

4. 基盤構造と密度の関係

ブーゲー異常から基盤構造を推定するとき、基盤岩類とその上を覆う地層の2層構造として取り扱うことが多い。その際、両者の密度差は重要なファクターである。ボーリング調査等で基盤岩類や上位の地層の平均的な密度が知られているときは当然これらの値から密度差を算出して用いることが可能である。しかし、その値を用いて求められたブーゲー異常より推定された基盤構造はボーリング調査による基盤深度や反射法地震探査等から推定される基盤深度と矛盾することがしばしばある(例えば、領木, 1982)。ブーゲー異常から推測される基盤構造は一義でないから、両者が矛盾しないようにするためには重力基盤構造または密度差のいずれを修正しても良いことになる。

大阪堆積盆地の基盤岩は花崗岩類と考えられ、その上を鮮新世以降の堆積物が深い所で2000m以上覆っていると考えられている(横倉, 1998)。表層の堆積層と基盤岩との密度差は少なく見積もっても 0.7g/cm^3 はある(大阪市総合計画局, 1964)。Nakagawa *et al.*(1991)ではこのような狭い地域では基盤構造がブーゲー異常に1次近似できると考えて、ボーリング調査等で得られた基盤深度に基いてブーゲー異常から推定した基盤構造モデルを作成した。また、井上・他(1998)は、堆積層を地質学的観点から3層に区分し、それぞれの密度を地震波の速度から推定して構造モデルを作成し、重力異常の順計算を行った。5章で述べるように、これらのモデルを初期値として繰り返し計算によって構造モデルを再構築していこうとすると、重力分布の観測値に計算値を一致させようとする密度差を小さめ(0.5g/cm^3 程度)にする必要がある。密度差が見かけ上小さくなる(以後、これを見掛けの密度差と称する)のは、①基盤構造により細かい起伏がある、すなわち、基盤面上の微地形の影響 ②堆積層の密度の垂直分布が一様でない、

特に、原位置での密度の見積もりの問題 のいずれか(もしくは両者)に起因すると考えられる。

4.1 基盤の小起伏の影響

前ページに記した①の効果を見積もるために、Figure 60(a)のような、基盤の起伏の波長 λ 、振幅 $A=0.1 \lambda$ の正弦波型の2次元構造を仮定して、これが与える重力異常を求めた。2次元構造では、地表の点 $(x, 0)$ における重力異常 $\Delta g(x)$ は、

$$\Delta g(x) = 2G\Delta\rho \int_{-\infty}^{\infty} \int_d^{d+h(x')} \frac{z'}{(x'-x)^2 + z'^2} dz' dx' \quad (4.1)$$

である。ここで、 G : 万有引力定数、 $\Delta\rho$: 堆積層と基盤岩との密度差、 d : 基盤面の平均の深さ、 $h(x)$: 基盤面の平均の深さ d からの変位、である。

Figure 60(a)に示す構造モデルでは、 $h(x') = A \cos \omega x'$ 、 $\omega = 2\pi / \lambda$ であり、積分範囲を無限大とすると構造の寄与はゼロとなる(数学的な解は発散する)が、狭い地域での効果を見積もるために積分範囲を ± 100 波長として数値計算を行った。 $\Delta\rho = 1 \text{ g/cm}^3$ としたときの重力の計算結果 Δg は、波長 λ で正規化し、地表方向 x と基盤面の平均の深さ d に対して描かれている (Figure 60(b))。その結果、基盤の振幅が 0.1 波長ぐらいであるとき、基盤の平均の深さが 1 波長ぐらいになるとほとんどその寄与が無くなっていることがわかり、逆に、浅い所に細かい起伏があると重力値に大きく影響する様子が見える。すなわち、この図は重力計算が基盤の振幅に対し一種のローパスフィルタとして働くことを表している。また、逆に、基盤の起伏が深度に対して充分大きいときは、第1次近似的に重力値は基盤の起伏をそのまま反映すると考えて良いことを示唆している。すなわち、狭い地域では基盤構造が重力異常に1次的に近似できることになる。もし、ボーリングなどで深度既知点があれば、そこを基準にして1次式で重力異常値から深度分布

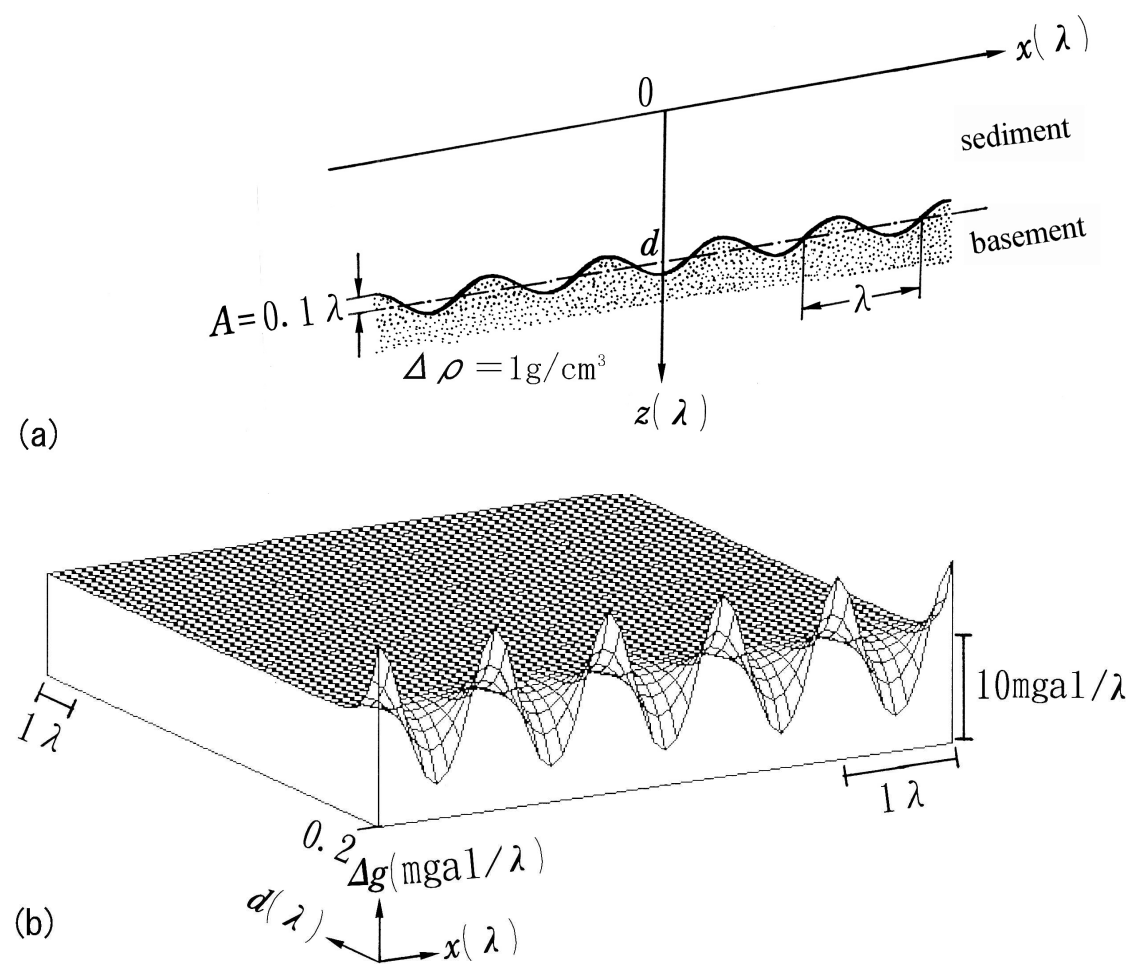


Figure 60. 正弦波型 2 次元基盤構造モデルが形成する重力値.

λ : 基盤の起伏の波長, A : 正弦波の振幅, $\Delta \rho$: 堆積層と基盤岩との密度差, d : 基盤面の平均の深さ, (a)断面図, (b)波長 λ で正規化された重力計算値.

を求めることができる. 例えば, $d = 0.2\lambda$, $A = 0.1\lambda$ のとき,

$$\Delta g(x) = kz(x) + m \quad (4.2)$$

$$k = -70 \text{mgal} / \lambda^2$$

$$m = 14 \text{mgal} / \lambda$$

の関係を得る.

Figure 61は, Figure 60と同様に, $\Delta \rho = 1 \text{g/cm}^3$ として基盤構造の振幅 A と平均の深さ d を与えたときの地表での重力値の振幅 $|\Delta g|$ の変化を示したものである. Figure 61によると, 振幅 A が大きくなるにつれて基盤が深くても重力異常に寄与してゆくことが解る. 例えば, 平均の深さが2波長であるとき, 振幅が0.2波長分ぐらいあれば重力異常に寄与してくるが, 振幅がこれより小さいと重力異常に寄与してこないことになる.

任意の地下構造では4.1式において, $h(x')$ をフーリエ級数で表すと.

$$h(x') = \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos \omega_n x' + B_n \sin \omega_n x') \quad (4.3)$$

と書ける.

振幅 A_n , B_n が, $d \gg A_n, B_n$ であれば, $h(x')$ をテーラー展開し第2次以降の高次の項が省略できる. その結果を整理すると,

$$\Delta g(x) \doteq 2\pi G \Delta \rho \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\omega_n d} (A_n \cos \omega_n x + B_n \sin \omega_n x) \quad (4.4)$$

となる. このように, $\Delta g(x)$ をフーリエ変換してその関係から A_n , B_n を求める方法がいわゆる重力解析のフーリエ変換法である.

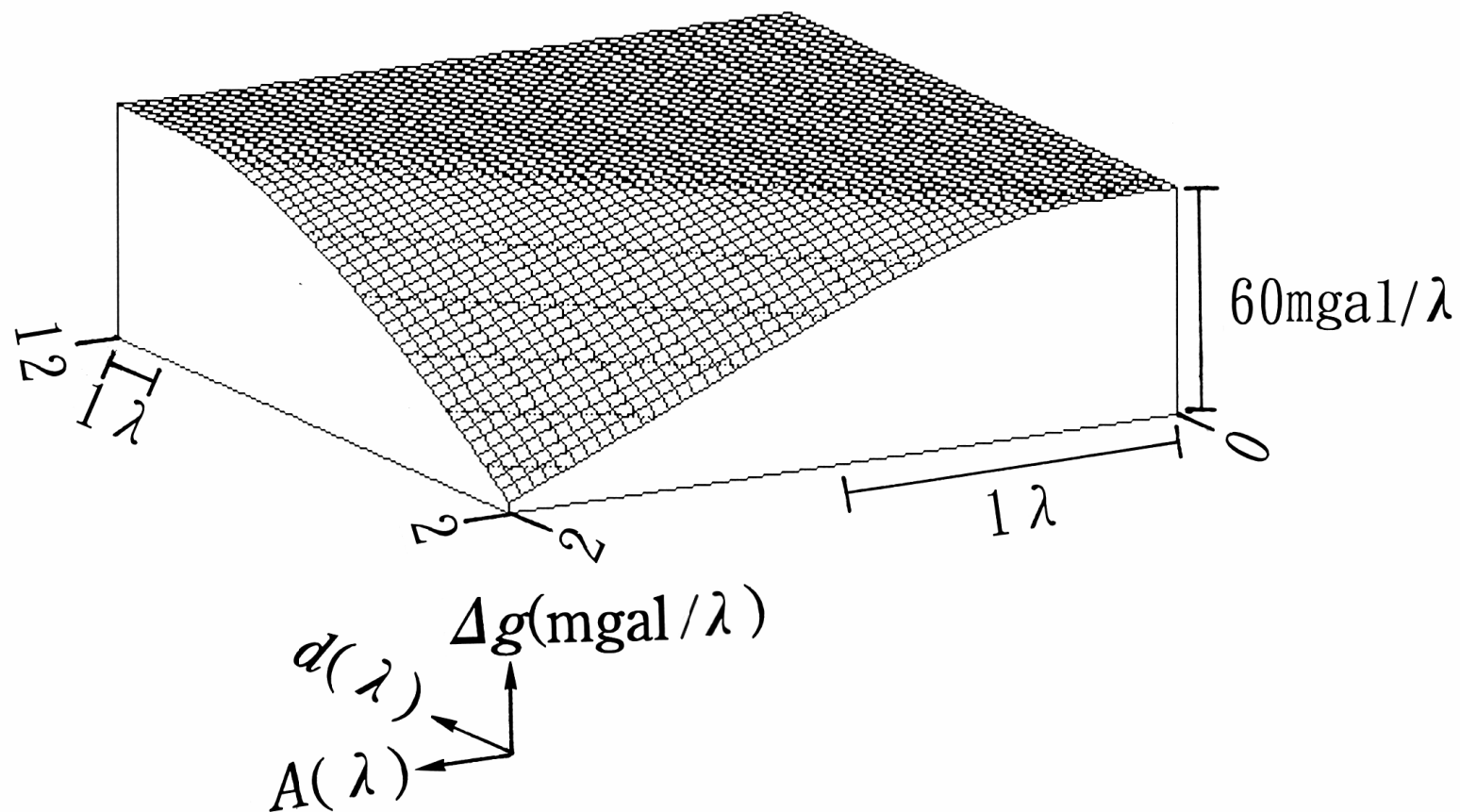


Figure 61. 正弦波型 2 次元基盤構造モデルの平均深度および起伏の振幅と形成される重力値の振幅との関係.
図中のパラメータは Figure 60 と同じ.

4.4式の関係では、 λ_n が小さければ Δg は小さくなり、 d が小さくなるとやはり Δg が小さくなる。

いま、簡単のため、 $h(x') = A \cos \omega x'$ 、 $\omega = 2\pi / \lambda$ とし、比較的狭い範囲を考えて深さ d の寄与も考慮すると、

$$\Delta g(x) \doteq 2\pi G \Delta \rho (d + e^{-\omega d} A_n \cos \omega_n x) \quad (4.5)$$

となる。ここで、

$$\Delta g(x) \equiv 2\pi G \Delta \rho_{as} h(x) \quad (4.6)$$

と近似して $h(x)$ を推定することを考える。ここで、 $\Delta \rho_{as}$ は見積もられた地下構造に適合する密度差の推定値である。以後、 $\Delta \rho_{as}$ を基盤構造に起因する見掛けの密度差と呼ぶことにする。

$\Delta \rho_{as}$ と $\Delta \rho$ の比を取ると、

$$\frac{\Delta \rho_{as}}{\Delta \rho} = \frac{d + A e^{-\omega d} \cos \omega x}{A \cos \omega x} \quad (4.7)$$

となり、4.7式から変数 x を消去するためにその両辺を区間 $x = -\pi / 2\omega \sim \pi / 2\omega$ で積分してその平均値を求めると

$$\frac{\Delta \rho_{as}}{\Delta \rho} = e^{-\omega d} + \frac{4d(1 - e^{-\omega d})}{\pi \sqrt{d^2 - A^2}} \tan^{-1} \frac{\sqrt{d^2 - A^2}}{d + A} \quad (4.8)$$

となる。

次に、4.8式の妥当性を吟味する。波長 $\lambda \rightarrow 0$ のとき、 $\omega \rightarrow 0$ 、 $e^{-\omega d} \rightarrow 0$ となるので、

$$\frac{\Delta \rho_{as}}{\Delta \rho} \rightarrow \frac{4d}{\pi \sqrt{d^2 - A^2}} \tan^{-1} \frac{\sqrt{d^2 - A^2}}{d + A} \quad (4.9)$$

であり、さらに、 $A \rightarrow 0$ を考えると、 $\tan^{-1} \frac{\sqrt{d^2 - A^2}}{d + A} \rightarrow 0$ となるので、

$$\frac{\Delta \rho_{as}}{\Delta \rho} \rightarrow 1$$

になり、実際の場合に矛盾しない。また、 $\lambda \rightarrow \infty$ のとき、 $\omega \rightarrow 1$ 、 $e^{-\omega d} \rightarrow 1$ となるので、やはり、

$$\frac{\Delta \rho_{as}}{\Delta \rho} \rightarrow 1$$

となり、実際の場合に矛盾しない。

A/d をパラメータとして λ/d に対する $\Delta \rho_{as}/\Delta \rho$ を図示するため、

$$\begin{aligned} C &= \frac{4d}{\pi \sqrt{d^2 - A^2}} \tan^{-1} \frac{\sqrt{d^2 - A^2}}{d + A} \\ &= \frac{4}{\pi \sqrt{1 - \left(\frac{A}{d}\right)^2}} \tan^{-1} \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{A}{d}\right)^2}}{1 + \frac{A}{d}} \end{aligned} \quad (4.10)$$

とおくと、

$$\begin{aligned} \frac{\Delta \rho_{as}}{\Delta \rho} &= e^{-\omega d} + C(1 - e^{-\omega d}) \\ &= (1 - C)e^{-\omega d} + C \\ &= (1 - C)e^{-2\pi(d/\lambda)} + C \end{aligned} \quad (4.11)$$

を得る。Figure 62は、この関係を示したものである。この図では長さの次元を持つ諸量が d で正規化され無次元にされているが、パラメータ A/d がm単位であるとして考えてみるとわかりやすい。

Figure 62では、例えば平均の深さ d が1000m、基盤の起伏 A が30mであり、起伏の波長 λ が d に

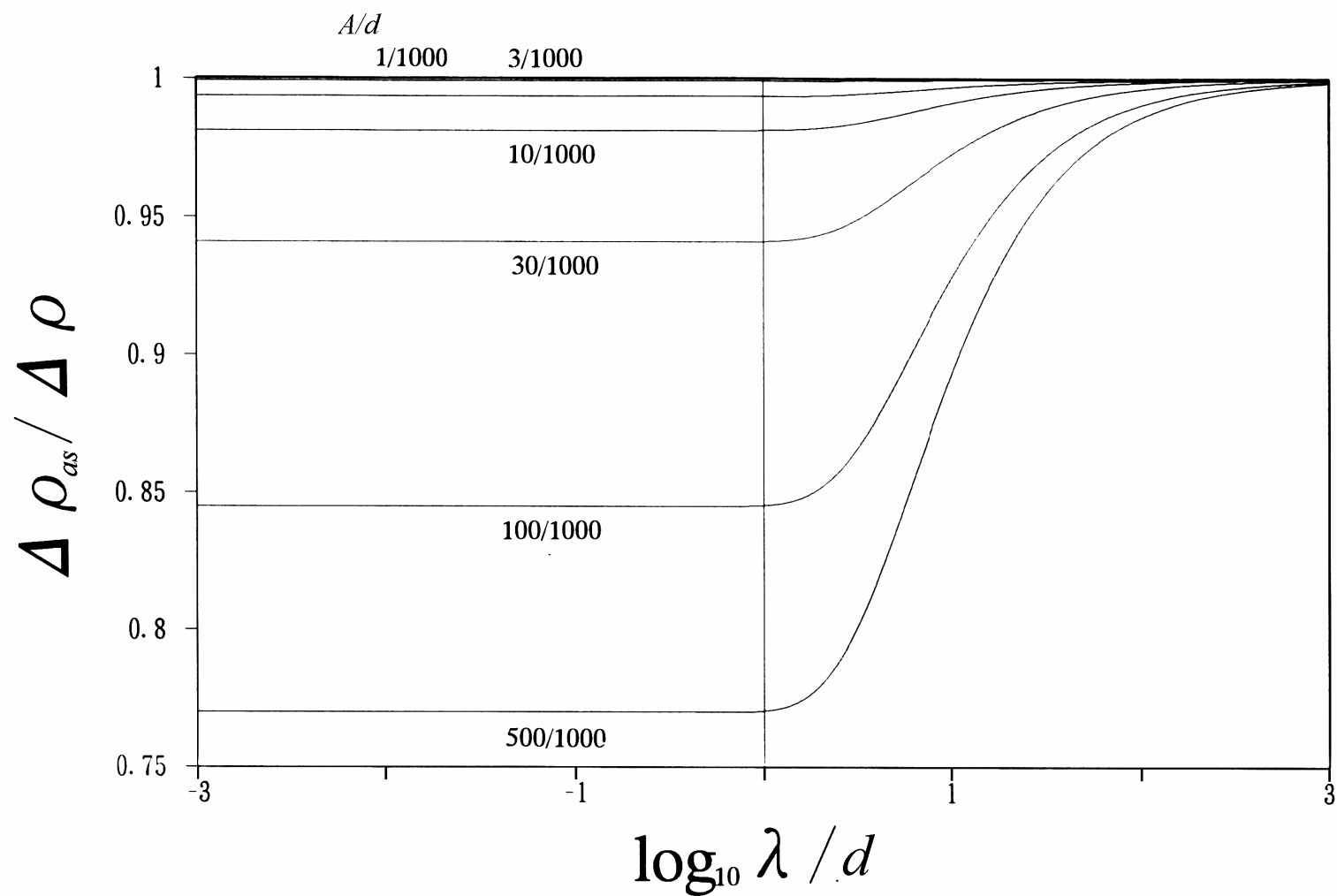


Figure 62. 基盤構造に起因する見掛けの密度差と基盤起伏の波長との関係.
 $\Delta \rho_{as}$: 基盤構造に起因する見掛けの密度差, $\Delta \rho$: 基盤岩類と上位堆積層との密度差. λ : 基盤起伏の正弦波の波長, A : 正弦波の振幅, d : 基盤起伏の平均の深さ.

対して十分に短ければ、見掛けの密度差は本来の密度差の94%となることを示している。なお、Figure 62の中で、 A/d が100/1000程度以上になると、 $d \gg A$ の仮定が成り立たなくなるため、この部分は近似が成り立たず、計算値が正しいとはいえない。

4.2 堆積層の垂直密度分布

次に、本章の冒頭で示した②の効果について考えてみる。井上・他(1998)は、大阪平野における重力基盤構造を解析するにあたり、大阪平野の堆積層の密度分布を次の手順で推定した。Wood(1930)によると、密度 ρ の堆積層の体積弾性率 κ は、その構成粒子の体積弾性率 κ_s 、水の体積弾性率 κ_w 、堆積層の間隙比 e によって決まり、

$$\frac{1}{\kappa} = \frac{1}{1+e} \left(\frac{1}{\kappa_s} + \frac{1}{\kappa_w} \right) \quad (4.12)$$

である。ここで、 ρ_s : 堆積層構成粒子の密度、 ρ_w : 水の密度、とすると、

$$e = \frac{\rho_s - \rho}{\rho - \rho_w} \quad (4.13)$$

となる。

堆積層のP波速度およびS波速度をそれぞれ V_p , V_s とすると、

$$\left. \begin{aligned} V_p &= \sqrt{\frac{\kappa}{\rho} + \frac{4}{3} \frac{\mu}{\rho}} \\ V_s &= \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \end{aligned} \right\} \quad (4.14)$$

と書ける(例えば、佐藤,1978)から、4.12式～4.14式の関係を用いて ρ を求めると、

$$\rho = \frac{\kappa_w \rho_w - \kappa_s \rho_s - \sqrt{(\kappa_w \rho_w - \kappa_s \rho_s)^2 + \frac{4(\kappa_w - \kappa_s) \kappa_w \kappa_s (\rho_s - \rho_w)}{V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2}}}{2(\kappa_w - \kappa_s)} \quad (4.15)$$

となる.

Ishihara(1968)は, 内部骨格構造の体積弾性率 κ_b が堆積層の非排水体積弾性率 κ_u に寄与することを指摘し,

$$\frac{1}{\kappa_u} = \frac{e(\kappa_s^2 - \kappa_b \kappa_w) + \kappa_w(\kappa_s - \kappa_b)}{(1+e)\kappa_s \kappa_w(\kappa_s - \kappa_b) + e\kappa_b \kappa_s(\kappa_s - \kappa_w)} \quad (4.16)$$

なる関係を示した.

中川・他(1992)は, 4.16式を用いて近畿地方の堆積層における内部骨格構造による効果を見積もり, 骨格構造を考慮した堆積層の体積弾性率 κ' について次の実験式(4.17式)を得た.

$$\kappa' = k \kappa, \quad k = 1.05 \quad (4.17)$$

従って, 堆積層の密度は, 骨格構造を考慮して4.15式に換えて次式で推定することが妥当である.

$$\rho' = \frac{\kappa_w \rho_w - \kappa_s \rho_s - \sqrt{(\kappa_w \rho_w - \kappa_s \rho_s)^2 + \frac{4(\kappa_w - \kappa_s) \kappa_w \kappa_s (\rho_s - \rho_w)}{k \left(V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)}}}{2(\kappa_w - \kappa_s)} \quad (4.18)$$

ここで, ρ' は骨格構造を考慮した堆積層の密度を意味する.

4.17式を考慮して, 4.15式と4.18式を比較すると

$$\rho < \rho' \quad (4.19)$$

であるから、基盤岩の密度 ρ_0 に対するおのおのの密度の差 $\Delta \rho$, $\Delta \rho'$ は、

$$\Delta \rho > \Delta \rho' \quad (4.20)$$

のようになる。ただし、

$$\Delta \rho = \rho_0 - \rho \quad (4.21)$$

$$\Delta \rho' = \rho_0 - \rho' \quad (4.22)$$

である。

6章で述べる大阪平野での計算例では $\Delta \rho'$ は $\Delta \rho$ の90～93%であり、4.20式に示した関係は、本章の冒頭で述べた②を支持する。

一方、堆積層がFigure 63のような n 層構造であると考えられる場合、各堆積層の層厚を d_i , ($i=1, 2, 3, \dots, n$)基盤岩と各堆積層との密度差を $\Delta \rho_i$ とすると、地表での重力異常値 Δg は、

$$\Delta g = 2\pi G \int_0^h \rho(z) dz = 2\pi G \sum_{i=1}^n \Delta \rho_i d_i \quad (4.23)$$

である。ここに、 $h = \sum_{i=1}^n d_i$: 堆積層(被覆層)全体の厚さ、である。

各堆積層を単一の被覆層と見なし、その密度を $\Delta \rho_{ah}$ とすると、

$$\Delta g = 2\pi G \int_0^h \Delta \rho_{ah} dz = 2\pi G \Delta \rho_{ah} h \quad (4.24)$$

となるので、 $\Delta \rho_{ah}$ を求めると、

$$\Delta \rho_{ah} = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^n \Delta \rho_i d_i = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta \rho_i d_i}{\sum_{i=1}^n d_i} \quad (4.25)$$

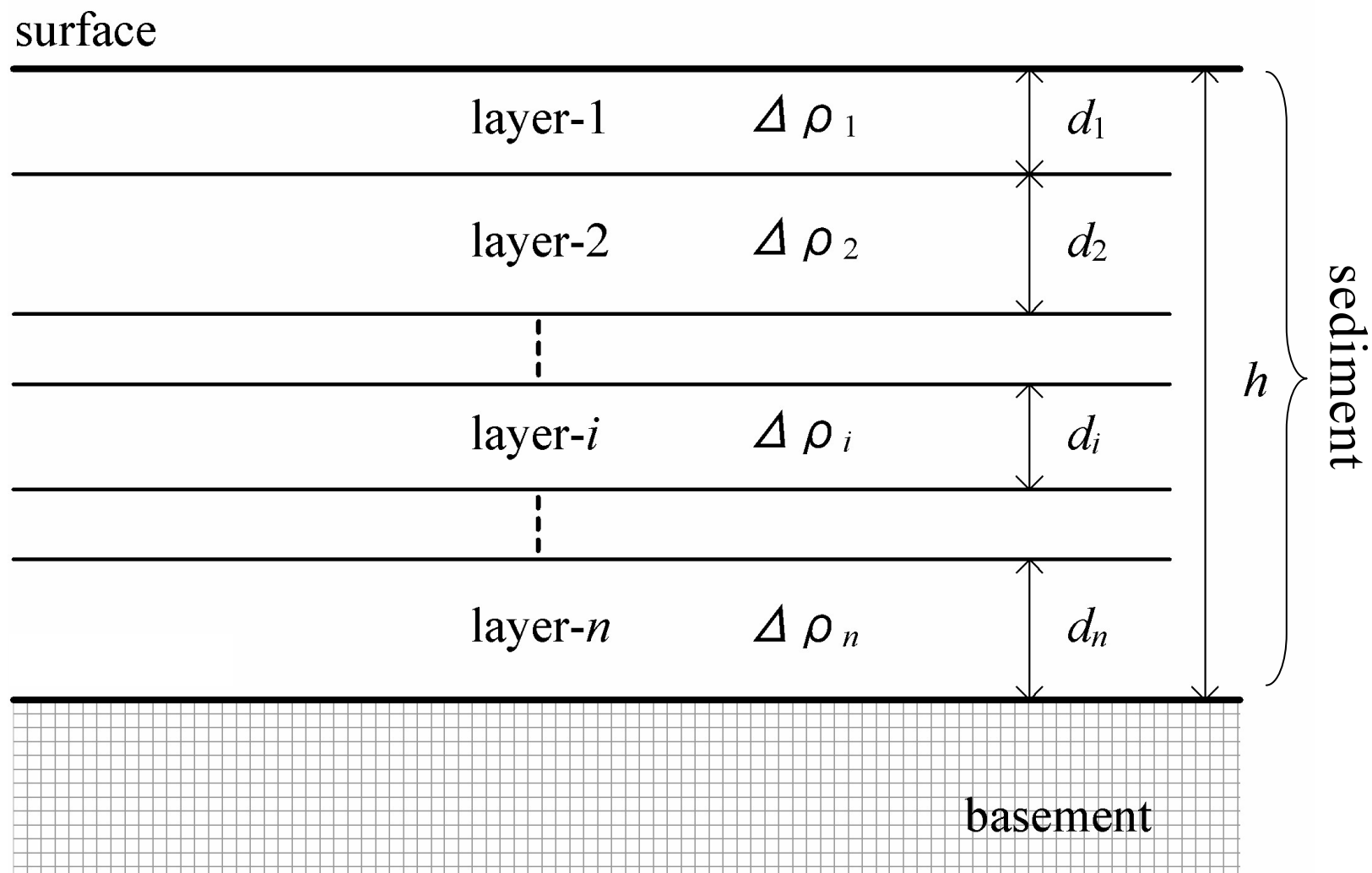


Figure 63. n 層堆積構造の概念図.

d_i : 第 i 層の厚さ, $\Delta \rho_i$: 第 i 層の基盤岩に対する密度差, h : 堆積層全体の厚さ.

となる.

基盤上の堆積層は続成作用などの効果により下層ほど圧密を受けて密度が大きいと考えられるため、 $\Delta \rho_{ah}$ は地表近くの堆積層の密度よりも小さくなる. 以後、 $\Delta \rho_{ah}$ を堆積構造による見掛けの密度差と呼ぶことにする. この値は堆積層の垂直密度分布に依存するが、大阪平野のような続成作用の比較的進んだ堆積層を含む地域では6.2節に述べるように、基盤岩と地表近くの堆積層との密度差の約60%程度になることが推定され(井上・他, 1998), これが本章の冒頭で述べた②の主因であると考えられる.

以上より、見かけ上密度差が小さくなる主因は②と考えられるが、本章の冒頭で述べた①の効果も数%～十数%程度あり無視できる程は小さくない. ①の効果は基盤上の小起伏に起因するものであり、堆積盆構造のようなある程度大きな基盤構造を解析する場合にはいわばノイズ成分であるといっても良いものであり、重力構造解析において密度差の仮定を行う上で誤差要因として考慮すべきものである.

5. 繰り返し計算による最適モデルの作成

重力異常値を基に堆積基盤構造を推定する場合、基盤モデルから順計算された重力値と実測値とを比較して基盤モデルを逐次修正してゆく方法がよく用いられる(駒澤, 1998). このとき、ある基盤上の点の深度の修正は直上の地表点での重力計算値と実測値との残差だけで求められている。また、広域重力値を最小 2 乗法に基づいて多項式で評価する方法では、基盤深度の既知点における重力異常測定値を用いる(Nakagawa *et al.*, 1991, 井上・他, 1998). このとき、重力異常値から広域重力値を差し引いた残差重力異常と基盤深度の関係が 1 次式で表せると仮定すれば、その変換係数を広域重力異常の分布と共に求めることができる。Nakagawa *et al.* (1991)は大阪地域の広域重力異常の分布を 1 次関数で表し、井上・他(1998)は阪神地域のそれを 4 次多項式で表した。これらの式にはバイアス成分の項が含まれている。一方、4 章の議論に基づくと、基盤岩を覆う堆積層内での地質構造が詳しく知られていない場合は重力モデルを 2 層構造とみなして良いと考えられる。本章では、すべての重力計算点からの影響とバイアス成分の影響を考慮した基盤深度の修正方法によって繰り返し計算を行い順次 DEM 形式の基盤構造モデルを修正してゆく手順を述べる。

5.1 方法

解析の流れを Figure 64 に示す。初期モデルおよび密度差を定めて重力異常計算値を求める。このとき、初期モデルの良否が繰り返し計算結果の良否や収束回数に当然影響するので、3 章の計算結果を用いて広域重力値を除いたものに基づいて初期モデルを推定しておく。上部地殻一下部地殻境界面(コンラッド面)の形状は相当複雑であり(領木,1999), ここで差し引かれ

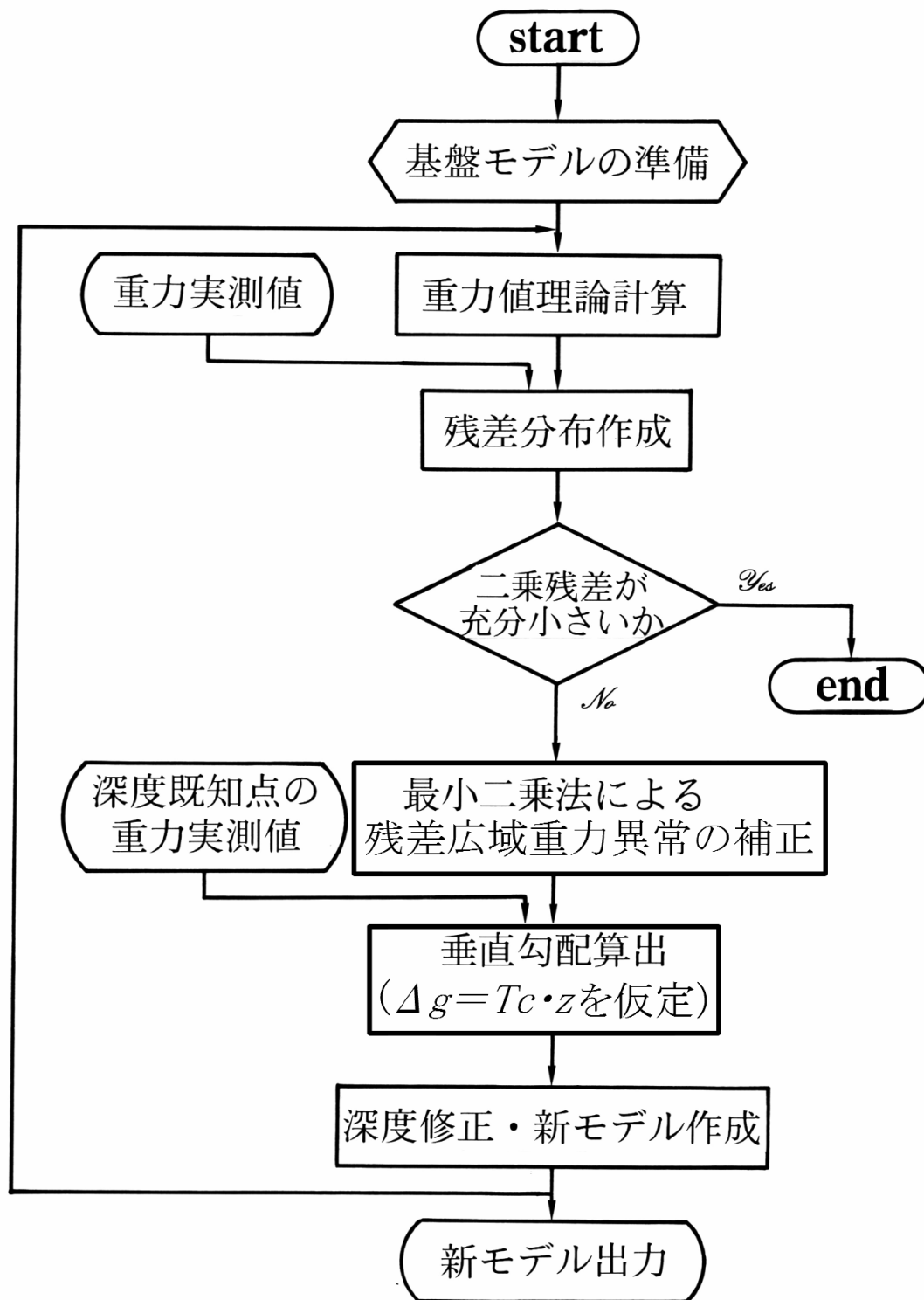


Figure 64. 繰り返し計算による重力基盤解析の流れ.

