 kmの位置に、登別温泉、地獄谷、大湯沼などの小凹地(平均標高約250 m)がある。しかしこれらを概観すれば、くったら湖の中心から5 kmぐらまでの地形は、略対称的であると言える。

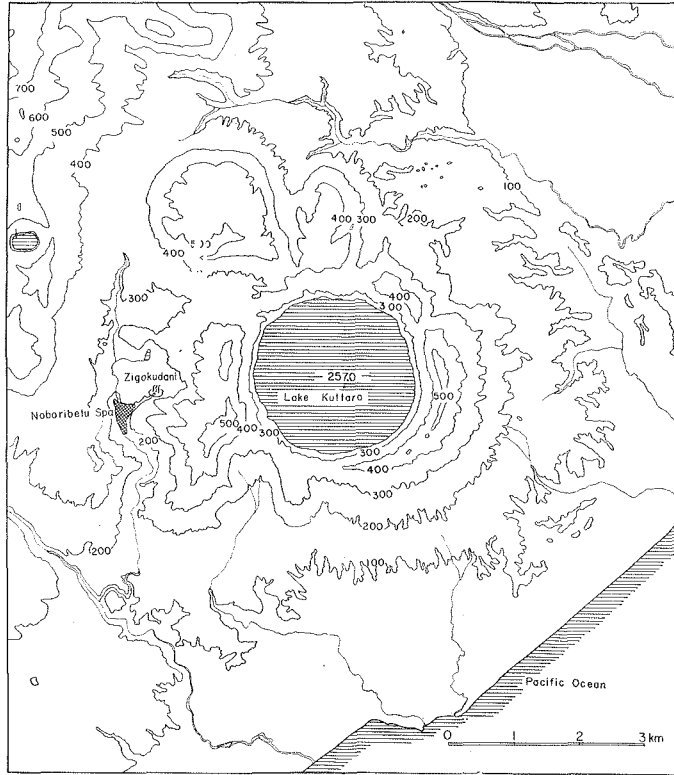
くったら湖周辺の地質図は、5万分の1地質図「徳舜瞥」³⁾および「登別温泉」⁴⁾に与えられているが、ここには石川⁵⁾によってまとめられたものから、くったら火山からの噴出物の分布だけを第3図に示す。くったら火山は洪積世に活動を始めて、そ



第1図 くったら湖の等深図(単位: m. 田中館による)

Fig. 1. Depth contours of Lake Kuttara after H. TANAKADATE. Unit is meter.

- 1) 田中館秀三; 北海道火山湖研究概報, 北海道庁(1925).
- 2) 中尾欣四郎・愛沢行三・大槻榮; 倶多楽湖の水収支, 北大地球物理研究報告, 15(1966), 21.
- 3) 太田良平; 5万分の1「徳舜瞥」図幅説明書, 地質調査所(1954).
- 4) 斎藤昌之・小山内照・酒匂純俊; 5万分の1「登別温泉」図幅説明書, 北海道地下資源調査所(1953).
- 5) T. ISHIKAWA; Supplement to guide-book for excursion to active volcanoes in Hokkaido(1962), 23.



第2図 くつたら湖周辺の地形図

Fig. 2. Topographical map around Lake Kuttara.

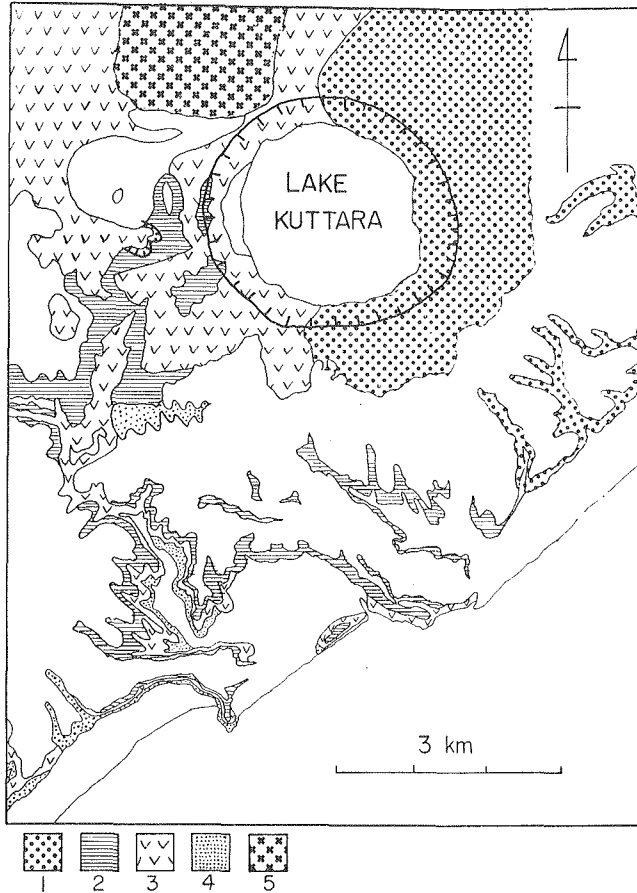
の噴出物は普通輝石、紫蘇輝石安山岩質の集塊岩、集塊質凝灰岩、火山灰、熔岩流、軽石、溶結凝灰岩などからなり、溶結凝灰岩は台地状地形をなして四方へ拡がり、登別海岸やクスリサンベツ川の紅葉谷溪谷には、みごとな柱状節理が発達している。この溶結凝灰岩は第3図の北方約4 kmの地点まで拡がっているようである。これらの噴出物の総量に関する詳細なる調査は未完成であるが、石川ら⁶⁾は、面積56 km²、平均厚さ50 mとして、約3 km³なる評価をしている。

