

理学博士友田好文君の「航行船舶上における重力の連続測定

—測定装置の開発と西太平洋海域における測定結果—」に対

する授賞審査要旨

友田好文君は、航行中の動揺する船舶の上で、重力加速度 g の値を、連続的に、一ミリの精度で測定することができる装置を完成した。そしてすでに延長三〇万km以上に及ぶ十数回の航海を行って、主として西太平洋海域、遠くは南極海域にいたる広汎な範囲内の重力とその異常の分布を求め、島弧、海溝、縁辺海、海山、断裂帯、海嶺、海盆等に伴う地下構造を明らかにした。

地球表面の約七〇%を占める海洋上で、一ミリの精度をもつて g の値を測定してその分布を明らかにすることは、永年の懸案であった。これに対して、一九三〇年頃、オランダのベニング、マイネスは、潜航中の潜水艦の動揺が少ないことを利用して、この目的を達する特殊の振り装置を開発した。そして数次の潜水艦航海を行い、海溝に伴う地下異常構造を発見するなど、先駆的業績をあげた。その後、この方式は、潜水艦をもっている国々によって採用され、測定結果もふえてきた。しかし、重力測定のために潜水艦を動かすというのは容易なことではなく、また測定も一日にせいぜい数回に止まるので、測定結果の集積は思うにまかせず、研究の進展はとうてい満足すべきものではなかった。友田君の業績は世界に魁けてこの困難を完全に克服し、この分野に新生面を開いたものである。

友田君の装置はTSSG (TOKYO SURFACE SHIP GRAVITY METER) と各付けられた次の四つの部分からなる。

- 一、重力計の本体
- 二、鉛直を保持するジャイロスコープ
- 三、水晶時計
- 四、電子計算器

なお、これらの他に、船舶の位置、速度、また海の深さを測定する航海計器も必要である。

TSSGで g を感じる重力計は、原理的には弦振動を利用したものである。弦によって錘をつったとき、弦振動の周波数 f は、弦の張力の平方根、従って g の平方根に比例する。TSSGでは、弦は、長さ25 mm、幅0.1 mm、厚さ0.01 mmのベリリウム銅のリボンであって、錘の質量は20 gr弦振動の f は約1.7 Kcである。船舶の動揺によって錘が横ぶれをすることがないように、横から弱い十字バネがつけてある。弦振動は自動的に保たれているが、その一定回数(ふつうは八五回)振動する毎に(○、○五秒)電気回路に信号が送られ、その間に水晶時計の発信水晶が何回振動したかが、自動的に精密に算えられる。この数値は電子計算器に送り込まれそれによって、 f の数値と、それを自乗して g の相対値とが、時々刻々計算される。次にその g の相対値一〇個ずつを一組として、その平均値が〇、五秒毎に求められる。ただしこの g の平均値には、船舶の動揺によって生ずる上下加速度がそのまま入っている。この g の平均値が一〇〇〇個集まると(五〇〇秒)、その各々の値に特殊の重値を乗じて平均して、船舶の上下動による加速度を消去

する。そしてその五〇〇秒の中央時刻に相当する真の g の値が求められる。

ISSG で最も苦心した点の一つはここにあるのであって、船舶の上下動と測定のための g をいかにして分離するかということである。船舶の上下動加速度は一〇〇ガル程度であるから、真の g を一ミリガルの精度で求めるためには、 S/N 比が 10^{-5} 程度という困難を克服しなければならない。友田君は、船舶の上下動の周期が六〜七秒であるのに対して、真の g の変動は遙におそいという点に着目して、特殊の重価函数を導き、それを利用してこの二つを分離することに成功した。この重価函数の特性は

$$F(\omega) = \left\{ \sin \frac{T_1}{T} \pi \right\} \left\{ \sin \frac{T_2}{T} \pi \right\} \left\{ \sin \frac{T_3}{T} \pi \right\}$$

$$\omega = 2\pi/T, \quad T_1 = 60 \text{秒}, \quad T_2 = 90 \text{秒}, \quad T_3 = 120 \text{秒}$$