た広域重力異常値にはこれらの明らかにされていない要因が残差広域重力異常として残存する。そこで、実測値 g_0 と得られた計算値 g_c とを用いて n 次多項式 $S(x, y)$ で表現される残差広域重力異常を最小 2 乗法によって計算する。すなわち、

$$S(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^i a_{ij} x^{i-j} y^j \quad (5.1)$$

として、

$$\sum_x \sum_y \{g_0 - g_c - S(x, y)\}^2 \rightarrow \min \quad (5.2)$$

となる広域重力異常係数 a_{ij} を算出する。

一方、深度既知点 k における重力測定値 g_{0k} が判っているとして、同点におけるモデルの重力計算値 g_{ck} を算出する。また、 a_{ij} を用いてこの点での広域重力異常 $g_{rk} = S(x, y)_r$ を求める。いま、残差重力異常 $g_{0k} - g_{rk}$ が基盤深度 z_k と 1 次関係にあると仮定するならば (Nakagawa *et al.* (1991)),

$$g_{0k} - g_{rk} = T_c z_k \quad (5.3)$$

と書くことができる。ここで、 T_c を重力－深度変換係数と呼ぶことにする。

深度既知点が複数存在すれば、最小 2 乗法により次式で T_c を評価することができる。

$$T_c = \frac{\sum_k Z_k (g_{0k} - g_{rk})}{\sum_k z_k^2} \quad (5.4)$$

さて、各格子点 (x, y) において

$$\Delta g(x, y) = g_0(x, y) - g_c(x, y) - S(x, y) \quad (5.5)$$

とすると、重力値への寄与は基盤面すべてから存在するため、この点の $\Delta g(x, y)$ をすべての点

に対して配分する必要がある．従って，基盤モデルのある格子点 (X, Y) の深度 $Z(X, Y)$ を修正すべき量 $\Delta Z(X, Y)$ は，

$$\Delta Z(X, Y) = -\frac{d_c(X, Y) \cdot \Delta g_c(x, y)}{T_c} \quad (5.6)$$

で与えられる．ここに， $d_c(X, Y)$ は配分のための係数である．

ところで，基盤を質量線の集合体と見なし，その線密度を ρ_l ，基盤面上の点と格子点との間の距離を r ，万有引力定数を G をとすると，線密度が作る重力異常 g_e は，

$$g_e = \frac{G\rho_l}{r} \quad (5.7)$$

となるから，基盤面上の各点からの重力値への寄与は $1/r$ に比例していると考えて良い．簡単のため，重力計算点は地表にあるとすると，

$$r = \sqrt{(x - X)^2 + (y - Y)^2 + Z^2} \quad (5.8)$$

である(Figure 65)．

以上より，地表のある格子点 (x, y) で算出された $\Delta g(x, y)$ は, Figure 66 に示すように，すべての基盤モデル上の格子点 (X, Y) へ $1/r$ に比例させて配分すれば良いことになる．すなわち，

$$d_c(X, Y) = \frac{\frac{1}{r}}{\sum_x \sum_y \frac{1}{r}} \quad (5.9)$$

となる．

以上より，格子点 (X, Y) における繰り返し回数 n 回目の新しいモデルの深さ $Z_n(X, Y)$ は，

$$Z_n = Z_{n-1} + \Delta Z \quad (5.10)$$

となる．以上のような一連の手順を繰り返すことによって，モデルの作る重力異常が実測値に近

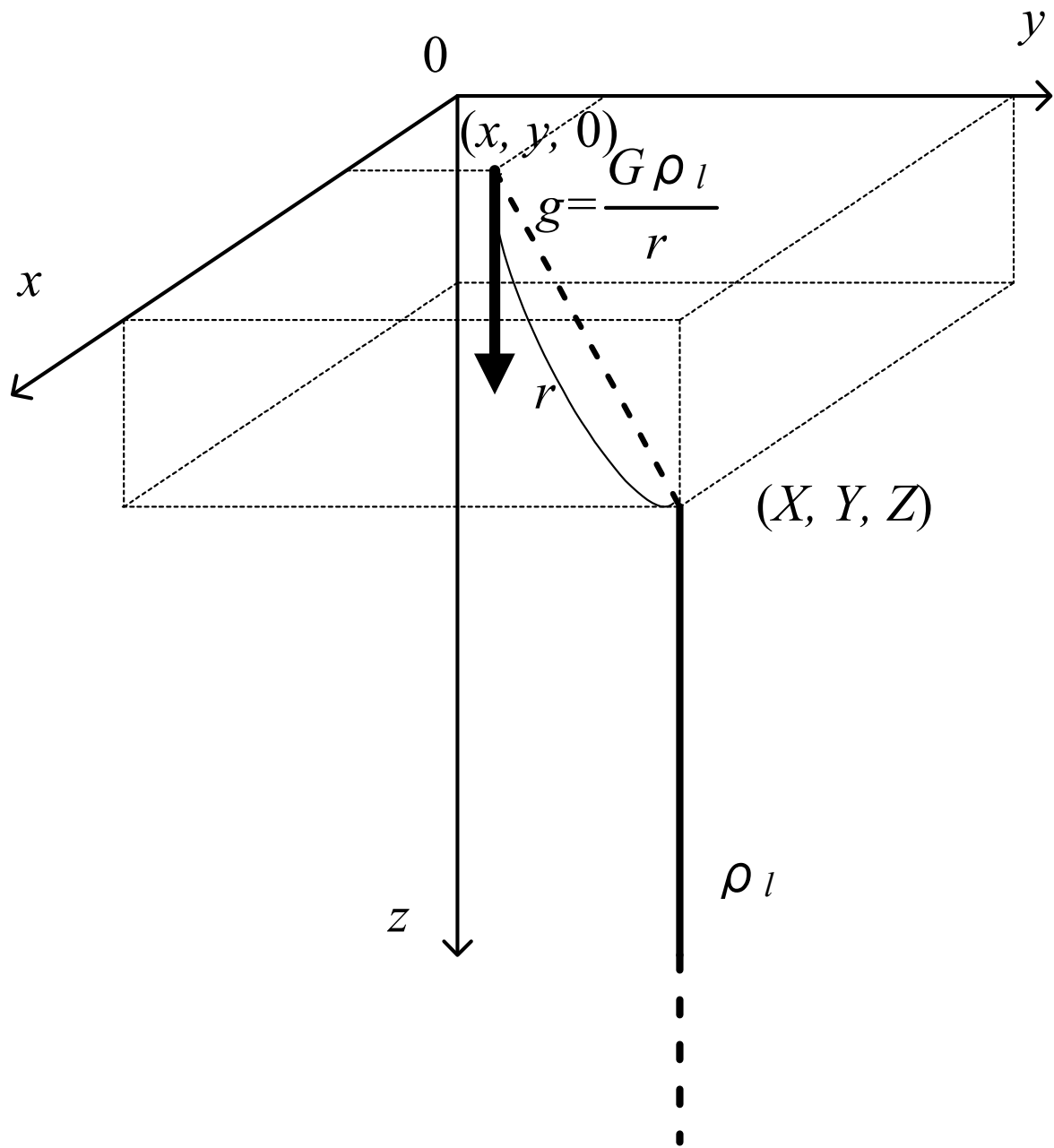


Figure 65. 質量半直線がつくる重力.
 ρ_l : 半直線の線密度, r : 地表の重力計算点と半直線の端点との間の距離.

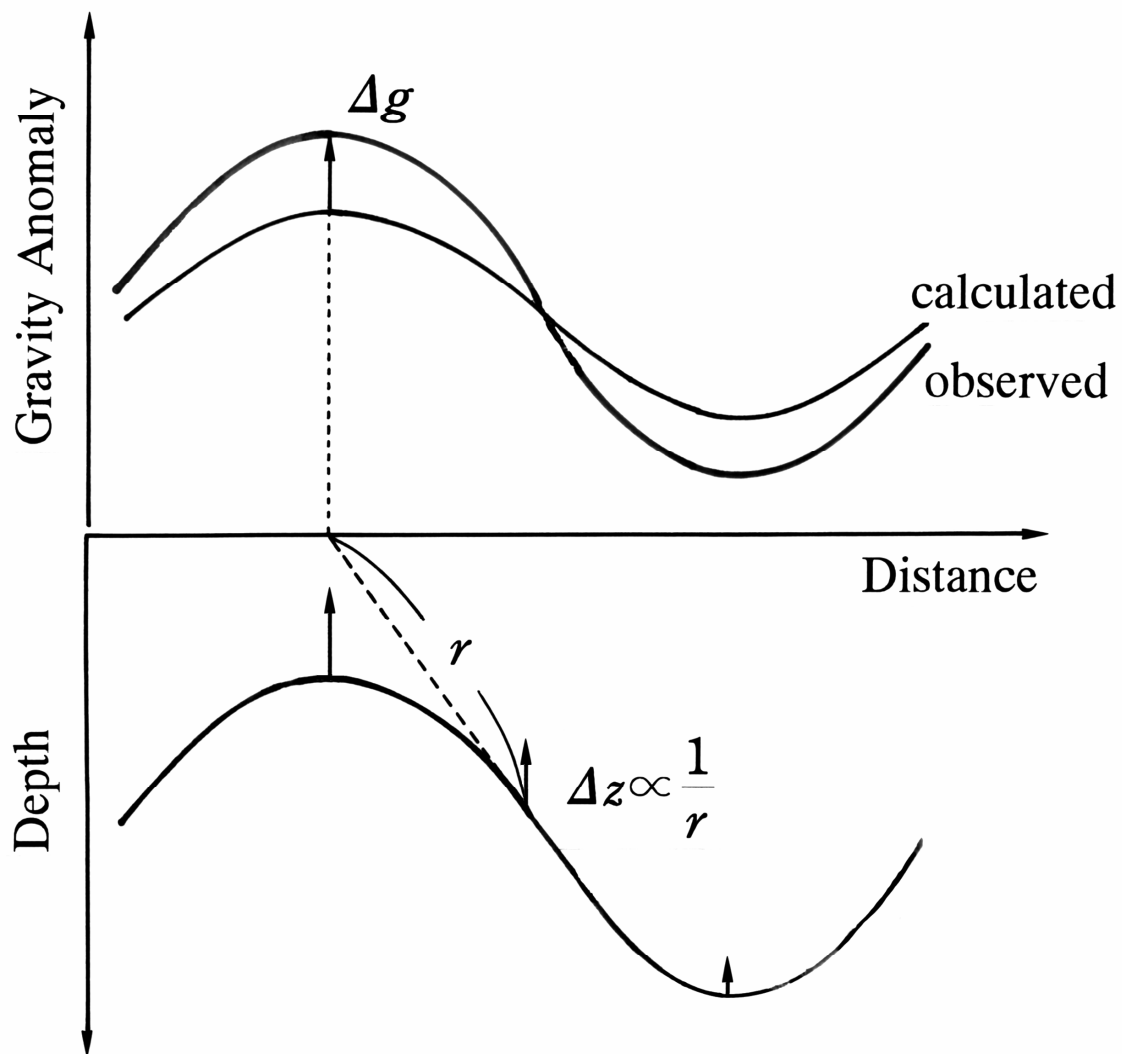


Figure 66. 繰り返し計算における残差重力値の配分の考え方.

Δg : ある地表点における残差重力値, Δz : 基盤面上各点での深度修正値, r : 地表点と修正する基盤面上の点との間の距離.

づくようにモデルを更新してゆくことができる。

5.2 テストデータによる評価

深さ 8km の平面上に半径 4km の半球ドーム状突起があるような基盤構造を考え、地表に深度の既知点を 20 ヶ所適当に分布させたテストモデルを想定する(Figure 67). Figure 68(a)は基盤面の鳥瞰図である. Figure 68(a)から $\Delta \rho = 1\text{g/cm}^3$ として重力異常値を計算し、4 次多項式で与えられる広域重力異常値を重畳させて作成した重力異常が Figure 68(b)である. これを実測値と想定する. Figure 68(b)から井上・他(1998)の方法で求めた初期モデルが Figure 68 (c) である. この初期モデルから始めて繰り返し計算を順次行う. 一例として、9 回行った結果得られたモデルを Figure 68(d)に示す. 計算は 65×65 の格子点で行った.

Figure 68(d)では基盤構造モデルの形状が初期モデル(Figure 68(c))に比べて真の形状(Figure 68(a))により近くなっていることがわかる. 特に、半球の頂部の位置がよりはっきりしてきている. しかし、Figure 68(d)の全体の形状は半球状ではなく、円錐形を示しており、半球の立ち上がり部分がなかなか深くなってこない. 半球状のモデルは基盤地形に急峻な立ち上がり部分があるため、収束が相当難しいモデルと思われる. このことは、いわゆる逆問題では解が無限に存在するというよく知られた事実を端的に示している. すなわち、この問題を解決するためには、半球外縁部を断層のように扱うなどの地質学的拘束条件を的確に反復モデルに繰り返す必要があることを示唆しており、機械的な繰り返し計算による基盤構造決定過程の限界を示していると考えられる. なお、重力順計算は計算量が多く、かつ、収束が速くないので、モデルの格子数が多い場合には Δz の配分に加速係数を導入するなどの対策が必要である.

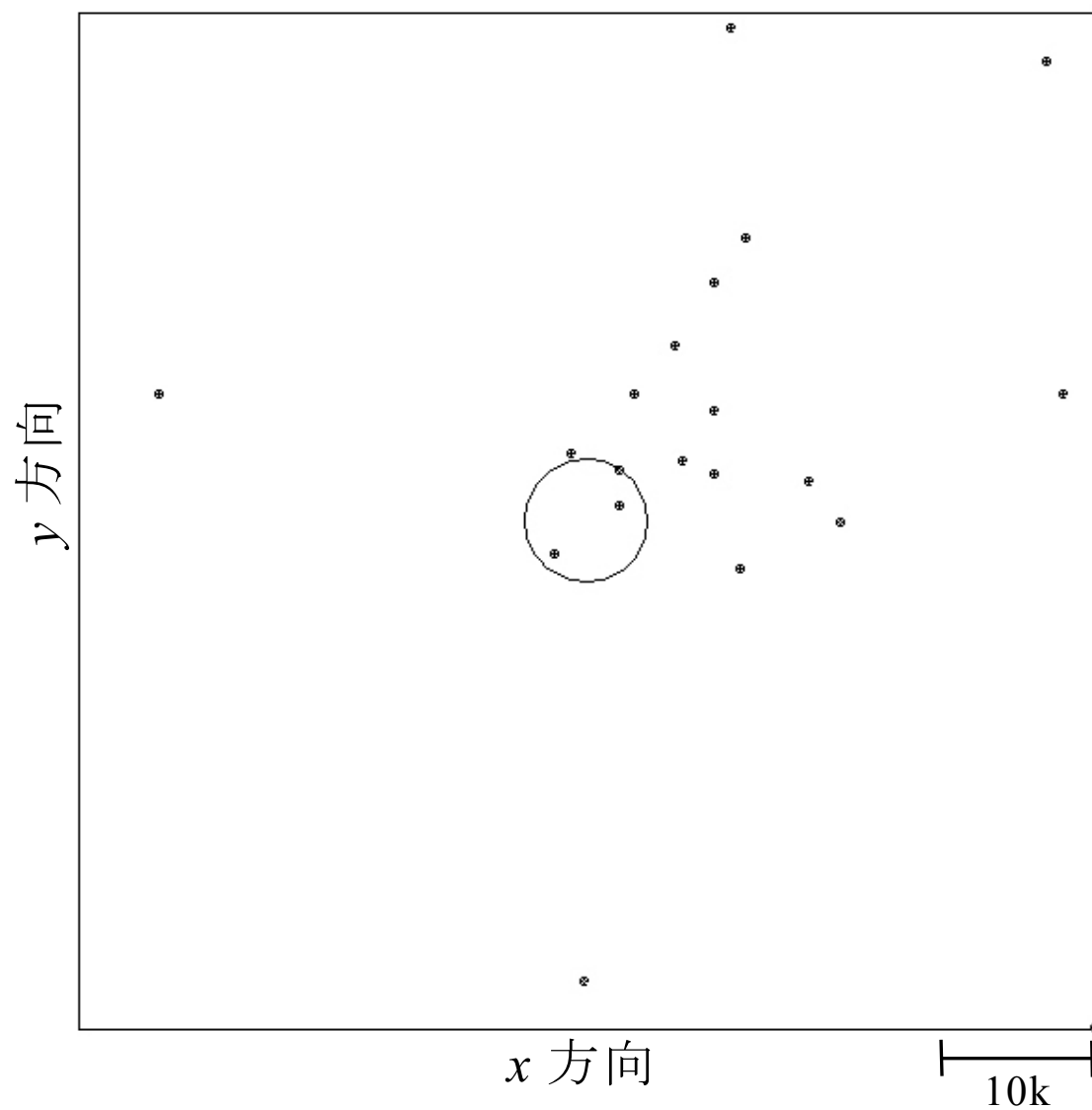


Figure 67. 繰り返し計算テストモデルの半球ドームの位置と深度既知点の分布.
 深さ8kmの基盤平面の上に, 中央の大円で示される半径4kmのドーム状突起がある. 小丸印は地表の深度既知点位置を示す. 計算範囲は x 方向, y 方向とも64km.

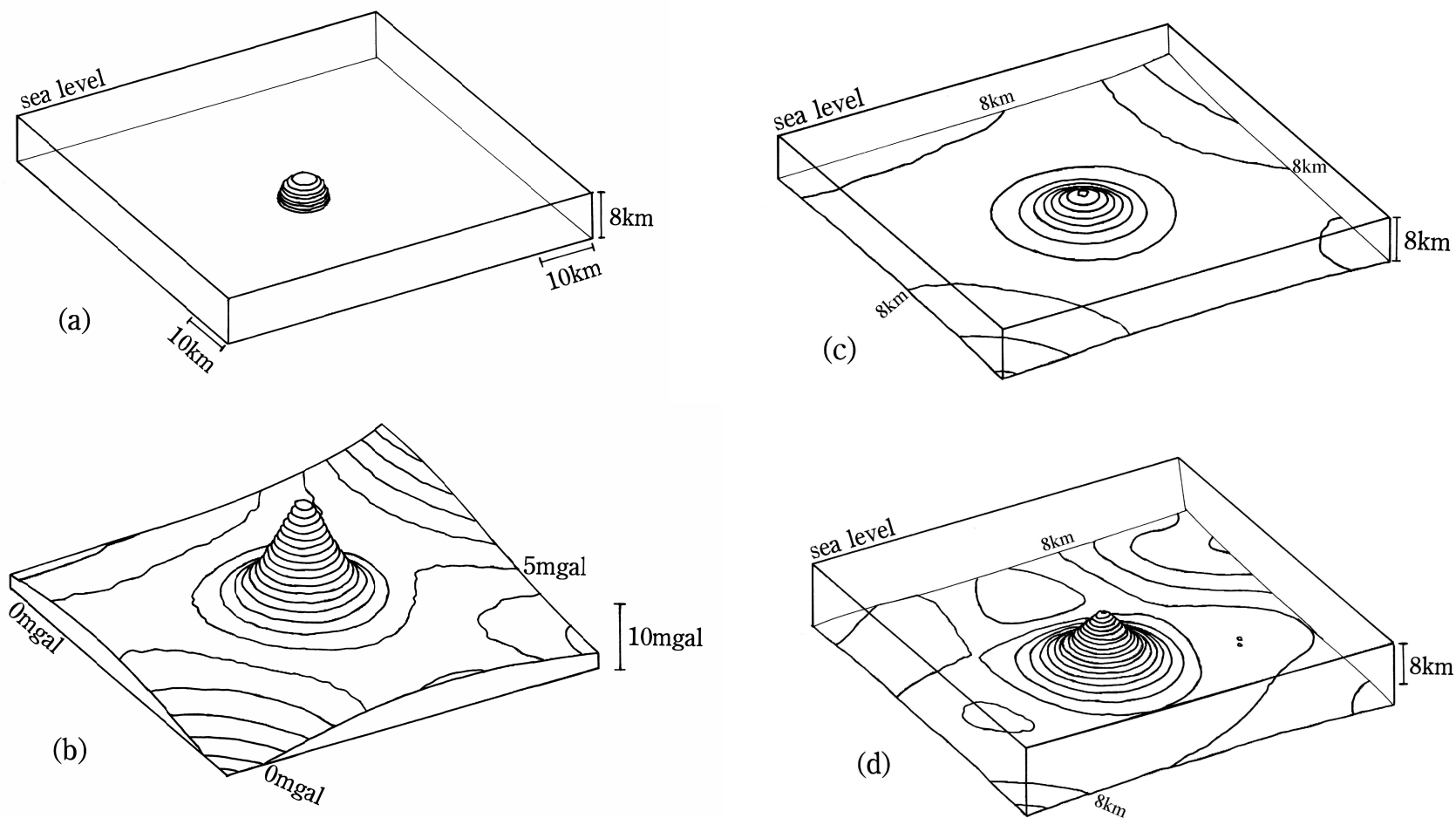


Figure 68. 半球ドーム状の基盤構造テストモデルと繰り返し計算による重力基盤解析の例 (a)基盤構造モデル, コンターは 0. 5km 毎. (b)広域重力異常を重畳させた(a)から計算された重力値, コンターは 1mgal 毎. (c)重力値から井上・他(1998)の方法で計算された基盤解析初期モデル, コンターは 0. 5km 毎. (d)繰り返し計算を 9 回行った際に得られた基盤解析結果コンターは 0. 5km 毎.

6. 大阪平野における逆断層構造解析

逆構造解析の一例として、大阪平野中央部における解析を試みる。Figure 69 に対象地域の位置と周辺の活断層分布を示す。大阪平野ではこれまでに多くの機関によって重力測定が行われてきており、それらに基づき Nakagawa *et al.*(1991)は基盤構造の概要を明らかにした。また、井上・他(1998)によって、神戸・阪神地区から大阪北西部にかけて新たな重力測定が行われ、さらに平成 7 年兵庫県南部地震(1995 年 1 月 17 日, $M_{JMA}=7.3$)以降に取得されたボーリング調査や反射法地震探査などの解析結果を拘束条件として詳細な 3 次元重力基盤構造解析が行われるなど、この地域は基盤構造がかなり明らかになってきている(堀川・他, 2002, 堀川・他, 2003, 香川・他, 1998, 宮腰・他 1999, 趙・他, 2001)。

6.1 重力測定値

逆断層構造解析を行うにあたり、順計算値と比較する重力測定値は、井上・他(1998)が集成したデータを利用した。これは、Nakagawa *et al.*(1991)によってコンパイルされた 2114 地点、志知・山本(1994)が報告した測定点のうちの 523 地点、井上・他(1998)が新たに測定した 321 地点、及び岡本・他(1999)を含め井上・中川(1999)が新たにコンパイルした周辺地域を含む 2445 地点、合計 5402 地点の重力データから成っている。Figure 70 にこれらの重力測定点の分布を示す。各地点の測定値には潮汐補正、ドリフト補正、フリーエア補正がそれぞれ施され、フリーエア異常値が算出された。これよりブーゲー異常を計算し、さらに 4 章で述べた広域重力異常を除いた基盤構造による重力異常(局所重力異常)を求めて順計算値との比較に用いた。堆積層が地表に分布する測定値においてブーゲー異常を算出する際には、後述する表層

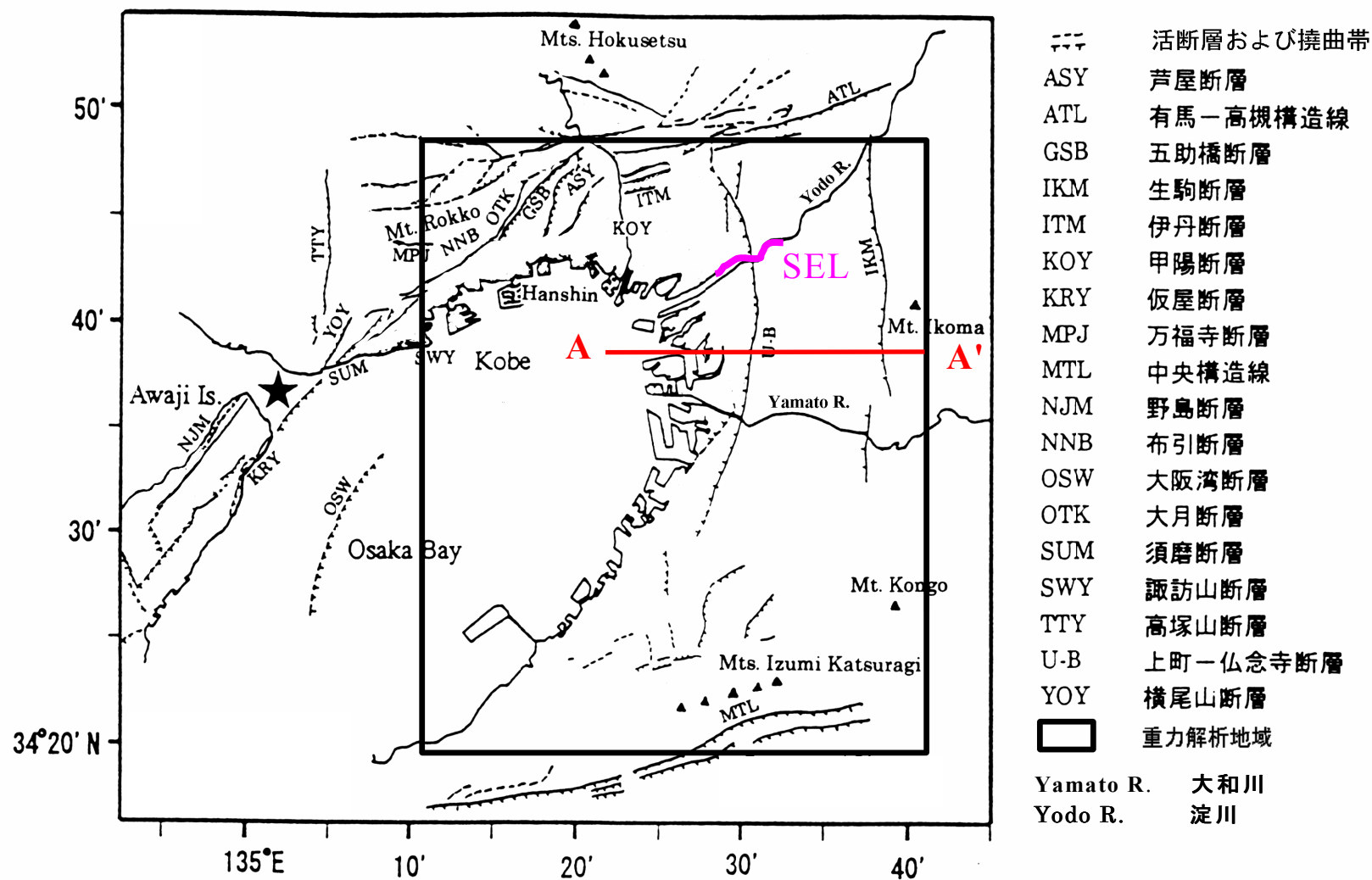


Figure 69. 重力基盤構造解析対象地域。

周辺の活断層分布が付記されている。SEL: Figure 75 に示す反射法地震探査の測線位置, A-A': Figure 76 から Figure 78 の断面位置(中川・他(1996)に加筆)。

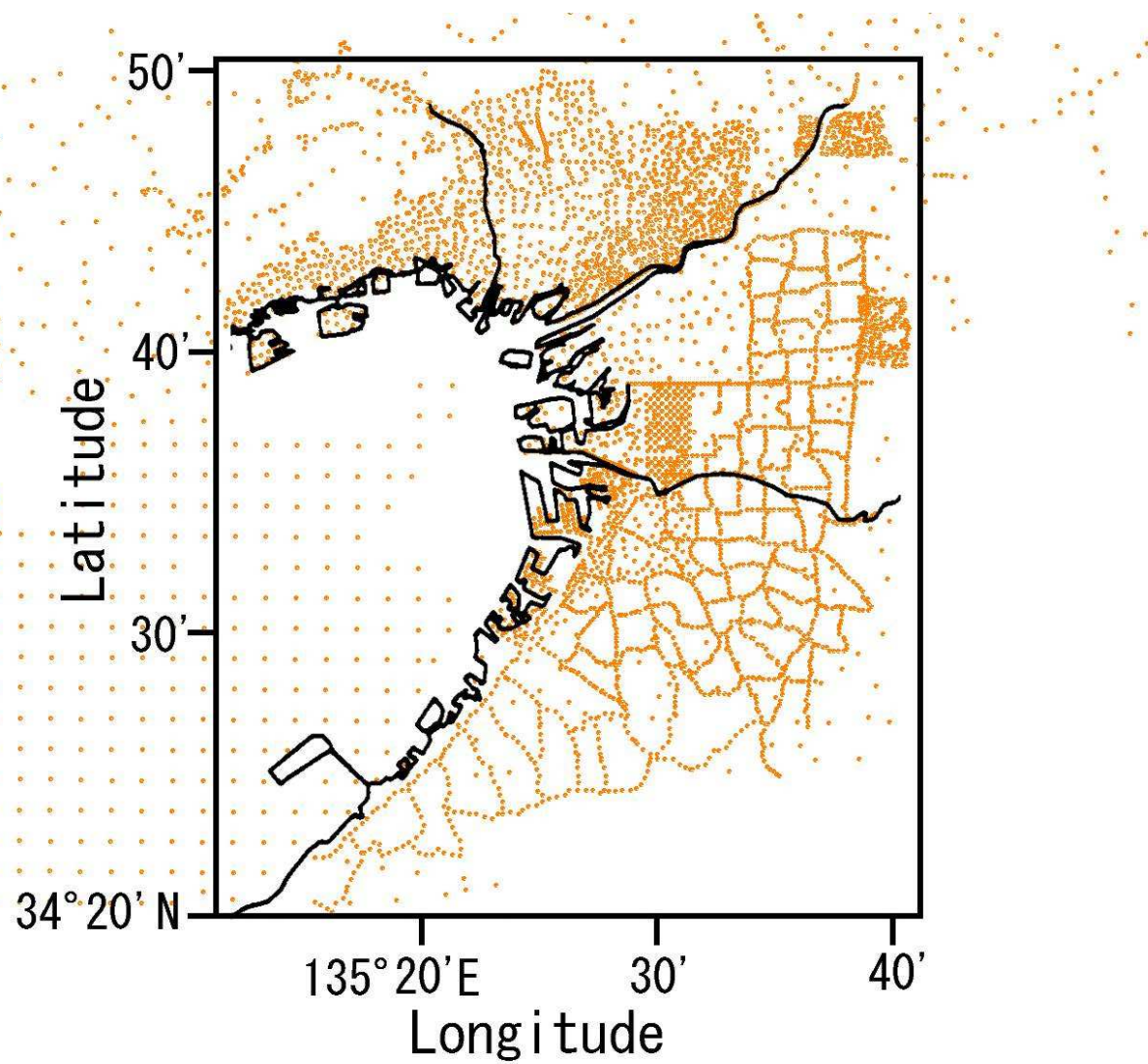


Figure 70. 重力測定点の位置.

●: 重力測定点.

(Table 1 の Layer A)の骨格構造を考慮した密度 $\rho_A' = 1.98\text{g/cm}^3$ を用いた. Figure 71 は今回作成されたブーゲー異常値の分布である. この図が示す範囲は, 東経 $135^\circ 00' 00''$, 北緯 $34^\circ 00' 00''$ から東(x 方向)へ 17km, 北(y 方向)へ 37km の地点(東経 $135^\circ 11' 5.4''$, 北緯 $34^\circ 20' 13.2''$)を原点とする $x=0\sim 46\text{km}$, $y=0\sim 56\text{km}$ で, 大阪平野を覆う地域である. また, 広域重力異常値(Figure 72)を除いた局所重力異常の分布を Figure 73 に掲げる.

6.2 密度の推定

井上・他(1998)は基盤がほとんど花崗岩類で構成されていると考え, 基盤岩が露出する 6 地点で行われた重力測定値をもとに, いわゆる $G-H$ 相関図(Figure 74)から基盤岩の密度を求め, $\rho_0 = 2.66\text{g/cm}^3$ を得た. この値はこの地域における花崗岩類の密度の実測値にほぼ一致している. 従って, ここでもこの値を基盤岩の密度として採用する.

山本・他(1992)は, 大阪平野中央部において反射法地震探査を行い, 反射断面図(Figure 75)を作成した. そこでは, 縦波速度の相違から, 基盤岩を覆う被覆層が 3 層に区分された. 井上・他(1998)はこれに基づいて被覆層を 3 層として重力異常に適合する地下構造モデルを作成した. このモデルの各地点における層の境界深度は, 山本・他(1992)の求めた各層の境界深度に比例配分させて決定されたものである. 井上・他(1998)ではモデルから重力値を順計算する際に TRIGRV.F を使用しているが, 被覆層を 3 層に区分すると順計算も 3 回行わなければならない, 解析に時間がかかり, モデルを修正しながら最適モデルを求めようとすると多くの時間を消費することになる. ところが, 被覆層の層厚比が一定との仮定のもとである地点の重力値が各層境界までの深さに比例すると考えて解析を行うことは, 堆積構造による見掛けの密度を考

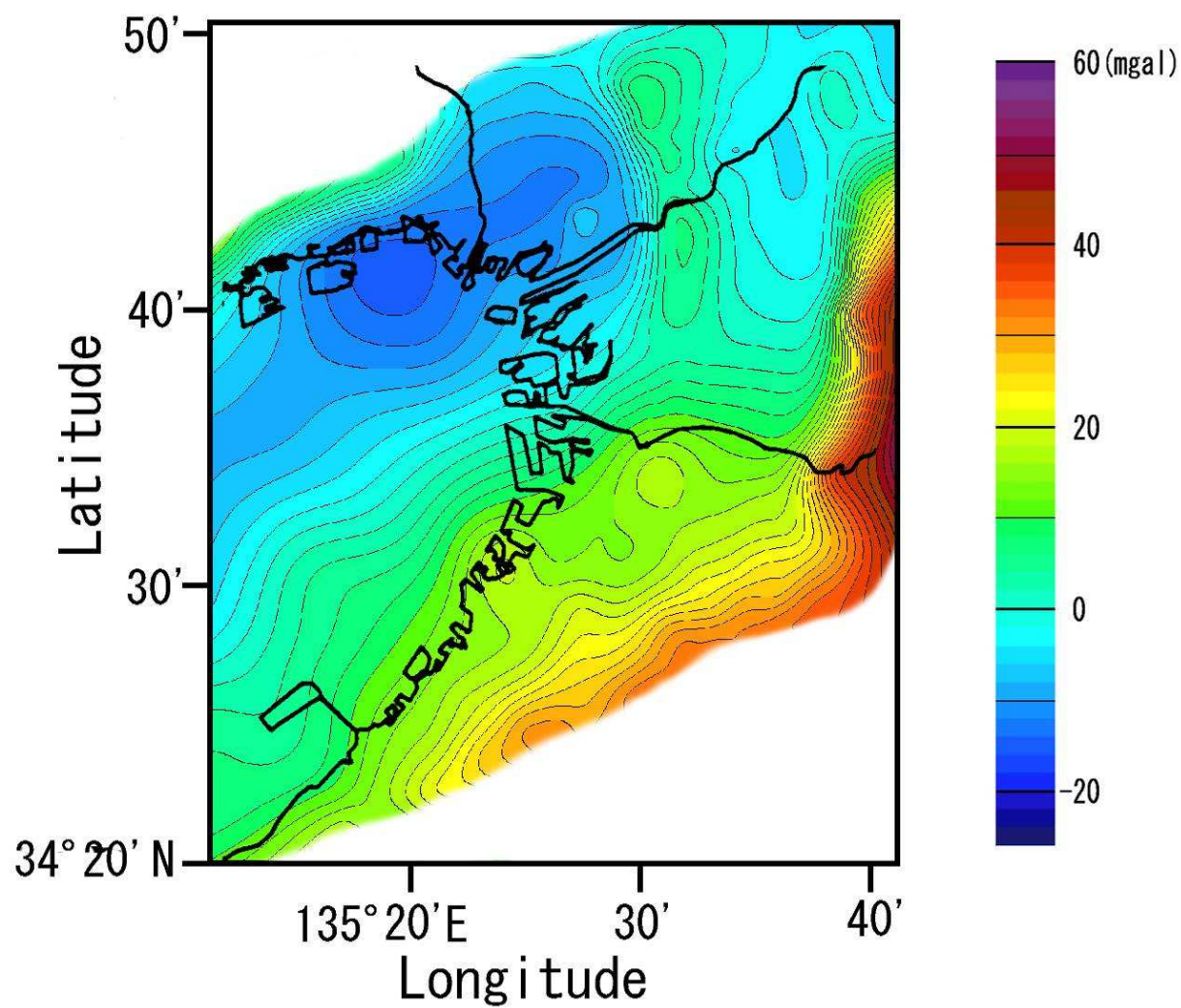


Figure 71. 大阪平野中央部のブーゲー異常分布.
コンターは 2mgal 毎. 測定点が欠如している部分は図化の際にエイリアシングが発生するので省略してある.

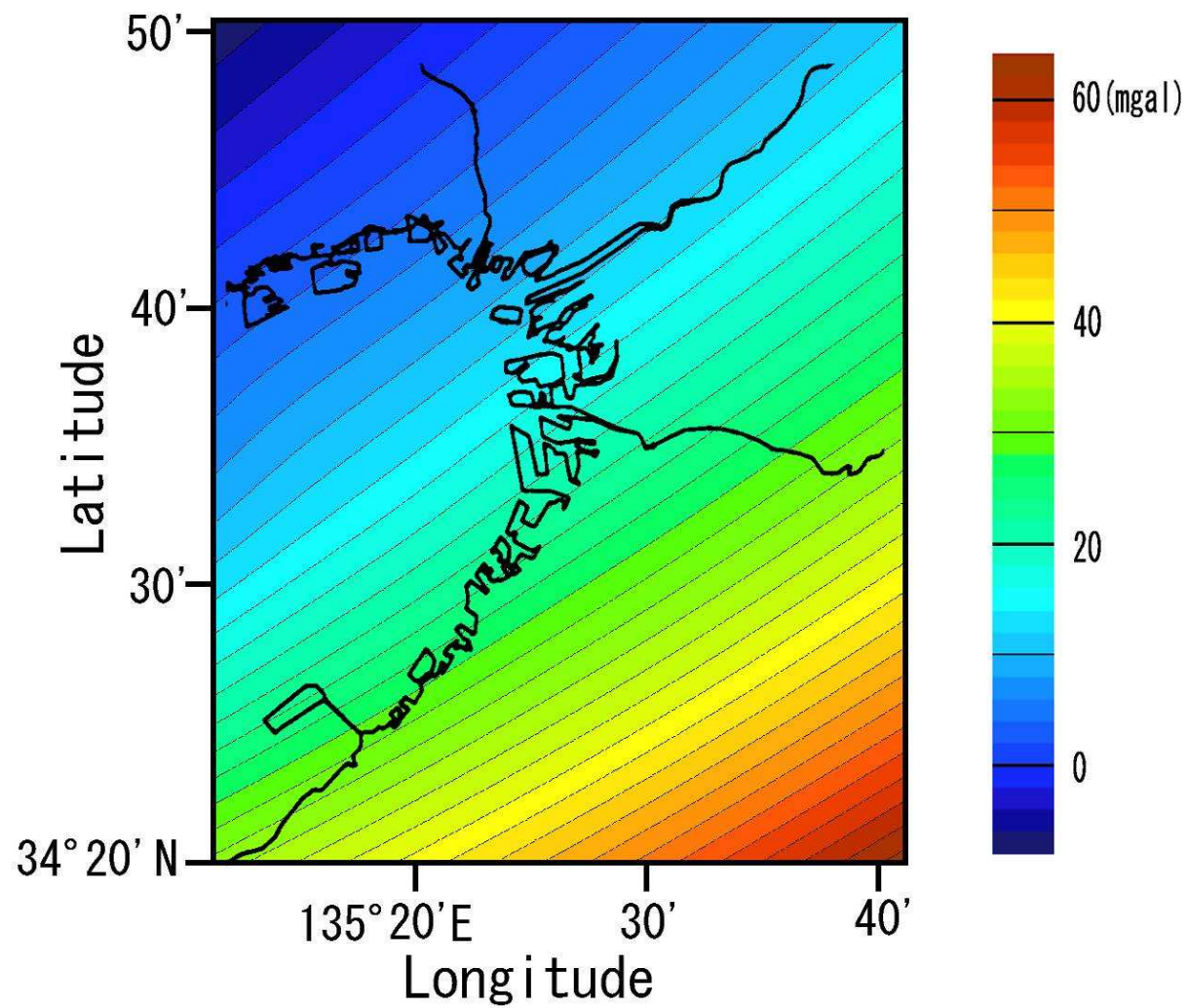


Figure 72. 大阪平野中央部の広域重力異常分布.
コンターは 2mgal 毎.

