

洞爺湖周辺の地磁気異常について

松崎 卓一・歌代 慎吉

On the Magnetic Anomalies over Toya Lake and Its Vicinity

Takuichi Matsuzaki and Shinkichi Utashiro

Received January 10, 1966

Abstract

The aeromagnetic surveys were carried out over and around Toya Lake in July 1964, using a proton magnetometer suspended from the helicopter belonging to the Maritime Safety Agency of Japan. The magnetometer used is of a simple type, with a magnetizing and detecting head coil weighing about 10kg. It was hung down from the helicopter at a distance of 10 meters. The accuracy of the proton magnetometer is about $\pm 5\gamma$ for the total intensity of the earth's magnetic field. The flight path of the helicopter was photographically determined by taking a series of terrain pictures with the automatic 35mm camera. The spacing was about 2km. The flight was carried out at the heights of 1,100m and 1,600m, respectively. From the results obtained, it has been found that there is a remarkable magnetic anomaly of about 400γ at the central part of Toya Lake in the case of the flight altitude of 1,100m, and also, there is an anomalous magnetic anomaly of about $1,000\gamma$ over Mt. Usu at the lower altitude. Thus, we have reached the conclusion that the magnetic anomalies can well be revealed by observing the magnetic field characterized by the volcanic rock containing a large amount of magnetite in the region.

1 まえがき

火山に伴う地磁気異常に関する研究は、古くから多くの研究者によってなされてきた。すなわち、中村左エ門太郎博士(1941)は Ad. Schmidt の鉛直磁力偏差計を使用して、仙台平野および米沢盆地の Vertical Component の magnetic survey を行なった。また、加藤愛雄教授(1938)は水路部型磁気儀によって三宅島における地磁気要素の変動を測定し、噴火に伴って著しい変動のあったことを明らかにした。その他、蔵王・駒岳・有珠山等に伴う地磁気異常を測定し、その原因について考察した。また、水上武博士(1941)は三宅島の磁気測量を伏角計により行ない、三宅島は直径 8 km に満たない小地域であるにもかかわらず、磁気異常がきわめて著しいことが判明した。すなわち、測定した伏角の最大値は $58^{\circ} 18.75'$ 、最小値は $44^{\circ} 42.71'$ で、その差は $13^{\circ} 30'$ にも及んだ。また、原田美道博士(1957)は Schmidt type 鉛直磁力計を用いて北海道洞爺湖周辺の magnetic anomaly を測定した。そしてこの地域の magnetic anomaly は現在の地球磁場の方向に帯磁しているとすれば説明できることを述べ、帯磁率の大きさは 10^{-3} であるという結果を得た。

また、力武・横山両博士(1957)は、大島等の火山についての磁気測量を行なって、火山に伴う magnetic anomaly の distribution を求め、かつ、その原因が火山による magnetic dipole field であると仮定して magnetic moment を求めた。

火山に伴う magnetic anomaly は、わが国においても非常に多くの研究者により調査されてきた。

最近、Electronics の発達に伴って、earth's magnetic field を測定する計器も急速に進歩し、Flux-gate

type の magnetometer と Proton Precession magnetometer が発明され、航空機・船舶等の動揺体上で地磁気測定が可能となり、従来 ground magnetic survey により火山の magnetic anomaly の測定が行なわれたものが最近では航空機・船舶で magnetic survey が行なわれるようになり、同一 Level 上での magnetic field の値が得られるようになった。外国では、航空磁気測量が戦後急速に実施され、U. S. Geological Survey では DC-3 に Flux-gate type の magnetometer を取り付けて米国国内 (1946) はもとより、ハワイ・南方諸島の環礁 (1949) での aeromagnetic survey を行なった。

これらの測量は、鉱物資源・石油等の調査ばかりでなく、地質構造研究の一手段として非常に有力であるからである。

わが国においては、aeromagnetic survey は東北大学の加藤愛雄教授によって初めて実施された。すなわち、1955年より加藤教授の下で Flux-gate 型の magnetometer が試作研究され、1958年海上保安庁水路部の協力により、この magnetometer をビーチクラフト機に取り付けて関東南部および伊豆大島・三宅島の aeromagnetic survey を実施 (1958) して良好な成果を得た。この survey では地磁気の Vertical Component が測定された。その後、数回にわたり南関東での aeromagnetic survey が実施された。

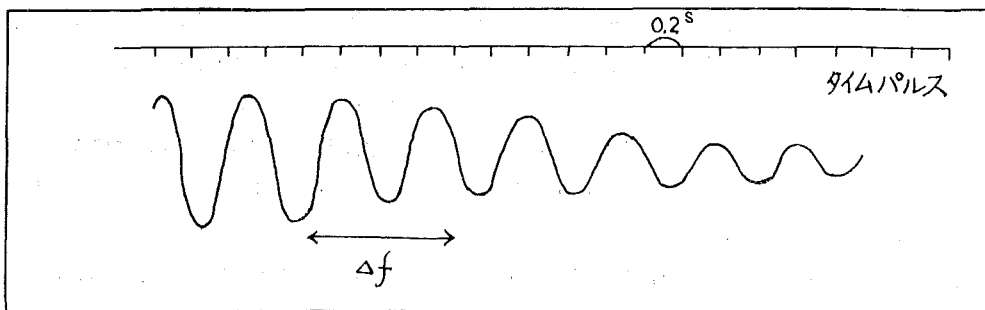
最近、海上保安庁水路部においても、東北大学加藤教授の指導の下に地磁気三成分用の Flux-gate type の magnetometer が製作され、世界磁気測量計画の一部として日本周辺の海上の航空磁気測量が4か年にわたって実施され、数多くの未知の海上における magnetic anomaly が発見された。

