

5.6 表面重力異常

地殻表面や内部での質量異常は、表面重力異常の一番の原因である。はじめに周囲と異なる密度の物体が埋まっていることによる重力異常を考えよう。これには、過剰な質量をもたらしてしまう局所的な鉱物の鉱床や、火成岩の貫入による質量欠如が含まれる。式 (5.3) を物体すべてにおいて積分すれば、任意の形や密度分布を持つ物体の重力異常がわかる。しかし、非常に簡単な形を除くと必要とされる積分を実行するのは不可能であり、ふつう多くの手法が必要とされる。

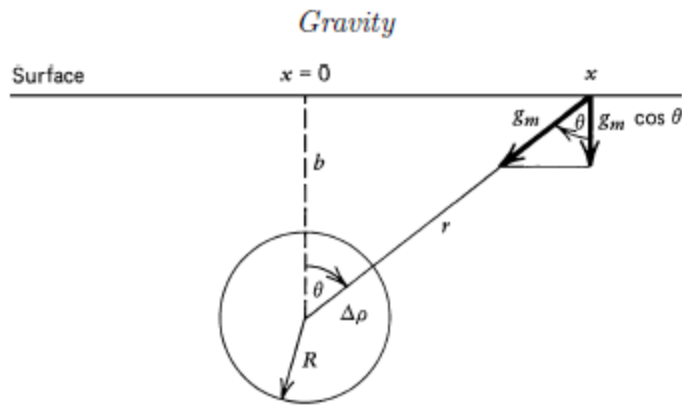


Figure 5.7 The gravitational attraction due to a sphere of anomalous density $\Delta\rho$ and radius R buried at a depth b beneath the surface.

地中にある物体の具体例として、半径 R の球から $\Delta\rho$ だけ密度異常があるものを考え、図 (5.7) に示した。ここで強調すべきなのは、地中の物体による表面重力異常を決定づける密度は、物体とその周りの岩石との密度差であるということだ。式(5-15)から中心からの距離 r ($>R$) での球状の質量異常による万有引力加速度は、

$$g_m = \frac{4\pi GR^3 \Delta\rho}{3r^2}. \quad (5.99)$$

となる。この加速度は、 $\Delta\rho$ が正であれば球の中心を向いている (図 7)。地中の物体による万有引力加速度は地球の万有引力加速度より小さいので、表面重力異常 (Δg) は鉛直成分のみからなる (式 (5.16)、式 (5.17))。図 5.7 の θ を用いて

$$\Delta g \equiv g_m \cos \theta, \quad (5.100)$$

と書ける。

重力異常は正の方向に測られる。地表の一点に対し、

$$\cos \theta = \frac{b}{r} = \frac{b}{(x^2 + b^2)^{1/2}}, \quad (5.101)$$

となるが、 x は Δg の観測地点から球の中心との水平距離であり、 b は球の中心の深さである。式 (5-99) と (5-101) を式 (5-100) に代入することで、

$$\Delta g = \frac{4\pi GR^3 \Delta \rho b}{3r^3} = \frac{4\pi GR^3 \Delta \rho}{3} \frac{b}{(x^2 + b^2)^{3/2}}. \quad (5.102)$$

を得る。重力異常の解析結果は図 5-8 に示す。

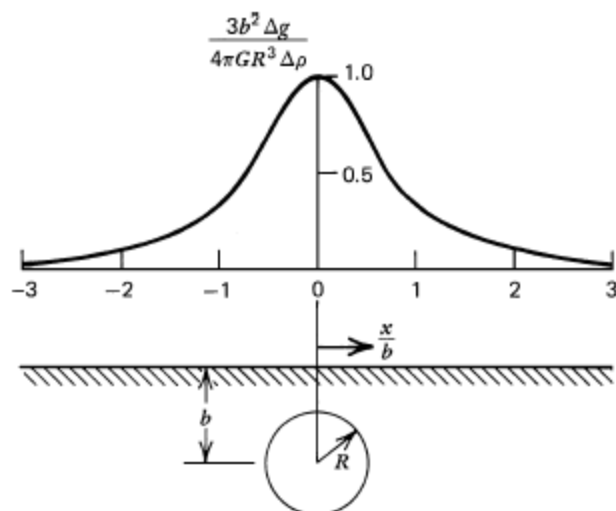


Figure 5.8 The surface gravity anomaly resulting from a spherical body of radius R whose center is at a depth b , as in Equation (5-102).