2. 重力測定

測定に用いた重力計は LACOSTE & ROMBERG 重力計測地用 G 型 No. 31 である。この重力計の特性については、本教室報告に既に報告してある⁷⁾。1965年8月9日、ボートによって

6) T. ISHIKAWA, M. MINATO, H. KUNO, T. MATSUMOTO and K. YAGI; Welded tuffs and deposits of pumice flow and Nciee Ardente in Japan, Congreso Geologico Internacional, Vulcanologia del Cenozaico (1957), 137.

7) 横山泉; LACOSTE & ROMBERG "G" 型測地用重力計 No. 31 について, 北大地球物理研究報告, 11 (1963), 41, 14 (1965), 49.



第3図 くつたら火山からの噴出物の分布

Fig. 3. Distribution of the ejecta from Kuttara Volcano.

1: Kojohama fragmental ejecta, 2: Pon-ayoro pumice deposit (Mainly composed of pumice flow deposit), 3: Noboribetsu welded tuff, 4: Ronpoge pumice deposit (Mainly composed of pumice fall deposit), 5: Kita-yama lava (Augite hypersthene andesite).

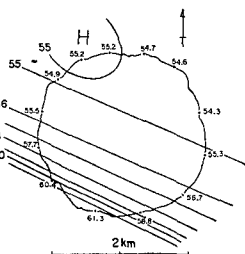
(Compiled by T. ISHIKAWA, from 1/50000 geological maps of Noboribetsu-onsen and Tokushunbetsu).

湖岸を一周して、湖水面を利用して高さを決め、13点の測定を行なった。その結果は第1表の測点No.1からNo.13までに示されており、ブーゲー異常の分布を示すと、第4図のようになる。この際、地殻の平均密度を2.67 gr/cc、重力の鉛直傾度を0.3086 mgal/mとしたが、全測点の高さが殆んど等しいので、各種の補正値の相互差は殆んどない。また、これには地形補正を施してない。外周の地形は前述のように殆んど対称的であり、また、この地形に対して測定範囲も狭いので、外周地形に対する補正は無視して、第1図に示した湖水の深さに対する補正を加えたものが第5図である。但し、陸地の平均密度を2.3 gr/ccとした。この重力異常分布は、

第1表 くったら湖における重力測定結果

Table 1 Gravity values observed on and around Lake Kuttara.

	λ 141°E	φ 42°N	Height (m)	Normal value (mgal) 980,	Observed value (mgal) 980,	Free-Air anomaly (mgal)	BOUGUER anomaly (mgal)
No. 1	10.5	30.3	257	404.49	408.60	83.42	54.71
2	11.8	29.3		402.99	409.12	85.44	56.73
3	12.0	29.7		403.59	408.31	84.03	55.32
4	12.0	30.0		404.04	407.78	83.05	54.34
5	11.7	30.4		404.64	408.63	83.30	54.59
6	11.4	30.5		404.79	408.91	83.43	54.72
7	11.0	30.5		404.79	409.34	83.86	55.15
8	10.7	30.4		404.64	409.27	83.94	55.23
9	11.3	29.2		402.84	411.06	87.53	58.82
10	10.8	29.2		402.84	413.55	79.31	61.31
11	10.4	29.5	403.29	413.07	89.09	60.38	
12	10.2	29.7	403.59	410.73	86.45	57.74	
13	10.3	30.0	404.04	408.97	84.24	55.53	
21	11.6	30.0	404.04	403.34	78.61	49.90	
22	11.5	30.0	404.04	402.62	77.89	49.18	
23	11.3	29.9	403.89	402.11	77.53	48.82	
24	11.1	29.8	403.74	402.37	77.94	49.23	
25	11.0	29.8	403.74	403.15	78.72	50.01	
26	10.8	29.7	403.59	404.07	79.79	51.08	
27	10.7	29.6	403.44	406.17	82.04	53.33	
28	10.5	29.5	403.29	410.18	86.20	57.49	