である。この特性を有する重価が一〇〇〇組の値のそれぞれにかけられ、真の g の平均値が求められるのである。電子計算器は二台あって、上のような計算を交互に実時間的に次々に処理しているから、五〇〇秒の中央時刻に相当する g の値は、時間の一分毎に求められる。そして水晶時計による時刻の正一分毎の値が内挿され、計算器の出力として印刷される。

重力計本体は、真空恒温槽に収められ、鉛直ジャイロスコープの上に直接に取り付けられている。このジャイロスコープの時定数は時間の約三〇秒であって、 g の精度一ミリガルを得るのに必要な鉛直の精度、角度の五分が確保されている。このとき船舶の動揺によって重力計に加わる水平加速度を同時に測定してジャイロスコープが完全に作動

する限界を超えていないことを確認する。なお、弦の弾性、重力計本体に加わる上下加速度と水平加速度とのクロスカプリングの影響などについても周到な考慮が払われてそれぞれ適切な方法によって除去されている。

船舶の位置の経緯度は、今日では人工衛星を利用して精密に決定され、速度、水深と共に、時間の一分毎の値が記録されている。時間の一分毎に得られた g の値には、速度、水深に対する補正が加えられ、標準重力の式と比較して、重力のフリーエヤー異常、ブーゲー異常が算出される。

今日までに四台のTSSGが完成している。そして東京大学の白鳳丸、水路部の明洋、拓洋、水産大学の海鷹丸に取り付けられ、友田君とその協力者によって、その航海ごとに歴大な資料が得られ、その結果の解析が行われている。日本近海では、日本海海域、太平洋海域にわたって航路は充分に密であって、重力異常のコントロールさえ描かれている。西太平洋南方の海域では測定はまだ線状であるが、特殊の海底地形の上をよぎるように航路がえらばれているから、地学的に重要な海底地下の異常構造が明らかにしつつある。

これまでの測定によってわかった主な事柄は、おおよそ次のとおりである。

- 一、島弧とその外側の海溝とが対になっているところでは、重力のフリーエヤー異常は島弧上でプラス、海溝上でマイナスであって、+50ミリガル以上の面積と-50ミリガル以下の面積とはほぼ等しい。すなわち島弧の余剰質量と、海溝の不足質量とはほぼ等しく、この意味で、島弧海溝構造では質量が保存している。
- 二、海溝に沿うフリーエヤー異常の極小軸と、水深の極大軸とは平行であるが、位置的に一致することもあり、しないこともある。一致しない場合には、フリーエヤー異常の極小軸は、必ず陸側にある。マリアナ海溝のような海洋

的海溝では、両者の位置は完全に一致しているが、日本海溝のような陸的海溝では不一致は大きい。このことは海溝生成の発達史に関係がある。

三、縁辺海では、フリーエヤー異常は必ずプラスである。例えば日本海では+10〜+20ミリガル、ビスマルク海では、+50〜+80ミリガルである。このことは縁辺海の成立について重要な示唆を与える。

四、海山の上では、フリーエヤー異常はプラスであるが、そのまわりに海山の地形そのものよりもかなり遠くまで続くマイナスの地域がある。これは海山のまわりの地下に深い根があることを示し、海山の質量が下からしぼり出されたものであることを暗示している。

五、オーストラリアの東岸からニューカレドニアに至る線上に海膨があるが、フリーエヤー異常はその西側で-10ミリガル、東側でゼロである。この海膨を境にして地下構造に著るしい不連続がある。このような構造は、日本海の大和堆の附近にも見られる。

六、南太平洋南極海嶺附近では、フリーエヤー異常は小さく全体としてはアイソスタシーの状態を示している。しかし、フリーエヤー異常は、海嶺の山頂近くでプラス、それに近接する海盆でマイナスであって、その境の斜面部分に-50ミリガルに及ぶフリーエヤー異常の谷がある。