表面重力異常の例は、アメリカのメキシコ湾沿岸にある岩塩ドームによる密度異常によって引き起こされるというものだ。表面重力異常の等値線は図 5-9a に示した。AA 面で切り取った重力測定値を、図 5-9b に示した。測定値は、 $b=6\text{km}$ 、 $4\pi GR^3 \Delta \rho / 3b^2 = 0.1\text{mms}^{-2}$ としたときに式(5-102)から計算される重力異常の理論値と比較される。岩塩の密度が 2200kg m^{-3} であり、堆積物の密度が 2400kg m^{-3} だと推定すると、 $R=4.0\text{km}$ だとわかる。これは球状の岩塩ドームの半径としては理にかなっていると思われる。

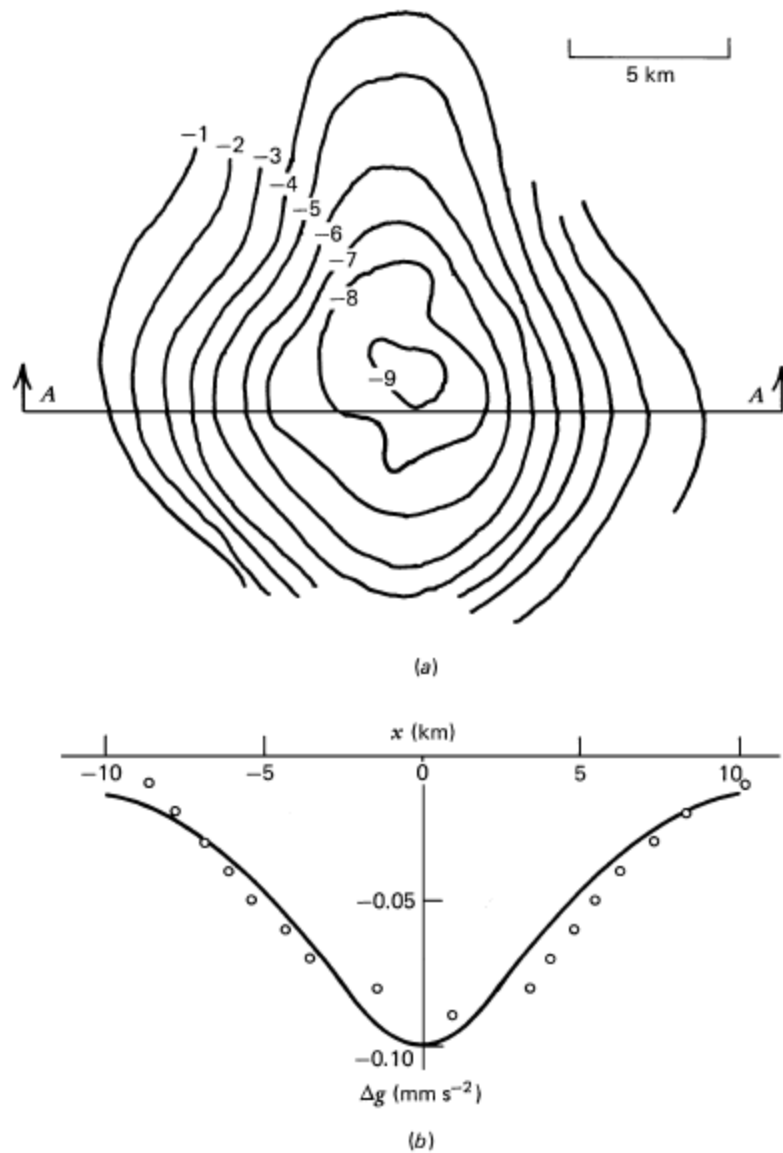


Figure 5.9 (a) Contour map (0.01 mm s^{-2} contours) of the surface gravity anomaly over a salt dome 125 miles southeast of Galveston, Texas, near the outer edge of the continental shelf (Nettleton, 1957). (b) Measurement of gravity on section AA from (a) compared with a theoretical fit based on Equation (5-102).

