

# 越前大野盆地の3次元地質分布 に関する研究

平成31年3月  
関西大学 環境都市工学部  
教授・工博・楠見 晴重

# 目次

第1章	序論	
1.1	はじめに	1
1.2	大野市の概要	1
1.3	大野盆地の地下水	3
1.4	本研究の内容と目的	3
第2章	重力探査について	
2.1	はじめに	5
2.2	重力探査の概要	5
2.3	測定方法	5
2.4	仮定密度と重力異常	6
第3章	重力解析による大野盆地の基盤構造	
3.1	はじめに	7
3.2	解析概要	8
3.3	重力異常分布の推定	8
3.3.1	仮定密度の決定	8
3.3.2	重力異常分布の推定	11
3.4	基盤標高の推定	14
第4章	大野盆地の3次元地質モデル	
4.1	はじめに	17
4.2	3次元地質モデルの作成範囲	18
4.3	3次元地質モデルの作成	18
4.3.1	データの補正	18
4.3.2	帯水層厚の算出	20
4.3.3	基盤面・地表面の作成	20
4.3.4	大野盆地の3次元地質モデル	22
第5章	地下水賦存量の推定	
5.1	地下水賦存量の推定方法	25
5.2	結果	25
5.2.1	帯水層の体積の算出	25

5.2.2 間隙率の設定	27
5.2.3 地下水賦存量の推定	27
5.3 比較	28
第6章 結論	29
参考文献	31

# 第1章 序論

## 1.1 はじめに

地下水は、地球上の多くの国々において農業・工業・生活用の水資源として重要であり、さらには、人間生活・文化といったような観点においても大切な環境要素である。近年では、融雪等の目的のために地下水を利用する機運も高まっており、地下水の重要性はますます増加している傾向にある。しかし、最近の人口増加に伴う人間活動の広範囲化や気候変動の影響に伴い、地下水環境は大きく変動している。有用な地下水資源の利用、管理には、正確な地下水性状の把握が必要である<sup>1)</sup>。

地球上に存在する水の量はおよそ 14 億 km<sup>3</sup>であると言われ<sup>1)</sup>、そのうちの約 97.5%が海水であり、淡水は約 2.5%である。この淡水の大部分は、氷や氷河として存在しており、地下水や河川、湖沼の水として存在する淡水の量は、地球上の水の約 0.8%である。さらにこの淡水の量は、大部分が地下水として存在し、河川や湖沼はわずか 0.01%にすぎない。地下水が我々の使用できる淡水資源として豊富に存在することから、いかに地下水が貴重な資源であるかがわかる<sup>2)</sup>。

本研究の対象地域は、福井県大野市である。大野市は豊かで良質な地下水に恵まれた城下町として知られており、市街地では家庭用ホームポンプで直接地下水を汲み上げ飲み水に利用するなど、古くから生活用水や工業用水など、様々な用途の水資源として地下水が利用されてきた。さらに大野市には、御清水（しょうず）や本願清水などといった「名水百選」に選ばれている湧水がみられるなど、全国的にみても指折りの豊富な水環境にあることから、市民と地下水との関わりには特に深いものがある。そこで、ここ大野市が挙げられた理由は、この豊富な地下水が決して無限にあるものではなく、地域共通の貴重な資源であることを市民が認識し、未来永劫保全し利用し続けていくためにも、大野市の地下水の現状を把握するためである。現に、融雪時に大量の地下水をくみ上げるなどの理由から、地下水位低下による井戸枯れなどの問題が発生した事例も存在する。しかし、現在の地下水賦存量は未だに判明しておらず、地中の地下水が含まれている部分（帯水層）の構造なども不明であるため、これらの把握を行い、市民に現状を理解してもらわなければならない。

このように、大野市を対象としたのは、未だに判明していない大野市の地下水の現状を解き明かすためである。

## 1.2 大野市の概要

大野市は人口約 3 万 4 千人、福井県東部の内陸に位置する街である。図 1.1 は大野市の位置を示す。また、面積は 872.43km<sup>2</sup>であり、福井県で最も面積の大きい市町村となっている。さらに大野市は四方が山々に囲まれ、面積の約 90%が森林であり、市内には、南から北に向かって九頭竜川・真名川・清滝川・赤根川といった 4 本の一級河川が流れ、扇状地形を成している<sup>3)</sup>。そのため、地形的な意味合いで「大野盆地」と称されることもある。図 1.2 は、大野盆地と 4 本の一級河川を示す。