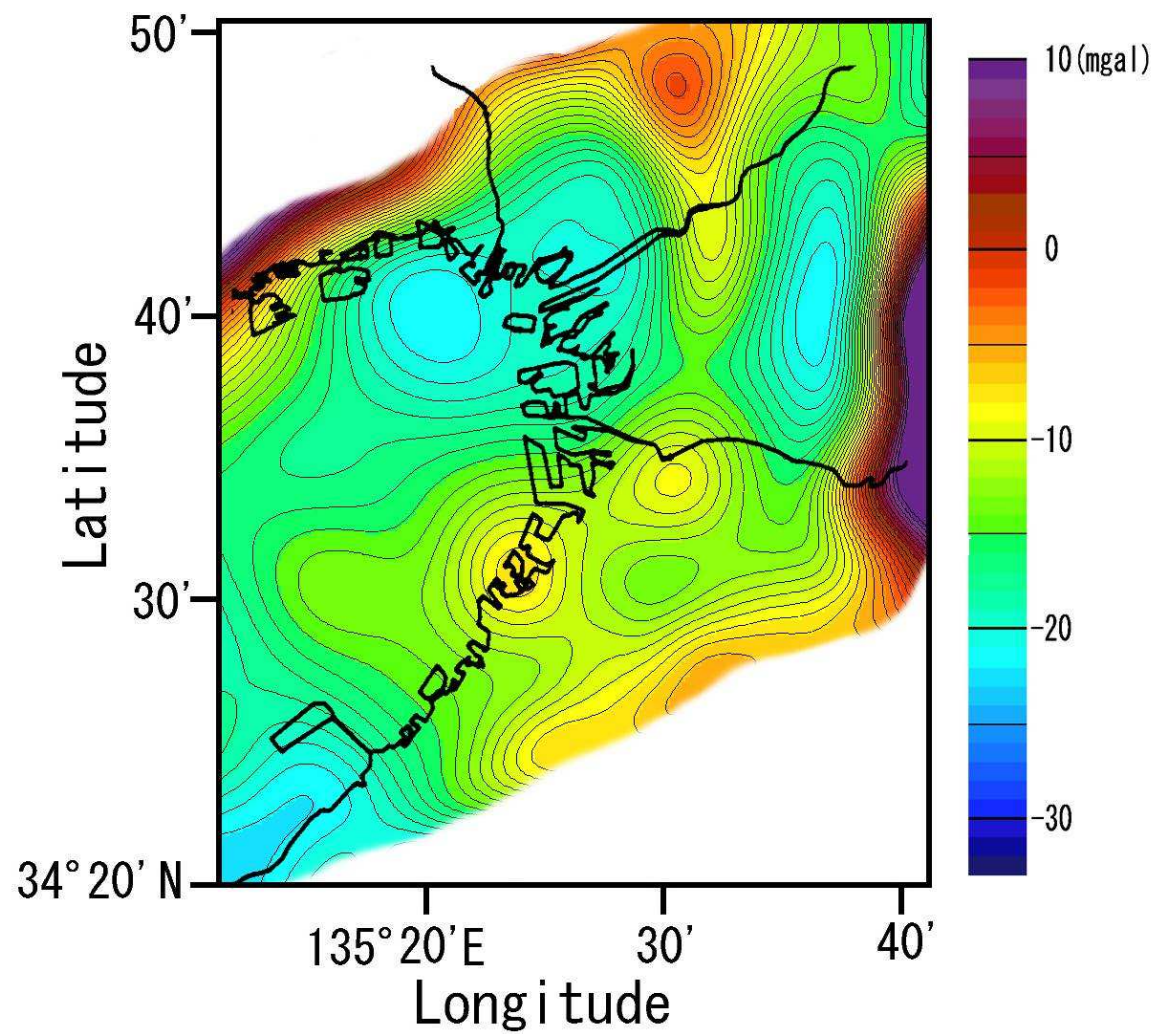


Figure 73. 大阪平野中央部の局所重力異常分布.
ブーゲー異常分布から広域重力異常分布を除いた値. コンターは 1mgal 毎.

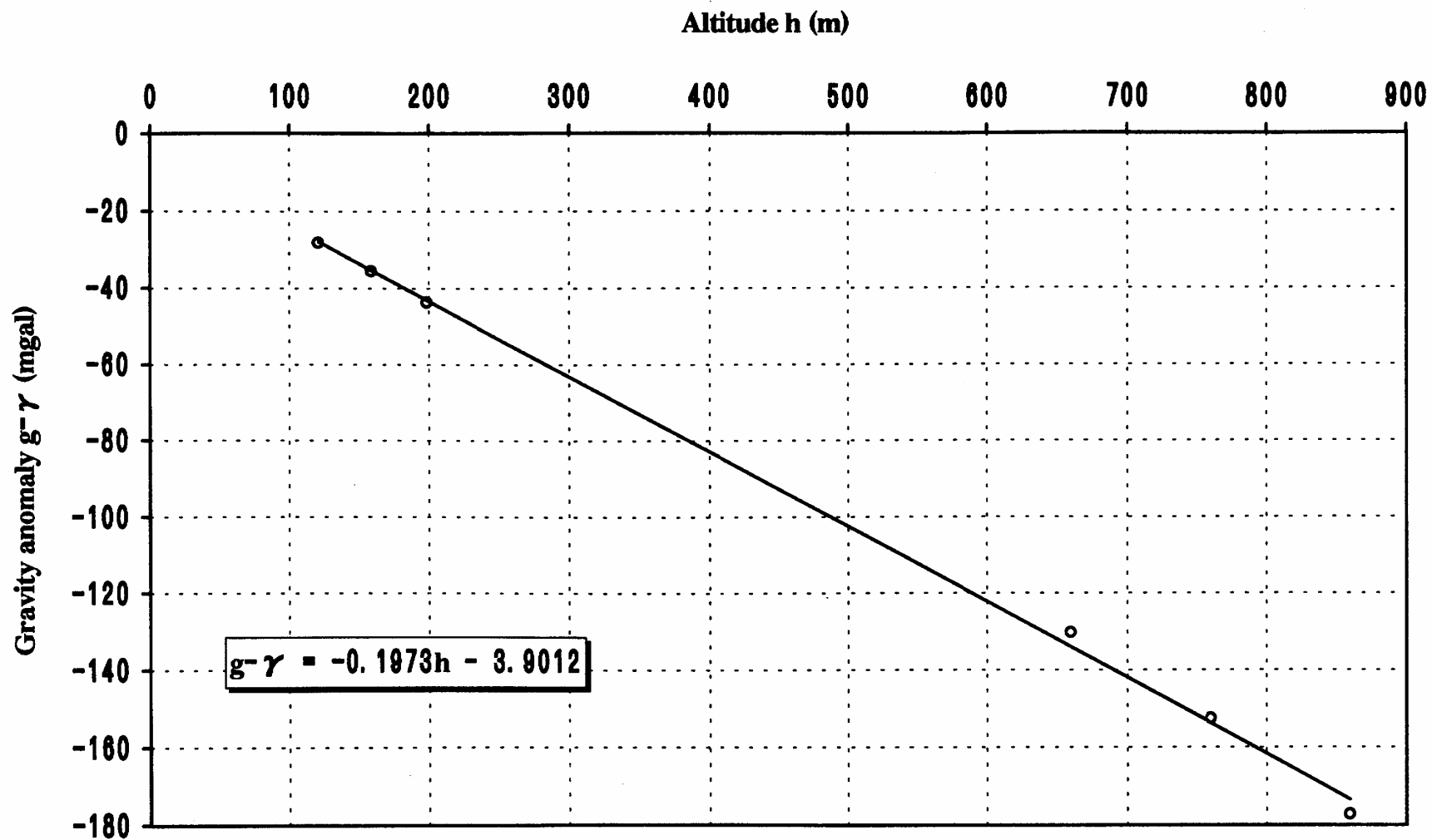


Figure 74. 近畿地方中央部およびその周辺での $G-H$ 相関図.

重力異常値は井上・他(1998)による4次多項式で見積もられた広域重力トレンドが除かれている(井上・他(1998)より).

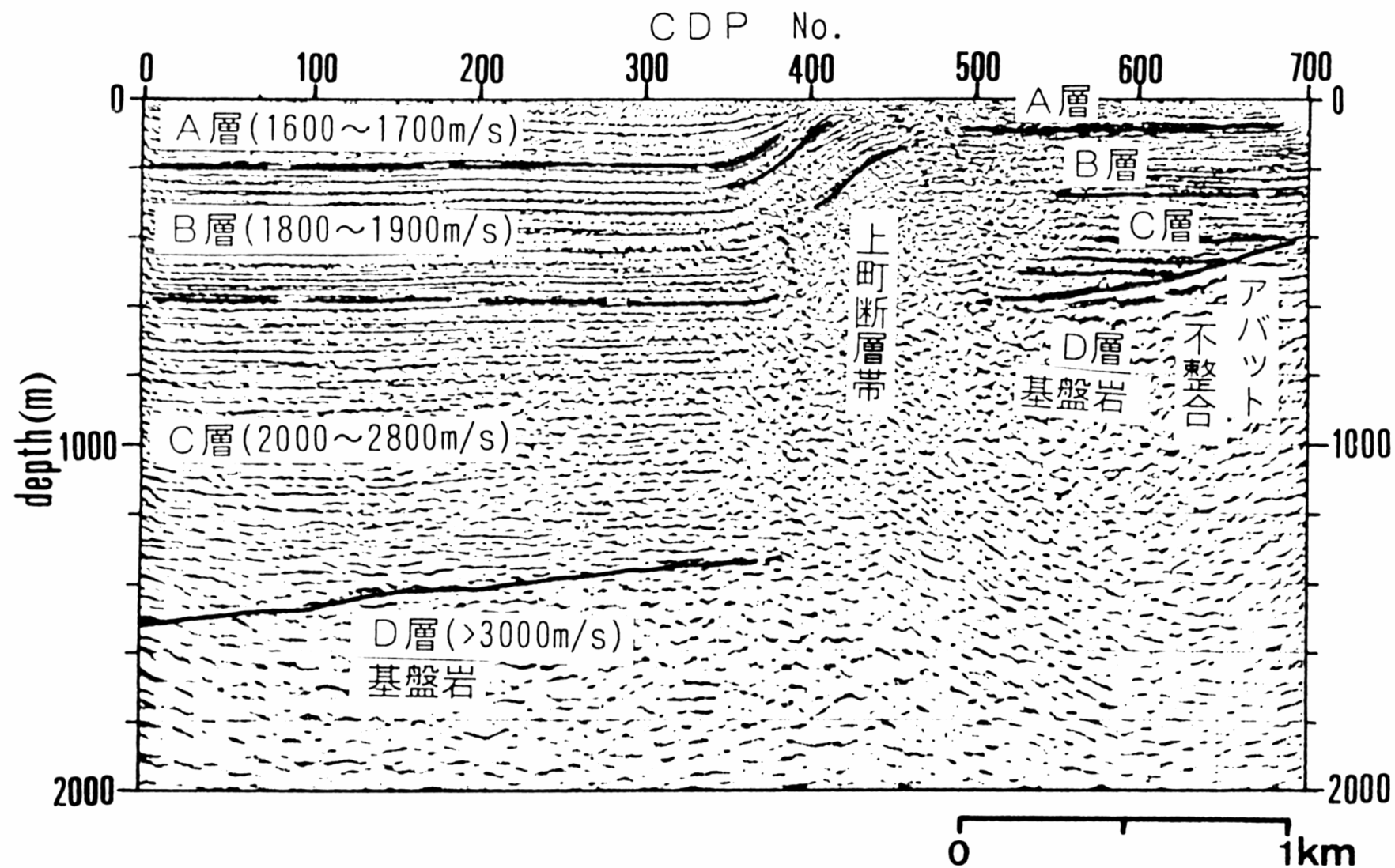


Figure 75. 淀川測線における地震探査反射法による反射断面とその解釈.
測線を Figure 69 に示す. (山本・他(1992)より).

えて被覆層を単一層として扱うことと数学的には同等であることを 4.2 節で示した。そこで、本研究では、山本・他(1992)の縦波速度区分を基に、Nakagawa *et al.* (1996)の横波速度の推定式、

$$V_s = -0.001274V_p^2 + 1.291V_p - 1402 \quad (6.1)$$

を用いて 4.16 式から各層の密度 ρ_A , ρ_B , ρ_C , および, 4.18 式から骨格構造を考慮した密度 ρ_A' , ρ_B' , ρ_C' を求め, これらより 4.24 式を用いて被覆層の見掛けの密度差 $\Delta \rho_{ah}$ および $\Delta \rho_{ah}'$ を算出し, $\Delta \rho_{ah}'$ を重力順計算に用いた。ただし, 6.1 式では地震波の縦波, 横波速度 V_p , V_s の単位は m/s である。Table 1 にこれらの値を示す。重力順計算に用いた値は $\Delta \rho_{ah}' = 0.42 \text{g/cm}^3$ である。実際には完全な平行 4 層構造ではないので, 4.1 節で述べた基盤面の小起伏の影響や各層の層厚変化の影響を受けて $\Delta \rho_{ah}'$ は Table 1 の値から若干ずれてくる。これらの影響量は構造に依存するので正確には見積もれない。しかし, 大阪平野が盆状構造であることを考慮すれば Table 1 の値より大きくずれることはないと仮定して取り扱う。

6.3 逆断層構造の推定

解析対象地域の中央をほぼ南北に横切り上町断層が存在する(Figure 69)。この断層について逆断層モデルを作成するために, まず東西方向の重力断面から水平 1 次微分値分布・水平 2 次微分値分布を求めた。Figure 76 は, ブーゲー異常分布図(Figure 71)から得られた北緯 $34^\circ 39'$ に沿う東西 35km(東経 $135^\circ 22.3' \sim 135^\circ 41.2'$)の重力断面を示しており, この横軸は Figure 69 に示した対象地域の原点(東経 $135^\circ 11' 5.4''$, 北緯 $34^\circ 20' 13.2''$)から東(x)方向への距離を表している。Figure 76 で示される重力異常値をを 5 点平滑化微分法により数値微分

Table 1. 大阪平野における密度構造条件.

	d	V_p	V_s	ρ	ρ'	$\Delta\rho$	$\Delta\rho'$
	(m)	(m/s)	(m/s)	(g/cm ³)	(g/cm ³)	(g/cm ³)	(g/cm ³)
layer A	200	1650	380		1.98	0.46	0.42
layer B	600	1850	550	2.12	2.16		
layer C	1480	2200	820	2.31	2.34		
basement rock		>3300		(2.66)	(2.66)		

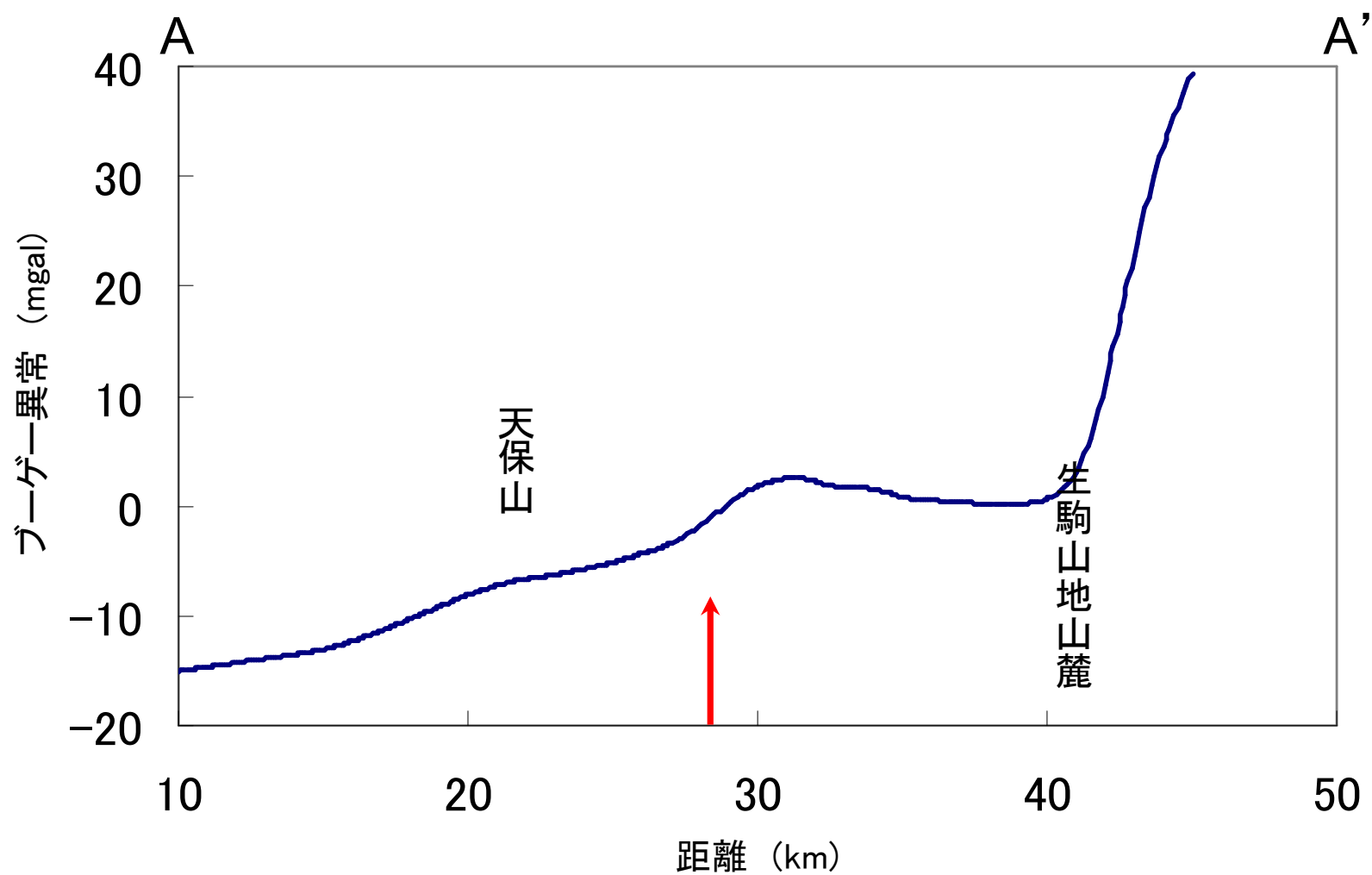


Figure 76. 北緯 $34^{\circ}39'$ におけるブーゲー異常値断面.

横軸の原点は Figure 69 に示した対象地域の原点(東経 $135^{\circ}11'5.4''$, 北緯 $34^{\circ}20'13.2''$). 矢印は断層の推定位置.

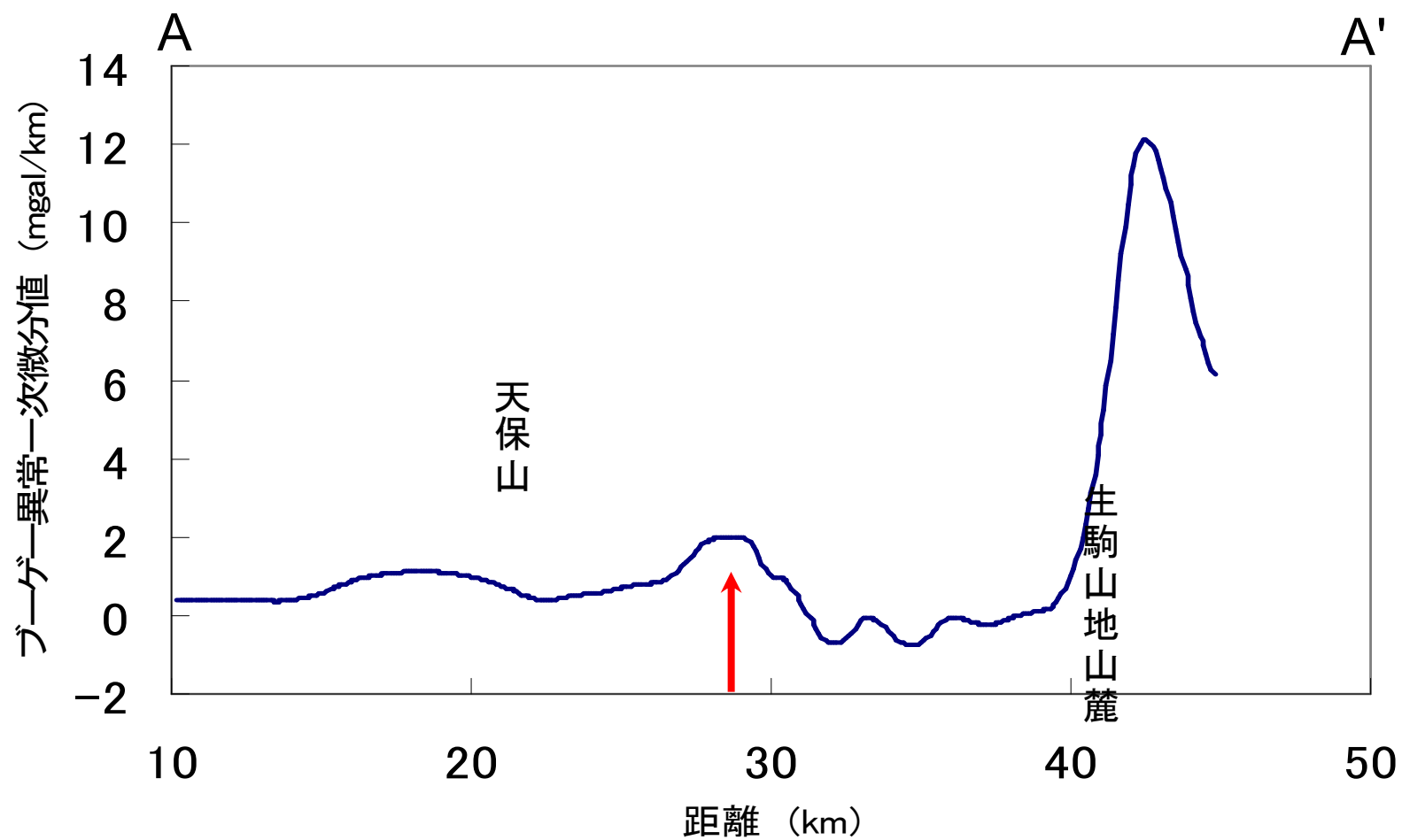


Figure 77. 北緯 $34^{\circ}39'$ におけるブーゲー異常 1 次微分値断面 横軸の原点は Figure 69 に示した対象地域の原点(東経 $135^{\circ}11'5.4''$, 北緯 $34^{\circ}20'13.2''$). 矢印は断層の推定位置.

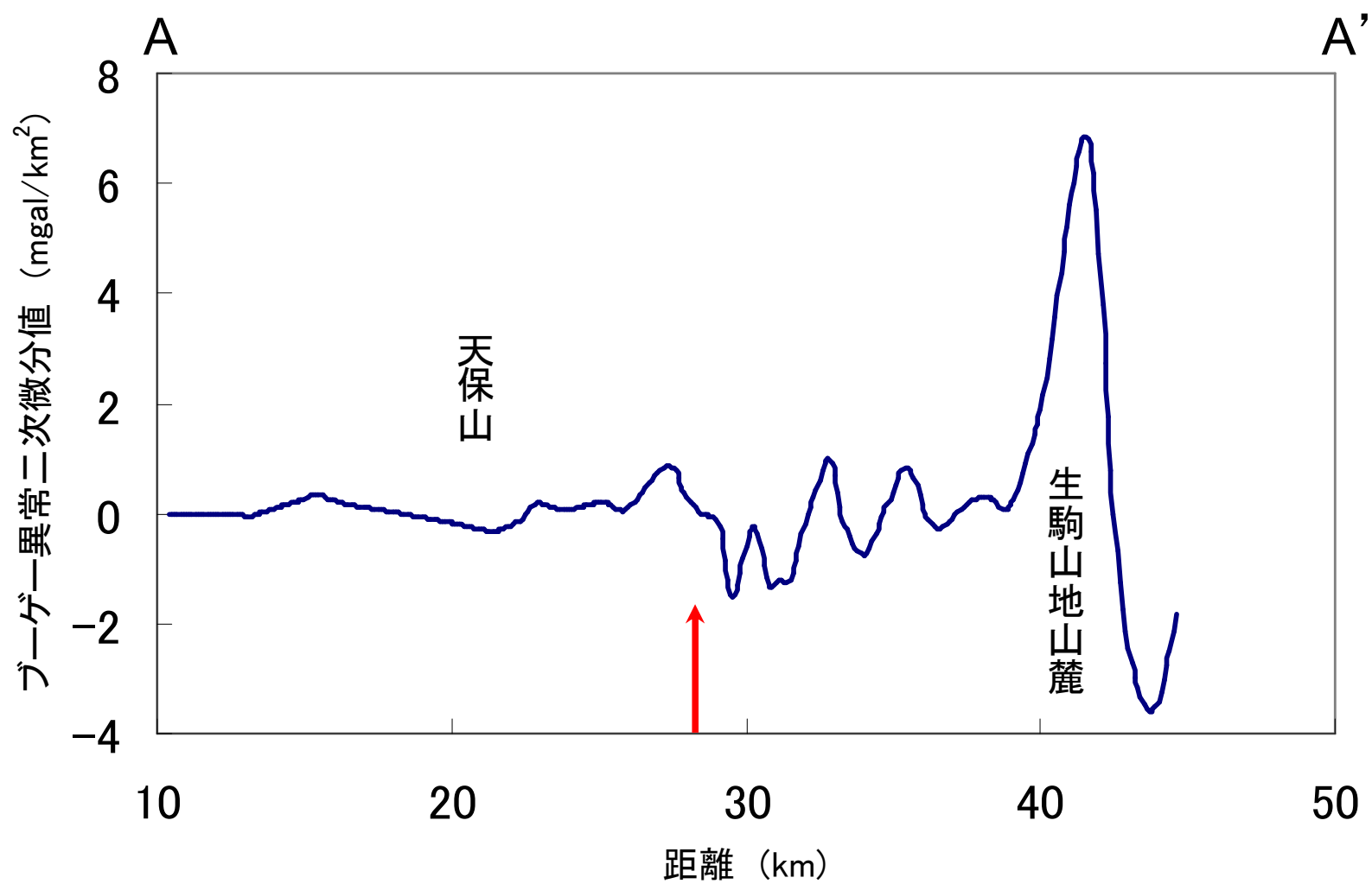


Figure 78. 北緯 34° 39' におけるブーゲー異常 2 次微分値断面。
横軸の原点は Figure 69 に示した対象地域の原点(東経 135° 11' 5.4", 北緯 34° 20' 13.2")。矢印は断層の推定位置。

して、水平 1 次微分値断面(Figure 77)、水平 2 次微分値断面(Figure 78)をそれぞれ作成した。局所異常分布図(Figure 73)から判断すると上町断層系の延長は 20km 以上あることが明瞭であるので、これらの断面図近傍では重力解析を行う上では 2 次元構造と近似することが可能である。これらの断面位置のやや北側で得られた山本・他(1992)の反射断面図(Figure 75)を見ると、上町断層の上盤深度は 600~800m、落差は約 800m であるので、Figure 76 から Figure 78 に示す断面図では、断層の中心深度 1200m、落差 800m とした 2 次元逆断層構造のモデル計算結果(Figure 79 から Figure 81)と対比させ断層位置および断層面の傾斜を推定した。その結果、断層中央位置は Figure 76 中の距離 28km の地点、断層面の傾斜角は 50° であると推定された。反射断面図(Figure 75)では断層面がそれほど鮮明ではなく、その傾斜角は特定しにくい。重力断面から推定された断層面の傾斜角はやや低角であると思われるが、Figure 75 を見る限り、反射断面における断層面の傾斜とは大きく矛盾しない。以上の条件に基づき Nakagawa *et al.* (1991)が示した 3 次元地下構造モデル(Figure 82)において上町断層系の北部を逆断層としたモデル(Figure 83)を作成し、TRIGRV.F を用いて双方のモデルが形成する重力異常を求めた。これらの結果を Figures 84, 85 に示す。Figure 82 から Figure 85 に示されている範囲は、東経 $135^{\circ}00'00''$ 、北緯 $34^{\circ}00'00''$ から東(x 方向)へ 24.99km、北(y 方向)へ 42.99km の地点(東経 $135^{\circ}16'18.8''$ 、北緯 $34^{\circ}23'15.8''$)を原点とする $x=0\sim40$ km、 $y=0\sim50$ km で、上町断層系を中心とする地域である。ただし、Figure 83 では表示ソフトウェア(Terramod2001、(坂本・他、2001)の仕様上の制約によって逆断層部における等深度線の表示が正しく行われておらず、急峻な傾斜面のように表されてしまっていることに注意を要する。

上町断層周辺に着目して従来の構造モデルによる重力計算値分布(Figure 84)及び逆断層

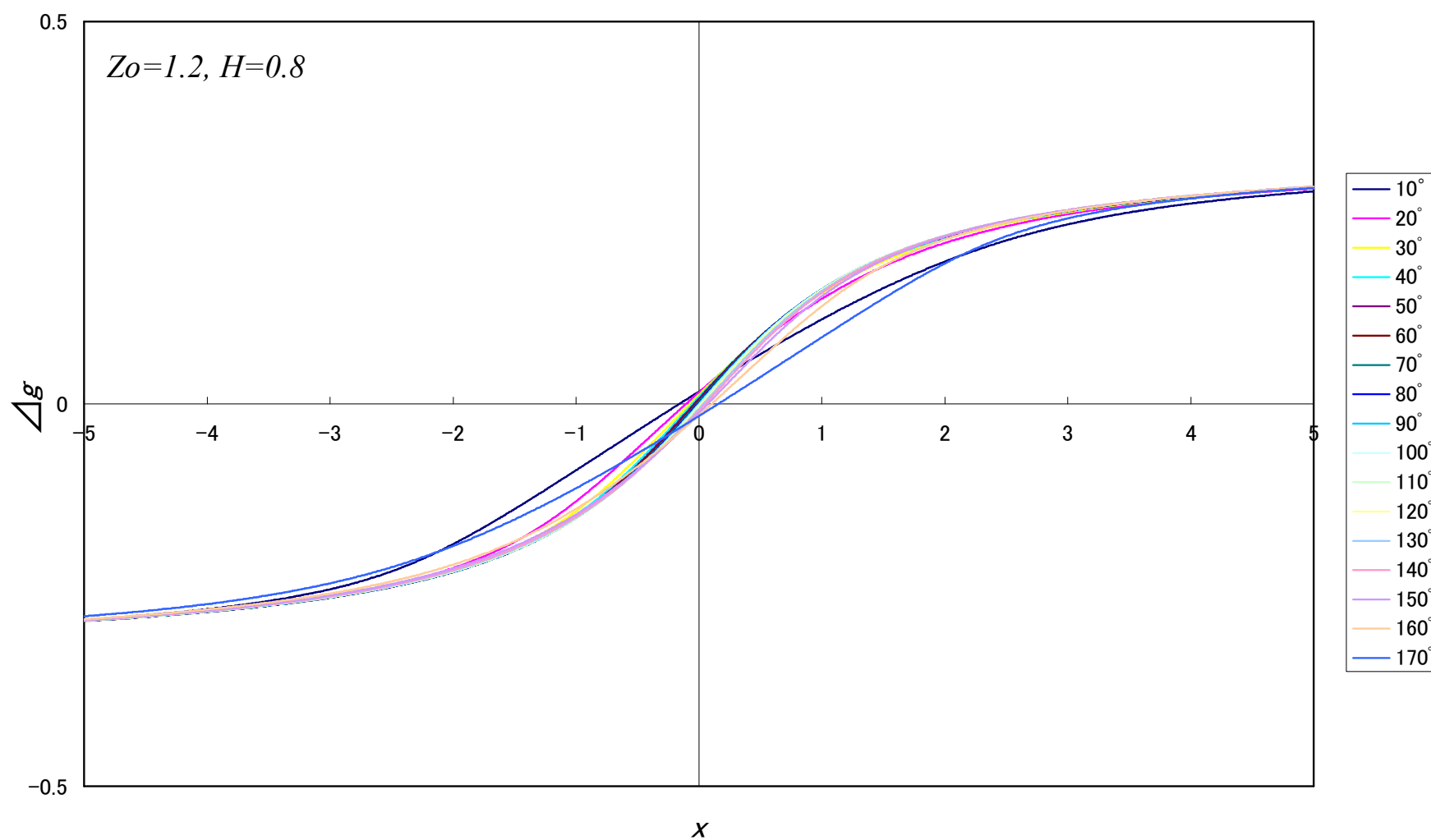


Figure 79. 上町断層の2次元構造モデルに基づく理論重力異常理論値曲線群.

Figure27 の断層面中央の深さ Z_0 を 1.2 とし, 断層の落差 H を 0.8 とした場合. x : 地表での断層面中央部からの基準化された距離, Δg : 基準化された重力異常値, θ : 断層面の傾斜角(パラメータ). 重力異常値は断層面中央の重力値 g_0 で基準化してある. 左側が下盤側. $\theta < 90^\circ$ は逆断層, $\theta > 90^\circ$ は正断層.

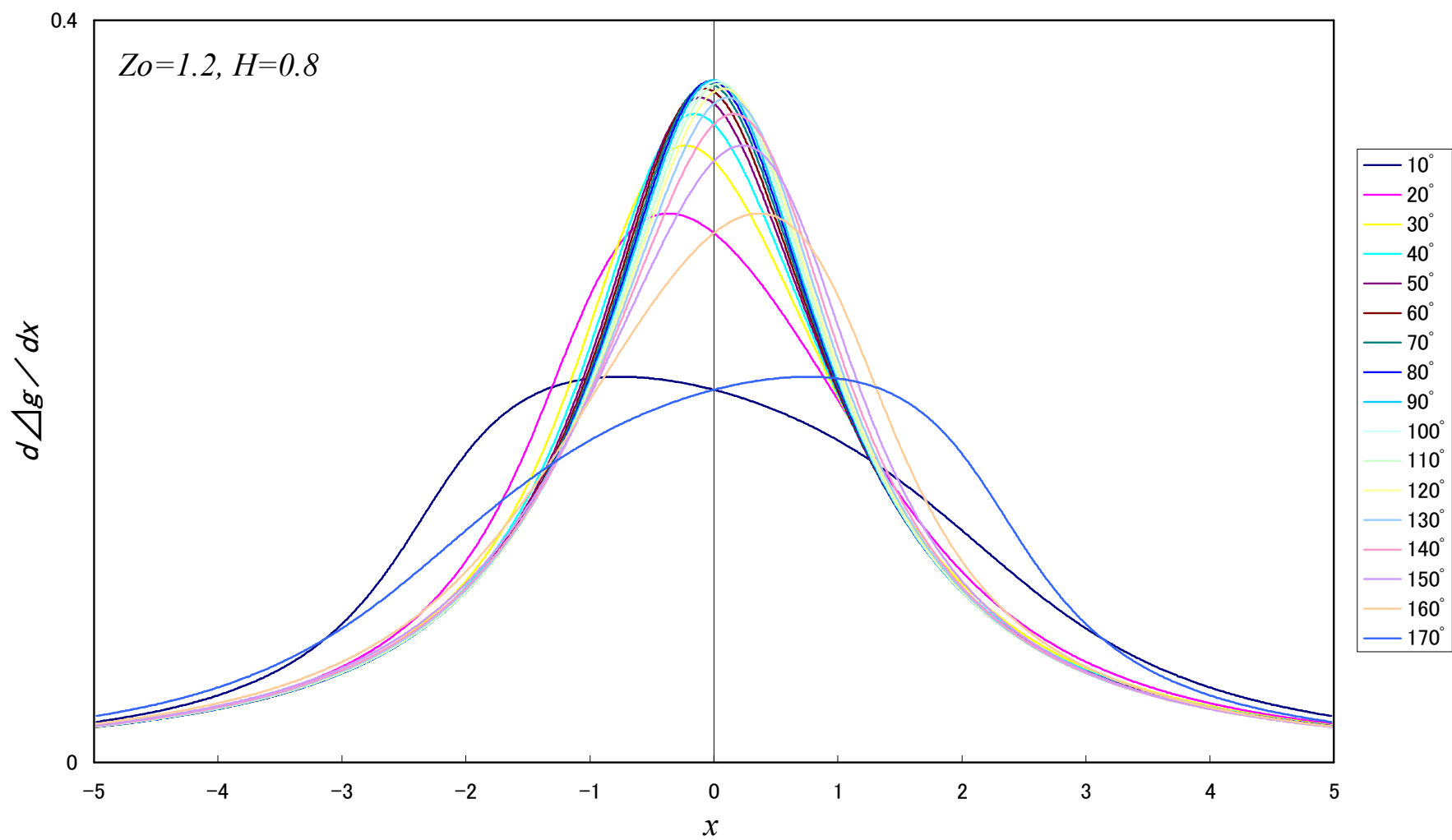


Figure 80. 上町断層の2次元構造モデルに基づく理論重力異常水平1次微分値曲線群.
Figure 79 の結果から導出したもの.