これらの重力異常はすべて地下の構造を反映しているのであって、友田君は可能な限り、地震探査の資料とも組み合わせ、それらをよく説明することのできるような構造を決定し、更にその成因を論じている。

友田君の研究は、装置の開発、十数次の航海、測定結果の解析という三段階を経て、地球科学に対して顕著な貢献

主要な論文及び報告書目録

論文

1. A Simple Method for Calculating Correlation Coefficients in which the Variables are Classed into Two Intervals. Jour. Seis. Soc. Japan, 7, 55 (1954).
2. A Simplified Method for Harmonic Analysis by Means of Square Wave Expansion. Jour. Seis. Soc. Japan, 7, 201-208 (1954).
3. Use of the Function $\sin x/x$ in Gravity Problems. Proc. Japan Academy, 31, 443-448 (1955).
4. A Simple Method for Calculating the Correlation Coefficients. Jour. Phys. Earth, 4, 67-70 (1956).
5. The Relation between the FOURIER Series Method and the $\sin x/x$ Method for Gravity Interpretations. Jour. Phys. Earth, 6, 1-5 (1958). (with C. Tsuboi)
6. Self Exciting Short Period Bifilar Gravity Pendulum designed for the Purpose of Gravity Measurement on board a Moving Vessel. (Part I) Jour. Geod. Soc. Japan, 4, 107-124 (1958).
7. On the Differences between Actual Value of $\partial g/\partial z$ and that Calculated from the Bouguer Anomalies. Jour. Geod. Soc. Japan, 5, 7-11 (1958).
8. Self-Exciting Short Period Bifilar Gravity Pendulum Designed for the Purpose of Gravity Measurement on Board a Moving Vessel. (Part II) Jour. Geod. Soc. Japan, 5, 12-26 (1958).
9. On the Difference between $\partial g/\partial z$ obtained from Vertical Distribution of Gravity and that Obtained from Horizontal Distribution. Jour. Geod. Soc. Japan, 5, 79-83 (1959).
10. The Necessary Condition for Surface Gravity Anomalies to Give Always Positive Mass Distribution on

- the Surface at a Certain Depth. *Jour. Geod. Soc. Japan*, 5, 84-87 (1959).
11. Self-Exciting Short Period Bifilar Gravity Pendulum Designed for the Purpose of Gravity Measurement on Board a Moving Vessel. (Part III) *Jour. Geod. Soc. Japan*, 6, 39-46 (1960). (with T. Maruyama and H. Kanamori)
 12. Thickness of the Earth's Crust from Bouguer Anomaly Statistics. *Jour. Geod. Soc. Japan*, 6, 47-55 (1960).
 13. Continuous Measurements of Gravity on Board a Moving Surface Ship. *Proc. Japan Academy*, 37, 571-576 (1961). (with C. Tsuboi and H. Kanamori)
 14. Studies of the Thermal State of the Earth. The Seventh Paper: A Sea Bottom Thermograder. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 39, 115-131 (1961). (with S. Uyeda)
 15. Tokyo Surface Ship Gravity Meter. (Part I) *Jour. Geod. Soc. Japan*, 7, 116-145 (1961).
 16. Gravity Measurements on Islands. *Jour. Geod. Soc. Japan*, 8, 91-97 (1962). (with A. Jitsukawa, H. Tajima and J. Segawa)
 17. Improvement of Sea-going Proton Magnetometer. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 42, 383-395 (1964). (with S. Uyeda and T. Yabu)
 18. Local Magnetic Anomaly in the Southern Sea between 140°E and 160°W. *La Mer*, 3, 19-24 (1965). (with K. Ozawa)
 19. Measurement of Total Magnetic Force in the East Part of the Indian Ocean. *Jour. Tokyo Univ. Fisheries*, 8, 83-105 (1966). (with K. Ozawa)
 20. Gravity Measurement at Sea in the Regions: East Part of the Indian Ocean, Off Java and Sumatra, Strait of Malacca, South China Sea, Bashi Channel, East China Sea, Off Southern Coast of Kyushu. *Jour. Tokyo Univ. Fisheries*, 8, 107-131 (1966). (with J. Segawa)