その後、水路部では helicopter に搭載して earth's magnetic field の total intensity を測定する Proton magnetometer を製作したので、これを用いて日本の港・湖・火山島等の aeromagnetic survey を実施した。

本論では helicopter と Proton magnetometer による洞爺カルデラの aeromagnetic survey の結果について述べる。なお、東北大学加藤教授も十和田・鬼首・箱根・大島について helicopter と Proton magnetometer により航空磁気測量を行なった。

2 測定計器

測定計器としては、Beat type の Proton magnetometer を用いた。原理は船舶用のプロトン磁力計と同一であるが、異なるところは、船舶用プロトン磁力計のように基準の水晶発振器を用いて測定されるべきシグナルを自動的に計数し、これを digital で表示したり、また analogue recorder に変化の状況を記録せしめるのではなく、測定計器内に内蔵された標準水晶発振器による波と、Detector から得られたシグナルを組み合わせ、Beat 方式により記録をペンオシログラフに描かしめ、これから frequency を読み取って total intensity の値を求めるのである。



すなわち、全磁力を F 、プロトンの歳差運動の周波数を f とすると

$$F = 23,4865 f \text{ ガンマ}$$

であるから、この式から F を求めることができるが、この計器の場合には Beat をとっているので、ペンオシログラフ上の frequency は $4f$ となり、 $4f = f_0 \pm f$ ただし f_0 は標準水晶発振器の周波数
ペンオシログラフによる Beat 記録の一部は上図のとおりである。

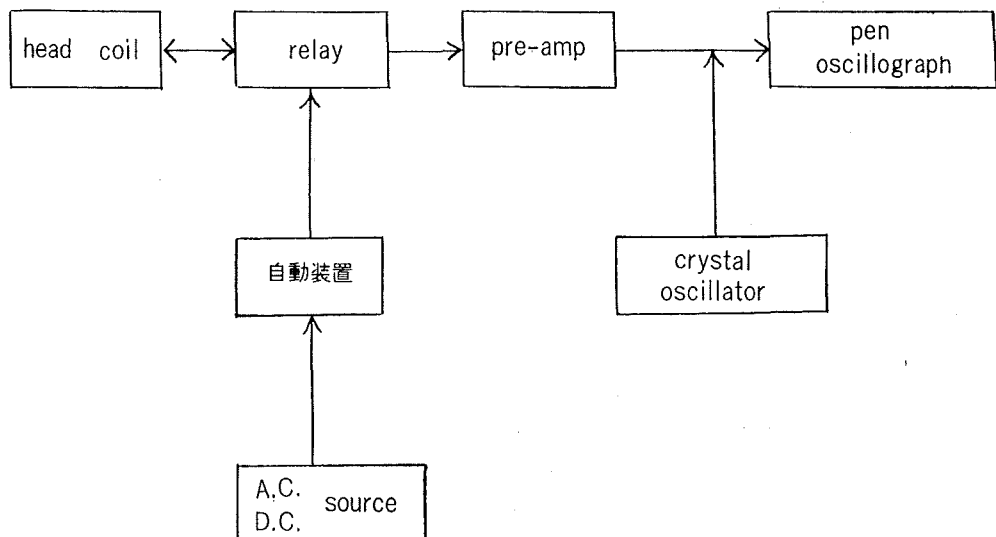
プロトン磁力計性能表

(1) 測定範囲	43,000~52,000 γ
(2) 分解能	$\pm 1 \gamma$
(3) 測定精度	$\pm 1 \gamma$
(4) 測定時間間隔	6 sec
(5) 水晶発振器	周波数 1900, 1950, 2000, 2050, 2100, 2150 c/s 安定度 $\pm 1 \times 10^{-5} / 100V$ $0^\circ \sim 40^\circ C$ にて 精度 $\pm 1 \times 10^{-5}$
(6) pick-up 直流励磁時間	5 sec
(7) 電源入力	AC 100V $\pm 10V$ 50 c/s, 60 c/s および DC 26V

測定器は次のように構成されている。

- | | |
|--------------------|------------------------|
| (1) pick-up coil 部 | coil 1 個内蔵, ケーブル線 10 m |
| (2) pre-amplifier | |
| (3) 電源部 | |
| (4) 自動測定タイマー | |
| (5) ペンオシログラフ | |
| (6) Battery | 16 volt |

プロトン磁力計の Block Diagram



- (7) インバーター 入力 24 volt DC
出力 100 volt AC

Pick-up coil 部は蒸溜水のはいったアクリル製の円壘状筒の上に coil が巻かれており, coil は1個である.