市街地である城下町は、織田信長家臣の金森長近により 400 年以上前に築かれ、大野盆地にある亀山に大野城を建設し、そのふもとに碁盤目状の城下町を作った。今でもそのまち並みはかつての城下町としての風情を色濃く残し、「北陸の小京都」ともよばれている。秋から冬にかけ、大野盆地が雲海に包まれ亀山だけが雲に浮かんで見える時、「天空の城 越前大野城」が現れ、大野市を代表とする構造物となっている。

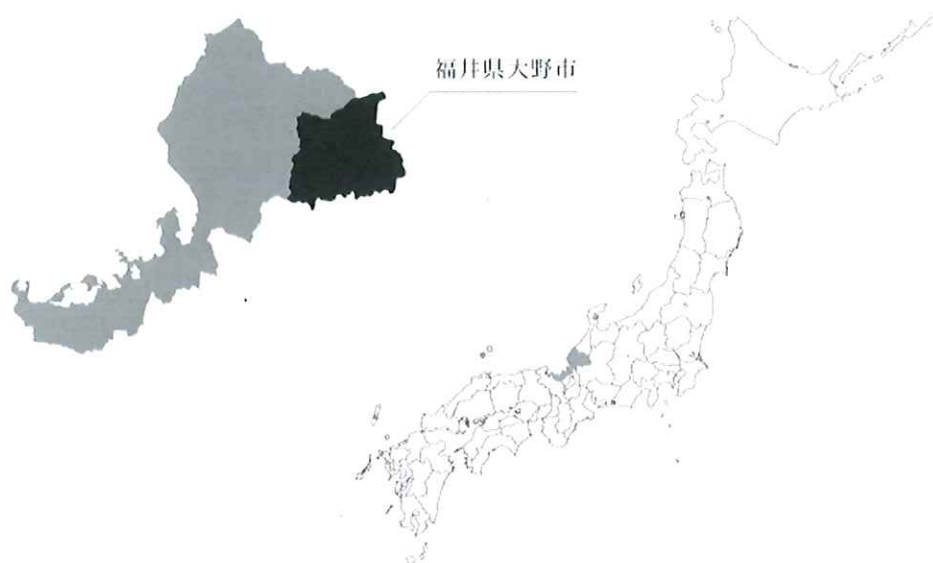


図 1.1 大野市の位置



図 1.2 大野盆地と一級河川

### 1.3 大野盆地の地下水

1.1 にも述べたように、大野市民の生活にとって、地下水は必要不可欠な存在である。平成 29 年度大野市の地下水揚水量は、工業用で 3204 千  $m^3$ 、建築物用で 745 千  $m^3$ 、水道用で 3864 千  $m^3$ 、農業用で 430 千  $m^3$ 、消雪用で 127 千  $m^3$ となっている。ここで、最も利用量の多い水道用では、市全体の地下水揚水量の約 46%を占めている。さらに大野市民の上水道利用率は 19.59%、簡易水道を含めると 38.06%であり、大部分の家庭や事業所は、各自で家庭用ホームポンプを用いて地下水を汲み上げ、利用している。さらに、上水道や簡易水道も、その水源の大部分を地下水に頼っているため、地下水の重要性がうかがえる<sup>3)</sup>。

### 1.4 本研究の目的と内容

本研究の目的は、大野盆地における地下水賦存量の推定を行うことである。そのために、大野盆地の 3 次元地質モデルを構築し、帯水層の広がりや基盤岩の広がりを確認する。そして、3 次元モデルを用いて、大野盆地における地下水賦存量の推定に努める。なぜなら、先に述べたように、地下水賦存量が未だに判明されていないため、それを明確にするためである。さらに、3 次元モデルを作成し地下の状況を可視化することは、非常に重要である。この 3 次元モデルを作成すれば、地下水の流れや、比較的地下水が貯まりやすい地域、4 本の