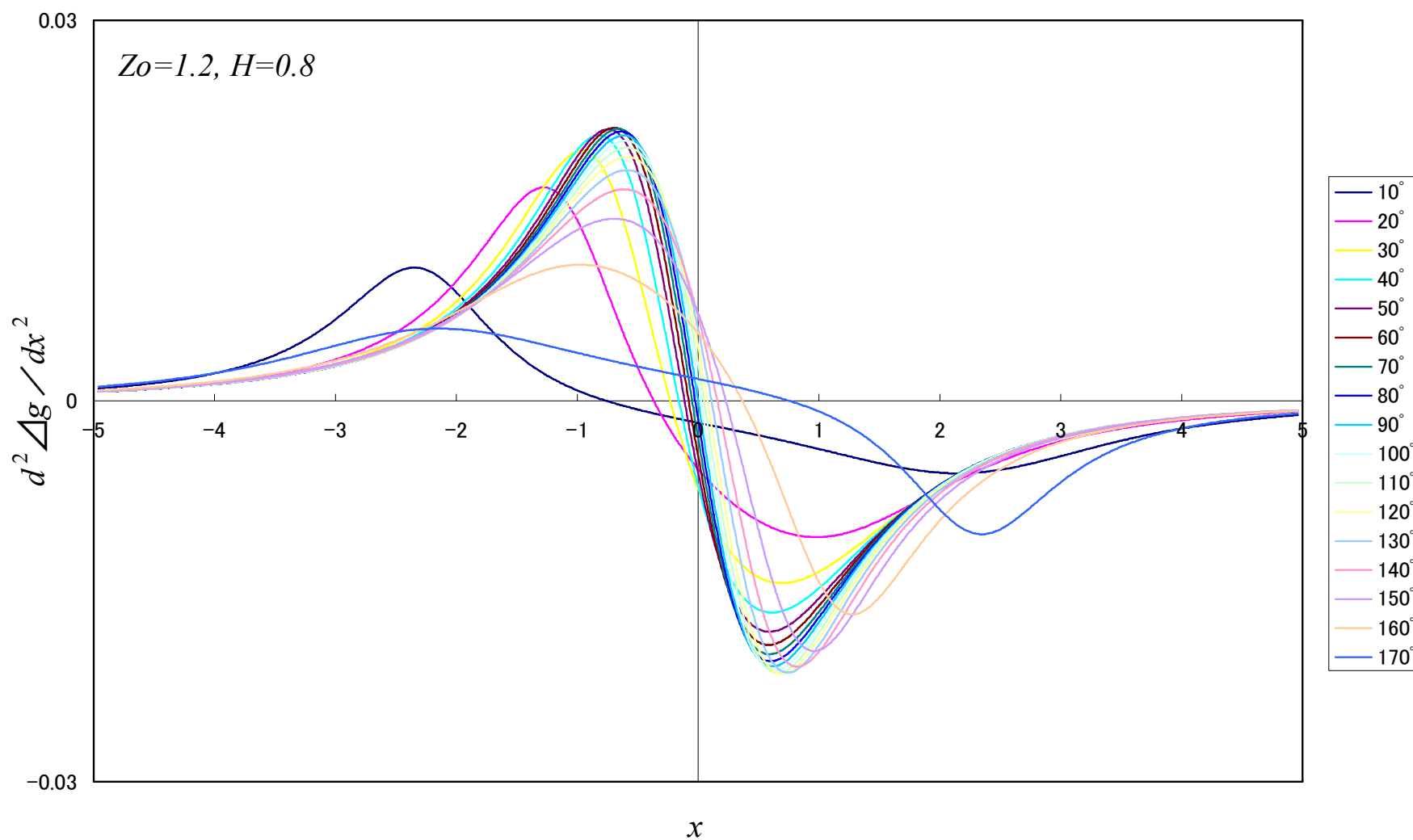


Figure 81. 上町断層の2次元構造モデルに基づく理論重力異常水平2次微分値曲線群.
Figure 79の結果から導出したもの.

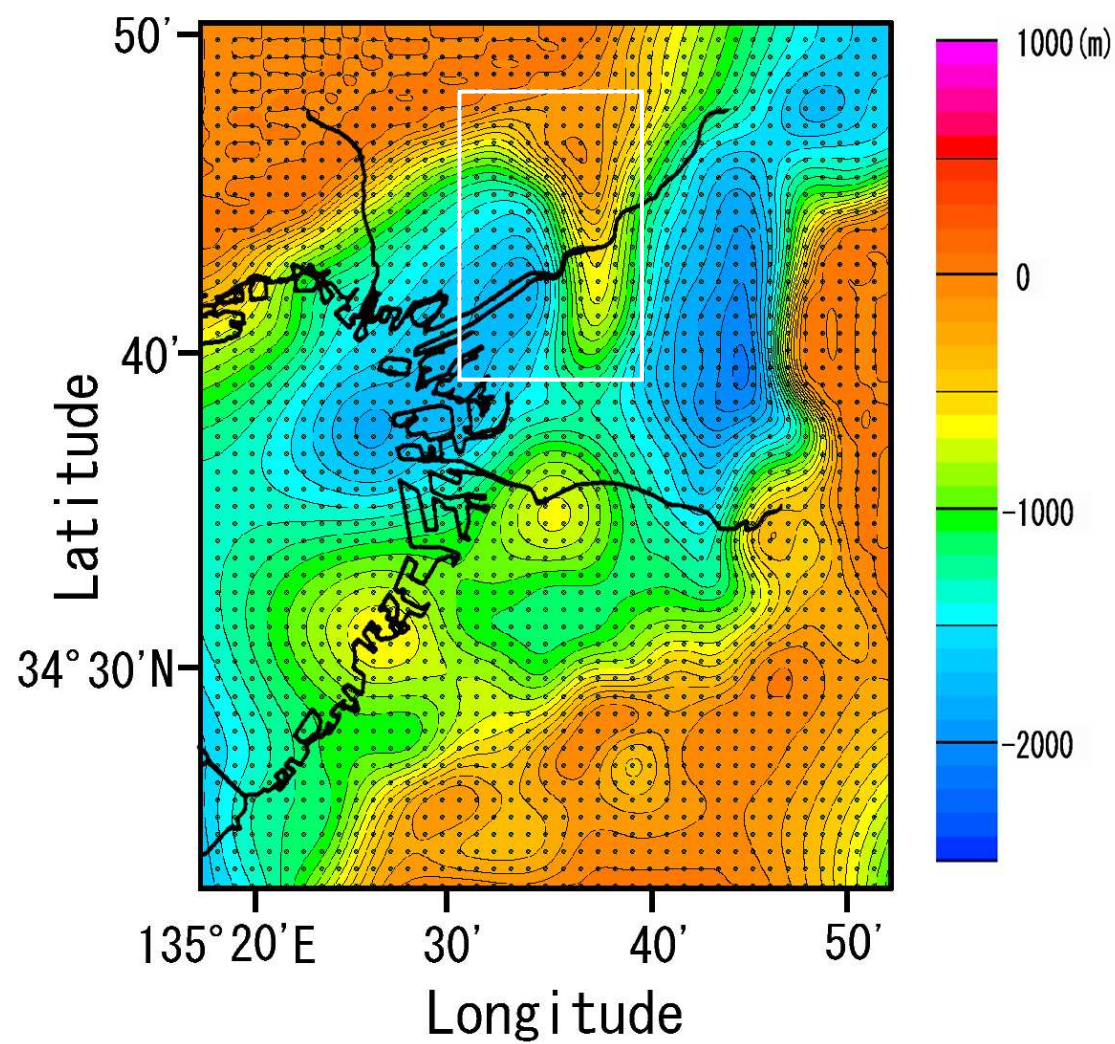


Figure 82. 逆断層構造を考慮しない大阪平野中央部の基盤構造モデル.
●印は DEM の格子点を表す. コンターは 100m 毎. 白枠は断層近傍の注目する範囲を示す.
(Nakagawa *et al.*(1991)を基に作成)

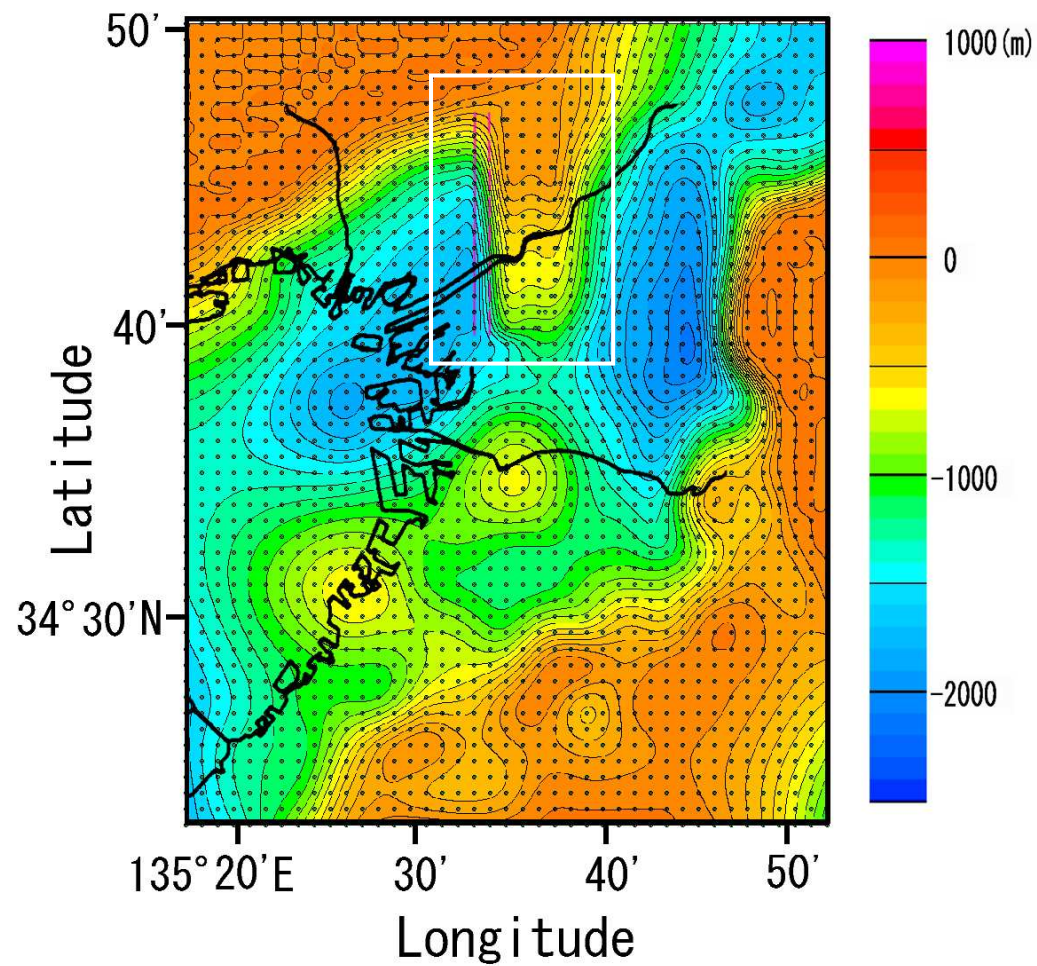


Figure 83. 上町断層を逆断層構造で表現した大阪平野中央部の基盤構造モデル.

●印は TRIGRV.F 入力ファイルの 3 角柱頂点位置を表す. コンターは 100m 毎. 図中, 赤の実線は断層面上盤端の位置を, 赤の破線は断層面下盤端の位置をそれぞれ示し, 白枠は断層近傍の注目する範囲を示す (Nakagawa *et al.* (1991)を基に作成) .

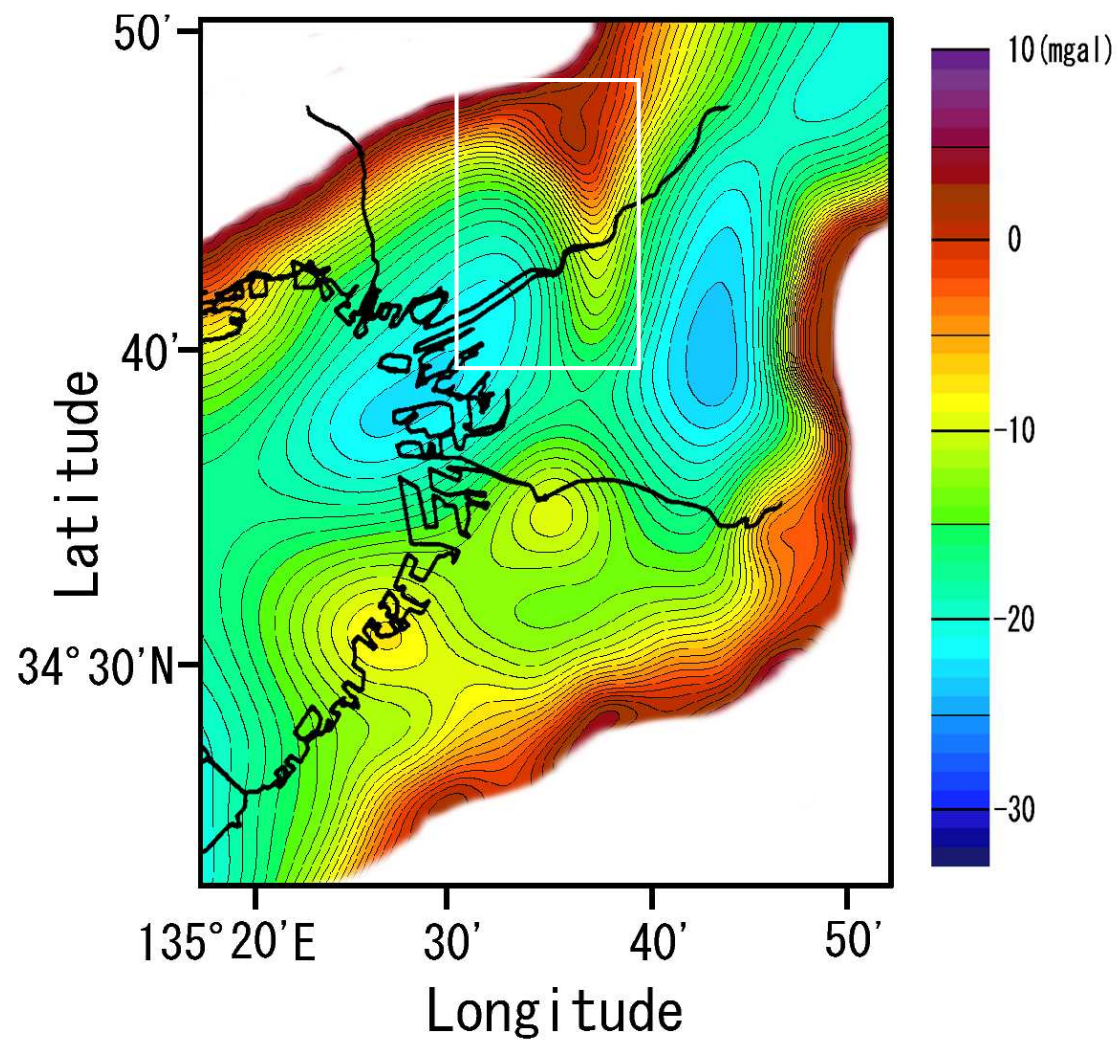


Figure 84. 逆断層構造を考慮しない大阪平野中央部の基盤構造モデル(Figure 82)による重力計算値分布.
コンターは 1mgal 毎. 白枠は断層近傍の注目する範囲を示す.

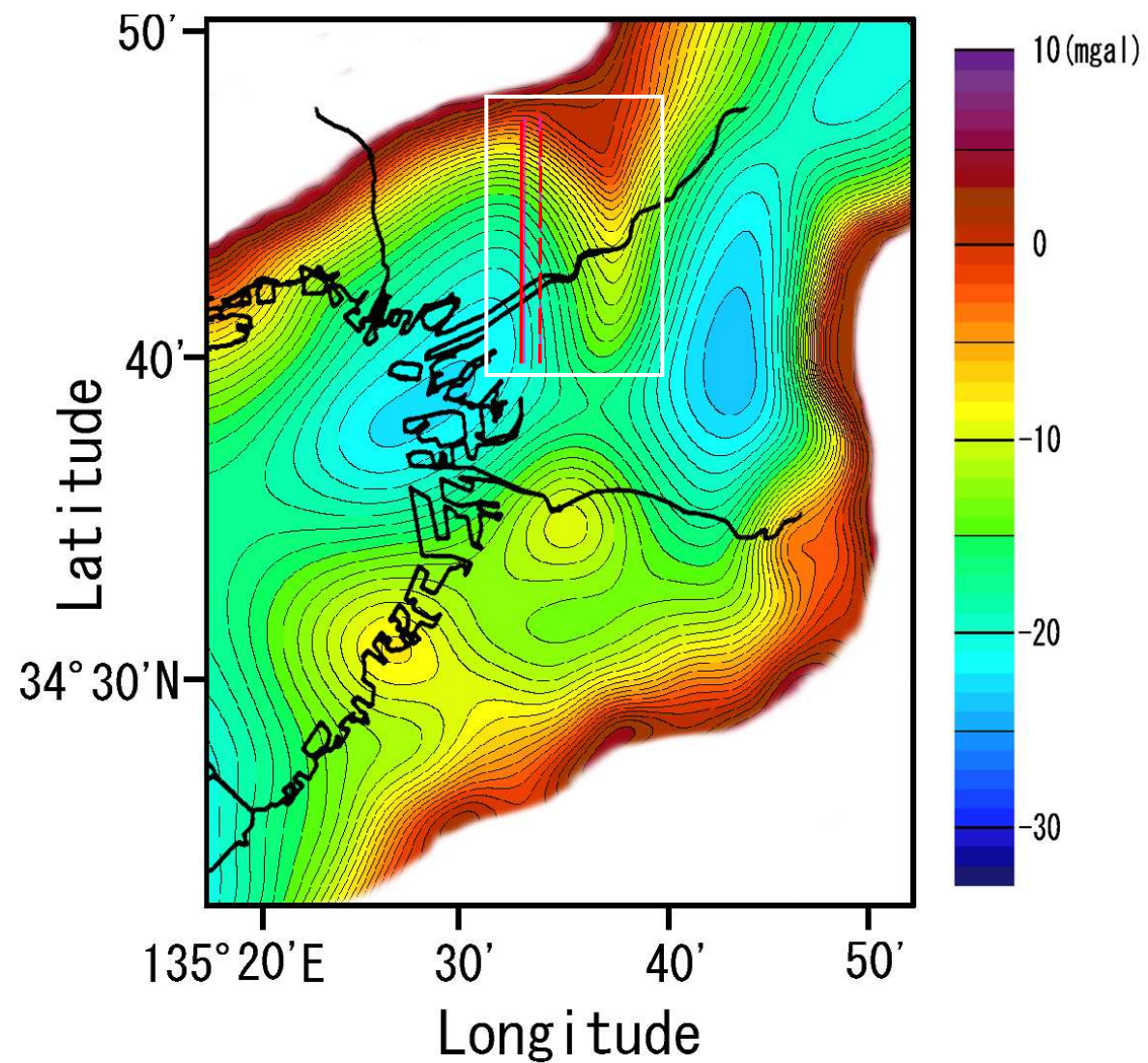


Figure 85. 上町断層を逆断層構造で表現した大阪平野中央部の基盤構造モデル(Figure 83)による重力計算値分布.
コンターは 1mgal 毎. 図中, 赤の実線は断層面上盤端の位置を, 赤の破線は断層面下盤端の位置をそれぞれ示し, 白枠は断層近傍の注目する範囲を示す.

構造モデルによる重力計算値分布(Figure 85)を実測値の分布(Figure 73)と比較すると、逆断層を想定しない従来の構造モデルによる計算結果の分布では高重力部分が実測の分布より上盤側のやや東に片寄っているのに比べ、逆断層モデルでは片寄りの程度が少なく、より実測値の分布に近づいていることがわかる。逆断層構造の存在は上盤側では地下における質量過剰を意味するから、その直上では重力値が高くなるので、上町断層のような西落ちの逆断層の場合には高重力部分が西側に張り出てくることになる。従って得られた結果は上町断層北部において逆断層モデルを用いることの妥当性を支持していると判断できる。

6.4 繰り返し計算によるモデル推定の試み

5.に示した考え方に基き、Figure 82 の構造を初期モデルとして重力値計算—モデル修正の繰り返しした。各回で重力測定値と計算値の2乗平均誤差を求めた結果を Figure 86 に示す。Figure 86 に示されるように、8回の繰り返しではほぼ一定の2乗平均誤差に収束している。8回目の基盤構造モデルに6.3節で述べた方法と同様の逆断層構造を加えたモデル構造を Figure 87 に示し、このモデルによって計算された重力値の分布を Figure 88 に掲げる。繰り返し計算を行うと計算範囲の周辺部で端効果による誤差が累積強調され、重力測定値(Figure 61)と重力計算値(Figure 75)とのずれが目立ってくる。しかし、初期モデルでは中央部で基盤深度が浅く求められていた上町断層上盤側部分の深度が繰り返し計算の結果より深く求められてきている。その結果、この付近での重力異常のパターンも初期モデルによるものに比べるとよく合ってきている。従来の解析(Inoue *et al.*, 1995)では計算された重力の高まりが断層位置よりやや上盤側にずれしており、これを修正するためには断層による基盤の落差を大きめにしたり、断層位置より

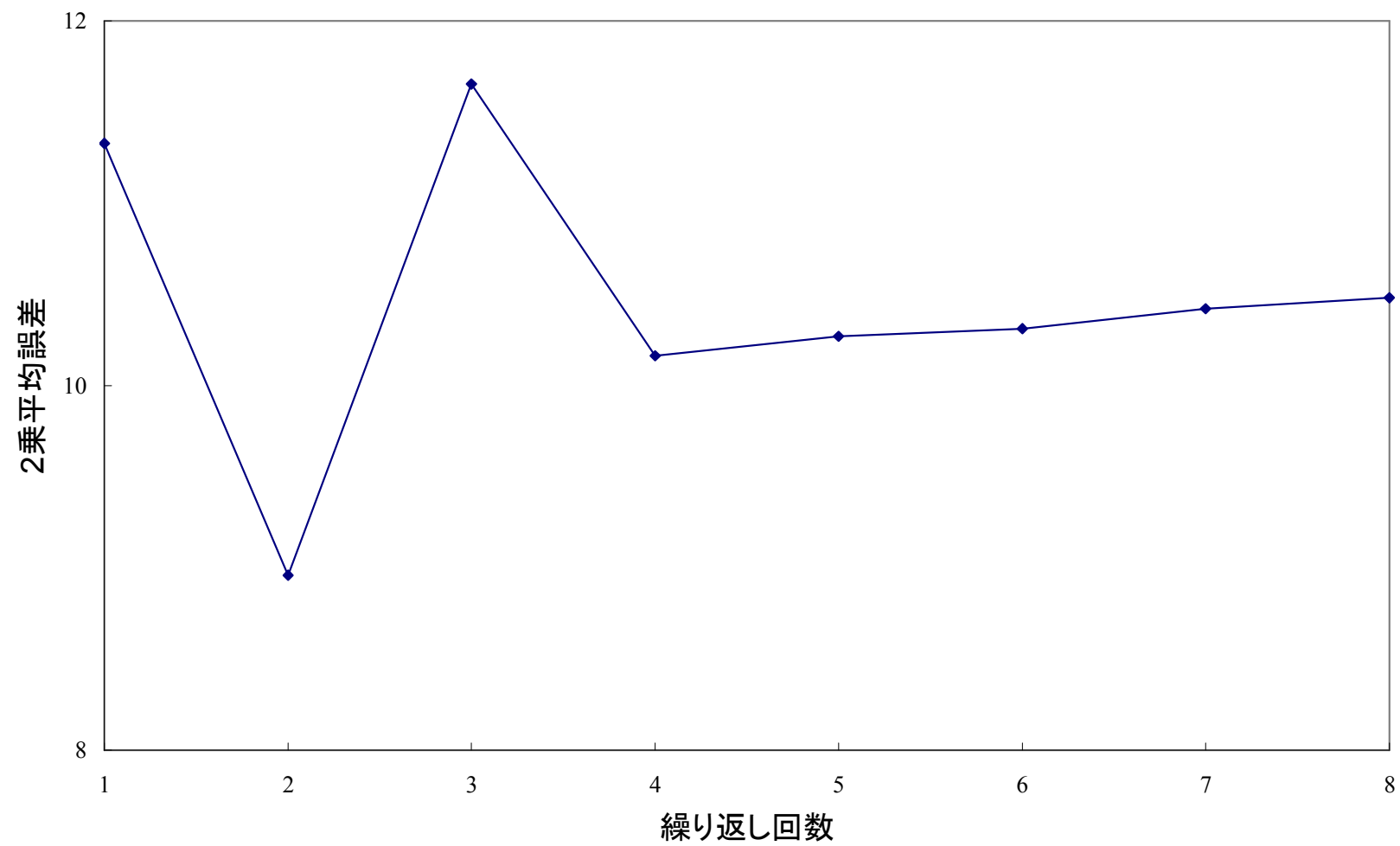


Figure 86. 繰り返し計算の各回で重力測定値と計算値の2乗平均誤差を求めた結果.

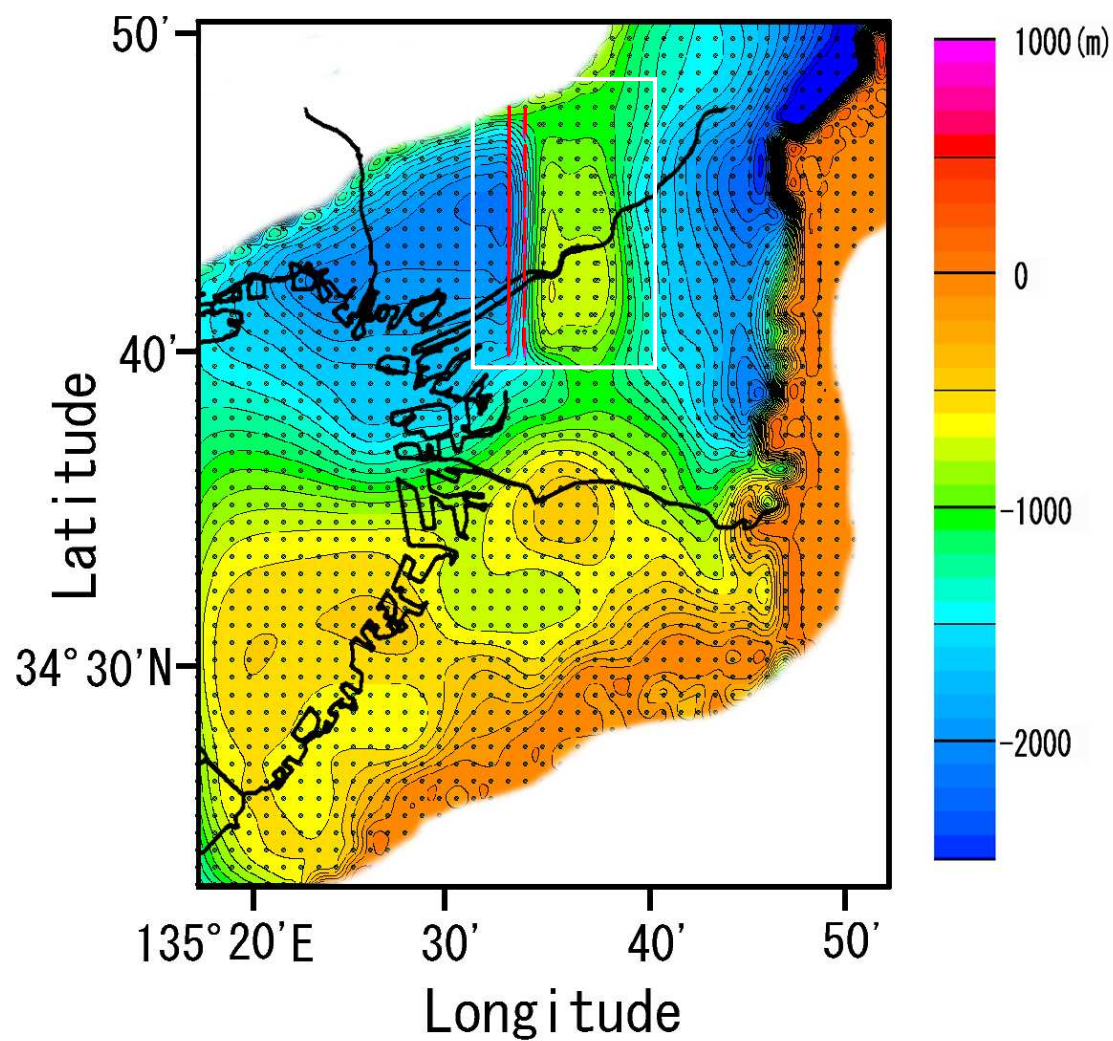


Figure 87. 繰り返し計算の結果得られた大阪平野中央部の基盤構造モデル.
上町断層を逆断層構造で表現してある. ●印は TRIGRV.F 入力ファイルの 3 角柱頂点位置を表す. コンターは 100m 毎. 図中, 実線は断層面上盤端の位置を, 破線は断層面下盤端の位置をそれぞれ示し, 白枠は断層近傍の注目する範囲を示す.

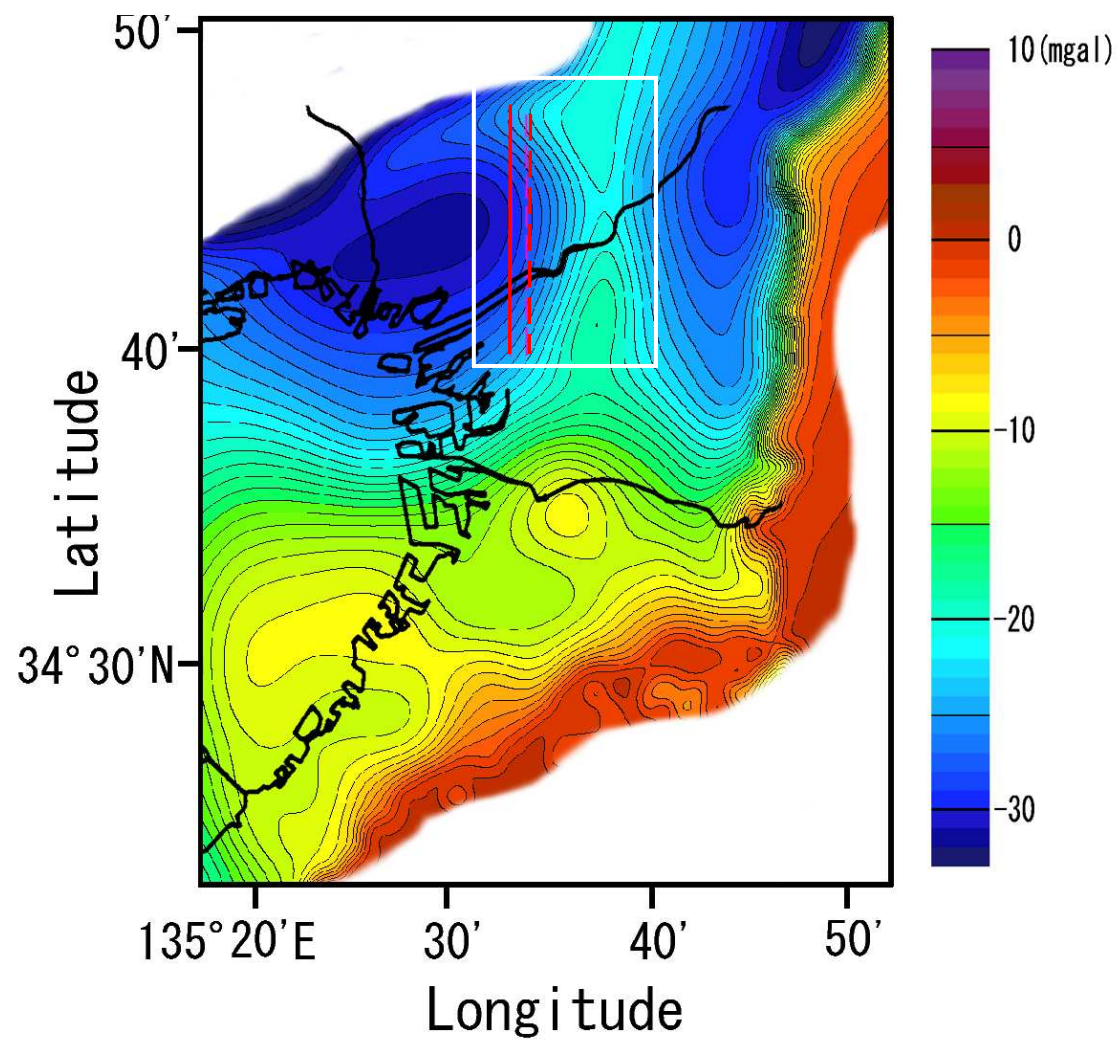


Figure 88. 繰り返し計算の結果得られた大阪平野中央部の基盤構造モデル (Figure 87) による重力計算値分布.
上町断層を逆断層構造で表現してある. コンターは 1mgal 毎. 図中, 実線は断層面上盤端の位置を, 破線は断層面下盤端
の位置をそれぞれ示し, 白枠は断層近傍の注目する範囲を示す.

上盤側に大きめの凹地を作らないといけないというような不都合があったが、今回のように逆断層を考慮することで実測地と調和する結果が得られることが判明した。

Figure 89 から Figure 91 は、それぞれ、重力測定値(Figure 73) から誘導された垂直 2 次微分値の分布、初期モデル(Figure 82)が与える重力値の分布(Figure 83)から求められた垂直 2 次微分値の分布、繰り返し計算モデル(Figure 87)が与える重力値の分布(Figure 88)から求められた垂直 2 次微分値の分布、を示す。これらを比べると、上町断層北部周辺では重力の垂直 2 次微分値はむしろ繰り返し計算による修正をしない方がよく合っているように見える。これは、今回、繰り返し計算を行う際に逆断層構造を逐次モデルに反映させることができず、上町断層周辺の構造コントラストが繰り返し計算を経る過程で不鮮明になっていったためと考えられる。従って、繰り返し計算において逆断層構造を対象とする際のモデル修正プロセスを確立する必要性が明らかとなった。

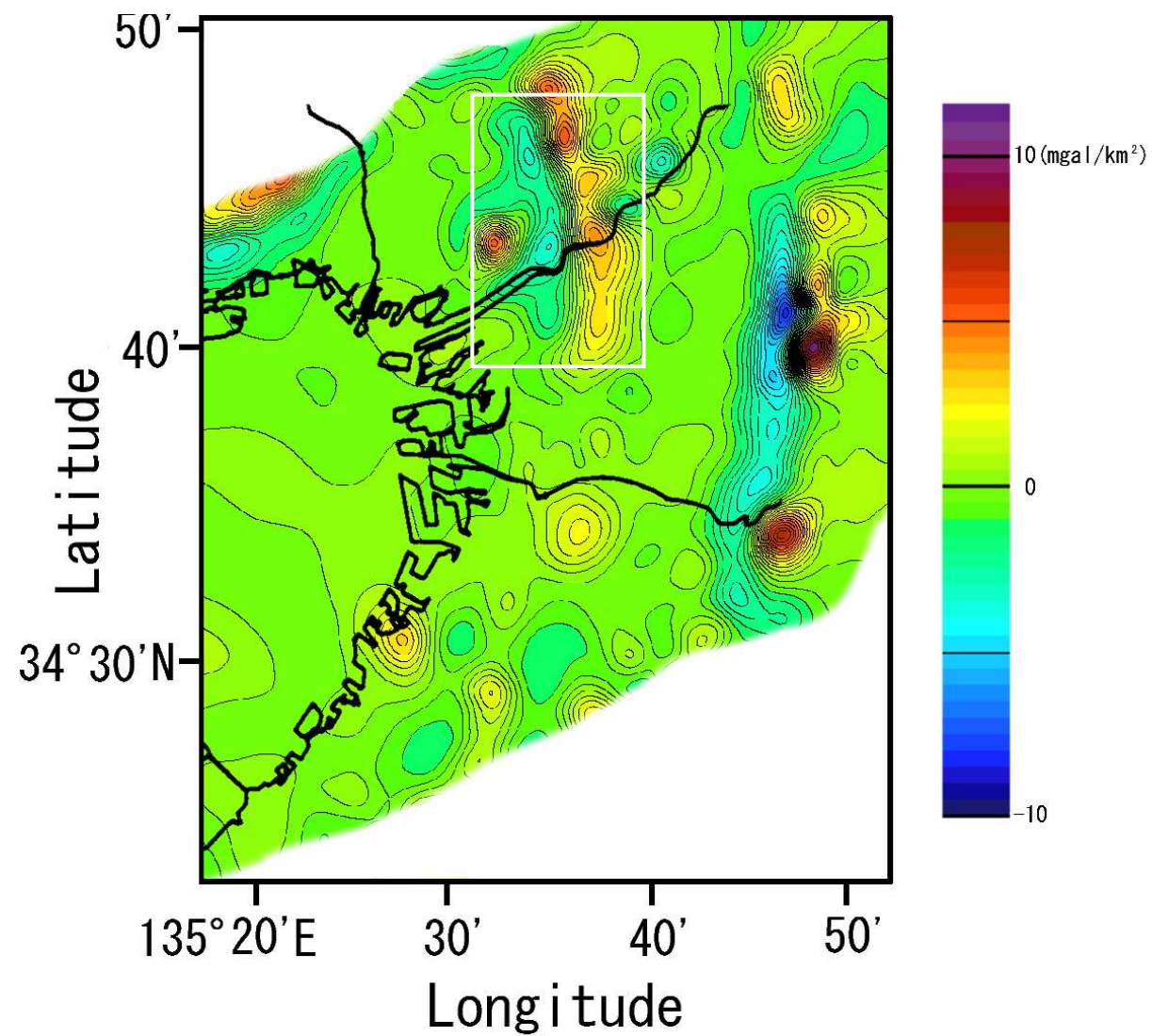


Figure 89. 大阪平野中央部の局所重力異常の垂直 2 次微分値分布.
コンターは $0.5\text{mgal}/\text{km}^2$ 毎. 白枠は断層近傍の注目する範囲を示す.