3 測定

昭和39年7月14日から7月26日にわたり, 北海道幌別を基地としてヘリコプター55にプロトン磁力計および地上撮影用カメラを搭載して洞爺湖周辺の航空磁気測量を実施した. 測定高度は1,100 m および1,600 m の2高度である. 低高度1,100 m の場合は測定コース間隔約2 km で, 測定は毎10秒に行ない, 同時に地上カメラ(35 mm 自動ニコンカメラ付き長尺マガジン)を用いて測定点の地上写真を撮影し, これと航空写真とを比較して測定点を決定した.

Proton magnetometer の detector は helicopter から10 m 下り下げているので, 機体磁気の影響は1 r 以下であり, Proton magnetometer は約5 r の精度で測定が行なわれた. 測定結果は, 女満別観測所の値を用いて外部磁場の補正を行なった.

1,100 m (3,200 ft) 高度の場合の測点および測定値は第1図のとおりである. また, 等全磁力線図は第2図のとおりである.

この magnetic chart から次の事実がわかった.

- 1) 有珠火山に伴って最大較差900 r の大きな magnetic anomaly が存在する. この magnetic anomaly の pattern は, 有珠火山の top から南側にわたり + の anomaly area があり, 北側に - の anomaly area がある.
これは有珠火山が現在の earth's magnetic field の方向に magnetize していると考えられ, 大島・桜島・三宅島・浅間山等と同様に典型的な dipole field と考えられる. ただし, 有珠山の top 付近では max. anomaly は二つの peak を有している. 一つは大有珠の上で, 他は小有珠の上である. したがって二つの magnetic peak は大有珠・小有珠の山体の magnetic rock による影響と考えられる.
- 2) 洞爺湖の中心部の中島付近に +400 r の anomaly がある. これは中島火山による影響と考えられるが, この anomaly の pattern は大きく, 中島の地形により生じたものではなく, むしろ深くその source を有していて, 洞爺湖がカルデラ湖であるために洞爺カルデラの内部構造から生じたものと考えられる.
- 3) 有珠山の東方に昭和新山があるが, この火山による magnetic anomaly は, 測量の結果 detect することができない.
- 4) 洞爺湖北方の貫別山付近に -500 r の magnetic anomaly が見出された. これは positive anomaly と pair をなしておらないで単独に存在するものである. これは地磁気学の立場から非常に興味あるものである.
- 5) 洞爺湖東方に magnetic anomaly が local にたくさんあるが, この地域は山地であるので, 山による地形の影響で生じたものと考えられる.

次に, 高高度の1,600 m (4,800 ft) の測定結果については, 測線および測定値は第3図のとおりである. また, 等全磁力線図は第4図に示されている.

高高度の1,600 m の測定結果から次の事実が判明した.

- 1) 有珠火山に伴う大きな magnetic anomaly は低高度の場合と同様に +, - の vortex を示しているが, この場合は低高度1,100 m で見られた大有珠と小有珠による二つの vortex が見当たらず, 一つの vortex のみである. すなわち, 高度が高くなることにより, 大有珠・小有珠による二つの山の地形の影響

はなくなつて、二つの山の source をなしている内部の magnetic substance, たとえば dipole または Dyke による magnetic field のみが見られる。そして magnetic anomaly の max. および min. は、低高度の場合よりは小さくなつてゐる。また、positive anomaly の pattern も広範囲となつてゐる。これは、dipole または Dyke による magnetic field が、高度が高くなると amp. が小さく、かつ pattern が広がるいわゆる umbrella effect を示していると考えられる。

- 2) 洞爺湖の中心部にある positive anomaly は高高度の場合にも同様に positive anomaly を示しているが、その intensity は低高度に比べてあまり変わらない。

これは、この magnetic anomaly の source が深いためと考えられる。これについては次の章で検討する。

- 3) 洞爺湖北方の貫別山付近の negative anomaly は高高度 (1,600 m) の場合と同様な negative anomaly を示すが、その amp. はあまり変わらない。これもその source が深いと考えられる。
- 4) 洞爺湖東方にある local magnetic anomaly は、高高度の場合にはほとんど detect できない。これは、これらの magnetic anomaly の source が山地の表面の Rock による magnetic field であるから、高度が高くなると umbrella effect により detect できなくなると考えられる。

4 考 察

火山に伴う magnetic anomaly は、すでに述べたように、多くの研究者により調査研究された。そして次のように考えられる。

すなわち、火山に伴う magnetic anomaly は、回転楕円体、あるいは円堆体と仮定された山体の一樣磁化によって表わされる。回転楕円体でよく説明できるものに浅間火山・桜島および富士山があり、円堆体の一樣磁化で説明できるものに大島三原山がある。ただ、この場合、内部の effective な mass と表面のものが sum されていると考えられる。そして dipole field とすべての場合を仮定して計算したものに I. Yokoyama (1957) の報告がある。