方向へ一往復した。当時、積雪量が多く、徒歩で中登別からカルデラ壁を越えて湖畔に達するのに困難を極めた。湖の結氷の厚さは、約 20 cm であった。

夏季の水面と、冬季の結氷面とは標高が異なるが、測点 No. 11 において両季の重力値が測定されているので、その差から高度差を推算した：

1965 年 8 月 9 日： 980,403.29 mgal

1966 年 3 月 2 日： 980,403.50 mgal

両者の差は 0.21 mgal であるが、いま重力の鉛直傾度を 0.3086 mgal/m とすれば、高度差は約 70 cm となる。すなわち、冬季の結氷面が夏季の水面（ここでは 257.0 m とする）より約 70 cm 低いと結論される。

測点 No. 11 から略北東方向の直径に沿って、No. 21 から No. 28 まで、氷上において重力を測定したが、これを夏季水面 (257.0 m) に換算して第 1 表に示してある。但し、異常値には地形補正を施していない。

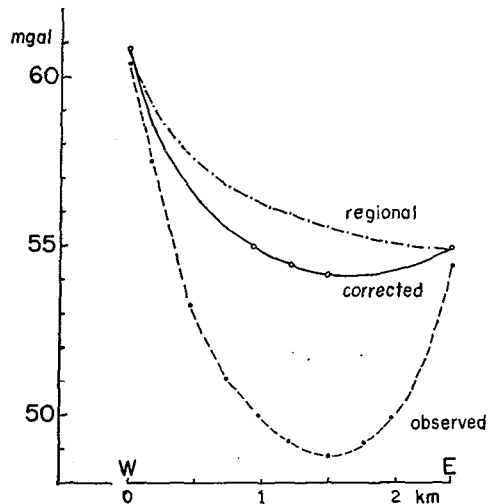
地形補正は前と同様に、湖水に対してだけ図式的に求めた。それを No. 11~No. 28 の測線に沿って示すと、第 6 図のようになる。

図中“observed”とは、第 1 表右端に示してある、地形補正を施していないブーゲー異常値である。これに地形補正を施したものが“corrected”なる曲線である。また“regional”とは、第 5 図の等異常線のプロファイルを示している。

そこで後の 2 者すなわち、“corrected”と“regional”との差が、局所異常を表わすわけである。“corrected”なるプロファイルに対応するブーゲー異常の平面分布は第 7 図に示される。第 7 図の分布と、第 5 図の分布との差を、図式的に求めると、局所異常として第 8 図に示される分布を得る。すなわち、最大 1.5 mgal に達する負の異常が、カルデラ構造に起因するであろう局所異常である。

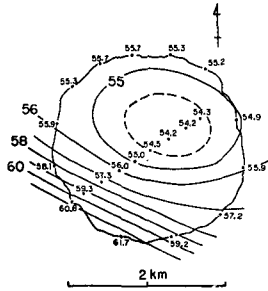
上に得られた 1.5 mgal なる異常値は、大きなカルデラでの異常値、例えば屈斜路カルデラ（直径約 22 km）での約 45 mgal に比較すれば、著しく小さいが、その傾向を同じくしている。

これと比較するために、噴火口における測定例を挙げよう。この場合、地形補正が大きくない噴火口が望ましいが、イタリアの Campi Flegrei のアヴェルノ (Averno) 湖は、直径約 1 km、深さ 34 m の火口跡で、海岸から約 1 km の平坦な所に位置して地形補正は著しくない。



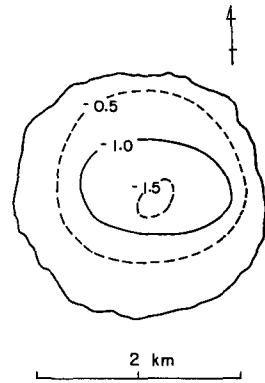
第 6 図 直径に沿ってのブーゲー異常断面図 (“regional” は第 5 図の断面)

Fig. 6. A gravity profile along a diameter across the lake. “regional” is a profile from Fig. 5.



第7図 地形補正を施したブーゲー異常分布
(単位: ミリガル)

Fig. 7. Distribution of the BOUGUER anomaly corrected for topography.
Unit is mgal.