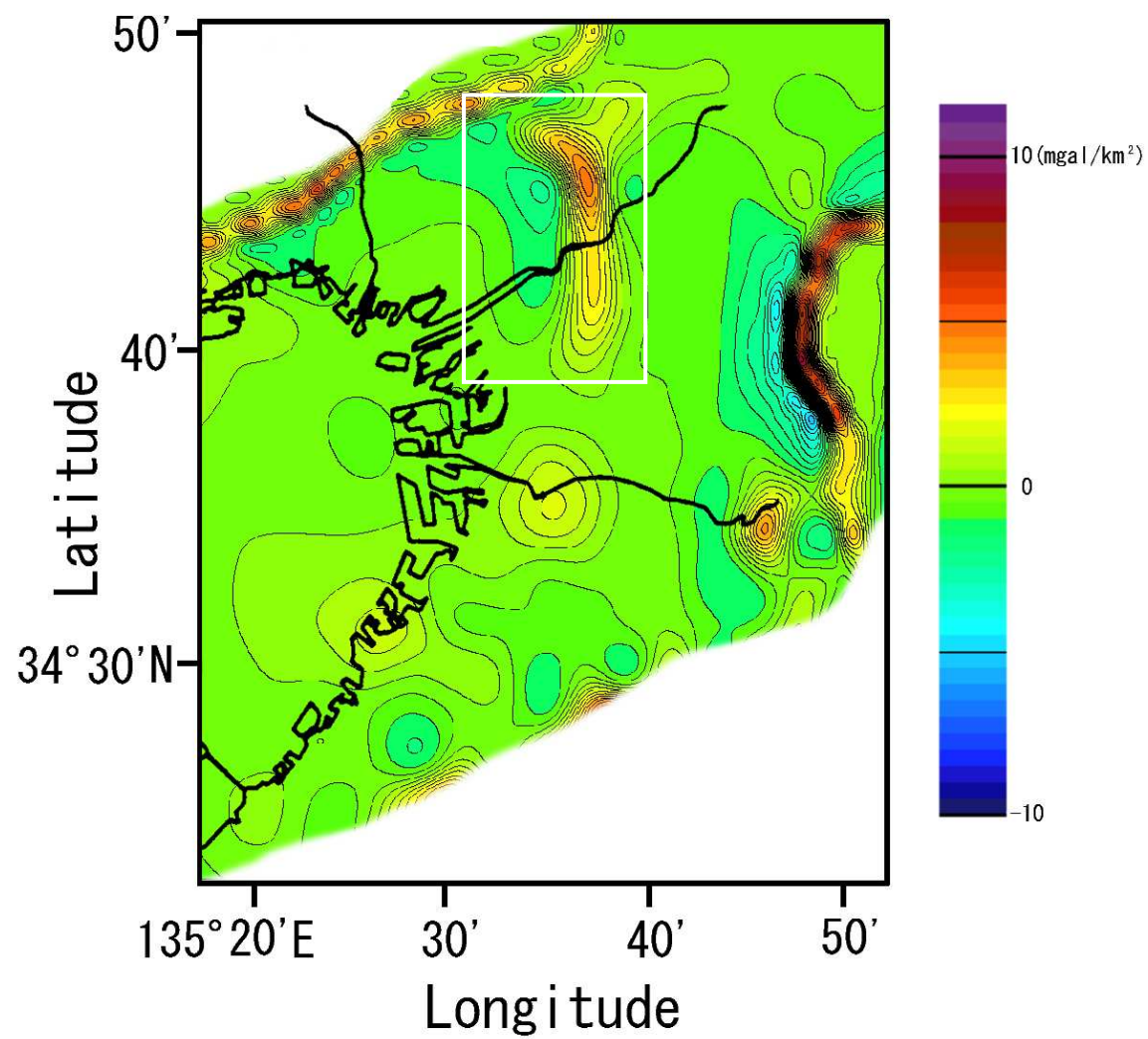


Figure 90. 逆断層構造を考慮しない大阪平野中央部の基盤構造モデル(Figure 82)による重力計算値分布の垂直 2 次微分値分布.
コンターは $0.5\text{mgal}/\text{km}^2$ 毎. 白枠は断層近傍の注目する範囲を示す.

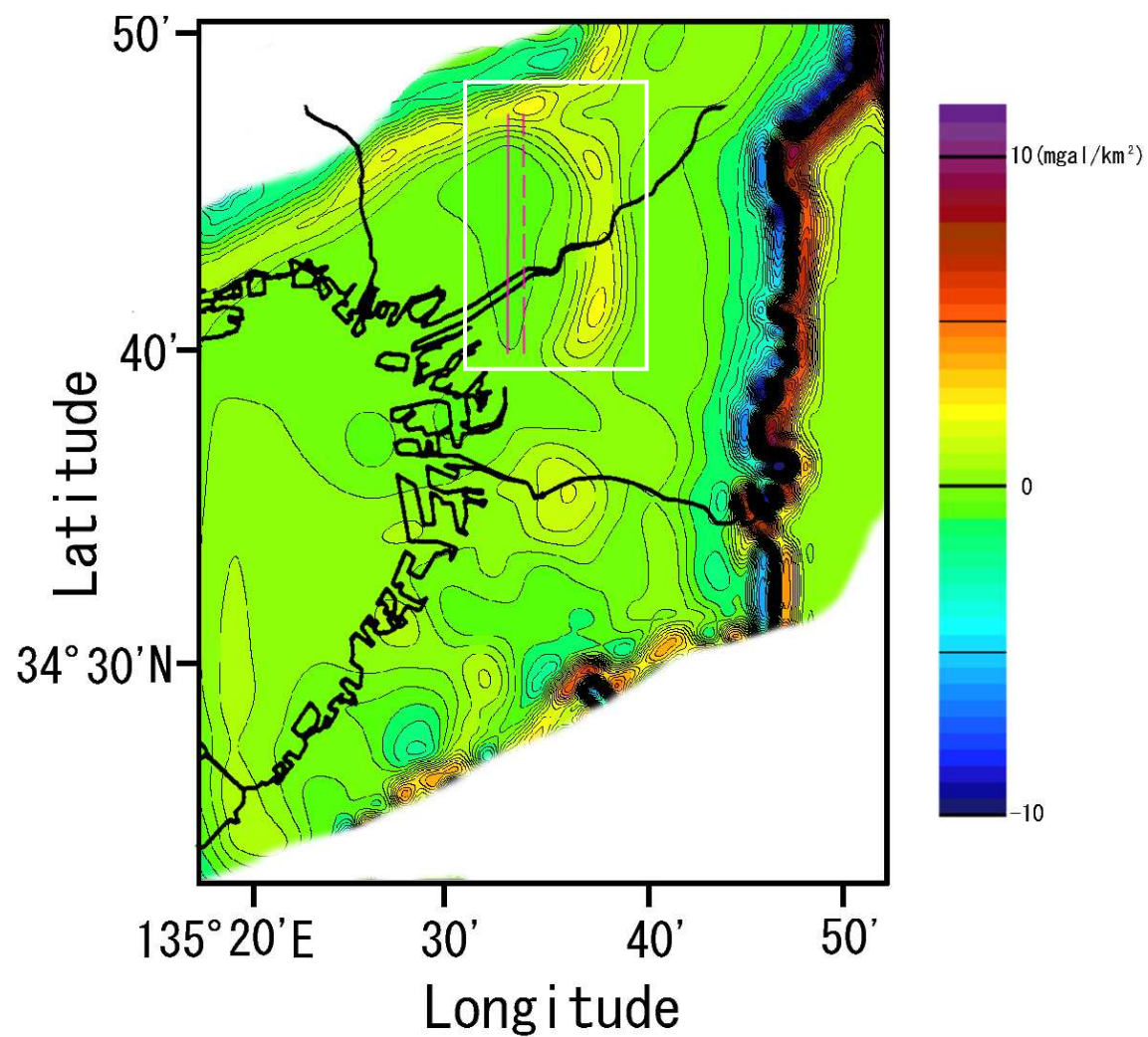


Figure 91. 繰り返し計算の結果得られた大阪平野中央部の基盤構造モデル(Figure 87)による重力計算値の垂直 2 次微分値分布.

上町断層を逆断層構造で表現してある. コンターは $0.5\text{mgal}/\text{km}^2$ 毎. 図中, 実線は断層面上盤端の位置を, 破線は断層面下盤端の位置をそれぞれ示し, 白枠は断層近傍の注目する範囲を示す.

7. 考察

重力基盤構造解析を行う際に重要な因子となるのが、5.1 式ないし 5.2 式で表される”広域重力トレンド” $S(x,y)$ と重力－高度変換係数 α または重力－深度変換係数 β である。これは、井上・他(1998)の(1), (2)式,

$$f(x,y) = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=0}^i A_{ij} x_{i-j} + c \quad (7.1)$$

$$\begin{cases} g = f(x,y) + \alpha z & (z \geq 0) \\ g = f(x,y) + \alpha z & (z < 0) \end{cases} \quad (7.2)$$

と同じものである。西南日本の深部地下構造から推定された大阪平野中央部の広域重力異常の分布(Figure 58)と”広域重力トレンド”(Figure 59)を比較すると、前者ではおおむね平面ないしは単調で緩やかな曲面状の分布を呈するのに対し、後者は正負の極値を持つ起伏面状の分布となっている。井上・他(1998)は、この”広域重力トレンド”を基盤構造より深いところに起因する広域重力異常であるとしているが、後者の起伏をよく見ると、前者のなだらかな重力変化に重畳して、基盤岩類が地表に達して山地を形成する所(金剛山地周辺、淡路島付近)が高異常に対応し、盆状構造をなす所(大阪盆地)が低異常に対応しているようなトレンドがあるように見受けられる。すなわち、基盤深度既知点の重力測定値を用いて最小 2 乗法で $S(x,y)$ と β (または α) を算出するとき、 $S(x,y)$ は必ずしも広域重力異常のみを表しているわけではなく、重力異常の地域性、すなわち β (または α) で表しきれない非直線成分を内包していると考えられる。

上述の考察を検証するため、3 次元構造で議論するには複雑すぎるので、2 次元構造を例に考える。いま、Figure 92 のような断層の平均の深さ 1, 落差 1 の 2 次元垂直断層がつくる重力異常 g (Figure 93)が観測されたとする。ここで、断層の平均の深さ Z_0 で基準化した距離 x の向

きに、深度既知の重力測定点を距離 1 毎に 11 地点想定し、トレンド $f(x)$ を最小 2 乗法を用いて x の 5 次式で評価し、基盤構造を逆解析する。すなわち、

$$f_{(x)} = a_5 x^5 + a_4 x^4 + a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \quad (7.3)$$

$$g = f_{(x)} + \beta z \quad (7.4)$$

として評価する。ここで、 g : 深度既知点の重力値、 z : Z_0 で基準化した地表からの深さ、であり、

最小 2 乗法で求められた各係数は、

$$a_5 = 8.48 \times 10^{-5}$$

$$a_4 = 9.49 \times 10^{-17}$$

$$a_3 = -4.64 \times 10^{-3}$$

$$a_2 = -2.45 \times 10^{-15}$$

$$a_1 = 1.23 \times 10^{-1}$$

$$a_0 = 2.80 \times 10^{-1}$$

$$\beta = 2.80 \times 10^{-1}$$

となる。5 次式を用いたのは、垂直断層の重力異常断面が点対称形を示しているので $f(x)$ に奇数次関数を用いることが適当であると判断したためである。これらの値を用いて、重力測定値からトレンド $f(x)$ を除き、変換係数 β で除して基盤深度 $z(x)$ を推定する。

$$z_{(x)} = \frac{g_{(x)} - f_{(x)}}{\beta} \quad (7.5)$$

その結果、Figure 84 が得られた。この推定結果は Figure 92 に示される真の構造にかなり似ているが、最小 2 乗法によってできるだけ深度既知点を通過しようとするため、若干の振動が現れ

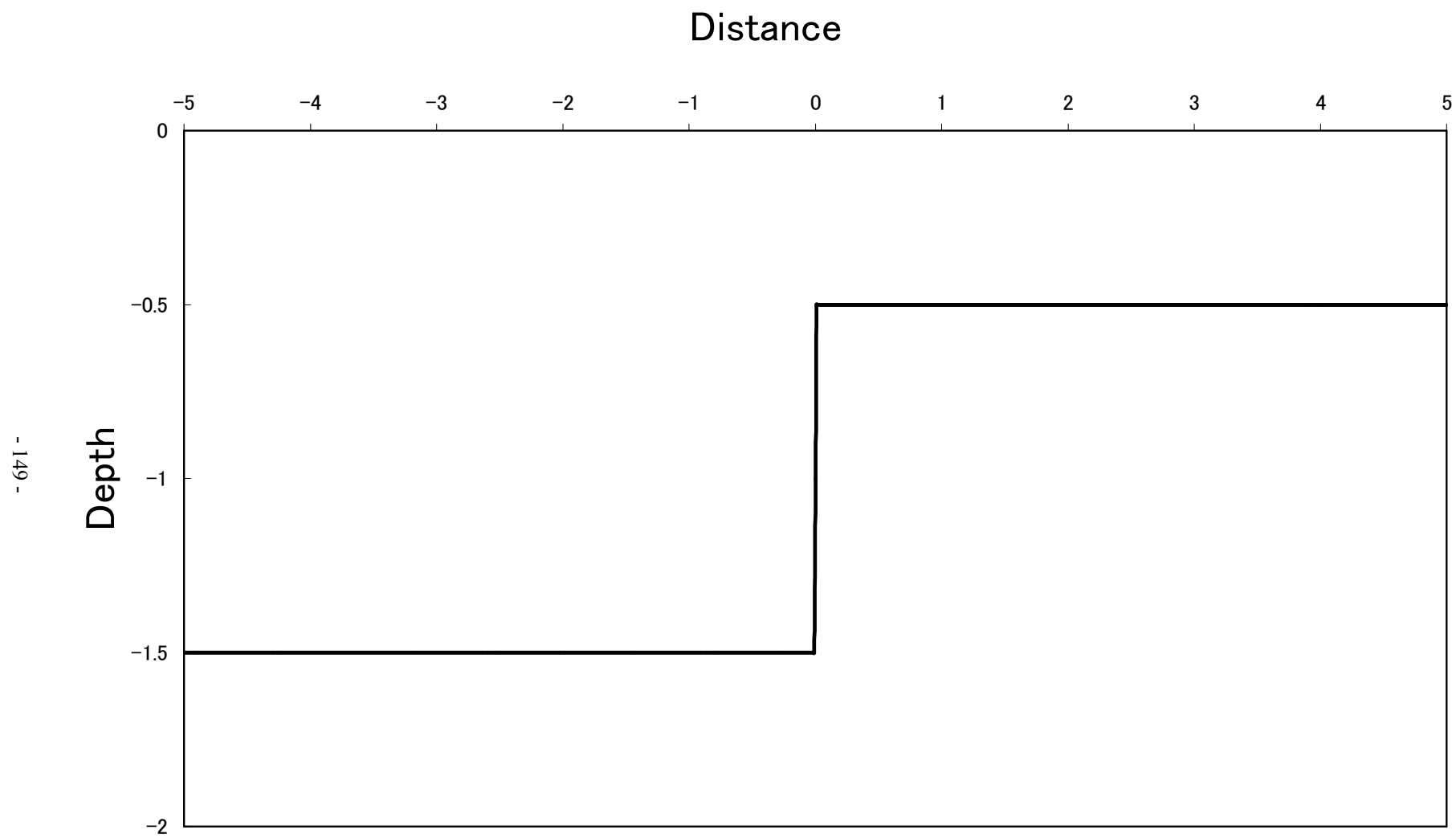


Figure 92. 2次元垂直断層モデル.

横軸: 地表での断層面中央部からの基準化された距離, 縦軸: 基準化された地表面からの深さ. それぞれ断層面中央の深さ Z_0 で基準化してある. 基準化された断層の落差は 1.

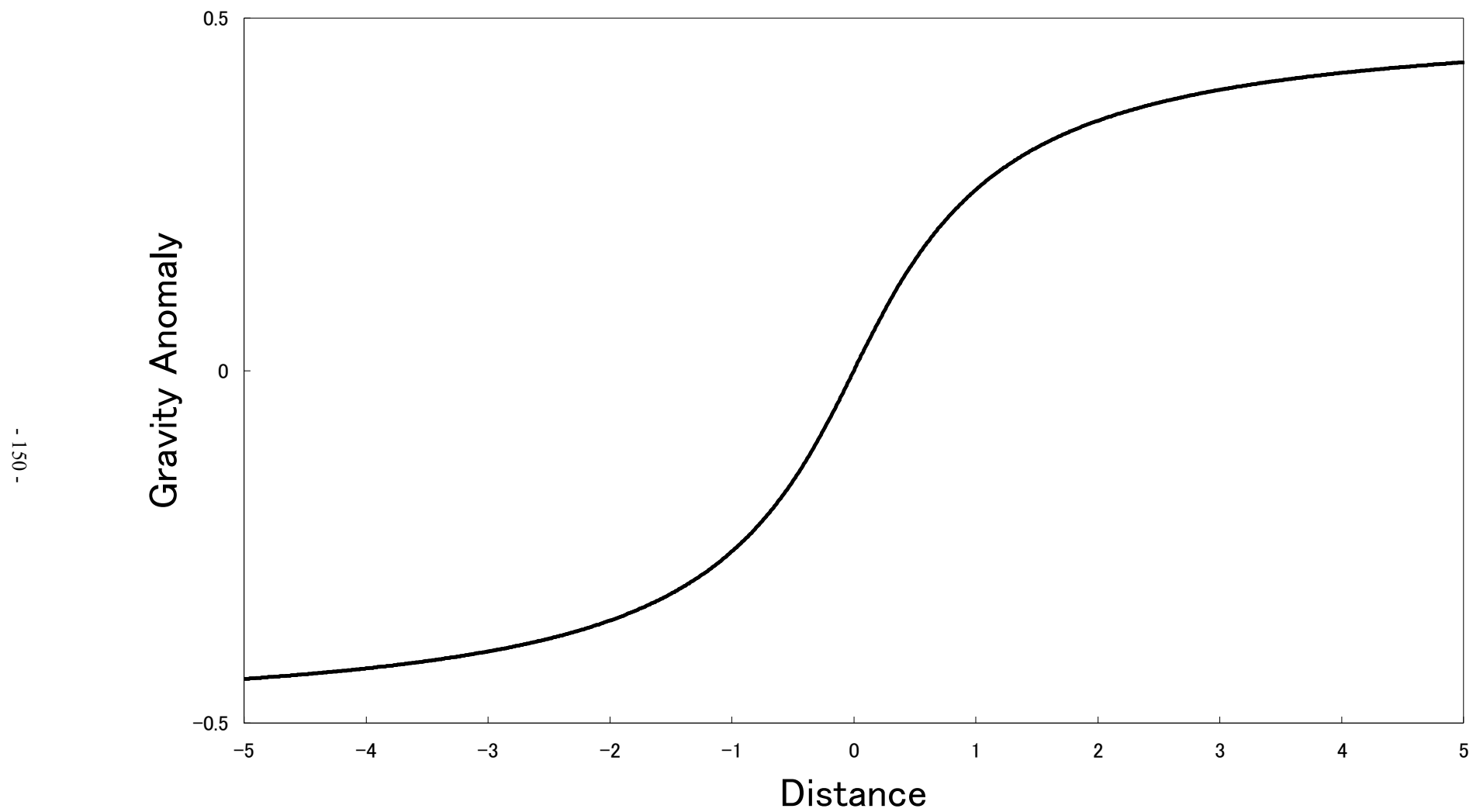


Figure 93. 2次元垂直断層モデルが与える理論重力値断面.

横軸：地表での断層面中央部からの基準化された距離，縦軸：基準化された重力異常値．距離と重力異常値をそれぞれ断層面中央の深さ Z_0 と重力値 g_0 で基準化してある．基準化された断層の落差は 1.

ている。信号解析理論(例えば, Hamming(1980)など)によると, この振動は, 断層構造のような急峻な変化を示す形状を数点の既知点から推定しようとする際に通常現れる打ち切り現象に伴ういわゆるギプス現象によるものである。これをできるだけ避けるためには断層近傍に深度既知点を配置しないようにするとよい。そこで, 深度既知の重力測定点を距離 $-1 \sim 1$ を除いて 1 毎に 8 地点想定して同様に解析すると, Figure 95 に示す構造が推定される。これは振動が充分に抑制され, ほぼ満足できる形状になっている。断層付近の距離 -1 から 1 の間ではなだらかに変化しているが, これはトレンド $f(x)$ を 5 次式で表現したためで, さらに高次の多項式を用いればより急峻な形状として推定することができるようになる。ただし, 高次多項式を用いるとその次数に応じて深度既知点の数を多くしなければならない。

一方, 5 次式でトレンドを表現する際に深度既知点が多すぎてもギプス現象が目立ってくる。Figure 96 はその一例で, 距離 0.1 毎の深度既知重力測定点 101 地点を想定して解析した結果である。この結果を Figure 94 と比べると, 減衰振動の最大振幅が $5 \sim 6$ 倍になっている。しかし, その最高極大位置は Figure 94 での距離 1.4 から 0.9 になってより急峻な形状を表すようになっている。これらは, 多くの既知点からの偏差をできるだけ小さくしようとする最小 2 乗法による多項式推定固有の性質であり, 数学的にはステップ関数への適用を考える際に古典制御理論で示される性質(例えば, 中野・美多, 1982)と同等である。

以上の結果から, 一般にトレンド決定にはある程度既知点が多い方が当然精度よく求まるが, 断層近傍に多くの既知点が配置されるとギプス現象によるオーバーシュートやアンダーシュートが発生する危険性があることが示唆される。

ところで, Figure 93 に示した重力値には広域重力異常は重畳させておらず, 純粹に Figure

92 の地下構造だけから計算して得られたものである。一方で、7.5 式においてトレンド $f(x)$ が重要な役割を果たしているということは、これが必ずしも広域重力異常を示す項ではなく、上記の例ではむしろ断層からの距離に依存する項とみなすべきであるといえる。そもそも基盤深度 z を重力観測値 g の 1 次関数で近似しようとすることは、①厚さ h の無限平板の作る理論重力値が、

$$g = 2\pi G \Delta \rho h \quad (7.6)$$

で表されることと、②重力が質量からの距離の 2 乗に反比例するため距離が大きくなると直下の基盤岩以外の影響が少なくなること、から考案されたものである。しかし、特に断層近傍の様に基盤構造が急変するような所では②の仮定が成り立たず、7.5 式で示された関係を補正するために $f(x)$ や β を導入する必要があることになると考えられる。従って、井上・他(1998)などで示される実際のトレンド $f(x)$ も、広域重力異常だけがその要因であると考えよりも、これに基盤の形状による補正項が含まれたものであると考える必要がある。7.3 式、7.4 式を 3 次元に拡張して表すと、

$$f_{(x,y)} = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{i,j} x^i y^j \quad (7.7)$$

$$g_{(x,y)} = f_{(x,y)} + \beta z \quad (7.8)$$

となるが、トレンド $f_{(x,y)}$ を広域異常の項 $R_{(x,y)}$ と基盤の形状による補正の項 $S_{(x,y)}$ に分離できれば、

$$f_{(x,y)} = R_{(x,y)} + S_{(x,y)} \quad (7.9)$$

と表現できるので、基盤の深さ $z_{(x,y)}$ は、

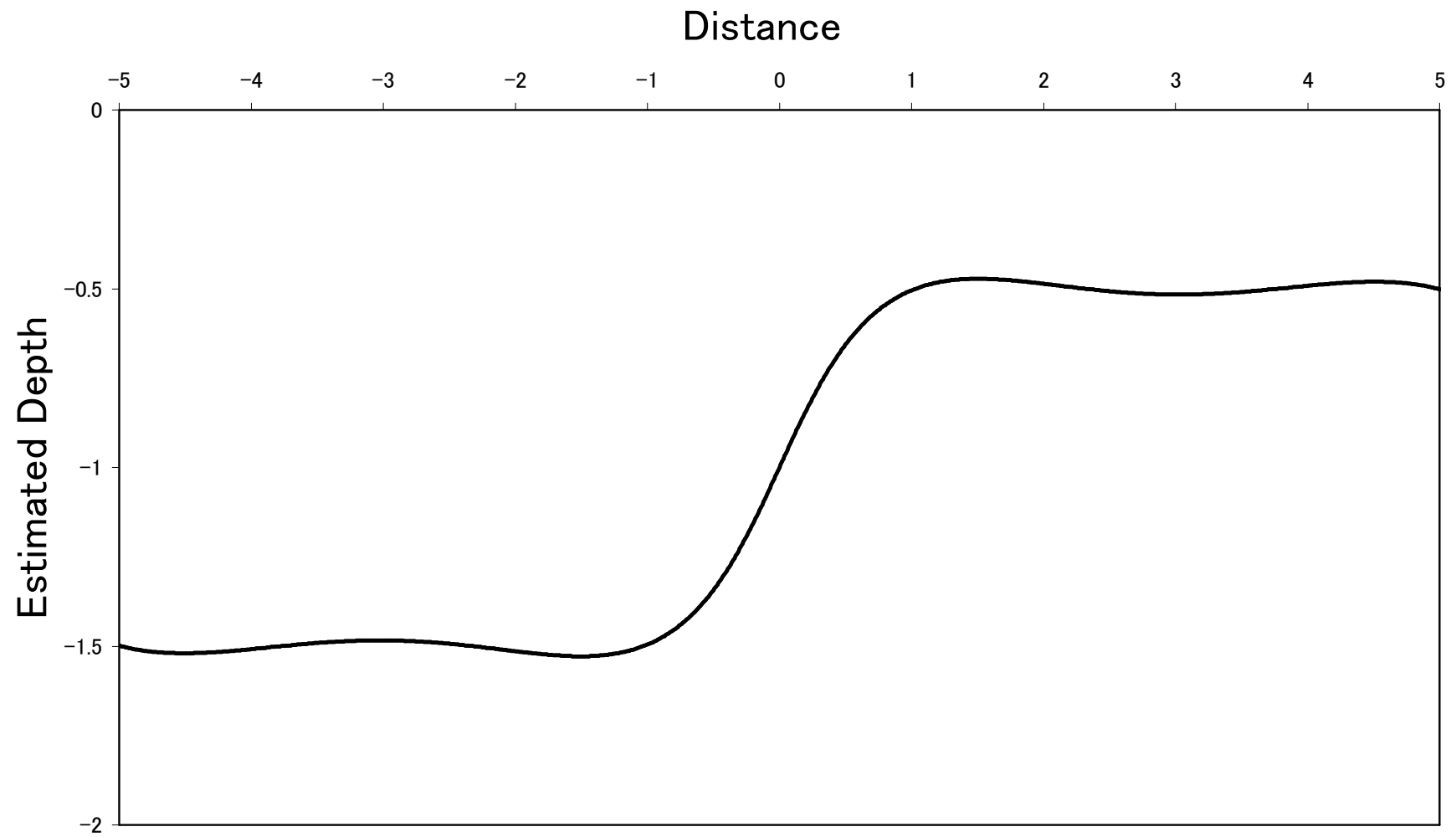


Figure 94. 2次元重力値断面から最小2乗法で逆解析した基盤構造.
 横軸: 地表での断層面中央部からの基準化された距離, 縦軸: 基準化された地表面からの深さ. それぞれ断層面中央の深さ Z_0 で基準化してある. 深度既知の重力測定点は原点から間隔 1 毎の 11 地点を想定した.

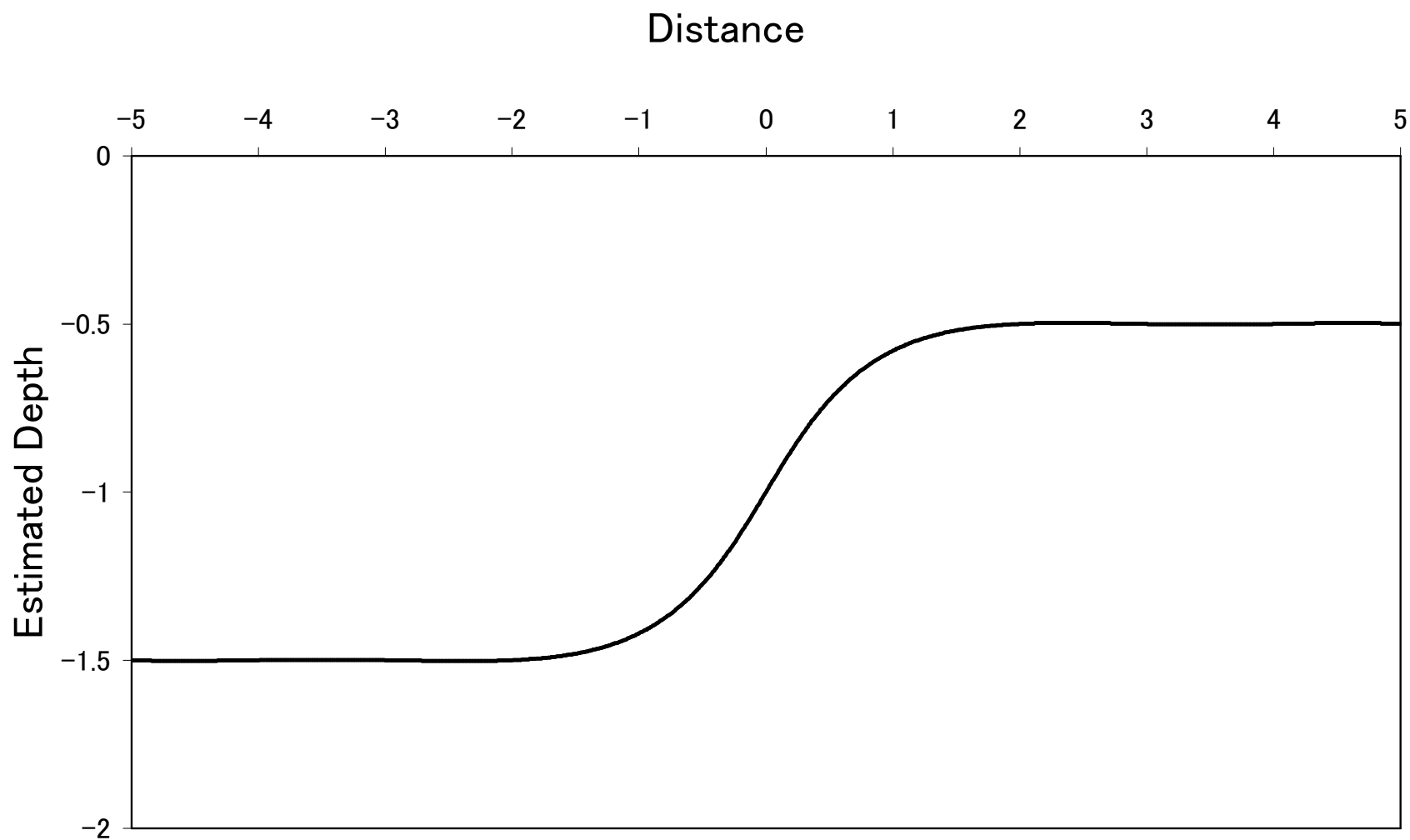


Figure 95. 重力急変部付近の深度既知点を用いずに逆解析した結果.

横軸:地表での断層面中央部からの基準化された距離,縦軸:基準化された地表面からの深さ.それぞれ断層面中央の深さ Z_0 で基準化してある. 深度既知の重力測定点は距離 -1 から 1 を除く間隔 1 毎の 8 地点を想定した.

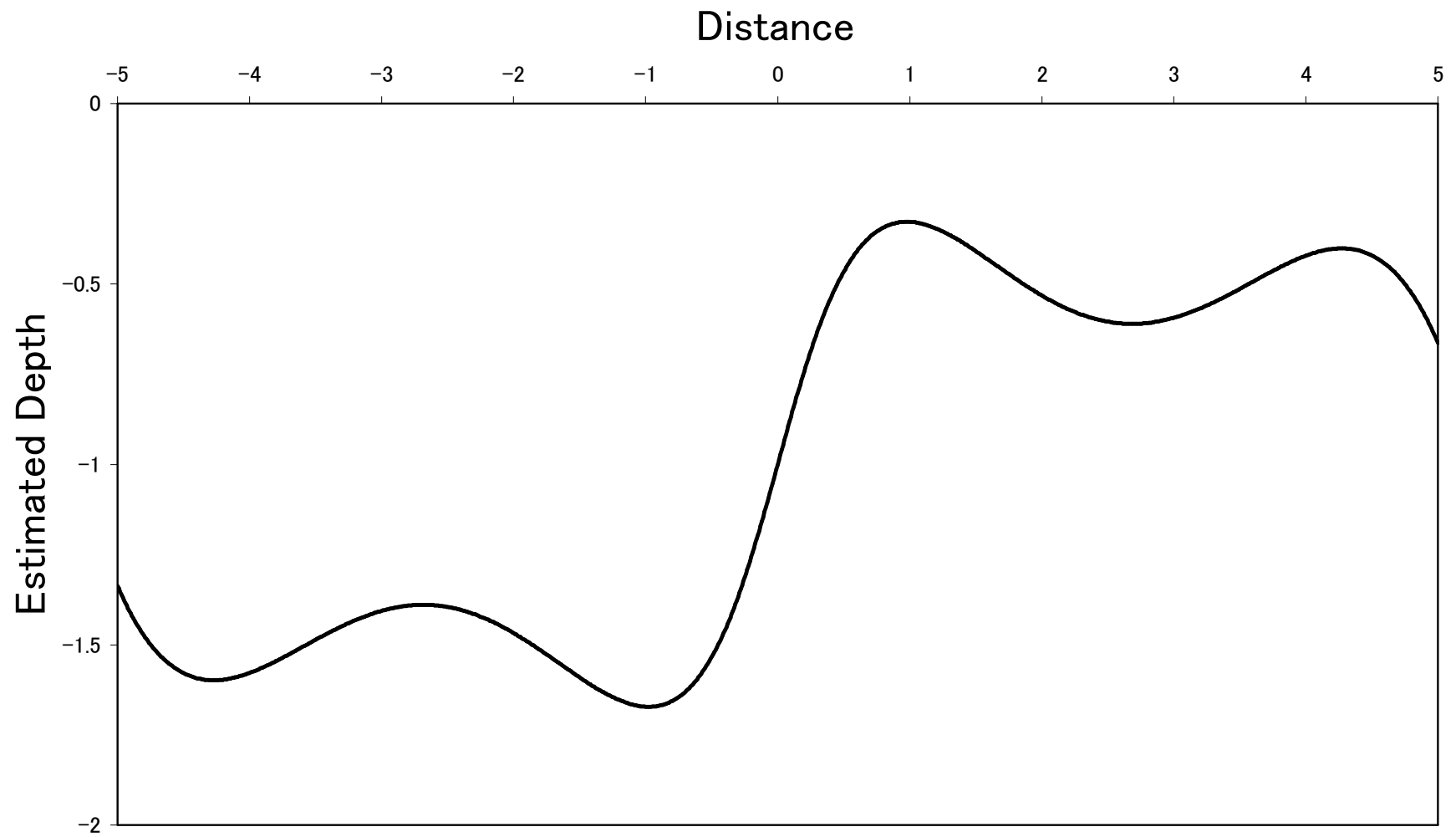


Figure 96. より多くの深度既知点を用いて逆解析した基盤構造解析結果.
 横軸: 地表での断層面中央部からの基準化された距離, 縦軸: 基準化された地表面からの深さ. それぞれ断層面中央の深さ Z_0 で基準化してある. 深度既知の重力測定点は距離 0.1 毎の 101 地点を想定した.

$$z_{(x,y)} = \frac{(g_{(x,y)} - R_{(x,z)}) - S_{(x,y)}}{\beta} \quad (7.10)$$

で求めることができることになる。5 章や 6.4 節で示した繰り返し計算によるモデル推定の試みでは、繰り返しの度にトレンドを引いた後、変換係数で割って新しい深度分布を求めていたが、トレンドの主成分が $S_{(x,y)}$ であり、本来の広域重力値を毎回引いていたわけではないと考えられるので、推定の手順には誤りがなかったことになる。

地下構造モデルから計算した理論重力値を実測値と比較するときは、実測値にはブーゲー異常値から 3 章で示したような深部モデルを用いて求めた広域重力異常で補正したものを用いるべきであり、最小 2 乗法で求めたトレンドを広域異常値として補正することは避けるべきである。なぜなら、最小 2 乗法で求めたトレンドは局所的な浅部構造を無限平板で近似したことによる偏倚の項を含んでいるためである。

本研究では 7.8 式のように z の項を 1 次に限ったが、より精度良く推定するためには、トレンドを除いた残差重力値を基盤面の深さの多項式 $h_{(z)}$ で近似するとよい。すなわち、

$$h_{(z(x,y))} = g_{(x,y)} - f_{(x,y)} \quad (7.11)$$

として、 $z_{(x,y)}$ を解析的に、もしくは、数値計算によって求めればよい。

大阪平野に隣接する神戸・阪神地域では、平成 7 年兵庫県南部地震以降に精力的に反射法による地下構造調査が進められ(末廣, 1998), これらの地域には低角の逆断層が複数伏在していることが明らかになっている。これらの地域ではすでに詳細な重力測定が実施されている(井上・他, 1998)ので、今後これらの地域について逆断層を考慮した重力順解析を行い、今回の手法の有用性をさらに検討してゆく必要がある。

8.まとめ

本研究では、重力探査による逆断層構造の解析方法を紹介し、大阪平野にある上町断層のうち北部周辺を例にとって解析を試みた。その結果、モデル作成ツールの開発や繰り返し計算を行う際のモデル修正のためのより良いアルゴリズムの開発などより改善すべき要素があるものの、本研究で提案した計算方法の方法の有用性が確認できた。

本研究の要点は次の通りである。

- ① 2次元逆断層構造が作る重力値や3次元半無限長3角柱が作る重力値の理論式を紹介し、3角柱の集合体で表現される逆断層を含む基盤構造が作る重力値を求める汎用的なコンピュータプログラムを開発した。
- ② ①で作成したプログラムを用いて、西南日本の広域重力異常を求めた。
- ③ 重力計算における基盤構造とその上位にある堆積層の密度の取扱いを考察した。
- ④ 繰り返し計算による基盤構造推定の手続きを考案した。
- ⑤ 大阪平野の基盤構造を例にしてこれらの検証を行った。
- ⑥ その結果、これらの手法の妥当性を示すと共に、重力測定値から多項式近似によって基盤構造を推定する際に得られる広域重力トレンドの項が、従来考えられていた広域重力異常による項に重力－深度変換係数の1次式仮定からの偏倚を表す項が加わったものであることを明らかにした。

重力探査により構造を求めるような逆問題を解くことは一般には解が無限にあるとされている。しかし、地質学的な拘束条件を十分に吟味して行くことで評価に耐えうる構造モデルを得ること

が可能である。逆断層のような複雑な基盤構造の解析には、7 章の考察で述べたトレンドの評価、特に重力－深度変換係数の 1 次式仮定からの偏倚を表す項 $S_{(x,y)}$ の取扱いや、逆断層モデルの作成ツールのアルゴリズム・プログラム開発、繰り返し計算における結果の評価方法など、改善すべき点がいくつか残されており、これらは今後の課題である。

謝辞

本研究は、著者が大阪市立大学理学部地学科(1982 年当時)の卒業課題研究として取り組んだ大阪平野における重力測定とその 2 次元基盤構造解析に端を発したものである。同大学大学院理学研究科地球学教室の中川康一教授には当時より現在に至るまで常に多方面にわたりご指導賜った。同教室の塩野清治教授、升本眞二博士、三田村宗樹博士、根本泰雄博士をはじめとして多くの先生方には研究の利便を図っていただき、かつ、有益なご助言・ご指導を賜った。京都大学大学院理学研究科地球物理学教室の井上直人博士には、貴重な測定データ・コンパイルデータおよび解析成果を提供していただき、コンピュータプログラムの検証を行っていただいた。秋田大学名誉教授乗富一雄博士、同狐崎長琅博士、京都大学名誉教授で神戸学院大学人文学部人間行動学科の住友則彦教授および秋田大学大学院工学資源学研究科地球資源学専攻応用地球科学教室の西谷忠師教授には、地球物理学および物理探査学研究の多岐にわたりご指導ご鞭撻を頂いた。近畿職業能力開発大学校産業化学科の諸先生方には多様多忙な業務の中、研究活動に理解を寄せていただき、多くの便宜を図っていただいた。ここに記してこれらの方々に深く感謝の意を表します。さらに、研究と称し夜遅くまで帰宅せぬ父を待ちわびた幼かった 2 人の子どもたちと、自らも教職の任に就きながら彼らを育て上げた彼らの母にも湛謝の念を捧げたい。

参考文献

- 赤松純平・駒澤正夫(2003)：京都盆地の地盤震動特性と重力基盤，京都大学防災研究所年報，
No.46B, p.929-935.
- 青山隆行・塩野清治・升本眞二・野藤孝裕，1997，最適化原理による不連続な曲面の推定，情報
地質, vol.8, p.157-175.
- Asano, S., Wada, K., Yoshii, T., Hayakawa, M., Misawa, Y., Moriya, T., Kanazawa, T., Murakami,
H., Suzuki, F., Kubota, R., and Suyehiro, K. (1985) : Crustal Structure in the Northern Part of
the Philippine Sea Plate as Derived from Seismic Observations of Hatoyama-Off Izu Peninsula
Explosions, *J. Phys. Earth.*, vol.33, p.173-189.
- Ashiya, K., Asano, T. Yoshii, T., Ishida, M., and Nishiki, T. (1987) : Simultaneous Determination
of the Three-Dimensional Crustal Structure and Hypocenters beneath the Kanto-Tokai District,
Japan, *Tectonophysics*, vol.140, p.13-27.
- AT&T Lucent Technologies and Bellcore (1997) : <http://www.netlib.org/f2c/index.html>.
- Banerjee, B. and Das Gupta, S. P. (1977) : Gravitational Attraction of a Rectangular Parallelepiped,
Geophysics, vol.42., p.1053-1055.
- 物理探査学会(1989)：図解物理探査，物理探査学会， 239 pp.
- Chung, T. W., Hirata, N. and Sato, R. (1990) : Two-Dimensional P- and S-wave Velocity
Structure of the Yamato Basin, the Southeastern Japan Sea, from Refraction Data Collected by
an Ocean Bottom Seismographic Array, *J. Phys. Earth.*, vol.38, p.99-147.
- Chung, T. W. and Kanazawa, T. (1991) : S_n Velocity under the Yamato Basin, Southeastern Japan

Sea, *J. Phys. Earth.*, vol.39, p.505-514.