すなわち、座標を dipole の中心にとり、dipole の深さを d , magnetic moment of dipole を M (M_x , M_y , M_z) とすると、地表面の magnetic field は each component について次のような式で表わされる。

$$\Delta H = -\frac{M_x}{r^5} \left(d^2 - 2x^2 - y^2 - 3xd \frac{Z_0}{H_0} \right) \quad (1)$$

$$\Delta Z = -\frac{M_z}{r^5} \left(x^2 - 2d^2 - y^2 - 3xd \frac{H_0}{Z_0} \right) \quad (2)$$

$$\tan \Delta \delta = 3M_x \frac{y}{r^5} \left(\frac{x}{Z_0} - \frac{d}{H_0} \right) \quad (3)$$

この式と magnetic survey による map と比較して計算の結果、大島の三原山火山の場合には magnetic dipole の深さ約 2.7 km, magnetic moment $M=7.1 \times 10^{16}$ emu, また magnetization の effective intensity $J=0.01$ emu/cc を得ている。ただし、magnetization の方向は、現在の earth's magnetic field と一致するものと仮定している。

本論の洞爺湖周辺の magnetic survey から得られた結果から、大有珠・小有珠の magnetic anomaly の場合には大島三原山と同様に考えることができる。すなわち、二つの magnetic dipole が近接して存在するとして計算するとよく理論式で magnetic anomaly pattern が説明できる。

しかし、magnetic anomaly を示さない昭和新山および洞爺カルデラを形成している洞爺湖中心の positive magnetic anomaly の場合には、有珠や伊豆大島・三宅島等の場合とは異なる。すなわち、昭和新山の場合には、形成している岩石が有珠山と全く同一の andesite であるにもかかわらず、顕著な magnetic anomaly を示さないのは、山体内部の温度が高く curie point を越えていると考えられる。また、洞爺湖の中心にある

magnetic anomaly は Toya Caldera の中心の中島が Caldera の centre をなし、火口に相当し、内部に andesite の dyke が存在することを示している。

全磁力の磁気図から中島・有珠山に伴う magnetic dipole の大きさおよび深さを計算すると次表のとおりである。

地名	磁気能率, M	磁化の強さ, J_n	Dipole の深さ
中島	5×10^{14} emu	3×10^{-3} emu/cc	1.2 km
有珠山	1×10^{15}	7×10^{-3}	1.7

なお、洞爺湖付近の地質図は第5図のとおりである。地磁気図と地質図を比較すると、中島・有珠山・貫別山は磁性の強い andesite で形成されているので、これらの山に伴って大きな magnetic anomaly が生じていることは当然考えられることである。ただ、中島・有珠山の磁化の方向は現在の地磁気の方角と一致するが、貫別山が逆帯磁していることは貫別山の火山形成時代の地磁気の方角が現在の方角と逆になっていたと推定される。

本論文作成にあたり御指導をいただいた東北大学教授加藤愛雄博士に感謝を捧げたい。

本研究の実施に協力された測量班ならびに第一管区海上保安本部函館航空基地所属ヘリコプター55十川機長および乗員の方々に感謝の意を表す。また整理に協力された海上保安庁水路部近藤、堀井(良)、堀井(孝)、伊藤(四)、百瀬、大津、小山田の諸氏の労を謝す。なお本研究は日本学術振興会により計画された「日米科学協力」の内「カルデラの航空磁気、重力測量」に関する研究の一環として実施されたものである。