第8図 残差重力異常 (単位: ミリガル)

Fig. 8. Residual anomaly in mgal.

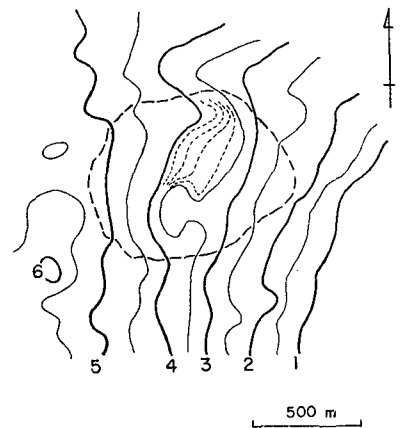
ここで A. OLIVERI DEL CASTILLO ら⁸⁾ によって重力測定がなされている。ブーゲー異常分布を示すと、第9図のようであり、殆んど局所異常がない。微小な異常があるとしても、火口全体の構造と系統的な関係はなく、第7図のくったら湖上の異常分布と対照的である。これはカルデラと噴火口との構造の違いを示すものである。

3. 重力異常と質量不足

一般に、重力異常の分布を知れば、ガウスの法則から、その原因となった異常質量の総量を求めることができる。もっともその分布は一意的には決定できない。ガウスの法則とは

$$\Delta M = \frac{1}{2\pi G} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \Delta g(x, y) dx dy$$

ここで G は重力常数である。実際の手続きとして、 $\Delta g(x, y)$ の限界、すなわち正常の background の値の決定が問題になる。この点に関して、T. R. LAFEHR⁹⁾ は、地下構造を種々の2次元矩形柱と仮定して、積分範囲を規定する方法を提案している。この方法も、地下構造を仮定するという重要な因子が含まれているので、やはり近似的な方法というべきであろう。ここでは異常質量の概算が目的であるので、積分範囲の決定にある程度の不確かさがあっても、図式的に第8



第9図 アヴェルノ湖(イタリア)におけるブーゲー異常分布
(単位: ミリガル)

Fig. 9. Distribution of the BOUGUER anomaly on Lake Averno (volcanic crater) in Italy after A. OLIVERI DEL CASTILLO et al. Unit is mgal.

8) A. OLIVERI DEL CASTILLO · G. CORRADO · E. PERCOPO; Distribuzione gravimetrica di dettaglio ai Campi Flegrei, Annali dell' Osservatorio Vesuviano, 7 (1964), 67.

9) T. R. LAFEHR; The estimation of the total amount of anomalous mass by Gauss's theorem, Jour. Geophys. Res., 70 (1965), 1911.

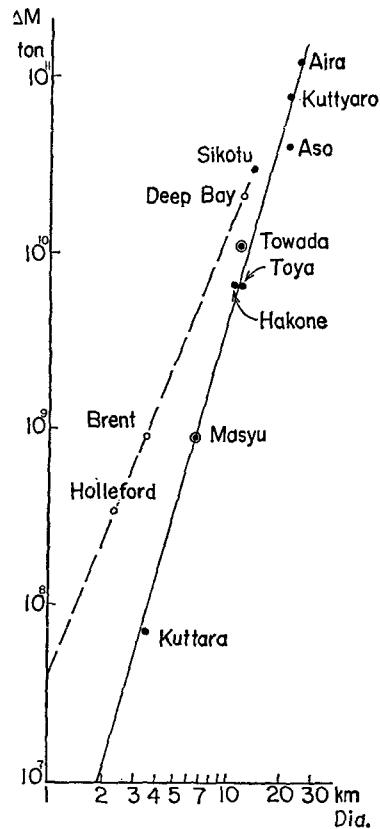
図に示された重力異常を面積分した。その結果、くったらカルデラ内の質量不足として

$$\Delta M = 7.0 \times 10^7 \text{ ton}$$

を得た。この重力異常から求められたカルデラ内の質量不足と、野外観察で推定したカルデラ周辺の噴出物の総量との関係は、カルデラ形成に関する一つの問題点であるが¹¹⁾、前述のように、くったらカルデラ周辺の噴出物の総量の詳細なる調査が未完成であるので、この議論は将来に残すことにする。なお、参考までに、くったらカルデラ縁に囲まれた凹地形の体積は、湖水の体積をも含めて、約 2 km³ である。

地球上には、カルデラと似た地形として、隕石孔 (Meteorite crater) なるものがある。もちろん隕石孔は、隕石が地球に激突し、爆発して形成されたものであり、これが1回の衝突でできたのに対して、カルデラはある程度継続した噴火でできたであろうという相違はあるが、これら両者を比較することは、それぞれの研究に対して、ある示唆を与えるものと考えられる。現に、南ドイツの Rieskessel なる凹地は従来、潜火山的カルデラ (Cryptovolcanic caldera) と称されていたが、近時の調査によって、隕石孔であることが証明された。