藤原法之(1985) : 日本列島及び周辺域におけるモホ面温度分布, 日本地熱学会誌, vol.6, p.183-201.

Fukao, Y., Obayashi, M., Inoue, H. and Nenbai, M. (1992) : Subducting Slabs Stagnant in the Mantle Transition Zone, *J. Geophys. Res.*, vol.97, p.4809-4822.

Garland, G. D. (1965) : The Earth's Shape and Gravity, Pergamon Press Ltd., 藤井陽一郎訳 (1969), 地球の形と重力, ラテイス, 194 pp.

Götze, H. -J (1978) : Ein numerischen Verfahren zur Berechnung der gravimetrischen Feldgrößen dridimensionaler Modellkörper, *Arch. Met. Geoph. Biokl.*, Ser. A, vol. 27, p.195-215.

Götze, H. -J (1984) : Über der Einsatz interaktiver Computergraphik im Rahmen 3-dimensionaler Interpretationsschrift, *Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultär der Technischen Universität Clausthal*, 236 Seiten.

Götze, H. -J., and Lahmeyer, B. (1988) : Application of Three-Dimensional Interactive Modeling in Gravity and Magnetism, *Geophysics*, vol.53, p.1096-1108.

萩原幸男(1986) : 太平洋プレートとフィリピン海プレートの中部日本重力場への影響, 測地学会誌, vol.32, p.12-22.

Hamming R. W., (1977) : Digital Filter, Prentice-Hall, Inc., 宮川洋・今井秀樹 訳(1980), デジタル・フィルタ, 化学技術出版, 230 pp.

長谷川昭・海野徳仁・高木章雄・鈴木貞臣・本谷義信・亀谷悟・田中和夫・澤田義博(1983) : 北海道および東北地方における微小地震の震源分布ー広域の観震データの併合処理ー, 地震,

2, vol.36, p.129-150.

長谷川昭・海野徳仁・山本明・高木章雄(1986)：微小地震観測網データの自動処理システム，地震，2, vol.39, p.381-395.

長谷川昭(1993)：東北日本弧の地震学的構造，地球惑星科学関連学会 1993 年合同大会予稿集, p.127.

Hirahara, K. (1981)：Three-Dimensional Seismic Structure beneath Southwest Japan：The Subducting Philippine Sea Plate, *Tectonophysics*, vol.79, p.1-44.

本多了・Yuen, D. A. (1993)：相転移とマントル対流，科学, vol. 63, p.387-389.

堀川晴央・水野清秀・佐竹健治・関口春子・加瀬祐子・杉山雄一・横田 裕・末廣匡基・Arben Pitarka (2002)：大阪平野の 3 次元地盤構造モデルの作成，活断層・古地震研究報告, No.2, p.291-324.

堀川晴央・水野清秀・石山達也・佐竹健治・関口春子・加瀬祐子・杉山雄一・横田 裕・末廣匡基・横倉隆伸・岩淵 洋・北田奈緒子・Arben Pitarka (2003)：断層による不連続構造を考慮した大阪堆積盆地の 3 次元地盤構造モデル，活断層・古地震研究報告, No.3, p.225-259.

Horiuchi, S., Ishii, H., and Takagi, A. (1982a)：Two-Dimensional Depth Structure of the Crust beneath the Tohoku District, the Northeastern Japan Arc, Part I. Method and Conrad Discontinuity, *J. Phys. Earth*, vol.30, p.47-69.

Horiuchi, S., Yamamoto, A., Ueki, S., Tachibana, K., Kono, T. and Takagi A. (1982b)：Two-Dimensional Depth Structure of the Crust beneath the Tohoku District, the Northeastern Japan Arc, Part II. Moho Discontinuity and P-wave Velocity, *J. Phys. Earth*, vol.30, p.71-86.

伊神輝・伊藤潔・佐々木嘉三・浅野周三(1982) : 1975 年 3 月坂出沖爆破地震動観測による四国の地殻構造, 地震, 2, vol.35, p.367-375.

井上公・浅野周三・吉井敏尅・松村一男・村上寛史・佐々木嘉三・多田堯(1984) : 1980 年坂出・一字爆破地震動観測による四国東北部の地殻構造, 地震, 2, vol.37, p.163-183.

Inoue, H., Fukao, Y., Tanabe, K. and Ogata, Y. (1990) : Whole Mantle P-wave Travel Time Tomography, *Phys. Earth Planet. Inter.*, vol.59, p.294-328.

Inoue, N., Nakagawa, K., Senda, S., Ryoki, K. and Shichi, R.(1995) : Basement Structure of Osaka Sedimentary Basin Inferred from Gravity Anomaly, *Abstracts for Technical Programs*, International Association for Mathematical Geology 1995 Annual Conference, p.245-247.

井上直人・中川康一・領木邦浩(1998) : 大阪平野の重力異常と基盤構造, 物理探査, vol.51, p.1-16.

井上直人・中川康一(1999) : 重力から見た大阪盆地の三次元地下構造, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集(CD-ROM),1999, Sh-008

石田瑞穂(1991a) : 現在の地震活動からみた地震地体構造, 萩原尊・編 日本列島の地震―地震工学と地震地体構造―, 鹿島出版会, p.57-85.

石田瑞穂(1991b) : フィリピン海プレート上面の深度分布, 東京直下地震, 毎日新聞社, p.56.

石田瑞穂(1992) : 関東・東海地域における地殻下部および上部マントル地震, 地球惑星科学関連学会 1992 年合同大会共通セッション・シンポジウム予稿集, p.65.

Ishihara, K. (1968) : Propagation of compressional waves in a saturated soil, *Proc. Int. Symp. Wave Propagation and Dynamic Properties of Earth Materials*, p.195-206.

石原和彦・吉田明夫(1992)：九州下フィリピン海スラブの形状と地震活動，地震，2，vol.45，
p.45-51.

石山達也(2004)：西南日本・近畿地域東端部の後期新生代短縮テクトニクス，2004 年度地球惑
星関連学会合同大会予稿集，S053-010.

伊藤潔・吉井敏尅・浅野周三・佐々木嘉三・伊神輝(1982)：家島・鳥形山爆破地震動観測による
四国地域の地殻構造，地震，2，vol.35，p.377-391.

地震予知総合研究振興会(1986)：フィリピン海プレート北端部の地震テクトニクスに関する総合研
究研究成果報告書，第 I 期，第 II 期，p.279-286.

加賀美英雄・塩野清治・平朝彦(1983)：南海トラフにおけるプレートの沈み込みと付加体の形成，
科学，vol.53，p.429- 438.

香川敬生・澤田純男・岩崎好規・南荘 淳(1998)：常時微動アレー観測による大阪堆積盆地深部
S 波速度構造のモデル化，地震，2，51，p.31-40.

狐崎長琅(2001)：応用地球物理学の基礎，古今書院，297 pp.

駒澤正夫(1998)：重力探査 データ解釈技術，物理探査ハンドブック手法編，物理探査学会，
p.455-468.

駒澤正夫・村田泰章(1988)：栗駒地熱地域の重力解析，地質調査書報告，no. 268，p.285-313.

河野芳輝・古瀬慶博(1989)：100 万分の 1 日本列島重力異常図，東京大学出版会，88pp.

升本眞二・塩野清治(1996)：領域の分割による広域な曲面の推定，日本情報地質学会講演会
講演予稿集，vol.7，p.13-14.

宮腰研・香川敬生・趙伯明・徳林宗孝・沢田純男(1999)：大阪平野の深部地下構造のモデル化

について(3), 1999 年度地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, Sh-009.

Mizoue, M., Nakamura, M., Seto, N., Ishiketa Y., and Yokota, T.(1983) : Three-Layered Distribution of Microearthquakes in Relation to Focal Mechanism Variation in the Kii Peninsula, Southwestern Honshu, Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, vol.58, p.287-310.

長宗留男・田代秀樹(1989) : 九州下における和達ーベニオブゾーンの形状, 地震, 2, vol.42, p.13-19.

中川康一(1981) : 近畿地方の地震と断層に関連して, 地学教育と科学運動, vol.10, p.81-86.

Nakagawa, K., Ryoki, K., Muto, N., Nishimura, S. and Ito, K. (1991) : Gravity Anomaly Map and Inferred Basement Structure in Osaka Plain, Central Kinki, Southwest Japan, *Journal of Geoscience*, Osaka City Univ., vol.34, p.103-117.

中川康一・寺田祐司・横田裕(1992) : 反射断面と重力異常の整合性ー大阪平野を例としてー, 物理探査学会学術講演会論文集, vol.86, p.235-240.

中川康一・井上直人・領木邦浩(1996) : 大阪盆地の基盤構造, 京都大学防災研究所都市耐震センター研究報告別冊, No.18, p.11-25.

Nakagawa, K., Shiono, K., Inoue, N., and Sano, M. (1996) : Geological Characteristics and Problems in and around Osaka Basin as a Basis for Assessment of Seismic Hazards, *Special Issue of Soils and Foundations*, Japanese Geotechnical Society, p.15-28.

中野通雄・美多勉(1982) : 制御基礎理論ー古典から現代までー, 昭晃堂, 228 pp.

西川友章・山田大介・本多政彦・西村智博・吉川卓郎・進藤仁・平野昌繁(2005) : 3 次元数値地

形モデルを利用した地形の定量的評価の試み, 日本応用地質学会関西支部平成16年度研究
発表会概要集, p.1-4.

野口伸一, 1996, 東海地域のフィリピン海スラブ形状と収束テクトニクス, 地震, 2, vol.49,
p.295-325.

岡本順平・川村大作・井上直人・西浦賢・佐藤隆春・志知龍一・赤松純平・根本泰雄・中川康一
(1999) : 有馬-高槻構造線周辺(宝塚・箕面地域)地震被害域での重力異常, 1999 年度地球
惑星関連学会合同大会予稿集, Sg-P008

大阪市総合計画局(1964) : 大阪市地盤沈下調査中間報告書, OD-1 調査報告, 213pp.

力武常次, 1992, 地球科学ハンドブック, 聖文社, 296 pp.

領木邦浩・中川康一(1993) : 大阪平野における広域重力異常と深部構造. 大阪職業訓練短期
大学校紀要, vol.1, p.17-27.

Ryoki, K. (1996) : Method of Dividing Underground Model into Triangular Forms and its
Application in Gravity Analysis, *Geoinformatics*, vol.7, p.117-127.

領木邦浩(1982) : 重力から見た大阪平野の基盤構造について, 大阪市立大学理学部地学科卒
業論文, 93pp.

領木邦浩(1999) : 西南日本の3次元深部構造と広域重力異常, 地震, 2, vol.52, p.51-63.

坂本正徳・塩野清治・升本眞二(2001) : Terramod2001 : 地層面推定・表示ソフトウェア, 情報地
質, vol.12, p.112-113.

Sasatani, T., Yoshii, T., Ikami, A., Tanada, T., Nishiki, T. and Kato, S. (1990) : Upper Crustal
Structure under the Central Part of Japan : Miyota-Shikishima Profile, Bull. Earthq. Res. Inst.

Univ. Tokyo, vol.65, p.33-48.

佐藤泰夫(1978)：弾性波動論，岩波書店，454 pp.

仙名登・小田仁・瀬谷清(1990)：フィリピン海領域におけるレーリー波群速度の地域差，地震，2，
vol.43, p.91-100.

瀬野徹三(1987)：1971年1月3日銭洲海嶺付近の地震(M=5.5)の発生機構と深さ－伊豆海嶺西
縁でのフィリピン海プレートの厚さについて－，地震，2, vol.40, p.629-632.

瀬野徹三・関口渉次・吉田明夫(1988)：フィリピン海プレートの運動の4Maまでの復元－2Ma頃
に運動は変化したか？－，月刊地球，vol.10, p.646-654.

志知龍一・山本明彦(1994)：西南日本における重力データベースの構築，地質調査所報告，
No.280, p.1-28.

Shih, T. -C. (1980)：Magnetic lineations in the Shikoku Basin, in G. de V. Klein, K. Kobayashi *et al.*, *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, vol.58, Washington DC, U.S. Government
Printing Office, p.783-788.

Shiono, K. (1982)：Frontal Shape of the Seismic Slab by Normal Subduction of a Dead Spreading
Axis and a Preliminary Application to Southwest Japan, *J. Geosci.*, Osaka City Univ., vol.25,
p.19-33.

塩野清治(1982a)：標本・格子変換用サブルーチンPELTO，情報地質，no.7, p.81-88

塩野清治(1982b)：格子・格子変換用サブルーチンSFS3L，情報地質，no.7, p.89-96

塩野清治・弘原海清・升本眞二(1987a)：地質データの表示を目的とした改良コンターマップ作成
プログラム，情報地質，no.12, p.259-273.

塩野清治・弘原海清・升本眞二(1987b)最適化原理による地層面の推定 —不等式データや傾斜データをを用いた曲面の推定—, 情報地質, no.12, p.299-328.

Shiono, K. (1988) : Seismicity of the SW Japan Arc - Subduction of the Young Shikoku Basin - , *Mod. Geol.*, vol.12. p.449-464.

末廣匡基(1998) : 反射法地震探査, 深部地下構造, 深部構造と物性, 新関西地盤—神戸および阪神間—, 関西地盤情報活用協議会, p.107-139.

竹内聡・三社所寛泰・吉周祥一(1997) : 横たわるスラブの速度異常・密度・ポアソン比・剛性率の分布, 地球惑星科学関連学会 1997 年合同大会予稿集, p.148.

谷口健男(1992) : FEM のための要素自動分割, デローニー三角分割法の利用, 森北出版, 198 pp.

津村紀子・堀内茂木・長谷川昭・笠原敬司(1993) : 山梨県東部におけるフィリピン海プレート上部境界面の位置—SP 変換波による推定—, 地震, 2, vol.46, p.109-118.

宇津徳治(1974) : 日本周辺の震源分布, 科学, vol.44, p.739-746.

Watanabe, H. and N. Maeda, N. (1990) : Seismic Activity of Subcrustal Earthquakes and Associated Tectonic Properties in the Southeastern Part of the Kinki District, Southwestern Japan, *J. Phys. Earth*, vol.38, p.325-345.

Wood, A. B. (1930) : "A Textbook of Sound" in "*Vibration of Soil and Foundations*" by Richart, F. E. Jr., Hall, J. R. and Woods, R. D. (1970) ; Prentice Hall Inc., 414 pp.

Yamamoto, A. (1989) : Subduction of the Philippine Sea Plate and Gravity Anomaly in Southwestern Japan, *J. Geod. Soc. Jap.*, vol.35, p.212-225.

- 山本栄作・中川康一・三田村宗樹・戸田茂・西田智彦・寺田祐司・宇田英雄・横田裕 (1992) : 大阪平野中央部における反射法地震探査 I ―淀川(十三～柴島)測線―, 日本応用地質学会平成 4 年度研究発表会講演論文集, p.185-188.
- 山崎文人・大井田徹(1985) : 中部地方におけるフィリピン海プレート沈み込みの形状, 地震, 2, vol.38, p.193-201.
- 矢沢久雄(2000) : Visual Basic プログラマのための Visual C++入門, アスキー出版, 269 pp.
- 横倉隆伸・加野直巳・山口和雄・宮崎光旗・井川猛・太田陽一・川中卓・阿部進(1998) : 大阪湾における反射法深部構造探査, 地質調査所月報, vol.49, p.571-590.
- 吉井敏尅(1977) : 東北日本の地殻・マントル構造, 科学, vol.47, p.170-176.
- Zhao, D., Horiuchi, S. and Hasegawa, A. (1990) : 3-D Seismic Velocity Structure of the Crust and the Uppermost Mantle in the Northeastern Japan Arc, *Tectonophysics*, vol.181, p.135-149.
- Zhao, D., Horiuchi, S. and Hasegawa, A. (1992a) : Seismic Velocity Structure of the Crust beneath the Japan Islands, *Tectonophysics*, vol.212, p.289-301.
- Zhao, D., Hasegawa, A. and Horiuchi, S. (1992b) : Tomographic Imaging of P and S Wave Velocity Structure beneath Northwestern Japan, *J. Geophys. Res.*, vol.97, p.19909-19928.
- Zhao, D., Hasegawa, A. and Kanamori, H. (1994) : Deep Structure of Japan Subduction Zone as Derived from Local, Regional, and Teleseismic Events, *J. Geophys. Res.*, vol.99, p.22313-22329.
- 趙伯明・宮腰研・香川敬生(2001) : 強震動のシミュレーションによる大阪堆積盆地の 3 次元地下構造モデルの検証(2), 2001 年度地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, S5-008.

Appendix

Appendix 1. 2次元断層構造の重力異常計算プログラム

(Excel VBA retail6.4)

```
VERSION 5.00
Begin {C62A69F0-16DC-11CE-9E98-00AA00574A4F} UserForm1
    Caption       =   "二次元断層の重力値計算"
    ClientHeight   =   3225
    ClientLeft     =   45
    ClientTop      =   330
    ClientWidth    =   4710
    OleObjectBlob  =   "UserForm1.frx":0000
    StartUpPosition =   1   'オーナー フォームの中央
End
Attribute VB_Name = "UserForm1"
Attribute VB_GlobalNameSpace = False
Attribute VB_Creatable = False
Attribute VB_PredeclaredId = True
Attribute VB_Exposed = False

Private Sub CommandButton1_Click()

    Dim g(-500 To 500, 17) As Double
    Dim dg(-500 To 500, 17) As Double
    Dim ddg(-500 To 500, 17) As Double
    Dim pi As Double
    Dim x As Double
    Dim x0 As Double
    Dim x1 As Double
    Dim x2 As Double
    Dim z As Double
    Dim z0 As Double
    Dim h As Double
    Dim z1 As Double
    Dim z2 As Double
    Dim tanT As Double
    Dim atan1 As Double
    Dim atan2 As Double

    pi = Atn(1#) * 4#
    z0 = Val(TextBox1.Text)
    h = Val(TextBox2.Text)
    Charts(1).ChartTitle.Text = "Zo=" & TextBox1.Text & ", H=" & TextBox2.Text
    Charts(2).ChartTitle.Text = "Zo=" & TextBox1.Text & ", H=" & TextBox2.Text
    Charts(3).ChartTitle.Text = "Zo=" & TextBox1.Text & ", H=" & TextBox2.Text

    For i = -500 To 500
        x0 = i / 100#
        For j = 1 To 17
            If j = 9 Then
                tanT = 0#
            Else
                tanT = 1# / Tan(j * pi / 18#)
            End If

```

```

            x1 = -x0 - tanT * h / 2#
            x2 = -x0 + tanT * h / 2#
            z1 = z0 - h / 2#
            z2 = z0 + h / 2#
            If z1 = 0 Then
                atan1 = pi / 2#
            Else
                atan1 = Atn(x1 / z1)
            End If
            atan2 = Atn(x2 / z2)
            x = x2 - x1
            z = z2 - z1

            g(i, j) = (z1 - (z2 - z1) / 2# - 1# / pi * (z2 * atan2 - z1 * atan1 + (x1 * z2 - x2 * z1) / (x * x
+ z * z)) * (x * (atan2 - atan1) + z / 2# * Log((x2 * x2 + z2 * z2) / (x1 * x1 + z1 * z1)))) / z0
        Next j
    Next i

    For i = -500 To 500
        For j = 1 To 17
            Sheet1.Cells(i + 501, j + 1) = g(i, j)
        Next j
    Next i

    For i = -500 To 500
        Sheet1.Cells(i + 501, 1) = i / 100#
    Next i

    nh = 2
    ns = nh * (nh + 1) * (nh * 2 + 1) / 6

    For i = -500 + nh To 500 - nh
        For j = 1 To 17
            For k = -nh To nh
                dg(i, j) = dg(i, j) + k * g(i + k, j)
            Next k
            Sheet2.Cells(i + 501, j + 1) = dg(i, j) / ns * 100#
        Next j
    Next i

    For i = -500 To 500
        Sheet2.Cells(i + 501, 1) = i / 100#
    Next i

    For i = -500 + nh * 2 To 500 - nh * 2
        For j = 1 To 17
            For k = -nh To nh
                ddg(i, j) = ddg(i, j) + k * dg(i + k, j)
            Next k
            Sheet3.Cells(i + 501, j + 1) = ddg(i, j) / ns * 100#
        Next j
    Next i

    For i = -500 To 500
        Sheet3.Cells(i + 501, 1) = i / 100#
    Next i

End Sub
```

Appendix 2. 三角要素の交差チェックサブプログラ ム (FORTRAN77)

```

C
C=====
C      check no (XT,YT) closeted over another triangle
C=====
C
C      <input>
C      XT : X-coordinate of triangle vertex (MATRIX : IM X IM)
C      YT : Y-coordinate of triangle vertex (MATRIX : IM X IM)
C      NXT : grid number of triangle in X-direction (INTEGER)
C      NYT : grid number of triangle in Y-direction (INTEGER)
C      <output>
C      IERRFG : error flag : 1=error, 0=normalcy (INTEGER)
C
C      SUBROUTINE CHKTRI(XT,YT,NXT,NYT,IERRFG)
C
C      DIMENSION XT(1025,1025),YT(1025,1025)
C
C      WRITE(*,100)
100  FORMAT(1X,"CHECKING TRIANGLE POINTS")
C
C      DO 10 I=2,NXT-1,2
C        DO 20 J=2,NYT-1,2
C          WRITE (*,200) I,J
200    FORMAT (CHECKING TRIANGLE POINT I,J=,2I5)
C          CALL DODCHK(XT,YT,I,J,IERRFG)
C          IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 40
20    CONTINUE
C          IF (MOD(NYT,2).EQ.0) THEN
C            CALL DODCHK(XT,YT,I,NYT-1,IERRFG)
C            IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 40
C          END IF
10    CONTINUE
C          IF (MOD(NXT,2).EQ.0) THEN
C            DO 30 J=2,NYT-1,2
C              CALL DODCHK(XT,YT,NXT-1,J,IERRFG)
C              IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 40
30    CONTINUE
C            IF (MOD(NYT,2).EQ.0) CALL DODCHK(XT,YT,NXT-1,NYT-1,IERRFG)
C          END IF
C
C      CONTINUE
C
C      RETURN
C      END
C
C=====
C      chech dodecagonal sides
C=====
C
C      SUBROUTINE DODCHK(XT,YT,I,J,IERRFG)
C
C      DIMENSION XT(1025,1025),YT(1025,1025)
C
C      X11=XT(I-1,J-1)
C      Y11=YT(I-1,J-1)
C      X12=XT(I-1,J)
C      Y12=YT(I-1,J)
C      X13=XT(I-1,J+1)
C      Y13=YT(I-1,J+1)
C      X21=XT(I,J-1)
C      Y21=YT(I,J-1)
C      X22=XT(I,J)
C      Y22=YT(I,J)
C      X23=XT(I,J+1)
C      Y23=YT(I,J+1)
C      X31=XT(I+1,J-1)
C      Y31=YT(I+1,J-1)
C      X32=XT(I+1,J)
C      Y32=YT(I+1,J)
C      X33=XT(I+1,J+1)
C      Y33=YT(I+1,J+1)
C
C      CALL CRSCHK(X11,Y11,X12,Y12,X21,Y21,X22,Y22,IERRFG)
C      IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
C      CALL CRSCHK(X11,Y11,X12,Y12,X23,Y23,X22,Y22,IERRFG)
C      IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
C      CALL CRSCHK(X11,Y11,X12,Y12,X32,Y32,X22,Y22,IERRFG)
C      IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
C      CALL CRSCHK(X12,Y12,X13,Y13,X21,Y21,X22,Y22,IERRFG)
C      IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
C      CALL CRSCHK(X12,Y12,X13,Y13,X23,Y23,X22,Y22,IERRFG)
C      IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
C      CALL CRSCHK(X12,Y12,X13,X32,Y32,X22,Y22,IERRFG)
C      IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
C      CALL CRSCHK(X11,Y11,X21,Y21,X12,Y12,X22,Y22,IERRFG)
C      IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
C      CALL CRSCHK(X11,Y11,X21,Y21,X32,Y32,X22,Y22,IERRFG)
C      IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10

```

```

CALL CRSCHK(X13,Y13,X23,Y23,X12,Y12,X22,Y22,IERRFG)
IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
CALL CRSCHK(X13,Y13,X23,Y23,X21,Y21,X22,Y22,IERRFG)
IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
CALL CRSCHK(X13,Y13,X23,Y23,X32,Y32,X22,Y22,IERRFG)
IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
CALL CRSCHK(X21,Y21,X31,Y31,X12,Y12,X22,Y22,IERRFG)
IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
CALL CRSCHK(X21,Y21,X31,Y31,X23,Y23,X22,Y22,IERRFG)
IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
CALL CRSCHK(X21,Y21,X31,X32,Y32,X22,Y22,IERRFG)
IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
CALL CRSCHK(X23,Y23,X33,Y33,X12,Y12,X22,Y22,IERRFG)
IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
CALL CRSCHK(X23,Y23,X33,X21,Y21,X22,Y22,IERRFG)
IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
CALL CRSCHK(X23,Y23,X33,Y33,X32,Y32,X22,Y22,IERRFG)
IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
CALL CRSCHK(X31,Y31,X32,Y32,X12,Y12,X22,Y22,IERRFG)
IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
CALL CRSCHK(X31,Y31,X32,Y32,X21,Y21,X22,Y22,IERRFG)
IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
CALL CRSCHK(X31,Y31,X32,Y32,X23,Y23,X22,Y22,IERRFG)
IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
CALL CRSCHK(X32,Y32,X33,Y33,X12,Y12,X22,Y22,IERRFG)
IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
CALL CRSCHK(X32,Y32,X33,X21,Y21,X22,Y22,IERRFG)
IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
CALL CRSCHK(X32,Y32,X33,Y33,X23,Y23,X22,Y22,IERRFG)
IF (IERRFG.EQ.1) GOTO 10
C
10  CONTINUE
C      IF (IERRFG.EQ.1) THEN
C        WRITE(*,100)
100    FORMAT(1X,"ERROR !!")
C        WRITE(*,200) XT(I,J),YT(I,J),I,J
200    FORMAT(1X,"POINT X=,"F10.3," , Y=,"F10.3,
C        &      " ((I,J)=,"I5," ,I5,")) IS IRREGULAR")
C      END IF
C
C      RETURN
C      END
C
C=====
C      check the point of intersection of two segments
C=====
C
C      SUBROUTINE CRSCHK(X1,Y1,X2,Y2,X3,Y3,X4,Y4,IERRFG)
C
C      XLMIN=MIN(X1,X2)
C      XLMAX=MAX(X1,X2)
C      YLMIN=MIN(Y1,Y2)
C      YLMAX=MAX(Y1,Y2)
C      XMMIN=MIN(X3,X4)
C      XMMAX=MAX(X3,X4)
C      YMMIN=MIN(Y3,Y4)
C      YMMAX=MAX(Y3,Y4)
C      IF (X1.EQ.X2) THEN
C        IF (X3.EQ.X4) THEN
C          IF (X1.EQ.X3) THEN
C            IF (((YLMIN.LE.YMMIN).AND.(YMMIN.LE.YLMAX)).OR.
C              &      ((YLMIN.LE.YMMAX).AND.(YMMAX.LE.YLMAX))) THEN
C              IERRFG=1
C            ELSE
C              IERRFG=0
C            END IF
C          ELSE
C            IERRFG=0
C          END IF
C        ELSE
C          CALL SEGMENT(X3,Y3,X4,Y4,S,T)
C          Y=S*X1+T
C          IF (((YLMIN.LT.Y).AND.(Y.LT.YLMAX)).AND.
C            &      ((YMMIN.LT.Y).AND.(Y.LT.YMMAX))) THEN
C            IERRFG=1
C          ELSE
C            IERRFG=0
C          END IF
C        END IF
C      ELSE
C        IF (X3.EQ.X4) THEN
C          CALL SEGMENT(X1,Y1,X2,Y2,A,B)
C          Y=A*X3+B
C          IF (((YLMIN.LT.Y).AND.(Y.LT.YLMAX)).AND.
C            &      ((YMMIN.LT.Y).AND.(Y.LT.YMMAX))) THEN
C            IERRFG=1
C          ELSE
C            IERRFG=0
C          END IF
C        ELSE
C          CALL SEGMENT(X1,Y1,X2,Y2,A,B)
C          CALL SEGMENT(X3,Y3,X4,Y4,S,T)
C          IF (A.EQ.S) THEN
C            IF (B.EQ.T) THEN
C              IF (((XLMIN.LE.XMMIN).AND.(XMMIN.LE.XLMAX)).OR.
C                &      ((XLMIN.LE.XMMAX).AND.(XMMAX.LE.XLMAX))) THEN
C                IERRFG=1
C              ELSE

```

```

                IERRFG=0
            END IF
        ELSE
            IERRFG=0
        END IF
    ELSE
        X=(B-T)/(S-A)
        IF (((XLMIN.LT.X).AND.(X.LT.XLMAX)).AND.
            ((XMMIN.LT.X).AND.(X.LT.XMMAX))) THEN
            IERRFG=1
        ELSE
            IERRFG=0
        END IF
    END IF
END IF
END IF
END IF

```

```

C
    RETURN
END
C
=====
C    calculation of gradient and intercept of the straight line
C=====
C
    SUBROUTINE SEGMENT(X0,Y0,X,Y,A,B)
C
    A=(Y0-Y)/(X0-X)
    B=Y-A*X
C
    RETURN
END

```

Appendix 3. 重力計算プログラム TRIGRV.F (FORTRAN77)

```

PROGRAM TRIGRV
C*****
C Calculation of Gravity Effect
C from the Model Divided into Triangular Forms
C No display for calculation point
C coded by Kunihiro RYOKI 1994.12.13.
C (improved 1996.12.2.)
C*****
C Mainroutine program "TRIGRV" calculates the gravity effect in
C mgal of the underground model divided into triangular forms (
C RYOKI, K. (1996) : Method of dividing underground model into
C triangular forms and its application in gravity anomalies. Geo-
C informatics, 7, p.117-127.) or equi-spaced grid forms (SHIONO,
C K. (1982) : A subroutine PELTO for random data to grid data
C conversion. Geological Data Processing, 7, p.81-88, etc.) at
C new equi-space grid stations or some presented stations. The
C assumed density constant is 1 gr/cm.
C This program needs subroutine "NEWTON" which calculates the
C gravity effect of the triangle defined by three points (Goetze,
C H. J. and Lahmeyer, B. (1988) : Application of three-dimensional
C interactive modeling in gravity and magnetics. Geophysics, 33,
C p.1096-1108.).
C
C < array size >
C NXMAX=513
C NYMAX=513
C NX<=NXMAX
C NY<=NYMAX
C NTRM=NXMAX*NYMAX
C I<=NTRM
C NSTM=66049(=257*257)
C K<=NSTM
C <input(principal)>
C TXYZ(I,1) : X-coordinate of triangle vertex in km (MATRIX)
C TXYZ(I,2) : Y-coordinate of triangle vertex in km (MATRIX)
C TXYZ(I,3) : Z-coordinate of triangle vertex in km (MATRIX)
C NX : grid number of triangle in X-direction (INTEGER)
C NY : grid number of triangle in Y-direction (INTEGER)
C SXYZ(K,1) : X-coordinate of station in km (MATRIX)
C SXYZ(K,2) : Y-coordinate of station in km (MATRIX)
C SXYZ(K,3) : Z-coordinate of station in km (MATRIX)
C NXG : grid number of station in X-direction (INTEGER)
C NYG : grid number of station in Y-direction (INTEGER)
C <output(printipal)>
C GRAV(K) : calculated gravity in mgal for density contrast
C 1 gr/cm at station (ARRAY)
C IFAIL : error flag (INTEGER)
C 0:<no error> 1:<identical points exist>
C
C IMPLICIT INTEGER (I-N)
C IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C DIMENSION SXYZ(66049,3),TCXYZ(263163,3),GRAV(66049)
C CHARACTER*32 NFLL, NFLO
C
C NTRM=263163
C NSTM=66049
C
C
C select forms of input data and read input-file name
C
C
10 CONTINUE
CALL INPNAME(ITF,NFLL)
C
C input data ( length in km )
C
C
CALL INPDATA(ITF,NFLL,XMIN,YMIN,DX,DY,NX,NY,TCXYZ,NPM,
& NTRM,IFB)
IF (IFLEQ.1) GOTO 10
C
C
C search maximum or minimum z-values of given area
C
C
CALL SEARCH(NX,NY,TCXYZ,NPM,ZMIN,ZMAX)
C
C select base model
C
C
CALL SELECT(ZMIN,ZMAX,IFB)
C
C
C select base plane
C
C
CALL SETBASE(ZBASE,ZMIN,ZMAX,IFB)