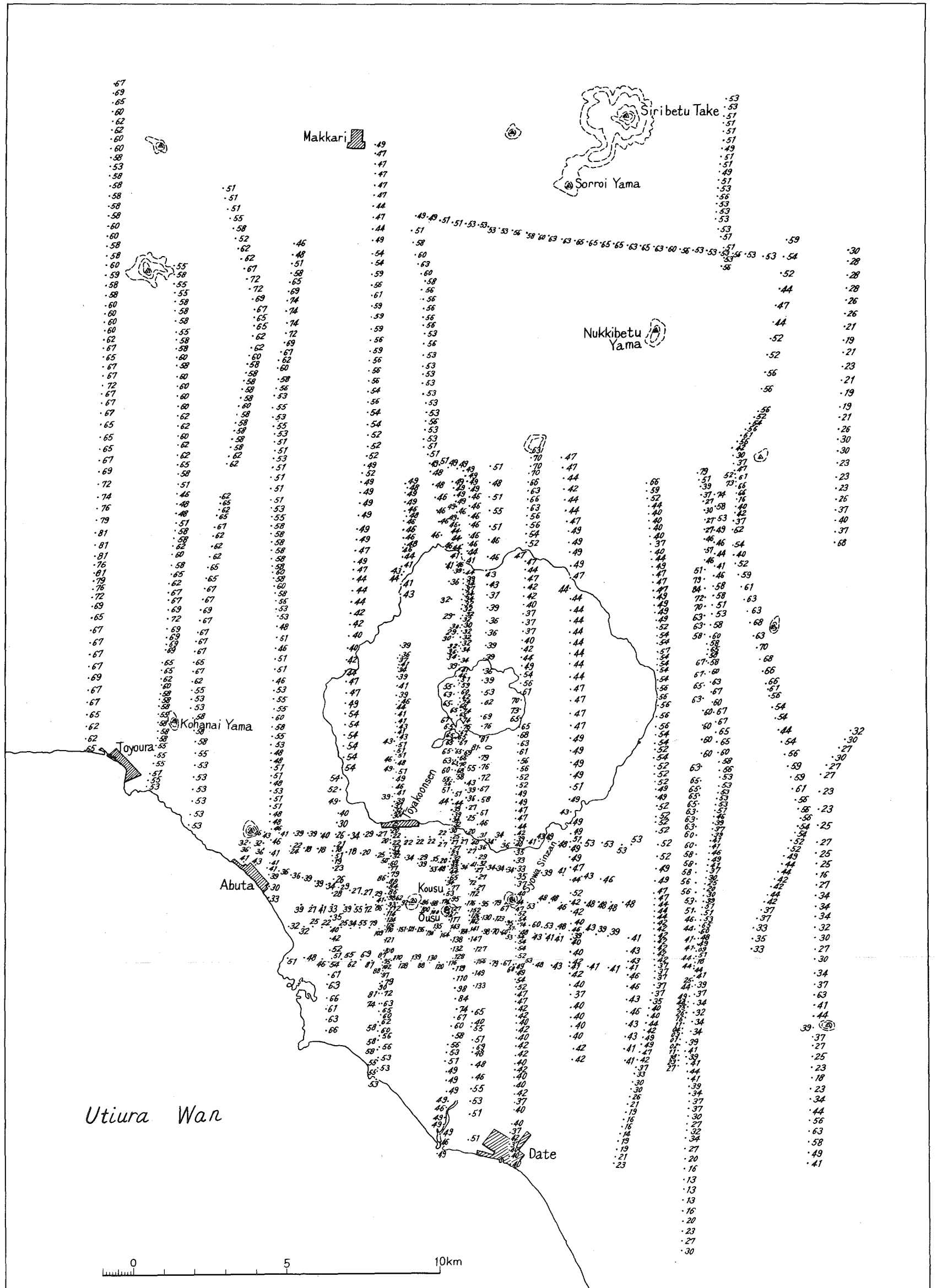
参 考 文 献

- Allredge, L. R. and Dichtel, W. J. 1949, "Interpretation of Bikini Magnetic Data" *Trans. Am. Geophys. Union*, 30, No. 6, 831.
- Balshey, J. R. 1946, "The Airborne Magnetometer" *Geophys. Invest.*, Rept. 3, 8.
- Kato, Y. 1938, "Investigation of the Changes in the Earth's Magnetic Field accompanying Earthquakes or Volcanic Eruption" *The Science Reports of the Tohoku Imperial University*, Series I, 27, No. 1, 1.
- Kato, Y. et al. 1958, "Aeromagnetic Surveys" *Hydro. Bull.*, No. 57, 15.
- Minakami, T. 1941, "A Magnetic Dip Survey of Miyake-Sima Island" *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, 19, 612.
- 中村左エ門太郎 1941, "仙台平野と米沢盆地における地磁気偏差の測定" 東北大学矢部教授還暦記念論文集, 昭和16年, p. 1117.
- Yokoyama, I. 1957, "Geomagnetic Anomaly on Volcanoes with Relation to their Subterranean Structure" *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, 35, Part 2, 327.