隕石孔の研究において M. J. S. INNES¹⁰⁾ は、やはり重力異常から、隕石孔内の質量不足を求めている。直径と質量不足との間の関係を、カルデラについての結果と並べて示すと、第 10 図のようになる。破線はカナダの隕石孔に対する直線であり、質量不足は直径の 2.50 乗に比例する。実線は日本のカルデラに対して求められたもので、直径の 3.61 乗に比例する。ただし、十和田および摩周カルデラは、湖の中心附近の重力測定を欠き、質量算定の精度が悪いので、最適直線の決定には利用していない。爆発火口の議論で、質量不足が直径の 3 乗に比例すると予想する、いわゆる 3 乗法則があるが、この場合、両者とも 3 乗からそれぞれ逆にはずれている。このことに関しては、詳細な議



第 10 図 質量不足と直径との関係
 黒丸：日本のカルデラ、
 白丸：カナダの隕石孔

Fig. 10. Relationship between mass deficiency and diameter for calderas in Japan (solid circles) and meteorite craters in Canada (hollow circles).

10) M. J. S. INNES; The use of gravity methods to study the underground structure and impact energy of meteorite craters, Jour. Geophys. Res., 66 (1961), 2225.

11) 横山泉; カルデラの構造と成因, 火山, 第 2 集, 10 (1965), 119.

論が必要であるが、とにかく、それぞれが対数軸上で一直線に略並ぶということは、それぞれが、同じ物理作用で形成されたことを示唆するものである。そして、隕石孔とカルデラとが、ある程度異なる作用で形成されたことを示すようである。著者の1人(横山)¹²⁾は、摩周、くつたら両カルデラでの結果を得る以前は、隕石孔とカルデラとを、共に同じ直線関係で表わされるとしたが、これら直径の小さいカルデラ上の重力異常を知ることによって、新しい結論が得られた次第である。

4. Gravity Anomaly on Kuttara Caldera Lake in Hokkaido

Izumi YOKOYAMA, Sinzi NAKAI, Yasunori NISHIDA
and Tomoyasu HIROTA

(Department of Geophysics, Faculty of Science,
Hokkaido University)

Lake Kuttara is situated at the eastward of Noboribetsu spa and is a circular lake measuring about 2.4 km in diameter. It is a small caldera on the top of a circular cone of which topographies are approximately symmetrical. The caldera rim measuring about 3 km in diameter, surrounds the lake and stands 150-250 m from the lake surface. Much ejecta such as fragments, pumice and welded tuff, are found around the caldera.

This lake freezes in the depth of winter and hence it is possible to use a land gravity meter in order to measure gravity with high accuracy on the lake. Gravity measurements by means of a LACOSTE & ROMBERG Model "G" Geodetic gravity meter on the lake were made in August, 1965 and those along a diameter across the lake were carried out in March, 1966 when the lake water was frozen.

Normal background distribution of gravity anomalies is deduced from the values observed on the lake shore. Topographical corrections are calculated graphically only for the lake water because the surrounding topographies around the caldera are almost symmetrical and are not steep. Thus the local residual anomalies are found to be low, amounting to 1.5 mgal at the centre of the lake. The low gravity anomaly, though the amount is rather small on this small caldera, is characteristic of volcanic calderas.

The mass deficiency responsible to the above low gravity anomaly is estimated as 7.0×10^7 ton by Gauss's theorem. This affords an example of the mass deficiency to be observed on the small calderas in diameter. The relation between the diameter of calderas and their mass deficiency deduced from gravity anomalies is presented together with that of meteorite craters in Canada. On the calderas, mass deficiency is proportional to the 3.61 th power of the diameter and on the meteorite craters, proportional to the 2.5 th power, both being a little different from the third rule. The difference of the above proportionalities between calderas and meteorite craters may due to the difference in the mechanisms of their formations.

12) I. YOKOYAMA; Volcanic calderas and meteorite craters with the special relation to their gravity anomalies, Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Series VII, 2 (1963), 37.



写真 1. 北側よりみたくったら湖

Photo. 1. Lake Kuttara in autumn seen from the northern rim.



写真 2. 西側よりみたくったら湖

Photo. 2. Lake Kuttara in winter seen from the western rim.



写真 3. くったら湖上における重力測定 (1966年3月)

Photo. 3. Gravity measurement on the frozen lake.