一級河川間との地下水収支はどうか明瞭になる。つまり、現状の地下水賦存量の推定や、地下水性状の把握へとつながる。

続いて本研究の流れであるが、上記の通り、大野盆地の 3 次元地質モデル作成のために、基盤岩の位置特定を行う。その方法は、重力探査による重力解析によって基盤標高の推定を行い、大野盆地基盤岩の基盤面を作成する。そして同じく標高データを用いて、地表面を作成する。このように、基盤面と地表面をそれぞれ作成すれば、基盤面と地表面の間を帯水層とみなした大野盆地地下の可視化が可能となる。さらに、地表面から基盤面までの鉛直距離がその位置での帯水層厚と考えられるため、ここから帯水層の体積が算出できる。よって、作成したモデルで帯水層の体積を求め、地下水賦存量の推定を行う。

## 第2章 重力探査について

### 2.1 はじめに

第1章でも述べたように、大野盆地の帯水層に含まれる地下水賦存量を推定するには、基盤岩の標高やその構造を把握しなければならない。しかし、過去に一度も大野盆地地表面から基盤岩まで到達したボーリングデータは存在しない。そこで、基盤標高を推定するために、重力探査による重力解析を行い、基盤標高の推定に努める。

### 2.2 重力探査の原理

重力探査とは、任意の位置においての重力値を測定し、測定した結果から地下の物質や構造を把握する、物理探査の一種である。地表における重力値は、地下に分布する岩石・岩盤の密度・分布深度・形状に大きく起因する。例えば、地下に密度の同じ岩盤が存在する場合でも、出現深度が浅いと地表の重力値は大きく測定され、深いと小さく測定される。また、地下に空洞が存在する場合には重力値は小さく測定される。簡潔に言えば、地下に密度の大きい物質が存在すると重力値は大きくなり、密度の小さい物質が存在すると重力値は小さくなる。原理は、ニュートンの万有引力の法則と同じである。

### 2.3 測定方法

対象の範囲に、任意の数だけ測定点を設け、測定器を用いて重力値を測定する。図2.1は測定器の概念図を示している。これは、ばね定数の判明しているばねの伸びが、フックの法則により重力に比例するといった性質を利用する。また、一般的に重力値の読み取り単位はgal ( $1\text{gal}=0.01\text{m/s}^2=1\text{cm/s}^2$ ) を用いる。

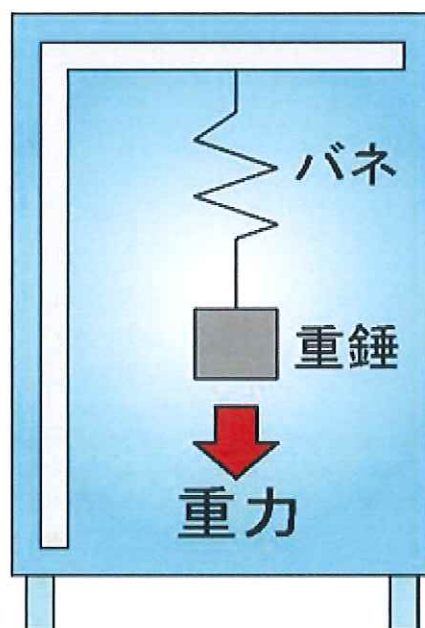


図 2.1 測定器の概念図



## 2.4 仮定密度と重力異常

2.2 で重力値が大きく測定される場合と小さく測定される場合を述べたが、何に対しての大小か、つまり基準を定める必要がある。その基準を定めるために用いるものを仮定密度という。仮定密度とは、海拔 0m から測定点までが、任意の密度をもつ地質によって構成されていると仮定したときの密度を指す。そして、その仮定した密度（仮定密度）での重力値を算出し、それを正規重力値  $g_0(\text{cm/s}^2)$  という。また、実際に測定される重力値  $g(\text{cm/s}^2)$  との差を重力異常値  $\Delta g(\text{cm/s}^2)$  といい、式 (2.1) はこれらの中に成り立つ関係を示す。

$$\Delta g = g - g_0 \quad (2.1)$$

この重力異常値を利用することによって、地下構造の把握が可能となる。図 2.2 は、重力異常と地下構造との関係を示している。  $\Delta g$  は、地下の物質が仮定密度に対して高密度物質（基盤）であればより高くなることを示している。一般に、仮定密度が実際の地殻物質の平均密度よりも小さければ、重力異常分布のパターンは正の相関となり、大きければ負の相関となる。よって、この相関が最も小さくなる仮定密度の重力異常値を採用する。