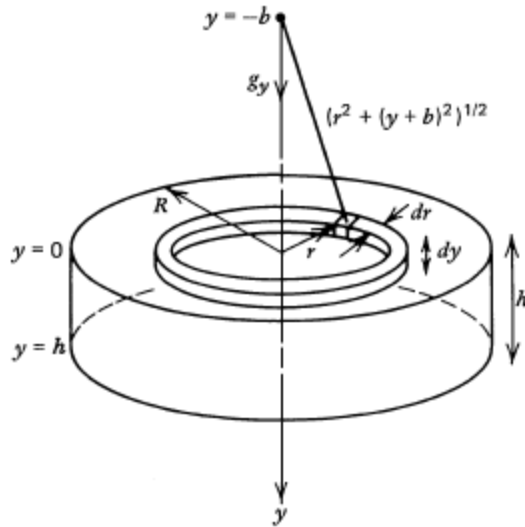


Figure 5.12 Coordinate system used to determine the gravitational attraction of a circular disk at a point along its axis.

5.7 ブーゲー重力式

前のセクションでは、埋まった物体の周りと異なる密度による表面重力異常について考えた。表面重力異常を引き起こす別の要因に、地形に大きく関連する万有引力の影響がある。普通、この影響は式(5.3)を積分することで推定することができる。しかし、こんなやり方は多大な計算量を必要とするので煩雑である。ほとんどすべての地形は緩やかに傾いているので、密度異常の傾きと同じように地形の万有引力による影響について式を導くことができる。

観測者のすぐ真下にある万有引力を決定するために、図(5-12)で図示されるような、半径 R 厚さ h の円筒状ディスクの表面から b だけ上に位置した観測者を考える。観測者は、半径の座標 r ではなく垂直座標 y に依存する密度 $\rho = \rho(y)$ を持つディスクの上にある。対称性により、垂直方向の厚さ dy 、放射方向の厚さ dr を持つ輪によって、観測者のいる地点での正味の万有引力は円筒の軸に沿って垂直な方向である。式 (5.3) によると、これは以下の式によって与えられる。

$$dg_y = \frac{(2\pi r dr dy)(\rho)G}{[r^2 + (y+b)^2]} \left\{ \frac{y+b}{[r^2 + (y+b)^2]^{1/2}} \right\}. \quad (5.107)$$

式(5-107)の様々な要因は、輪の体積である $2\pi r dr dy$ 、観測者と輪の点との距離の二乗である $r^2 + (y+b)^2$ 、さらに中カッコの中身である、輪の点と万有引力の垂直成分とで成る $\cos \theta$ (図 5-12) である。それゆえ、ディスクの上面から b だけ離れた、ディスクの軸上にあるディスク全体の万有引力の垂直成分は以下ようになる。

$$g_y = 2\pi G \int_0^h \int_0^R \frac{(b+y)r\rho(y) dr dy}{[r^2 + (b+y)^2]^{3/2}}. \quad (5.108)$$

式(5-108)は r に関して簡単に積分することができるため、

$$g_y = 2\pi G \int_0^h \rho(y) \left(1 - \frac{b+y}{[R^2 + (b+y)^2]^{1/2}} \right) dy. \quad (5.109)$$

を得る。式(5-109)で $R \rightarrow \infty$ に極限を取ること、ゆるやかな地形変化とゆるやかな密度異常に応用できる近似が得られ、それは

$$g_y = 2\pi G \int_0^h \rho(y) dy. \quad (5.110)$$

となる。これがブーゲー重力公式である。ある点の表面重力異常とその真下にある質量の

過剰または不足を関連づける。 $(\int_0^h \rho dy)$ は円形ディスクの単位面積あたりの質量である。

結果は、特異な質量をもつ物体の上にある観測者との距離 b から独立である。密度変化が水平スケールにわたって変化し、それが h と b の両方よりも大きいとき、式 (5.110) は良い近似となる。地形から重力異常を得る際、ブーゲー重力公式は特に有用だ。もし地形が高さ h と密度 ρ_c を持つなら、式(5-110)から得られる重力異常は

$$\Delta g = 2\pi\rho_c GH. \quad (5.111)$$

となる。この結果は、埋没した無限に広がる平板による重力異常のために導いた式と一致している (5-105)。密度が $\rho_c = 2670 \text{ kg m}^{-3}$ の時の重力異常は、1km 上に行くごとに $\Delta g = 1.12 \text{ mm s}^{-2}$ となる。ブーゲー重力公式を導くにあたって、平面の形状を想定した。地形の波長が地球の半径よりも小さい場合に限り、この式を使った補正は良い近似となる。