Aeromagnetic Data over Tōya-Ko

Fig. 1

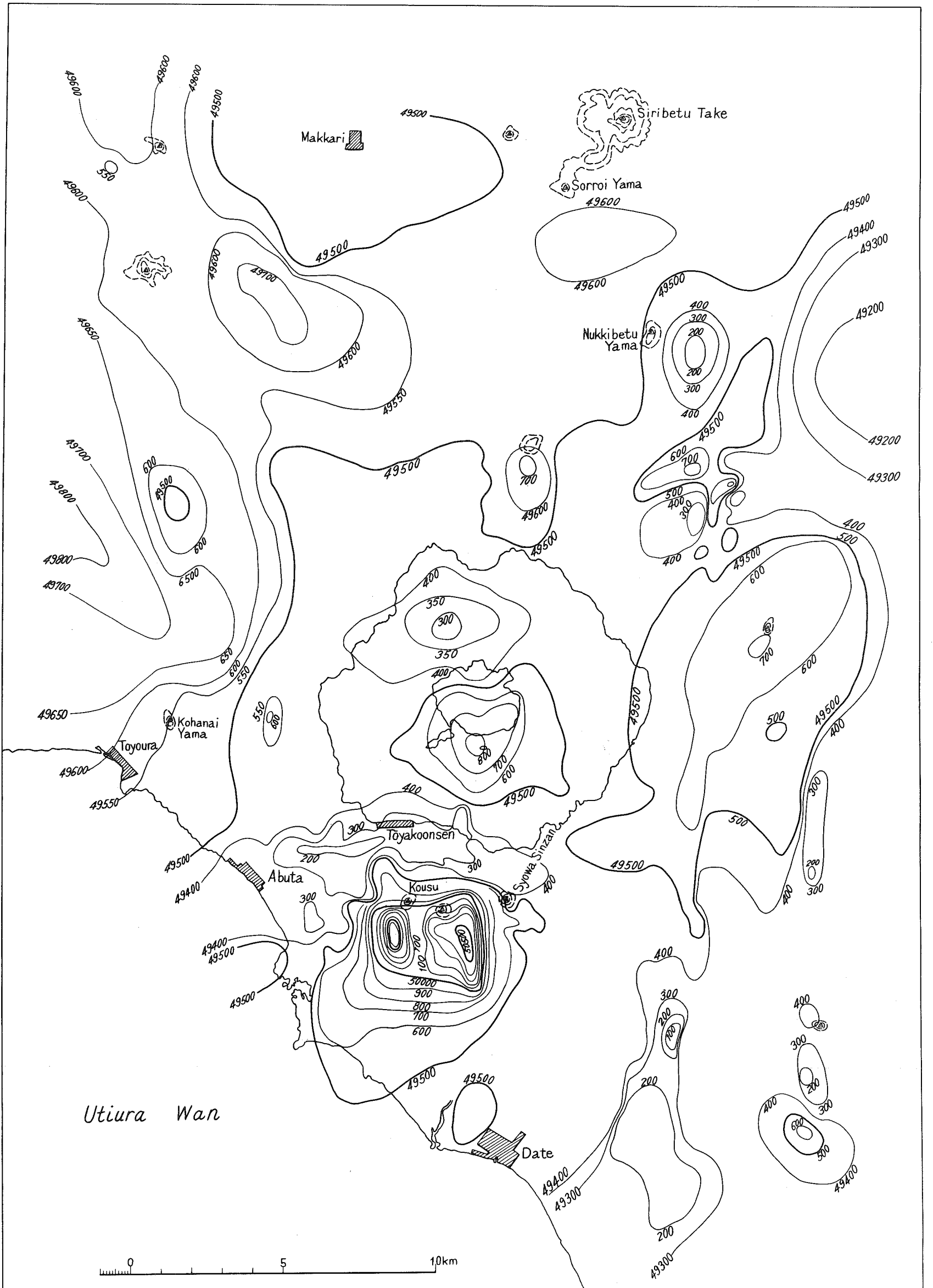
Unit : 10γ
Height : 3200ft.