本研究では、この解析で得られる結果を用いて大野盆地の基盤構造を推定する。次章では、この原理を利用し、仮定密度の決定とその結果について述べた。

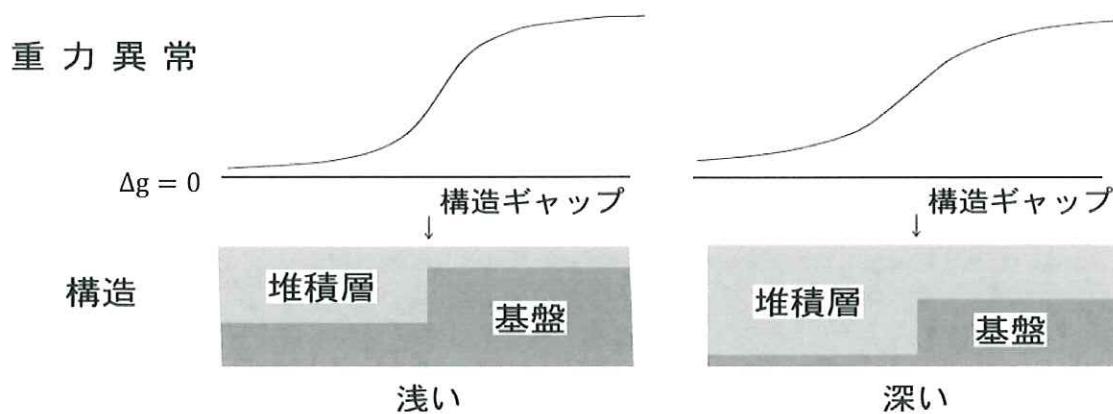


図 2.2 地下構造と重力異常値

## 第3章 重力解析による大野盆地の基盤構造

### 3.1 はじめに

重力解析を利用して基盤標高を求めるために、まずは解析範囲を定めた。解析範囲は、大野盆地を中心とした30km×30kmの範囲となっており、日本の平面直角座標第Ⅵ系において、 $-15000\text{m} \leq x \leq 15000\text{m}$ 、 $32000\text{m} \leq y \leq 62000\text{m}$ を対象範囲とした<sup>5)</sup>。図3.1に解析範囲を示す。