```

```

C
C
C input grid conditions of stations
C where gravity anomalies calculated
C
C
20 CONTINUE
CALL INPST(IRF,NFLL,XGMIN,YGMIN,DXG,DYG,NXG,NYG,SCYZ,
& NST,NSTM)
C
C
C initialize gravity data
C
C
30 CONTINUE
CALL INITGRV(GRAV,NSTM)
C
C
C R-designation of outside area
C
C
CALL SETOUT(XMIN,YMIN,DX,DY,NX,NY,TCYZ,TCXYZ,
& NTC,ZMS,RC,IFM)
C
C
C read output-file name
C
C
CALL OUTNAME(NFLO)
IF (IFMEQ.3) GOTO 40
C
C
C set outside points
C
C
CALL OUTSD(XMIN,YMIN,DX,DY,NX,NY,TCYZ,TCXYZ,
& NTC,ZMS,RC)
C
C
C main calculation using points of outside area
C
C
CALL OSCALC(SCYZ,NST,NSTM,TCYZ,NTC,GRAV,IFAIL,ZBASE,IFB)
IF (IFAIL.EQ.1) GOTO 50
C
C
C main calculation using outside area data
C
C
40 CONTINUE
CALL GRCALC(SCYZ,NST,NSTM,NX,NY,TCYZ,NPM,GRAV,IFAIL,ZBASE,IFB)
IF (IFAIL.EQ.1) GOTO 50
C
C
C output gravity data
C
C
C
CALL OUTDATA(NFLO,IRF,XGMIN,YGMIN,DXG,DYG,NXG,NYG,GRAV,
& SCYZ,NST)
C
C
C choose next job
C
C
50 CONTINUE
IF (IFAIL.EQ.1) THEN
WRITE(*,100)
100 FORMAT (1X,"CALCULATION ERROR !!!"/
& 5X,"A TRIANGLE HAS IDENTICAL POINTS."/
& 5X,"--- THIS CALCULATION IS STOPPED ---")
END IF
C
C
CALL JOBSEL(IFS)
GOTO (10,20,30) IFS
C
C
C STOP
C END
C
C
C
C+++++
C SUBROUTINE
C+++++
C
C
C
C
C select forms of input data and read input-file name
C
C
SUBROUTINE INPNAME(ITF,NFLL)
C
C
C IMPLICIT INTEGER (I-N)
C CHARACTER*32 NFLL
C
10 CONTINUE
WRITE(*,100)

```



```

        GOTO 10
    END IF
    DXG=(XGMAX-XGMIN)/DFLOAT(NXG-1)
    DYG=(YGMAX-YGMIN)/DFLOAT(NYG-1)
    DO 30 K=1,NXG
        DO 40 L=1,NYG
            SXYZ((K-1)*NYG+L,1)=DFLOAT(K-1)*DXG+XGMIN
            SXYZ((K-1)*NYG+L,2)=DFLOAT(L-1)*DYG+YGMIN
            SXYZ((K-1)*NYG+L,3)=DBLE(0.)
40      CONTINUE
30      CONTINUE
    END IF
C
C
    RETURN
    END
C
C
=====
C      initialize gravity data
=====
C
    SUBROUTINE INITGRV(GRAV,NSTM)
C
    IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
    DIMENSION GRAV(66049)
C
    DO 10 I=1,NSTM
        GRAV(I)=DBLE(0.)
10    CONTINUE
C
    RETURN
    END
C
C
=====
C      R-designation of outside area
=====
C
    SUBROUTINE SETOUT(XMIN,YMIN,DX,DY,NX,NY,TCYZ,TCXYZ,
&      NTC,ZMS,RC,IFM)
C
    IMPLICIT INTEGER (I-N)
    IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
    DIMENSION TCYZ(263163,3),TCXYZ(263163,3)
C
    RG=DSQRT(DFLOAT(NX-1)*DFLOAT(NX-1)*DX*DX
&      +DFLOAT(NY-1)*DFLOAT(NY-1)*DY*DY)/DBLE(2.)
    ZMS=DBLE(0.)
    DO 10 I=1,NX
        ZMS=ZMS+TCYZ((I-1)*NY+1,3)+TCYZ(I*NY,3)
10    CONTINUE
    DO 11 J=2,NY-1
        ZMS=ZMS+TCYZ(J,3)+TCYZ((NX-1)*NY+J,3)
11    CONTINUE
    NTC=(NX+NY-2)*2
    ZMS=ZMS/DFLOAT(NTC)
12    CONTINUE
    WRITE(*,100) RG
100   FORMAT(1X,"RADIUS OF GIVEN AREA          = ",F10.3)
    WRITE(*,110) ZMS
110   FORMAT(1X,"ZMEAN OF SURROUNDINGS WITH GIVEN AREA = ",F10.3)
C
    WRITE(*,200)
200   FORMAT(1X,"CALCULATING METHOD FOR OUTSIDE OF GIVEN AREA"/
&      5X,"DEFAULT.....1"/
&      5X,"DESIGNATION.....2"/
&      5X,"NO CALCULATION....3"/
&      14X,"SELECT NO. ",$)
    READ(*,*) IFM
    IF ((IFM.NE.1).AND.(IFM.NE.2).AND.(IFM.NE.3)) GOTO 12
    GOTO (30,40,90) IFM
C
C      default
C
30    CONTINUE
    RC=RG*DBLE(100.)
    GOTO 60
C
C      designation
C
40    CONTINUE
    WRITE(*,400)
400   FORMAT(1X,"DESIGNATION OF OUTSIDE AREA"/
&      5X,"SET R(R GIVEN)....1"/
&      5X,"SET R(Z MEAN)....2"/
&      14X,"SELECT NO. ",$)
    READ(*,*) IFG
    IF (IFG.EQ.1) THEN
        WRITE(*,410)
410   FORMAT(1X,"R(R GIVEN) = ",$)
        READ(*,*) RRATIO
        RC=RG*RRATIO
    ELSE
        IF (IFG.EQ.2) THEN
            WRITE(*,420)
420   FORMAT(1X,"R(Z MEAN) = ",$)
            READ(*,*) RRATIO
            RC=ZMS*RRATIO

```

```

        ELSE
            GOTO 40
        END IF
    END IF
C
C      Z-designation of outside surroundings
C
50    CONTINUE
    WRITE(*,500)
500   FORMAT(1X,"Z DESIGNATION OF OUTSIDE SURROUNDING"/
&      5X,"EQUAL TO Z HOMOLOGOUS POINTS ON SURROUNDINGS"/
&      14X, "OF GIVEN AREA....1"/
&      5X,"USE Z MEAN.....2"/
&      5X,"Z=0.....3"/
&      14X,"SELECT NO. ",$)
    READ(*,*) IFG
    IF ((IFG.NE.1).AND.(IFG.NE.2).AND.(IFG.NE.3)) GOTO 50
    GOTO (60,70,80) IFG
C
C      equal
C
60    CONTINUE
    DO 61 I=1,NX
        TCXYZ(I,3)=TCYZ((I-1)*NY+1,3)
61    CONTINUE
    DO 62 J=2,NY
        TCXYZ(NX+J-1,3)=TCYZ((NX-1)*NY+J,3)
62    CONTINUE
    DO 63 I=NX-1,1,-1
        TCXYZ(NX*2+NY-I-1,3)=TCYZ(I*NY,3)
63    CONTINUE
    DO 64 J=NY-1,2,-1
        TCXYZ(NTC-J+2,3)=TCYZ(J,3)
64    CONTINUE
    GOTO 90
C
C      mean
C
70    CONTINUE
    DO 71 I=1,NTC
        TCXYZ(I,3)=ZMS
71    CONTINUE
    GOTO 90
C
C      zero
C
80    CONTINUE
    DO 81 I=1,NTC
        TCXYZ(I,3)=DBLE(0.)
81    CONTINUE
C
90    CONTINUE
C
    RETURN
    END
C
C
=====
C      read output-file name
=====
C
    SUBROUTINE OUTNAME(NFLO)
C
    IMPLICIT INTEGER (I-N)
    CHARACTER*32 NFLO
C
    WRITE(*,100)
100   FORMAT(1X,"OUTPUT DATA FILE NAME : ",$)
    READ(*,*) NFLO
C
    RETURN
    END
C
C
=====
C      set outside points
=====
C
    SUBROUTINE OUTSD(XMIN,YMIN,DX,DY,NX,NY,TCYZ,TCXYZ,
&      NTC,ZMS,RC)
C
    IMPLICIT INTEGER (I-N)
    IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
    DIMENSION TCYZ(263163,3),TCXYZ(263163,3)
C
    WRITE(*,100)
100   FORMAT(1X,"NOW CALCULATION START !")
C
    XCNT=DFLOAT(NX-1)*DX/DBLE(2.)+XMIN
    YCNT=DFLOAT(NY-1)*DY/DBLE(2.)+YMIN
C
    HALFPI=DATAN(DBLE(1.))*DBLE(2.)
C
    DO 10 I=1,NX
        IF (TCYZ((I-1)*NY+1,1)-XCNT.EQ.DBLE(0.)) THEN
            THETA=HALFPI
        ELSE
            IF (XCNT.GT.TCYZ((I-1)*NY+1,1)) THEN
                THETA=DATAN(ABS(TCYZ((I-1)*NY+1,2)-YCNT)/

```

```

&          (TCXYZ(I-1)*NY+1,1)-XCNT)))
      ELSE
        THETA=HALFPI*2-DATAN(ABS((TCXYZ((I-1)*NY+1,2)-YCNT)/
&          (TCXYZ((I-1)*NY+1,1)-XCNT)))
      END IF
    END IF
    TCXYZ(I,1)=DCOS(THETA)*RC+XCNT
    TCXYZ(I,2)=DSIN(THETA)*RC+YCNT
    TCXYZ(NTC+I,1)=TCXYZ((I-1)*NY+1,1)
    TCXYZ(NTC+I,2)=TCXYZ((I-1)*NY+1,2)
    TCXYZ(NTC+I,3)=TCXYZ((I-1)*NY+1,3)
10  CONTINUE
    DO 20 J=2,NY
      THETA=DATAN((TCXYZ((NX-1)*NY+J,2)-YCNT)/
&          (TCXYZ((NX-1)*NY+J,1)-XCNT))
      TCXYZ(NX+J-1,1)=DCOS(THETA)*RC+XCNT
      TCXYZ(NX+J-1,2)=DSIN(THETA)*RC+YCNT
      TCXYZ(NTC+NX+J-1,1)=TCXYZ((NX-1)*NY+J,1)
      TCXYZ(NTC+NX+J-1,2)=TCXYZ((NX-1)*NY+J,2)
      TCXYZ(NTC+NX+J-1,3)=TCXYZ((NX-1)*NY+J,3)
20  CONTINUE
    DO 30 I=NX-1,1,-1
      IF (TCXYZ(NY*I,1)-XCNT.EQ.DBLE(0.)) THEN
        THETA=HALFPI
      ELSE
        IF (XCNT.LT.TCXYZ(I*NY,1)) THEN
          THETA=DATAN(ABS((TCXYZ(I*NY,2)-YCNT)/
&          (TCXYZ(I*NY,1)-XCNT)))
        ELSE
          THETA=HALFPI*2-DATAN(ABS((TCXYZ(I*NY,2)-YCNT)/
&          (TCXYZ(I*NY,1)-XCNT)))
        END IF
      END IF
      TCXYZ(NX*2+NY-I-1,1)=DCOS(THETA)*RC+XCNT
      TCXYZ(NX*2+NY-I-1,2)=DSIN(THETA)*RC+YCNT
      TCXYZ(NTC+NX*2+NY-I-1,1)=TCXYZ(NY*I,1)
      TCXYZ(NTC+NX*2+NY-I-1,2)=TCXYZ(NY*I,2)
      TCXYZ(NTC+NX*2+NY-I-1,3)=TCXYZ(NY*I,3)
30  CONTINUE
    DO 40 J=NY-1,2,-1
      THETA=DATAN((TCXYZ(J,2)-YCNT)/(TCXYZ(J,1)-XCNT))
      TCXYZ(NTC+J-2,1)=DCOS(THETA)*RC+XCNT
      TCXYZ(NTC+J-2,2)=DSIN(THETA)*RC+YCNT
      TCXYZ(NTC*2+J-2,1)=TCXYZ(J,1)
      TCXYZ(NTC*2+J-2,2)=TCXYZ(J,2)
      TCXYZ(NTC*2+J-2,3)=TCXYZ(J,3)
40  CONTINUE
C
      RETURN
    END
C
=====
C      main calculation using outside area data
=====
C
      SUBROUTINE OSCALC(SXYZ,NST,NSTM,TCXYZ,NTC,GRAV,IFAIL,ZBASE,IFB)
C
      IMPLICIT INTEGER (I-N)
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      DIMENSION SXYZ(66049,3),TCXYZ(263163,3),GRAV(66049)
C
      NTC2=NTC*2
C
      WRITE(*,100)
100  FORMAT (1X,'MAIN CALCULATION USING OUTSIDE AREA DATA')
C
      DO 10 I=1,NTC-1
        WRITE(*,200) I
200  FORMAT (1X,"I(OUTSIDE)="',I5)
        ZTMAX=-1.79D+308
        ZTMIN=1.79D+308
        KLMAX=0
        KLMIN=0
        DO 20 K=0,1
          DO 30 L=0,1
            IJL=I+K+L*NTC
            IF (ZTMAX.LT.TCXYZ(IJL,3)) THEN
              ZTMAX=TCXYZ(IJL,3)
              KLMAX=K+L
            END IF
            IF (ZTMIN.GT.TCXYZ(IJL,3)) THEN
              ZTMIN=TCXYZ(IJL,3)
              KLMIN=K+L
            END IF
          END IF
        CONTINUE
30  CONTINUE
        IJ1=I
        IJ2=I+1
        IJ3=I+NTC
        IJ4=I+NTC+1
        CALL TWOTRI(SXYZ,NST,NSTM,TCXYZ,NTC2,IJ1,IJ2,IJ3,IJ4,GRAV,IFAIL,
&          KLMAX,KLMIN,ZBASE,IFB)
        IF (IFAIL.EQ.1) GOTO 60
10  CONTINUE
C
      WRITE(*,300) NTC
c300  FORMAT (1X,"I(OUTSIDE)="',I5)

```



```

C      BERND LAHMEYER
C      INSTITUT FUER GEOPHYSIK
C      TU CLAUSTHAL
C      ARNOLD SOMMERFELDSTR. 1
C      D-3392 CLAUSTHAL-ZELLERFELD
C
C      (JANUARY 1988)
C
C INPUT:
C
C X(I),Y(I),Z(I)          COORDINATES OF I-TH POINT
C                          OF A TRIANGLE (IN KM)
C
C SXYZ(I,1),SXYZ(I,2),SXYZ(I,3)  COORDINATES OF I-TH STATION (KM)
C
C NST                     NUMBER OF STATIONS
C
C NSTM                    MAXIMUM NUMBER OF STATIONS
C
C TXYZ(I,1),TXYZ(I,2),TXYZ(I,3)  COORDINATES OF I-TH POINT FOR
C                          TRIANGLES (KM)
C
C NPM                     MAXIMUM NUMBER OF POINTS IN TXYZ
C
C IP1,IP2,IP3            POINTS OF TRIANGLES TO BE
C                          CALCULATED (COORDINATES IN TXYZ)
C
C
C OUTPUT:
C
C GRAV(I)                CALCULATED GRAVITY FOR DENSITY-
C                          CONTRAST 1 GR/CCM AT STATION I
C                          (MGAL)
C
C IFAIL                  .EQ.0 : NO ERROR DETECTED
C                          .EQ.1 : TRIANGLE HAS IDENTICAL
C                          POINTS
C
C      IMPLICIT INTEGER (I-K,M-N)
C      IMPLICIT LOGICAL (L)
C      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
C      DIMENSION X(5),Y(5),Z(5),SXYZ(66049,3),TXYZ(263163,3),GRAV(66049)
C      DIMENSION HFAKT(3),AST(4),BST(4),HFAKT2(4),ISIG(3)
C
C      IFAIL=0
C      VERGL=1.D-8
C      CONST=8.*ATAN(DBLE(1.))
C
C      X(1)=TXYZ(IP1,1)
C      X(2)=TXYZ(IP2,1)
C      X(3)=TXYZ(IP3,1)
C      Y(1)=TXYZ(IP1,2)
C      Y(2)=TXYZ(IP2,2)
C      Y(3)=TXYZ(IP3,2)
C      Z(1)=TXYZ(IP1,3)
C      Z(2)=TXYZ(IP2,3)
C      Z(3)=TXYZ(IP3,3)
C
C      DX21=X(2)-X(1)
C      DX31=X(3)-X(1)
C      DX32=X(3)-X(2)
C      DY21=Y(2)-Y(1)
C      DY31=Y(3)-Y(1)
C      DY32=Y(3)-Y(2)
C      DZ21=Z(2)-Z(1)
C      DZ31=Z(3)-Z(1)
C      DZ32=Z(3)-Z(2)
C
C      C ALL POINTS OF TRIANGLE DIFFERENT ?
C
C      IF((QS(DX21,DY21,DZ21).GT.VERGL).AND.
C        * (QS(DX31,DY31,DZ31).GT.VERGL).AND.
C        * (QS(DX32,DY32,DZ32).GT.VERGL)) GOTO 2
1  WRITE(*, '(A) ) ' TRIANGLE HAS IDENTICAL POINTS'
    write(*,*) ip1,ip2,ip3
    write(*,*) txyz(ip1,1),txyz(ip1,2),txyz(ip1,3)
    write(*,*) txyz(ip2,1),txyz(ip2,2),txyz(ip2,3)
    write(*,*) txyz(ip3,1),txyz(ip3,2),txyz(ip3,3)
    IFAIL=1
    RETURN
C
C 2  A=DY21*DZ31 - DZ21*DY31
    B=DZ21*DX31 - DX21*DZ31
    C=DX21*DY31 - DY21*DX31
    D=X(1)*A+Y(1)*B+Z(1)*C
C
C      HILF=QS(A,B,C)
C      COAL=A/HILF
C      COBE=B/HILF
C      COGA=C/HILF
C      IF (ABS(COGA-DBLE(1.))>.LT.VERGL) COGA=DBLE(1.0)
C      COGA2=COGA*DBLE(6.67)
C
C      P=-D/HILF
C
C      IF (ABS(COGA).LT.(VERGL)) GOTO 9999
C      IF (COGA.EQ.1.0) GOTO 8888
C
C      HILF=QS(DX21,DY21,DZ21)
C      ALP1=DX21/HILF
C      ALP2=DY21/HILF
C      ALP3=DZ21/HILF
C
C      BB=-(DX31*DX21+DY31*DY21+DZ31*DZ21)/
C      *(DX21*DX21+DY21*DY21+DZ21*DZ21)
C
C      PX=DX31+BB*DX21
C      PY=DY31+BB*DY21
C      PZ=DZ31+BB*DZ21
C
C      HILF=QS(PX,PY,PZ)
C      BET1=PX/HILF
C      BET2=PY/HILF
C      BET3=PZ/HILF
C
C      XH=X(1)
C      YH=Y(1)
C      X(1)=ALP1*X(1)+ALP2*Y(1)+ALP3*Z(1)
C      Y(1)=BET1*XH+BET2*YH+BET3*Z(1)
C
C      XH=X(2)
C      YH=Y(2)
C      X(2)=ALP1*X(2)+ALP2*Y(2)+ALP3*Z(2)
C      Y(2)=BET1*XH+BET2*YH+BET3*Z(2)
C
C      YH=Y(3)
C      XH=X(3)
C      X(3)=ALP1*X(3)+ALP2*Y(3)+ALP3*Z(3)
C      Y(3)=BET1*XH+BET2*YH+BET3*Z(3)
C
C 8888 CONTINUE
C
C      X(4)=X(1)
C      Y(4)=Y(1)
C      X(5)=X(2)
C      Y(5)=Y(2)
C
C      DO 11 J=1,3
C      AJ=X(J+1)-X(J)
C      BJ=Y(J+1)-Y(J)
C      HILF=DSQRT(AJ*AJ+BJ*BJ)
C      AST(J)=AJ/HILF
C      BST(J)=BJ/HILF
C      IF (ABS(AST(J)).LE.VERGL) GOTO 31
C      IF (ABS(BST(J)).LE.VERGL) GOTO 32
C      GOTO 33
31  AST(J)=DBLE(0.)
C      GOTO 33
32  BST(J)=DBLE(0.)
C      CONTINUE
11  CONTINUE
    AST(4)=AST(1)
    BST(4)=BST(1)
    DO 12 J=2,4
    HILF1=X(J)-X(J-1)
    HILF2=Y(J)-Y(J-1)
    HILF=DSQRT(HILF1*HILF1+HILF2*HILF2)
    ASST=HILF1/HILF
    BSST=HILF2/HILF
    HFAKT2(J)=DBLE(0.5)*(ACOS(AST(J)*ASST+BST(J)*BSST))/CONST
12  CONTINUE
    HFAKT2(1)=HFAKT2(4)
    DO 20 I=1,NST
C
C      C LOOP OVER STATIONS (I)
C
C      GGRAV=DBLE(0.)
C      REXS=SXYZ(I,1)
C      REYS=SXYZ(I,2)
C      REZS=SXYZ(I,3)
C
C      EN=DBLE(0.)
C      WIN=DBLE(1.)
C      ABST=COAL*REXS+COBE*REYS+COGA*REZS+P
C      ABST2=ABS(ABST)
C      ABST3=ABST*ABST
C
C      IF (COGA.EQ.1.0) GOTO 8881
C
C      HIXS=REXS
C      HIYS=REYS
C      REXS=ALP1*HIXS+ALP2*HIYS+ALP3*REZS
C      REYS=BET1*HIXS+BET2*HIYS+BET3*REZS
C
C 8881 CONTINUE
C
C      C LOOP OVER SIDES OF THE TRIANGLE (J)
C
C      DO 30 J=1,3
C
C      H=((REXS-X(J))*BST(J)-(REYS-Y(J))*AST(J))/
C      *DSQRT(BST(J)*BST(J)+AST(J)*AST(J))

```


Appendix 4. 重力計算プログラム trigrv.vbp (Visual Basic ver.6.0)

4.1. trigrv.vbp

```
Type=Exe
Form=trigrv.frm
Reference=*\YG\00020430-0000-0000-C000-000000000046\#2.0\#0#.Y.Y.Y.WWINNT3\ssystem32\
stdole2.tlb#OLE Automation
Object={F9043C88-F6F2-101A-A3C9-08002B2F49FB}\#1.2\#0; COMDLG32.OCX
Object={831FDD16-0C5C-11D2-A9FC-0000F8754DA1}\#2.0\#0; MSCOMCTL.OCX
Form=trigrv_mkgridinfo.frm
Module=Module1; trigrv.bas
Form=trigrv_outsidsetting.frm
IconForm="frmMain"
Startup="frmMain"
ExeName32="trigrv.exe"
Command32=""
Name="Project1"
HelpContextID="0"
CompatibleMode="0"
MajorVer=1
MinorVer=0
RevisionVer=0
AutoIncrementVer=0
ServerSupportFiles=0
VersionCompanyName="近畿職業能力開発大学校"
CompilationType=0
OptimizationType=0
FavorPentiumPro(tm)=0
CodeViewDebugInfo=0
NoAliasing=0
BoundsCheck=0
OverflowCheck=0
FIPointCheck=0
FDIVCheck=0
UnroundedFP=0
StartMode=0
Unattended=0
Retained=0
ThreadPerObject=0
MaxNumberOfTypeObjects=1

[MS Transaction Server]
AutoRefresh=1
```

4.2. trigrv.frm

```
VERSION 5.00
Object = "{F9043C88-F6F2-101A-A3C9-08002B2F49FB}\#1.2\#0"; "Comdlg32.ocx"
Object = "{831FDD16-0C5C-11D2-A9FC-0000F8754DA1}\#2.0\#0"; "MSCOMCTL.OCX"
Begin VB.Form frmMain
    Caption = "三角柱モデルを用いた重力計算 TriGrv"
    ClientHeight = 7050
    ClientLeft = 60
    ClientTop = 345
    ClientWidth = 10140
    LinkTopic = "Form1"
    ScaleHeight = 7050
    ScaleWidth = 10140
    StartUpPosition = 3 'Windows の既定値
    Begin MSCComDlg.CommonDialog cdlOutputGravity
        Left = 1320
        Top = 6600
        _ExtentX = 847
        _ExtentY = 847
        _Version = 393216
    End
    Begin MSCComDlg.CommonDialog cdlInputStaion
        Left = 720
        Top = 6600
        _ExtentX = 847
        _ExtentY = 847
        _Version = 393216
    End
    Begin VB.CommandButton cmdJobEnd
        Caption = "終了"
        Height = 495
        Left = 8280
        TabIndex = 26
        Top = 6480
        Width = 1815
    End
End
Begin VB.Frame fraMain
    Height = 5775
    Index = 2
    Left = 10320
    TabIndex = 3
    Top = 7560
    Width = 9975
    Begin MSCComctlLib.ProgressBar prgGravityCalculation
```

```
        Height = 375
        Left = 2760
        TabIndex = 68
        Top = 4320
        Width = 4935
        _ExtentX = 8705
        _ExtentY = 661
        _Version = 393216
        Appearance = 1
        Enabled = 0 'False
    End
    Begin VB.TextBox txtDensity
        Alignment = 2 '中央揃え
        Height = 375
        Left = 1440
        TabIndex = 44
        Text = "1"
        Top = 480
        Width = 1455
    End
    Begin VB.CommandButton cmdOutputFile
        Caption = "保存ファイル指定"
        Enabled = 0 'False
        Height = 495
        Left = 1080
        TabIndex = 42
        Top = 1320
        Width = 1695
    End
    Begin VB.CommandButton cmdGravityCalculation
        Caption = "重力計算／保存"
        Enabled = 0 'False
        Height = 495
        Left = 1080
        TabIndex = 5
        Top = 3240
        Width = 1695
    End
    Begin VB.Label lblGravityCalculation
        Caption = "計算状況"
        Enabled = 0 'False
        Height = 495
        Left = 1680
        TabIndex = 69
        Top = 4320
        Width = 855
    End
    Begin VB.Label lblOutputFile
        Caption = "*****"
        Enabled = 0 'False
        Height = 855
        Index = 2
        Left = 3120
        TabIndex = 47
        Top = 2040
        Width = 6615
    End
    Begin VB.Label lblOutputFile
        Caption = "保存ファイル名"
        Enabled = 0 'False
        Height = 375
        Index = 1
        Left = 1560
        TabIndex = 46
        Top = 2040
        Width = 1455
    End
    Begin VB.Label lblDensityUnit
        Caption = "[g/cm3]"
        Height = 375
        Left = 3000
        TabIndex = 45
        Top = 600
        Width = 735
    End
    Begin VB.Label lblDensity
        Caption = "密度差"
        Height = 375
        Left = 720
        TabIndex = 43
        Top = 480
        Width = 735
    End
End
Begin VB.Frame fraMain
    Height = 5775
    Index = 1
    Left = 10440
    TabIndex = 2
    Top = 480
    Width = 9975
    Begin VB.Frame fraOutSideSetting
        Caption = "構造モデル範囲外の処理"
        Height = 2175
        Left = 120
        TabIndex = 38
```

```

Top          = 3480
Width        = 2895
Begin VB.OptionButton optOutSideNoncalc
    Caption    = "計算しない"
    Height     = 375
    Left       = 240
    TabIndex   = 41
    Top        = 1440
    Width      = 1215
End
Begin VB.OptionButton optOutSideSetting
    Caption    = "指定"
    Height     = 375
    Left       = 240
    TabIndex   = 40
    Top        = 960
    Width      = 975
End
Begin VB.OptionButton optOutSideDefault
    Caption    = "既定値"
    Height     = 255
    Left       = 240
    TabIndex   = 39
    Top        = 480
    Value      = -1 'True
    Width      = 975
End
End
Begin VB.Frame fraStationCondition
    Caption    = "重力計算点の指定"
    Height     = 5415
    Left       = 3120
    TabIndex   = 34
    Top        = 240
    Width      = 6735
Begin VB.Frame fraMakeGridStation
    Height     = 2175
    Left       = 360
    TabIndex   = 53
    Top        = 720
    Width      = 6255
Begin VB.Label lblMakeGridStation
    Caption    = "*****"
    Enabled    = 0 'False
    Height     = 255
    Index      = 12
    Left       = 4920
    TabIndex   = 67
    Top        = 1200
    Width      = 1215
End
Begin VB.Label lblMakeGridStation
    Caption    = "Y方向間隔(dYg)"
    Enabled    = 0 'False
    Height     = 255
    Index      = 11
    Left       = 3360
    TabIndex   = 66
    Top        = 1200
    Width      = 1335
End
End
Begin VB.Label lblMakeGridStation
    Caption    = "*****"
    Enabled    = 0 'False
    Height     = 255
    Index      = 10
    Left       = 2160
    TabIndex   = 65
    Top        = 1200
    Width      = 1215
End
End
Begin VB.Label lblMakeGridStation
    Caption    = "X方向間隔(dXg)"
    Enabled    = 0 'False
    Height     = 255
    Index      = 9
    Left       = 360
    TabIndex   = 64
    Top        = 1200
    Width      = 1695
End
End
Begin VB.Label lblMakeGridStation
    Caption    = "***** × *****"
    Enabled    = 0 'False
    Height     = 255
    Index      = 14
    Left       = 2400
    TabIndex   = 63
    Top        = 1680
    Width      = 3735
End
End
Begin VB.Label lblMakeGridStation
    Caption    = "グリッド点数(nXg、nYg)"
    Enabled    = 0 'False
    Height     = 255
    Index      = 13

```

```

Left         = 360
TabIndex     = 62
Top          = 1680
Width        = 1935
End
Begin VB.Label lblMakeGridStation
    Caption    = "*****"
    Enabled    = 0 'False
    Height     = 255
    Index      = 6
    Left       = 2160
    TabIndex   = 61
    Top        = 720
    Width      = 1215
End
Begin VB.Label lblMakeGridStation
    Caption    = "*****"
    Enabled    = 0 'False
    Height     = 255
    Index      = 8
    Left       = 4920
    TabIndex   = 60
    Top        = 720
    Width      = 1215
End
End
Begin VB.Label lblMakeGridStation
    Caption    = "*****"
    Enabled    = 0 'False
    Height     = 255
    Index      = 4
    Left       = 4920
    TabIndex   = 59
    Top        = 240
    Width      = 1215
End
End
Begin VB.Label lblMakeGridStation
    Caption    = "最大値(Ymax)"
    Enabled    = 0 'False
    Height     = 255
    Index      = 7
    Left       = 3600
    TabIndex   = 58
    Top        = 720
    Width      = 1215
End
End
Begin VB.Label lblMakeGridStation
    Caption    = "最大値(Xmax)"
    Enabled    = 0 'False
    Height     = 255
    Index      = 3
    Left       = 3600
    TabIndex   = 57
    Top        = 240
    Width      = 1215
End
End
Begin VB.Label lblMakeGridStation
    Caption    = "*****"
    Enabled    = 0 'False
    Height     = 255
    Index      = 2
    Left       = 2160
    TabIndex   = 56
    Top        = 240
    Width      = 1215
End
End
Begin VB.Label lblMakeGridStation
    Caption    = "Y方向最小値(Ymin)"
    Enabled    = 0 'False
    Height     = 255
    Index      = 5
    Left       = 360
    TabIndex   = 55
    Top        = 720
    Width      = 1695
End
End
Begin VB.Label lblMakeGridStation
    Caption    = "X方向最小値(Xmin)"
    Enabled    = 0 'False
    Height     = 255
    Index      = 1
    Left       = 360
    TabIndex   = 54
    Top        = 240
    Width      = 1695
End
End
End
Begin VB.Frame fraLoadStationFile
    Height     = 1215
    Left       = 360
    TabIndex   = 48
    Top        = 3480
    Width      = 6255
Begin VB.Label lblLoadStationFile
    Caption    = "*****"
    Enabled    = 0 'False
    Height     = 255

```

```

        Index      = 4
        Left       = 1680
        TabIndex   = 52
        Top        = 840
        Width      = 615
    End
    Begin VB.Label lblLoadStationFile
        Caption     = "計算点数"
        Enabled     = 0 'False
        Height      = 255
        Index       = 3
        Left        = 360
        TabIndex    = 51
        Top         = 840
        Width       = 855
    End
    Begin VB.Label lblLoadStationFile
        Caption     = "*****"
        Enabled     = 0 'False
        Height      = 375
        Index       = 2
        Left        = 1680
        TabIndex    = 50
        Top         = 240
        Width       = 4455
    End
    End
    Begin VB.Label lblLoadStationFile
        Caption     = "読みファイル名"
        Enabled     = 0 'False
        Height      = 255
        Index       = 1
        Left        = 360
        TabIndex    = 49
        Top         = 240
        Width       = 1215
    End
    End
    Begin VB.CommandButton cmdStationSetting
        Caption     = "作成／読み込"
        Enabled     = 0 'False
        Height      = 375
        Left        = 240
        TabIndex    = 37
        Top         = 4920
        Width       = 1215
    End
    End
    Begin VB.OptionButton optLoadStationFile
        Caption     = "ファイルから読み込む"
        Height      = 375
        Left        = 240
        TabIndex    = 36
        Top         = 3120
        Width       = 1935
    End
    End
    Begin VB.OptionButton optMakeGridStation
        Caption     = "地表グリット点を作成"
        Height      = 375
        Left        = 360
        TabIndex    = 35
        Top         = 360
        Width       = 2295
    End
    End
    End
    Begin VB.Frame fraBasePlaneSetting
        Caption     = "基準面"
        Height      = 3135
        Left        = 120
        TabIndex    = 27
        Top         = 120
        Width       = 2895
    End
    Begin VB.OptionButton optZInfinity
        Caption     = "深さ無限大"
        Height      = 375
        Left        = 240
        TabIndex    = 32
        Top         = 2520
        Width       = 1935
    End
    End
    Begin VB.TextBox txtZInput
        Alignment   = 2 '中央揃え
        Height      = 270
        Left        = 720
        TabIndex    = 31
        Top         = 2040
        Width       = 1335
    End
    End
    Begin VB.OptionButton optZInput
        Caption     = "深さを入力"
        Height      = 375
        Left        = 240
        TabIndex    = 30
        Top         = 1560
        Width       = 1215
    End
    End
    Begin VB.OptionButton optZmin
        Caption     = "深さの最小値(Zmin)"
        Height      = 375
        Left        = 240
        TabIndex    = 29
        Top         = 960
        Width       = 1935
    End
    End
    End
    Begin VB.OptionButton optZmax
        Caption     = "深さの最大値(Zmax)"
        Height      = 375
        Left        = 240
        TabIndex    = 28
        Top         = 360
        Value       = -1 'True
        Width       = 1935
    End
    End
    Begin VB.Label lblZInputUnit
        Caption     = "[km]"
        Enabled     = 0 'False
        Height      = 255
        Left        = 2280
        TabIndex    = 33
        Top         = 2040
        Width       = 375
    End
    End
    End
    Begin VB.Frame fraMain
        Height      = 5775
        Index       = 0
        Left        = 0
        TabIndex    = 1
        Top         = 7560
        Width       = 9975
    End
    Begin VB.OptionButton optGridModel
        Caption     = "グリッドモデル"
        Height      = 495
        Left        = 360
        TabIndex    = 9
        Top         = 1320
        Width       = 1815
    End
    End
    Begin VB.OptionButton optTriangleModel
        Caption     = "三角柱モデル"
        Height      = 495
        Left        = 360
        TabIndex    = 8
        Top         = 840
        Value       = -1 'True
        Width       = 1695
    End
    End
    Begin VB.CommandButton cmdInputFile
        Caption     = "ファイル読み込"
        Height      = 375
        Left        = 120
        TabIndex    = 4
        Top         = 2040
        Width       = 1575
    End
    End
    Begin VB.Label lblInputFile
        Caption     = "***** × *****"
        Enabled     = 0 'False
        Height      = 255
        Index       = 16
        Left        = 3840
        TabIndex    = 25
        Top         = 5160
        Width       = 2055
    End
    End
    Begin VB.Label lblInputFile
        Caption     = "X, Y 点数(nX, nY)"
        Enabled     = 0 'False
        Height      = 255
        Index       = 15
        Left        = 2040
        TabIndex    = 24
        Top         = 5160
        Width       = 1575
    End
    End
    End
    Begin VB.Label lblInputFile
        Caption     = "*****"
        Enabled     = 0 'False
        Height      = 255
        Index       = 14
        Left        = 6840
        TabIndex    = 23
        Top         = 4680
        Width       = 1335
    End
    End
    End
    Begin VB.Label lblInputFile
        Caption     = "最大値(Zmax)"
        Enabled     = 0 'False
        Height      = 255
        Index       = 13
        Left        = 5520
        TabIndex    = 22
        Top         = 4680
    End

```

```

        Width          = 1095
    End
    Begin VB.Label lblInputFile
        Caption          = "*****"
        Enabled           = 0 'False
        Height            = 375
        Index             = 12
        Left              = 3840
        TabIndex          = 21
        Top               = 4680
        Width             = 1215
    End
    Begin VB.Label lblInputFile
        Caption          = "Z 方向最小値(Zmin)"
        Enabled           = 0 'False
        Height            = 255
        Index             = 11
        Left              = 2040
        TabIndex          = 20
        Top               = 4680
        Width             = 1575
    End
    Begin VB.Label lblInputFile
        Caption          = "*****"
        Enabled           = 0 'False
        Height            = 255
        Index             = 10
        Left              = 6840
        TabIndex          = 19
        Top               = 4200
        Width             = 1215
    End
    Begin VB.Label lblInputFile
        Caption          = "最大値(Ymax)"
        Enabled           = 0 'False
        Height            = 255
        Index             = 9
        Left              = 5520
        TabIndex          = 18
        Top               = 4200
        Width             = 1215
    End
    Begin VB.Label lblInputFile
        Caption          = "*****"
        Enabled           = 0 'False
        Height            = 255
        Index             = 8
        Left              = 3840
        TabIndex          = 17
        Top               = 4200
        Width             = 1335
    End
    Begin VB.Label lblInputFile
        Caption          = "*****"
        Enabled           = 0 'False
        Height            = 255
        Index             = 6
        Left              = 6840
        TabIndex          = 16
        Top               = 3720
        Width             = 1095
    End
    Begin VB.Label lblInputFile
        Caption          = "Y 方向最小値(Ymin)"
        Enabled           = 0 'False
        Height            = 255
        Index             = 7
        Left              = 2040
        TabIndex          = 15
        Top               = 4200
        Width             = 1695
    End
    Begin VB.Label lblInputFile
        Caption          = "最大値(Xmax)"
        Enabled           = 0 'False
        Height            = 255
        Index             = 5
        Left              = 5520
        TabIndex          = 14
        Top               = 3720
        Width             = 1335
    End
    Begin VB.Label lblInputFile
        Caption          = "*****"
        Enabled           = 0 'False
        Height            = 1335