21. Local Magnetic Anomalies in the North Pacific Ocean. *La Mer*, 5, 8-20 (1967). (with J. Segawa and K. Ozawa)
22. Measurement of Vertical Component of the Magnetic Force on Board the "Tansei-Marui". *Jour. Geod. Soc. Japan*, 12, 165-172 (1967). (with K. Koizumi)
23. Continuous Measurement of Gravity and Magnetic Force in the 4th Southern Sea Expedition of the *Umirikamaru*. *La Mer*, 5, 175-205 (1967).
24. Measurement of Gravity and Magnetic Field on Board a Cruising Vessel. *Bull. Ocean Res. Inst. No. 3*. 1-169 (1968). (with K. Ozawa and J. Segawa)
25. West Pacific Ocean Viewed from the Magnetic Anomalies. *Jour. Seis. Soc. Japan*, 22, 12-19 (1968).
26. Outline of Gravimetry, Magnetism and Bathymetry. In *Preliminary Report of the Hakuhō Maru Cruise KH 68-3*, Tomoda, Y. (ed.). *Ocean Res. Inst.*, pp. 8-10 (1968). (with S. Oshima, O. Isezaki, J. Segawa, Y. Kaneko and Y. Suzuki)
27. Free Air Gravity Anomalies at Sea around Japan Measured by the Tokyo Surface Ship Gravity Meter (1961-1969). *Proc. Japan Academy*, 46, 1006-1010 (1970). (with J. Segawa and A. Tokuhino)
28. Measurement of Gravity and Magnetic Force at Sea during KH 68-4 Cruise. In *Preliminary Report of the Hakuhō Maru Cruise KH 68-4*, Horibe, Y. (ed.), *Ocean Res. Inst.*; pp. 80-102 (1970). (with K. Kitazawa and K. Koizumi)
29. Measurement of Gravity, Magnetic Force and Bottom Topography in KH 70-2 Cruise. In *Preliminary Report of the Hakuhō Maru Cruise KH 70-2*, Horibe, Y. (ed.). *Ocean Res. Inst.*, pp. 50-65 (1971). (with K. Kitazawa, K. Koizumi and T. Igarashi)
30. New Model of the Tokyo Surface Ship Gravity Meter (Part D). *Jour. Geod. Soc. Japan*, 18, 1-7 (1972).

(with K. Koizumi)

31. Comparison Measurement of Gravity at Sea using a T.S.S.G. and a Graf-Askania Sea Gravimeter. Jour. Phys. Earth, 20, 267-270 (1972). (with J. Segawa and T. Takemura)
32. Gravity Anomalies in the Pacific Ocean. In The Western Pacific: Island Arcs, Marginal Seas. Geochemistry, Coleman, P. J. (ed.), University of Western Australia Press, pp. 5-20 (1973).
33. Measurement of Gravity, Magnetic Force and Bathymetry. In *Preliminary Report of the Hakuho Maru Cruise KH 71-1*, Tomoda, Y. (ed.). Ocean Res. Inst., pp. 8-10 (1973). (with J. Segawa and T. Takemura)

著書

- 一、 測地・地理物理(檀原氏と共著) 共立出版一九六九年
- 二、 海底物理 海洋科学基礎講座九―海上重力の測定とその解釈―東海大学出版会(一九七二)
- 三、 海底物理 友田編 海洋学講座四、―展望―、―太平洋の重力異常―、―西太平洋の磁気異常―東京大学出版会(一九七二)

図' Maps of Free Air and Bouguer Anomalies in and round Japan (compiled by Yoshihumi TOMODA) Two Sheets, Size 29"×41", Scale: 1:3,000,000, University of Tokyo Press (1973).