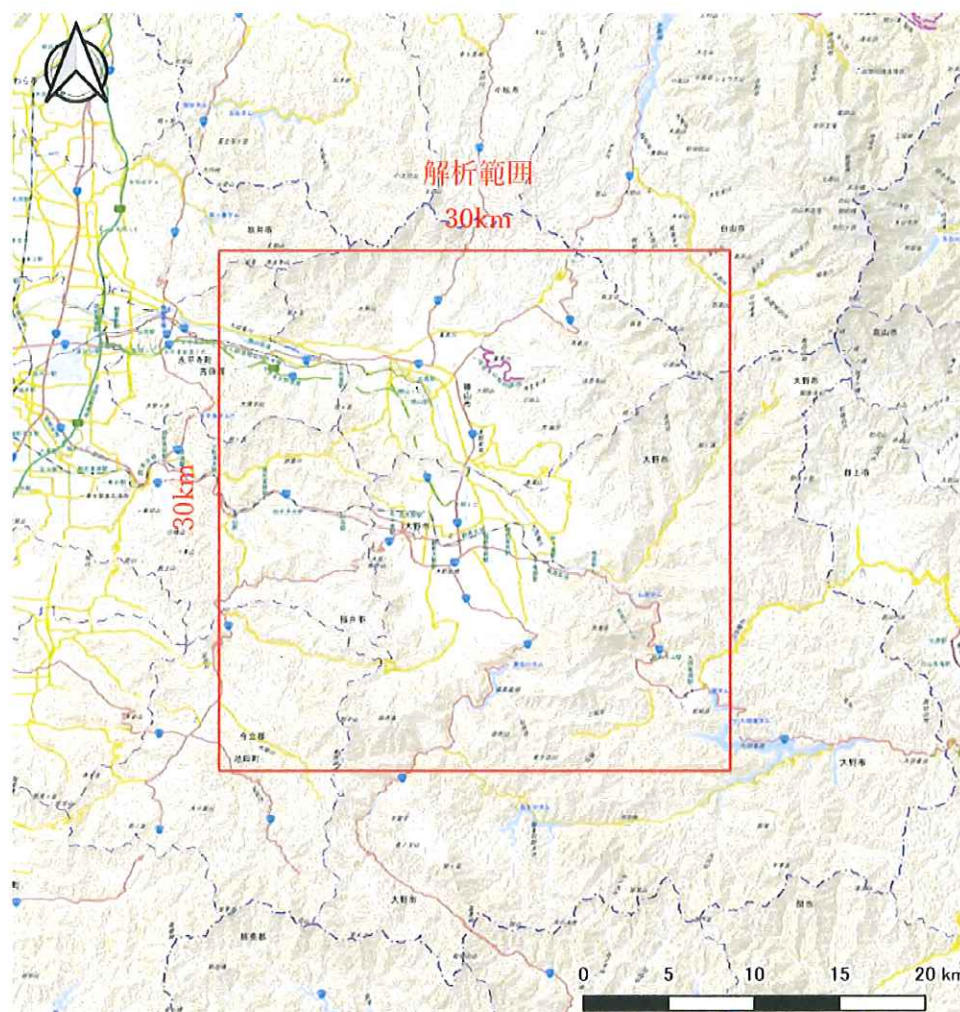


図 3.1 重力解析の範囲

## 3.2 解析概要

本解析では、産業技術総合研究所（以下 AIST と称する）に収録されている重力異常値を入力データとして使用した。AIST は、大野市を含む周辺地域の重力異常値を、仮定密度が  $2.0\text{g/cm}^3$ 、 $2.3\text{g/cm}^3$ 、 $2.67\text{g/cm}^3$  の三種類で過去に解析を行っているため、本研究に見合う仮定密度をこの 3 種類の中から抜粋する<sup>6)</sup>。

重力異常値には、本解析の対象深度である基盤面よりも深部の構造から、地表付近の不均質な構造まで、地下の様々な情報が含まれている。なお、本研究では、基盤面付近の密度構造に対応した重力異常値を抽出することを目的としているため、非常に深部な位置での地下情報を排除したい。したがって、まずは重力異常値を二成分に分離することから考える。ここで二分される成分をそれぞれトレンド成分、シグナル成分と称す。トレンド成分とは、ある深度に対してより深い部分の重力異常値を指し、シグナル成分とは、ある深度に対して、より浅い部分の重力異常値を指す。したがって、このシグナル成分に表れる重力異常値こそが、大野盆地の地下水を蓄えている帯水層のデータと考えられるため、本解析で利用するデータとなる。そして、この二成分への分離を、直感的に理解のしやすい上方接続フィルター処理によって行った。

上方接続フィルター処理とは、例えば高度 2000m における重力値は、深度 2000m 程度よりも深い地下構造異常（トレンド成分）の影響を反映しているという経験的な性質がある。元の重力異常値から高度 2000m における重力値を除去した残差重力異常値は、深度 2000m 程度以浅の地下密度構造異常（シグナル成分）であるといえる。これを接続高度 2000m と表現する。したがって、上方接続フィルター処理を施し、重力異常値をトレンド成分とシグナル成分に分離することで、基盤付近の密度構造に対応するシグナル成分を抽出する。これで、大野盆地の重力異常値が判明する。