```

```

        Index           = 2
        Left            = 3360
        TabIndex        = 12
        Top             = 2160
        Width           = 6375
    End
    Begin VB.Label lblInputFile
        Caption          = "*****"
        Enabled           = 0 'False
        Height            = 255
        Index             = 4
        Left              = 3840
        TabIndex          = 11
        Top               = 3720
        Width             = 1215
    End
    Begin VB.Label lblInputFile
        Caption          = "入力ファイル名"
        Enabled           = 0 'False
        Height            = 255
        Index             = 1
        Left              = 2040
        TabIndex          = 10
        Top               = 2160
        Width             = 1335
    End
    Begin VB.Label lblInputType
        Caption          = "形式"
        Height            = 255
        Left              = 240
        TabIndex          = 7
        Top               = 600
        Width             = 615
    End
    Begin VB.Label lblTitle
        Caption          = "入力ファイル(地下構造モデル [単位:km])"
        Height            = 255
        Left              = 120
        TabIndex          = 6
        Top               = 240
        Width             = 3495
    End
    End
    Begin MSComctlLib.TabStrip tabMain
        Height           = 6255
        Left             = 120
        TabIndex          = 0
        Top              = 120
        Width            = 9975
        _ExtentX          = 17595
        _ExtentY          = 11033
        _Version          = 393216
        BeginProperty Tabs {1E9B6598-857C-11D1-B16A-00C0F0283628}
            NumTabs        = 3
            BeginProperty Tab1 {1E9B659A-857C-11D1-B16A-00C0F0283628}
                Caption      = "基盤モデル読み"
                ImageVarType = 2
            EndProperty
            BeginProperty Tab2 {1E9B659A-857C-11D1-B16A-00C0F0283628}
                Caption      = "条件設定／重力計算"
                ImageVarType = 2
            EndProperty
            BeginProperty Tab3 {1E9B659A-857C-11D1-B16A-00C0F0283628}
                Caption      = "計算結果書出"
                ImageVarType = 2
            EndProperty
        EndProperty
    End
    Begin MSCoMDlg.CommonDialog cdlInputPoint
        Left          = 120
        Top           = 6600
        _ExtentX       = 847
        _ExtentY       = 847
        _Version        = 393216
    End
    End
    Attribute VB_Name = "frmMain"
    Attribute VB_GlobalNameSpace = False
    Attribute VB_Creatable = False
    Attribute VB_PredeclaredId = True
    Attribute VB_Exposed = False
    'TriGrv Main Procedure 三角柱モデルを用いた重力計算

```

```

Option Base 1
Option Explicit

Dim tXYZ() As Double: '地下構造モデル点位置データ
Dim teXYZ() As Double: '地下構造外周部位置データ
Dim sXYZ() As Double: '重力計算点位置
Dim grav() As Double: '重力計算値
Dim xMin As Double: '地下構造モデルのX最小値
Dim yMin As Double: '地下構造モデルのY最小値
Dim zMin As Double: '地下構造モデルのZ最小値
Dim zMax As Double: '地下構造モデルのZ最大値
Dim dX As Double: '地下構造モデルのX間隔

```

```

Dim dY As Double: '地下構造モデルの Y 間隔
Dim nX As Long: '地下構造モデルの X 格子数
Dim nY As Long: '地下構造モデルの Y 格子数
Dim zBase As Double: '重力計算の基準面
Dim nTC As Long: '地下構造外部部のデータ点数
Dim nST As Long: '重力計算点数
Dim nSTm As Long: '重力計算可能最大点数(NEWTON との互換性を保つための変数)
Dim nPm As Long: '地下構造モデルのデータ点数
Dim klMax As Long: '四角柱最深点の番号
Dim klMin As Long: '四角柱最浅点の番号
Dim ij1 As Long: '四角柱頂点の番号(0,0)
Dim ij2 As Long: '四角柱頂点の番号(0,1)
Dim ij3 As Long: '四角柱頂点の番号(1,0)
Dim ij4 As Long: '四角柱頂点の番号(1,1)
Dim iTf As Long: '入力ファイル形式のフラグ
Dim iFb As Long: '基準面形式のフラグ
Dim iRf As Long: '重力計算点形式のフラグ
Dim iMf As Long: '構造モデル範囲外処理のフラグ
Dim iFail As Long: 'DLL 計算時のエラーフラグ

```

```
Private Sub cmdInputFile_Click(): 'ファイル読込
```

```

Dim i As Long
Dim j As Long

'input data ( length in km )

cdlInputPoint.Filter = "データファイル (*.dat)*.dat|すべてのファイル (*.*)*.*"
cdlInputPoint.ShowOpen
lblInputFile(1).Enabled = True
lblInputFile(2).Enabled = True
lblInputFile(2).Caption = cdlInputPoint.FileName
Open cdlInputPoint.FileName For Input As #1
Input #1, nX, nY, xMin, yMin, dX, dY
nPm = nX * nY
ReDim tXYZ(nPm, 3)
If (iTf = 2) Then
    'グリッドモデル
    For i = 1 To nX
        For j = 1 To nY
            Input #1, tXYZ(i - 1) * nY + j, 3)
        Next j
    Next i
    For i = 1 To nX
        For j = 1 To nY
            tXYZ(i - 1) * nY + j, 1) = xMin + CDbl(i - 1) * dX
            tXYZ(i - 1) * nY + j, 2) = yMin + CDbl(j - 1) * dY
        Next j
    Next i
Else
    '三角柱モデル
    For i = 1 To nX
        For j = 1 To nY
            Input #1, tXYZ(i - 1) * nY + j, 1), _
                tXYZ(i - 1) * nY + j, 2), _
                tXYZ(i - 1) * nY + j, 3)
        Next j
    Next i
End If
Close #1

```

```
'searches maximum or minimum values of given area
```

```

For i = 3 To 16
    lblInputFile(i).Enabled = True
Next i
lblInputFile(4) = tXYZ(1, 1)
lblInputFile(6) = tXYZ(nPm, 1)
lblInputFile(8) = tXYZ(1, 2)
lblInputFile(10) = tXYZ(nPm, 2)
zMin = 1.79E+308
zMax = -1.79E+308
For i = 1 To nPm
    If (zMax < tXYZ(i, 3)) Then zMax = tXYZ(i, 3)
    If (zMin > tXYZ(i, 3)) Then zMin = tXYZ(i, 3)
Next i
lblInputFile(12) = zMin
lblInputFile(14) = zMax
lblInputFile(16) = nX & "x" & nY
zBase = zMax

```

```
'parameter setting for R-designation of outside area
```

```

rG = Sqr(CDbl(nX - 1) * CDbl(nX - 1) * dX * dX + CDbl(nY - 1) * CDbl(nY - 1) * dY * dY) /
2#
zMS = 0#
For i = 1 To nX
    zMS = zMS + tXYZ(i - 1) * nY + 1, 3) + tXYZ(i * nY, 3)
Next i
For j = 2 To nY - 1
    zMS = zMS + tXYZ(j, 3) + tXYZ(nX - 1) * nY + j, 3)
Next j
nTC = (nX + nY - 2) * 2
zMS = zMS / CDbl(nTC)

```

```

rC = rG * 100#
End Sub

```

```
Private Sub cmdStationSetting_Click(): '重力計算点 作成／読込
```

```

Dim i As Long
Dim j As Long
Dim k As Long
Dim l As Long

If iRf = 2 Then
    'ファイルから読み込む
    cdlInputStaion.Filter = "データファイル (*.dat)*.dat|すべてのファイル (*.*)*.*"
    cdlInputStaion.ShowOpen
    Open cdlInputStaion.FileName For Input As #2
    Input #2, nST
    ReDim sXYZ(nST, 3)
    For i = 1 To nST
        Input #2, sXYZ(i, 1), sXYZ(i, 2), sXYZ(i, 3)
    Next i
    Close #2
    lblLoadStationFile(2).Caption = cdlInputStaion.FileName
    lblLoadStationFile(4).Caption = nST
    For i = 1 To 4
        lblLoadStationFile(i).Enabled = True
    Next i
    If iMf < 0 Then cmdOutputFile.Enabled = True
Else
    '地表グリッド点を作成
    frmStationSetting.Show 1
    nST = nXg * nYg
    ReDim sXYZ(nST, 3)
    For k = 1 To nXg
        For l = 1 To nYg
            sXYZ((k - 1) * nYg + l, 1) = CDbl(k - 1) * dXg + xGmin
            sXYZ((k - 1) * nYg + l, 2) = CDbl(l - 1) * dYg + yGmin
            sXYZ((k - 1) * nYg + l, 3) = 0#
        Next l
    Next k
    lblMakeGridStation(2).Caption = xGmin
    lblMakeGridStation(4).Caption = xGmax
    lblMakeGridStation(6).Caption = yGmin
    lblMakeGridStation(8).Caption = yGmax
    lblMakeGridStation(10).Caption = dXg
    lblMakeGridStation(12).Caption = dYg
    lblMakeGridStation(14).Caption = nXg & "x" & nYg
    If (xGmax <= xGmin) Or (yGmax <= yGmin) Or (nXg <= 1) Or (nYg <= 1) Then
        For i = 1 To 14
            lblMakeGridStation(i).Enabled = False
        Next i
        cmdOutputFile.Enabled = False
        MsgBox ("グリッド点作成の条件が不適切です")
    Else
        For i = 1 To 14
            lblMakeGridStation(i).Enabled = True
        Next i
        If iMf < 0 Then cmdOutputFile.Enabled = True
    End If
End If
End Sub

```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdOutputFile_Click(): '保存ファイル指定
```

```

Dim i As Long

'output data ( length in km )

cdlOutputGravity.Filter = "データファイル (*.dat)*.dat|すべてのファイル (*.*)*.*"
cdlOutputGravity.ShowOpen
For i = 1 To 2
    lblOutputFile(i).Enabled = True
Next i
lblOutputFile(2).Caption = cdlOutputGravity.FileName

cmdGravityCalculation.Enabled = True
lblGravityCalculation.Enabled = True

```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdGravityCalculation_Click(): '重力計算／保存
```

```

Dim density As Double
Dim i As Long
Dim k As Long
Dim l As Long

prgGravityCalculation.Enabled = True

nSTm = nST
ReDim grav(nSTm)
For i = 1 To nSTm
    grav(i) = 0#
Next i

If iMf < 3 Then
    Call OutSd: 'set outside points

```

```

        Call OsCalc: 'main calculation using outside area data
        If(iFail = 1) Then Exit Sub
    End If
    Call GrCalc: 'main calculation using given grid data

    If(iFail = 1) Then Exit Sub

    density = Val(txtDensity.Text)

    Open cdlOutputGravity.FileName For Output As #3
    If iRf = 1 Then
        '重力計算点を地表グリッド点として作成したとき
        Print #3, nXg, nYg, xGmin, yGmin, dXg, dYg
        For k = 1 To nXg
            For l = 1 To nYg
                Print #3, grav((k - 1) * nYg + l) * density
            Next l
        Next k
    Else
        '重力計算点をファイルから読み込んだとき
        Print #3, nST
        For i = 1 To nST
            Print #3, sXYZ(i, 1), sXYZ(i, 2), sXYZ(i, 3), grav(i) * density
        Next i
    End If
    Close #3

    MsgBox ("重力計算／保存が終了しました。条件を変えて新しい計算を行うときは保存ファイル名を指定してください。")
    prgGravityCalculation.Value = 0
    prgGravityCalculation.Enabled = False
    cmdGravityCalculation.Enabled = False
    lblGravityCalculation.Enabled = False

End Sub

Private Sub cmdJobEnd_Click(): 終了

    Unload frmMain

End Sub

Private Sub Form_Load(): '初期設定

    Dim i As Long

    For i = 0 To 2
        With fraMain()
            .Move tabMain.ClientLeft, _
                tabMain.ClientTop, _
                tabMain.ClientWidth, _
                tabMain.ClientHeight
        End With
    Next i
    fraMain(0).ZOrder 0

    iTf = 1: '入力ファイル形式のフラグ
    iFb = 1: '基準面形式のフラグ
    iRf = 0: '地表計算点形式のフラグ
    iMf = 1: '構造モデル範囲外処理のフラグ

End Sub

Private Sub optTriangleModel_Click(): '地下構造入力で三角柱モデルを選択

    optGridModel.Value = False
    iTf = 1

End Sub

Private Sub optOutsideSetting_Click(): '構造モデル範囲外の指定を選択

    optOutsideDefault.Value = False
    optOutsideNoncalc.Value = False
    frmOutsideSetting.Show 1
    iMf = 2
    If iRf < 0 Then cmdOutputFile.Enabled = True

End Sub

Private Sub optOutsideNoncalc_Click(): '構造モデル範囲外は計算しないを選択

    optOutsideDefault.Value = False
    optOutsideSetting.Value = False
    iMf = 3
    If iRf < 0 Then cmdOutputFile.Enabled = True

End Sub

Private Sub optGridModel_Click(): '地下構造入力でグリッドモデルを選択

    optTriangleModel.Value = False
    iTf = 2

End Sub

```

```

Private Sub optZmax_Click(): '基準面に深さの最大値を選択

```

```

    optZmin.Value = False
    optZinput.Value = False
    optZinfinity.Value = False
    txtZinput.Enabled = False
    lblZinputUnit.Enabled = False
    iFb = 1
    zBase = zMax

```

```

End Sub

```

```

Private Sub optZmin_Click(): '基準面に深さの最小値を選択

```

```

    optZmax.Value = False
    optZinput.Value = False
    optZinfinity.Value = False
    txtZinput.Enabled = False
    lblZinputUnit.Enabled = False
    iFb = 2
    zBase = zMin

```

```

End Sub

```

```

Private Sub optZinput_Click(): '基準面に深さ入力を選択

```

```

    optZmax.Value = False
    optZmin.Value = False
    optZinfinity.Value = False
    txtZinput.Enabled = True
    lblZinputUnit.Enabled = True
    iFb = 3

```

```

End Sub

```

```

Private Sub optZinfinity_Click(): '基準面に深さ無限大を選択

```

```

    optZmax.Value = False
    optZmin.Value = False
    optZinput.Value = False
    txtZinput.Enabled = False
    lblZinputUnit.Enabled = False
    iFb = 4

```

```

End Sub

```

```

Private Sub optMakeGridStation_Click(): '重力計算点指定でグリッド点作成を選択

```

```

    optLoadStationFile.Value = False
    fraMakeGridStation.Enabled = True
    fraLoadStationFile.Enabled = False
    cmdStationSetting.Enabled = True
    iRf = 1

```

```

End Sub

```

```

Private Sub optLoadStationFile_Click(): '重力計算点指定でファイル読み込を選択

```

```

    optMakeGridStation.Value = False
    fraMakeGridStation.Enabled = False
    fraLoadStationFile.Enabled = True
    cmdStationSetting.Enabled = True
    iRf = 2

```

```

End Sub

```

```

Private Sub optOutsideDefault_Click(): '構造モデル範囲外は既定値を選択

```

```

    optOutsideSetting.Value = False
    optOutsideNoncalc.Value = False

```

```

    iMf = 1
    If iRf < 0 Then cmdOutputFile.Enabled = True

```

```

End Sub

```

```

Private Sub tabMain_Click(): '重力計算／保存の状況表示

```

```

    fraMain(tabMain.SelectedItem.Index - 1).ZOrder 0

```

```

End Sub

```

```

Private Sub optZinput_Change(): '基準面の深さ入力

```

```

    zBase = Val(txtZinput.Text)

```

```

End Sub

```

```

Private Sub OutSd(): 'set outside points

```

```

    Dim halfPi As Double
    Dim xCnt As Double

```



```

Dim yCnt As Double
Dim theta As Double
Dim i As Long
Dim j As Long

ReDim tcXYZ(nTC * 2, 3)
Select Case iMf: '構造モデル外周部の処理
    Case 1: '規定値
        For i = 1 To nX
            tcXYZ(i, 3) = tXYZ(i - 1) * nY + 1, 3)
        Next i
        For j = 2 To nY
            tcXYZ(nX + j - 1, 3) = tXYZ((nX - 1) * nY + j, 3)
        Next j
        For i = nX - 1 To 1 Step -1
            tcXYZ(nX * 2 + nY - i - 1, 3) = tXYZ(i * nY, 3)
        Next i
        For j = nY - 1 To 2 Step -1
            tcXYZ(nTC - j + 2, 3) = tXYZ(j, 3)
        Next j
    Case 2: '指定
        Select Case iFig_Z: '外周部外縁の深さ
            Case 1: '地下構造モデル外縁と同じ
                For i = 1 To nX
                    tcXYZ(i, 3) = tXYZ(i - 1) * nY + 1, 3)
                Next i
                For j = 2 To nY
                    tcXYZ(nX + j - 1, 3) = tXYZ((nX - 1) * nY + j, 3)
                Next j
                For i = nX - 1 To 1 Step -1
                    tcXYZ(nX * 2 + nY - i - 1, 3) = tXYZ(i * nY, 3)
                Next i
                For j = nY - 1 To 2 Step -1
                    tcXYZ(nTC - j + 2, 3) = tXYZ(j, 3)
                Next j
            Case 2: '地下構造モデル外縁の平均の深さ
                For i = 1 To nTC
                    tcXYZ(i, 3) = zMS
                Next i
            Case 3: '地表
                For i = 1 To nTC
                    tcXYZ(i, 3) = 0#
                Next i
        End Select
    End Select
End Select

xCnt = CDbl(nX - 1) * dX / 2# + xMin
yCnt = CDbl(nY - 1) * dY / 2# + yMin
halfPi = Atn(1#) * 2#

For i = 1 To nX
    If (tXYZ(i - 1) * nY + 1, 1) - xCnt) = 0# Then
        theta = halfPi
    Else
        If xCnt > tXYZ(i - 1) * nY + 1, 1) Then
            theta = Atn(Abs((tXYZ(i - 1) * nY + 1, 2) - yCnt) / _
                (tXYZ(i - 1) * nY + 1, 1) - xCnt)))
        Else
            theta = halfPi * 2# - Atn(Abs((tXYZ(i - 1) * nY + 1, 2) - yCnt) / _
                (tXYZ(i - 1) * nY + 1, 1) - xCnt)))
        End If
    End If
    tcXYZ(i, 1) = -Cos(theta) * rC + xCnt
    tcXYZ(i, 2) = -Sin(theta) * rC + yCnt
    tcXYZ(nTC + i, 1) = tXYZ(i - 1) * nY + 1, 1)
    tcXYZ(nTC + i, 2) = tXYZ(i - 1) * nY + 1, 2)
    tcXYZ(nTC + i, 3) = tXYZ(i - 1) * nY + 1, 3)
Next i

For j = 2 To nY
    theta = Atn((tXYZ(nX - 1) * nY + j, 2) - yCnt) / _
        (tXYZ(nX - 1) * nY + j, 1) - xCnt))
    tcXYZ(nX + j - 1, 1) = Cos(theta) * rC + xCnt
    tcXYZ(nX + j - 1, 2) = Sin(theta) * rC + yCnt
    tcXYZ(nTC + nX + j - 1, 1) = tXYZ((nX - 1) * nY + j, 1)
    tcXYZ(nTC + nX + j - 1, 2) = tXYZ((nX - 1) * nY + j, 2)
    tcXYZ(nTC + nX + j - 1, 3) = tXYZ((nX - 1) * nY + j, 3)
Next j

For i = nX - 1 To 1 Step -1
    If (tXYZ(i * nY, 1) - xCnt) = 0# Then
        theta = halfPi
    Else
        If xCnt < tXYZ(i * nY, 1) Then
            theta = Atn(Abs((tXYZ(i * nY, 2) - yCnt) / _
                (tXYZ(i * nY, 1) - xCnt)))
        Else
            theta = halfPi * 2# - Atn(Abs((tXYZ(i * nY, 2) - yCnt) / _
                (tXYZ(i * nY, 1) - xCnt)))
        End If
    End If
    tcXYZ(nX * 2 + nY - i - 1, 1) = Cos(theta) * rC + xCnt
    tcXYZ(nX * 2 + nY - i - 1, 2) = Sin(theta) * rC + yCnt
    tcXYZ(nTC + nX * 2 + nY - i - 1, 1) = tXYZ(nY * i, 1)
    tcXYZ(nTC + nX * 2 + nY - i - 1, 2) = tXYZ(nY * i, 2)
    tcXYZ(nTC + nX * 2 + nY - i - 1, 3) = tXYZ(nY * i, 3)
Next i

Private Sub GrCalc(): 'main calculation using given grid data
    Dim zTmax As Double
    Dim zTmin As Double
    Dim i As Long
    Dim j As Long
    Dim l As Long
    Dim k As Long
    Dim jkl As Long

    For i = 1 To nTC - 1
        zTmax = -1.79E+308
        zTmin = 1.79E+308
        klMax = 0
        klMin = 0
        For k = 0 To 1
            For l = 0 To 1
                jkl = i + k + 1 * nTC
                If (zTmax < tXYZ(jkl, 3)) Then
                    zTmax = tXYZ(jkl, 3)
                    klMax = k + 1
                End If
                If (zTmin > tXYZ(jkl, 3)) Then
                    zTmin = tXYZ(jkl, 3)
                    klMin = k + 1
                End If
            Next l
        Next k
        ij1 = i
        ij2 = i + 1
        ij3 = i + nTC
        ij4 = i + nTC + 1
        Call TwoTri(tXYZ(), nTC * 2)
        If (iFail = 1) Then
            Exit Sub
        End If
    Next i

    zTmax = -1.79E+308
    zTmin = 1.79E+308
    klMax = 0
    klMin = 0
    For k = 0 To 1
        For l = 0 To 1
            jkl = nTC * (l + 1) - k * (nTC - 1)
            If (zTmax < tXYZ(jkl, 3)) Then
                zTmax = tXYZ(jkl, 3)
                klMax = k + 1
            End If
            If (zTmin > tXYZ(jkl, 3)) Then
                zTmin = tXYZ(jkl, 3)
                klMin = k + 1
            End If
        Next l
    Next k
    ij1 = nTC
    ij2 = 1
    ij3 = nTC * 2
    ij4 = nTC + 1
    Call TwoTri(tXYZ(), nTC * 2)
    If (iFail = 1) Then
        Exit Sub
    End If
End Sub

Private Sub GrCalc(): 'main calculation using outside area data
    Dim zTmax As Double
    Dim zTmin As Double
    Dim i As Long
    Dim j As Long
    Dim l As Long
    Dim k As Long
    Dim jkl As Long

    For i = 1 To nTC - 1
        For j = 1 To nY - 1
            zTmax = -1.79E+308
            zTmin = 1.79E+308
            klMax = 0
            klMin = 0
            For k = 0 To 1
                For l = 0 To 1
                    jkl = i + k + 1 * nTC
                    If (zTmax < tXYZ(jkl, 3)) Then
                        zTmax = tXYZ(jkl, 3)
                        klMax = k + 1
                    End If
                    If (zTmin > tXYZ(jkl, 3)) Then
                        zTmin = tXYZ(jkl, 3)
                        klMin = k + 1
                    End If
                Next l
            Next k
            ij1 = i
            ij2 = i + 1
            ij3 = i + nTC
            ij4 = i + nTC + 1
            Call TwoTri(tXYZ(), nTC * 2)
            If (iFail = 1) Then
                Exit Sub
            End If
        Next j
    Next i
End Sub

prgGravityCalculation.Min = 0
prgGravityCalculation.Max = nX - 1
prgGravityCalculation.Value = 0

For i = 1 To nX - 1
    For j = 1 To nY - 1
        zTmax = -1.79E+308
        zTmin = 1.79E+308
        klMax = 0
        klMin = 0
        For k = 0 To 1
            For l = 0 To 1
                jkl = i + k + 1 * nTC
                If (zTmax < tXYZ(jkl, 3)) Then
                    zTmax = tXYZ(jkl, 3)
                    klMax = k + 1
                End If
                If (zTmin > tXYZ(jkl, 3)) Then
                    zTmin = tXYZ(jkl, 3)
                    klMin = k + 1
                End If
            Next l
        Next k
        ij1 = i
        ij2 = i + 1
        ij3 = i + nTC
        ij4 = i + nTC + 1
        Call TwoTri(tXYZ(), nTC * 2)
        If (iFail = 1) Then
            Exit Sub
        End If
    Next j
End Sub

```

```

zTmin = 1.79E+308
klMax = 0
klMin = 0
For k = 0 To 1
  For l = 0 To 1
    ijl = (i + k - 1) * nY + j + 1
    If (zTmax < tXYZ(ijl, 3)) Then
      zTmax = tXYZ(ijl, 3)
      klMax = k + 1
    End If
    If (zTmin > tXYZ(ijl, 3)) Then
      zTmin = tXYZ(ijl, 3)
      klMin = k + 1
    End If
  Next l
Next k
Next j
prgGravityCalculation.Value = i
Next i

End Sub

Private Sub TwoTri(tXYZ() As Double, nTm As Long): 'partition a quadrangle and calculating gravity effect
' This procedure makes use of the next FORTRAN subroutine subprogram transformed into a VB DLL.
-
C*****
C  CALCULATION THE GRAVITY EFFECT IN MGAL OF THE TRIANGLE _
C    DEFINED BY THE POINTS "IP1","IP2" AND "IP3"
C*****
C  SUBROUTINE NEWTON(sXYZ, nST, nSTm, tXYZ, nPm, iP1, iP2, iP3, grav, iFail) _
C _
C SUBROUTINE "NEWTON" CALCULATES THE GRAVITY EFFECT IN MGAL OF
THE _
C TRIANGLE DEFINED BY THE POINTS "IP1","IP2" AND "IP3" AND THE _
C COORDINATES IN "TXYZ", FOR ALL STATIONS IN "SXYZ". THE ASSUMED
DENSITY _
C CONTRAST IS 1 GR/CCM. _
C _
C AUTHORS: HARS-JUERGEN GOETZE _
C (JANUARY 1988)

Dim nRet As Long
Dim tZ1 As Double
Dim tZ2 As Double
Dim tZ3 As Double
Dim tZ4 As Double
Dim s1 As Double
Dim s2 As Double
Dim s3 As Double
Dim s4 As Double

If ((klMax + klMin) = 2) Then
  If (klMax = 1) Then
    nRet = Newton_(sXYZ(1, 1), nST, nSTm, tXYZ(1, 1), nTm, ij1, ij4, ij2, grav(1), iFail)
    If (iFail = 1) Then
      MsgBox ("重力計算時にエラーが発生しました。地下構造モデル点が重複しています。")
    End Sub
  End If
  nRet = Newton_(sXYZ(1, 1), nST, nSTm, tXYZ(1, 1), nTm, ij1, ij3, ij4, grav(1), iFail)
  If (iFail = 1) Then
    MsgBox ("重力計算時にエラーが発生しました。地下構造モデル点が重複しています。")
  End Sub
End If
If (iFb = 4) Then Exit Sub
tZ1 = tXYZ(ij1, 3)
tZ2 = tXYZ(ij2, 3)
tZ3 = tXYZ(ij3, 3)
tZ4 = tXYZ(ij4, 3)
tXYZ(ij1, 3) = zBase
tXYZ(ij2, 3) = zBase
tXYZ(ij3, 3) = zBase
tXYZ(ij4, 3) = zBase
nRet = Newton_(sXYZ(1, 1), nST, nSTm, tXYZ(1, 1), nTm, ij1, ij2, ij4, grav(1), iFail)
If (iFail = 1) Then
  MsgBox ("重力計算時にエラーが発生しました。地下構造モデル点が重複しています。")
End Sub
nRet = Newton_(sXYZ(1, 1), nST, nSTm, tXYZ(1, 1), nTm, ij1, ij4, ij3, grav(1), iFail)
If (iFail = 1) Then
  MsgBox ("重力計算時にエラーが発生しました。地下構造モデル点が重複しています。")
End Sub
tXYZ(ij1, 3) = tZ1

```

```

tXYZ(ij2, 3) = tZ2
tXYZ(ij3, 3) = tZ3
tXYZ(ij4, 3) = tZ4
Else
  nRet = Newton_(sXYZ(1, 1), nST, nSTm, tXYZ(1, 1), nTm, ij1, ij3, ij2, grav(1), iFail)
  If (iFail = 1) Then
    MsgBox ("重力計算時にエラーが発生しました。地下構造モデル点が重複しています。")
  End Sub
End If
nRet = Newton_(sXYZ(1, 1), nST, nSTm, tXYZ(1, 1), nTm, ij4, ij2, ij3, grav(1), iFail)
If (iFail = 1) Then
  MsgBox ("重力計算時にエラーが発生しました。地下構造モデル点が重複しています。")
End Sub
Exit Sub
End If
If (iFb = 4) Then Exit Sub
tZ1 = tXYZ(ij1, 3)
tZ2 = tXYZ(ij2, 3)
tZ3 = tXYZ(ij3, 3)
tZ4 = tXYZ(ij4, 3)
tXYZ(ij1, 3) = zBase
tXYZ(ij2, 3) = zBase
tXYZ(ij3, 3) = zBase
tXYZ(ij4, 3) = zBase
nRet = Newton_(sXYZ(1, 1), nST, nSTm, tXYZ(1, 1), nTm, ij1, ij2, ij3, grav(1), iFail)
If (iFail = 1) Then
  MsgBox ("重力計算時にエラーが発生しました。地下構造モデル点が重複しています。")
End Sub
Exit Sub
End If
If (iFb = 4) Then Exit Sub
tZ1 = tXYZ(ij1, 3)
tXYZ(ij2, 3) = tZ2
tXYZ(ij3, 3) = tZ3
tXYZ(ij4, 3) = tZ4
Else
  s1 = TS(tXYZ(ij1, 1), tXYZ(ij1, 2), tXYZ(ij1, 3), _
    tXYZ(ij2, 1), tXYZ(ij2, 2), tXYZ(ij2, 3), _
    tXYZ(ij4, 1), tXYZ(ij4, 2), tXYZ(ij4, 3))
  s2 = TS(tXYZ(ij1, 1), tXYZ(ij1, 2), tXYZ(ij1, 3), _
    tXYZ(ij3, 1), tXYZ(ij3, 2), tXYZ(ij3, 3), _
    tXYZ(ij4, 1), tXYZ(ij4, 2), tXYZ(ij4, 3))
  s3 = TS(tXYZ(ij1, 1), tXYZ(ij1, 2), tXYZ(ij1, 3), _
    tXYZ(ij2, 1), tXYZ(ij2, 2), tXYZ(ij2, 3), _
    tXYZ(ij3, 1), tXYZ(ij3, 2), tXYZ(ij3, 3))
  s4 = TS(tXYZ(ij3, 1), tXYZ(ij3, 2), tXYZ(ij3, 3), _
    tXYZ(ij2, 1), tXYZ(ij2, 2), tXYZ(ij2, 3), _
    tXYZ(ij4, 1), tXYZ(ij4, 2), tXYZ(ij4, 3))
  If (s1 + s2 < s3 + s4) Then
    nRet = Newton_(sXYZ(1, 1), nST, nSTm, tXYZ(1, 1), nTm, ij1, ij4, ij2, grav(1), iFail)
    If (iFail = 1) Then
      MsgBox ("重力計算時にエラーが発生しました。地下構造モデル点が重複しています。")
    End Sub
  End If
  nRet = Newton_(sXYZ(1, 1), nST, nSTm, tXYZ(1, 1), nTm, ij1, ij3, ij4, grav(1), iFail)
  If (iFail = 1) Then
    MsgBox ("重力計算時にエラーが発生しました。地下構造モデル点が重複しています。")
  End Sub
Exit Sub
End If
If (iFb = 4) Then Exit Sub
tZ1 = tXYZ(ij1, 3)
tZ2 = tXYZ(ij2, 3)
tZ3 = tXYZ(ij3, 3)
tZ4 = tXYZ(ij4, 3)
tXYZ(ij1, 3) = zBase
tXYZ(ij2, 3) = zBase
tXYZ(ij3, 3) = zBase
tXYZ(ij4, 3) = zBase
nRet = Newton_(sXYZ(1, 1), nST, nSTm, tXYZ(1, 1), nTm, ij1, ij2, ij4, grav(1), iFail)
If (iFail = 1) Then
  MsgBox ("重力計算時にエラーが発生しました。地下構造モデル点が重複しています。")
End Sub
Exit Sub
End If
nRet = Newton_(sXYZ(1, 1), nST, nSTm, tXYZ(1, 1), nTm, ij1, ij4, ij3, grav(1), iFail)
If (iFail = 1) Then
  MsgBox ("重力計算時にエラーが発生しました。地下構造モデル点が重複しています。")
End Sub
Exit Sub
End If
tXYZ(ij1, 3) = tZ1
tXYZ(ij2, 3) = tZ2
tXYZ(ij3, 3) = tZ3
tXYZ(ij4, 3) = tZ4
Else
  nRet = Newton_(sXYZ(1, 1), nST, nSTm, tXYZ(1, 1), nTm, ij1, ij3, ij2, grav(1), iFail)

```

```

        If(iFail = 1) Then
            MsgBox ("重力計算時にエラーが発生しました。地下構造モデル点が重複しています。")
            Exit Sub
        End If
        nRet = Newton_(sXYZ(1, 1), nST, nSTm, tXYZ(1, 1), nTm, ij4, ij3, grav(1), iFail)
        If(iFail = 1) Then
            MsgBox ("重力計算時にエラーが発生しました。地下構造モデル点が重複しています。")
            Exit Sub
        End If
        If(iFb = 4) Then Exit Sub
        iZ1 = tXYZ(ij1, 3)
        iZ2 = tXYZ(ij2, 3)
        iZ3 = tXYZ(ij3, 3)
        iZ4 = tXYZ(ij4, 3)
        tXYZ(ij1, 3) = zBase
        tXYZ(ij2, 3) = zBase
        tXYZ(ij3, 3) = zBase
        tXYZ(ij4, 3) = zBase
        nRet = Newton_(sXYZ(1, 1), nST, nSTm, tXYZ(1, 1), nTm, ij1, ij2, ij3, grav(1), iFail)
        If(iFail = 1) Then
            MsgBox ("重力計算時にエラーが発生しました。地下構造モデル点が重複しています。")
            Exit Sub
        End If
        nRet = Newton_(sXYZ(1, 1), nST, nSTm, tXYZ(1, 1), nTm, ij4, ij3, ij2, grav(1), iFail)
        If(iFail = 1) Then
            MsgBox ("重力計算時にエラーが発生しました。地下構造モデル点が重複しています。")
            Exit Sub
        End If
        tXYZ(ij1, 3) = iZ1
        tXYZ(ij2, 3) = iZ2
        tXYZ(ij3, 3) = iZ3
        tXYZ(ij4, 3) = iZ4
    End If
End If
End Sub

Private Function TS(x1 As Double, y1 As Double, z1 As Double, x2 As Double, y2 As Double, z2 As Double, _
    x3 As Double, y3 As Double, z3 As Double) As Double:
    'an area of a triangle's projection to the parallel plane with Z - axis

    Dim s As Double
    Dim s1 As Double
    Dim s2 As Double
    Dim s3 As Double
    Dim ss As Double
    Dim sA As Double

```

```

    Dim sB As Double
    Dim sC As Double

    s1 = Sqr((x2 - x1) * (x2 - x1) + (y2 - y1) * (y2 - y1) + (z2 - z1) * (z2 - z1))
    s2 = Sqr((x3 - x2) * (x3 - x2) + (y3 - y2) * (y3 - y2) + (z3 - z2) * (z3 - z2))
    s3 = Sqr((x1 - x3) * (x1 - x3) + (y1 - y3) * (y1 - y3) + (z1 - z3) * (z1 - z3))
    ss = (s1 + s2 + s3) / 2#
    s = Sqr(Abs(ss * (ss - s1) * (ss - s2) * (ss - s3)))
    sA = (y2 - y1) * (z3 - z1) - (z2 - z1) * (y3 - y1)
    sB = (z2 - z1) * (x3 - x1) - (x2 - x1) * (z3 - z1)
    sC = (x2 - x1) * (y3 - y1) - (y2 - y1) * (x3 - x1)

    TS = s * Sqr((sA * sA + sB * sB) / (sA * sA + sB * sB + sC * sC))

End Function

```

4.3 trigrv.bas

```

Public Declare Function Newton_Lib _
    "C:\Documents and Settings\ryoka\My Documents\trigrv_VB\newton.dll" _
    (ByRef sXYZ As Double, ByRef nST As Long, _
    ByRef nSTm As Long, ByRef tXYZ As Double, _
    ByRef nPm As Long, ByRef iP1 As Long, _
    ByRef iP2 As Long, ByRef iP3 As Long, _
    ByRef grav As Double, ByRef iFail As Long) As Long
Public Declare Function Newton_Lib _
    "newton.dll" _
    (ByRef sXYZ As Double, ByRef nST As Long, _
    ByRef nSTm As Long, ByRef tXYZ As Double, _
    ByRef nPm As Long, ByRef iP1 As Long, _
    ByRef iP2 As Long, ByRef iP3 As Long, _
    ByRef grav As Double, ByRef iFail As Long) As Long

Public xGmin As Double: '重力計算点 X 最小値
Public yGmin As Double: '重力計算点 Y 最小値
Public xGmax As Double: '重力計算点 X 最大値
Public yGmax As Double: '重力計算点 Y 最大値
Public dXg As Double: '重力計算点 X 間隔
Public dYg As Double: '重力計算点 Y 間隔
Public nXg As Long: '重力計算点 X 格子数
Public nYg As Long: '重力計算点 Y 格子数
Public rG As Double: '地下構造モデル半径
Public zMS As Double: '地下構造モデル外縁の平均の深さ
Public rC As Double: '外周部外縁半径
Public iFg_Z As Long: '外周部外縁深さ条件

' 重力計算点 = station
' 地下構造三角柱モデル頂点 = (triangle) poin

```

Nur wer die Sehnsucht kennt,
Weiß, was ich leide!

(Aus "*Wilhelm Meister*", Johann Wolfgang von Goethe, 1821)