Aeromagnetic Map over Tōya-Ko

Fig. 2

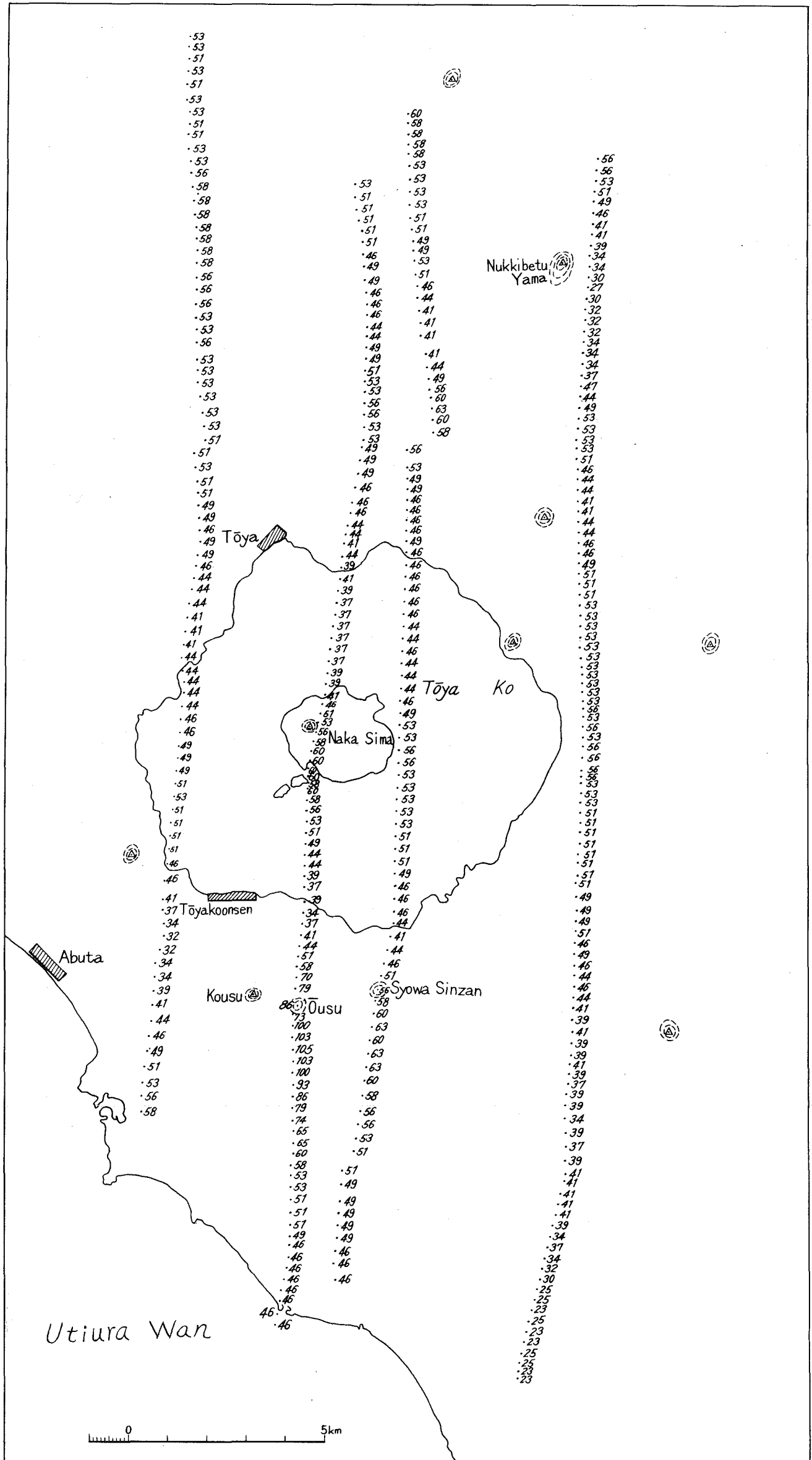
Unit : γ
Interval: 100 γ
Height: 3200ft



Aeromagnetic Data over Tōya-Ko

Fig. 3

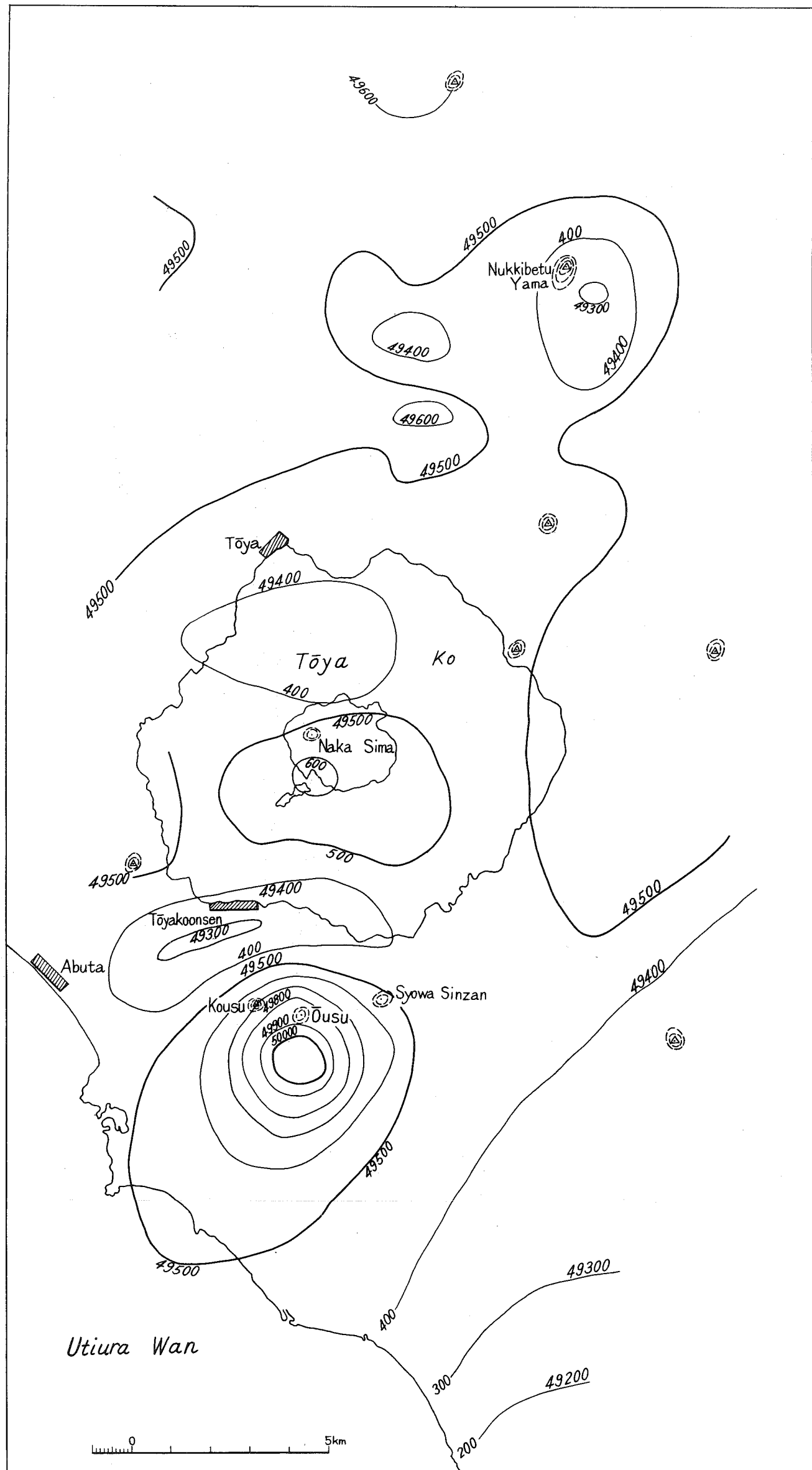
Unit : 10γ
Height : 4800ft