## 3.3 重力異常分布の推定

### 3.3.1 仮定密度の決定

AIST に収録されている仮定密度  $2.0\text{g/cm}^3$ 、 $2.3\text{g/cm}^3$ 、 $2.67\text{g/cm}^3$  について、地形と重力異常分布のパターンを比較した。図 3.2、図 3.3、図 3.4 はそれぞれ仮定密度  $2.0\text{g/cm}^3$ 、 $2.3\text{g/cm}^3$ 、 $2.67\text{g/cm}^3$  の重力異常分布を示している。また、図 3.5 に大野盆地の標高分布を示す。図 3.2、図 3.3 の仮定密度  $2.0\text{g/cm}^3$ 、 $2.3\text{g/cm}^3$  による重力異常値は、図 3.5 と比較すると、両者とも市街地を含む標高の低い盆地内部で顕著に重力異常値が負の値を示しており、盆地周囲の標高が高い山々では正の値を示している。これは主に、基盤面付近の地下構造に起因するというより、地表、または比較的浅部の地下構造にのみ起因していると考えられる。対して図 3.4 の仮定密度  $2.67\text{g/cm}^3$  による重力異常値では、仮定密度  $2.0\text{g/cm}^3$ 、 $2.3\text{g/cm}^3$  でみられたような特徴がみられない。すなわち、最も地形との相関が小さく、基盤面付近の情報を多く含んでいると判断できるため、本解析では仮定密度  $2.67\text{g/cm}^3$  での重力異常値を採用する。

さらに、重力異常値算出の元となっている重力値の測点位置を図 3.6 に示す。これより、測点は主に道路上に配置されており、大野盆地内についてはほぼ全域に配置されていることが分かる。

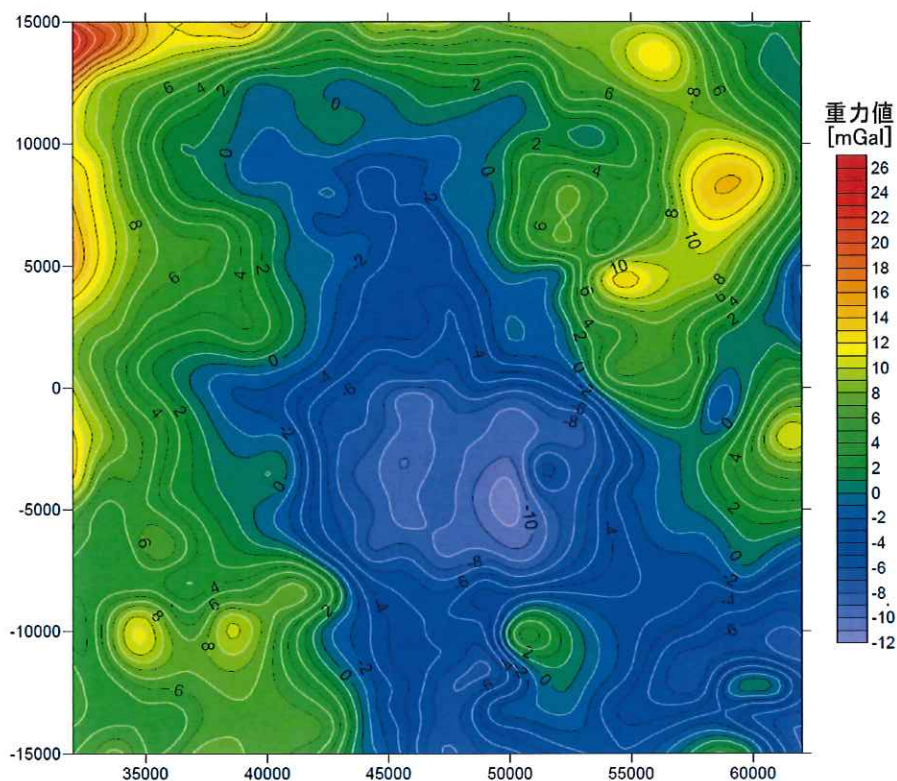


図 3.2 仮定密度  $2.0\text{g/cm}^3$ での重力異常分布

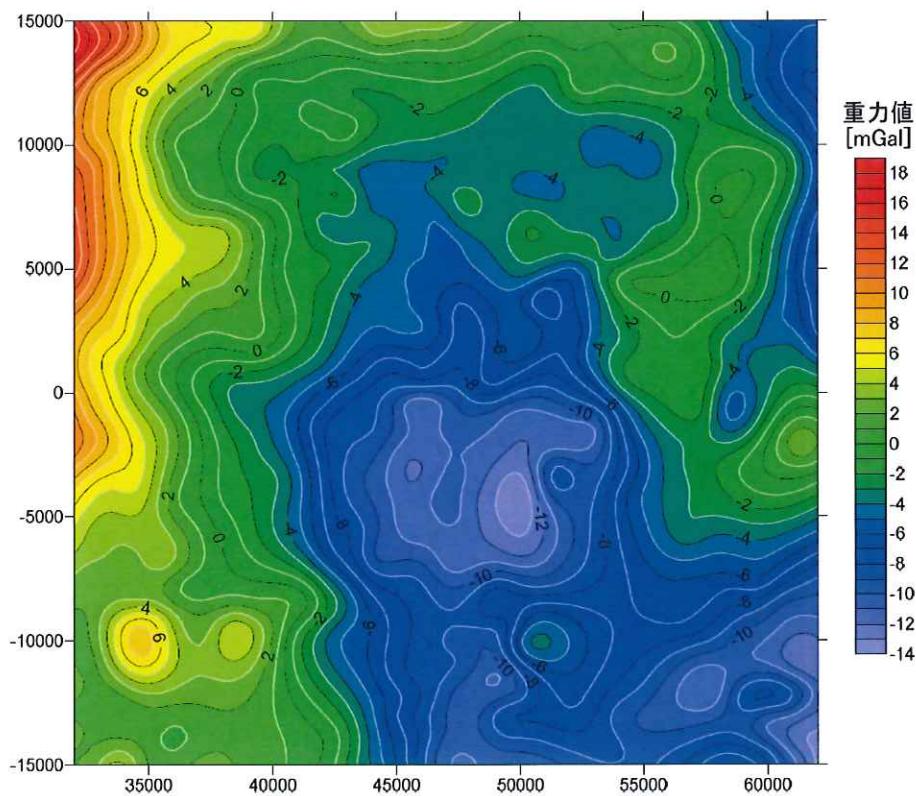


図 3.3 仮定密度  $2.3\text{g/cm}^3$ での重力異常分布