Aeromagnetic Chart over Tōya-Ko

Fig. 4

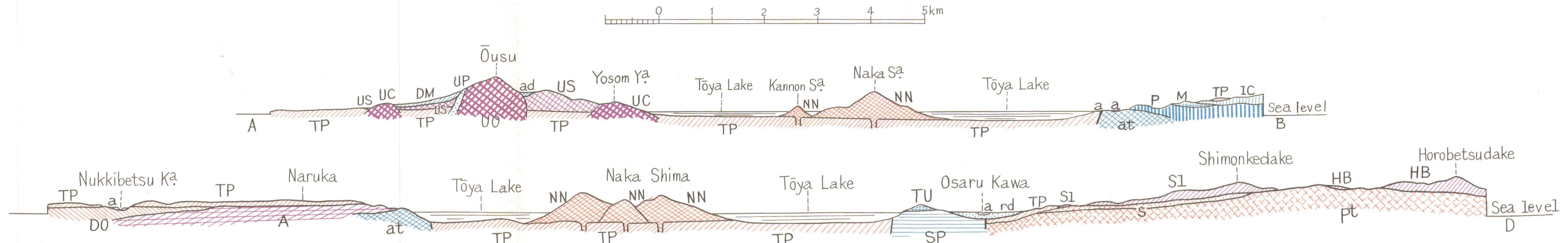
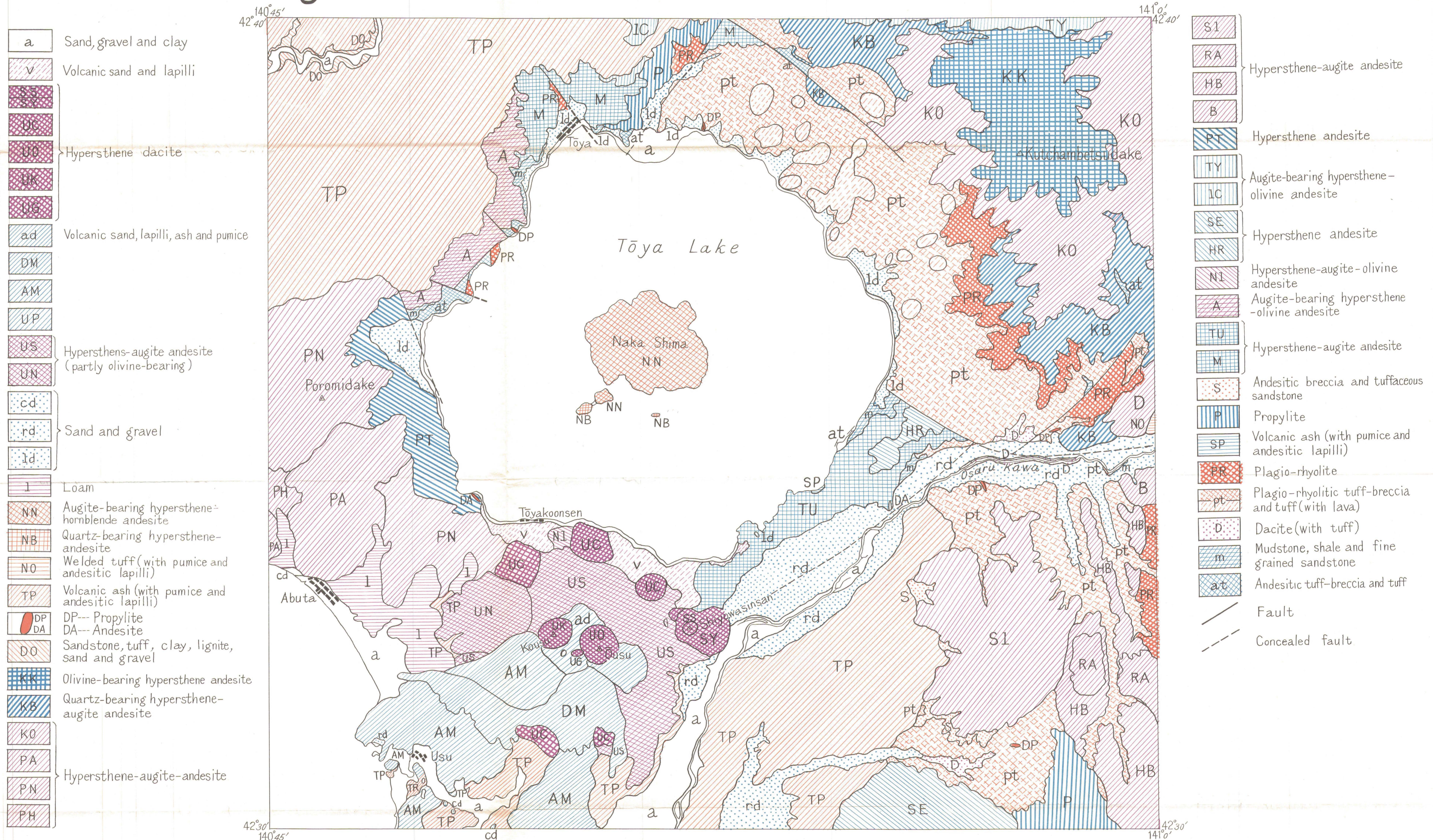
Unit : γ
Interval: 100γ
Height: 4800ft



Geological Map around Tōya-Ko

Fig. 5

ABUTA



本図は地質調査所地質図による