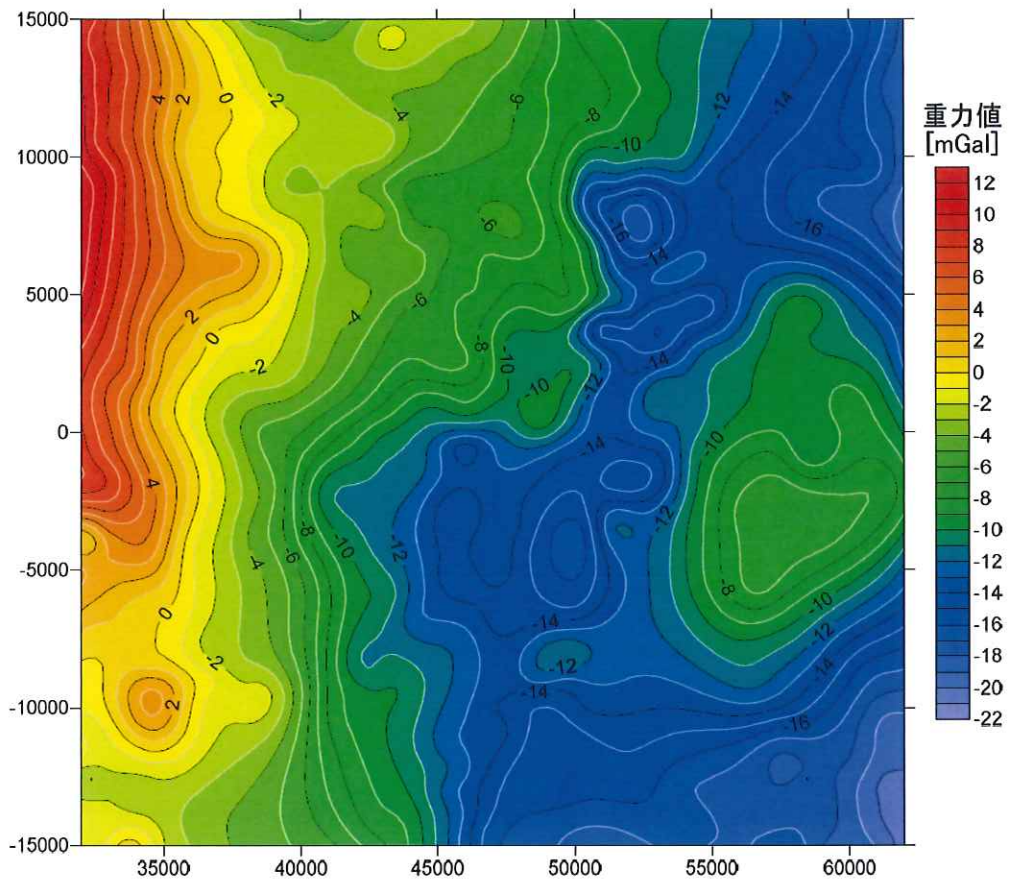


図 3.4 仮定密度  $2.67\text{g/cm}^3$ での重力異常分布

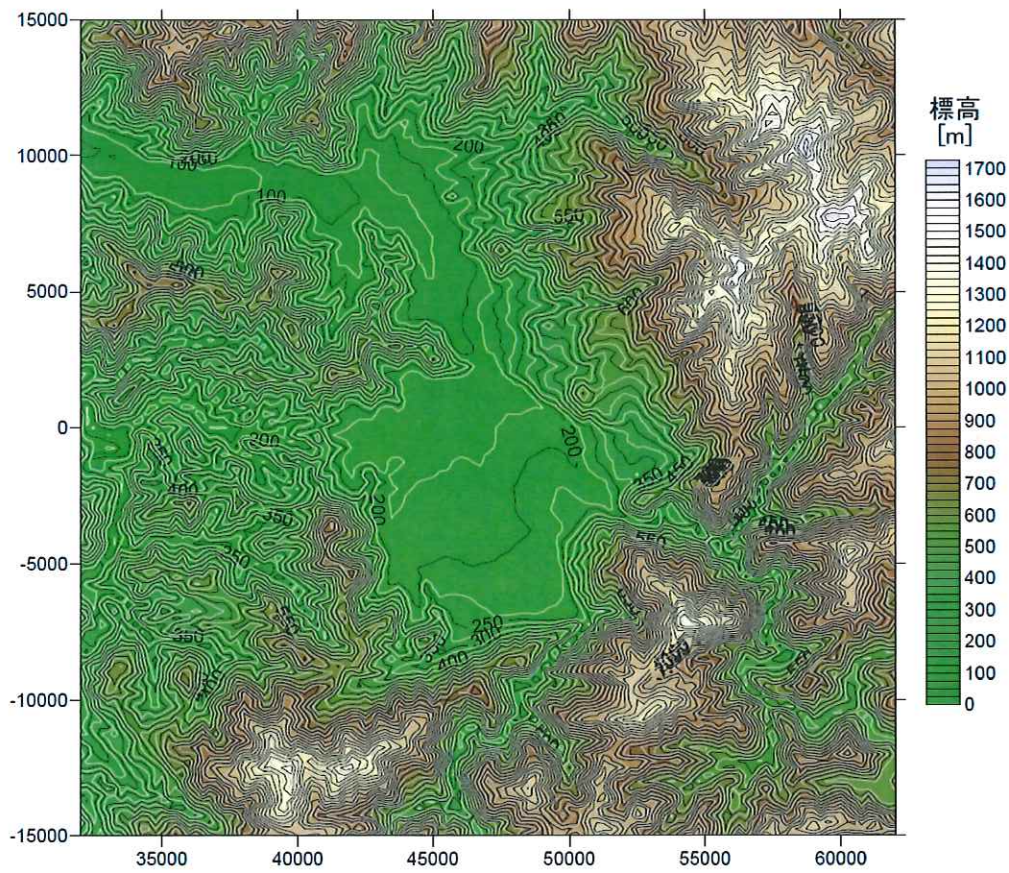


図 3.5 標高分布図

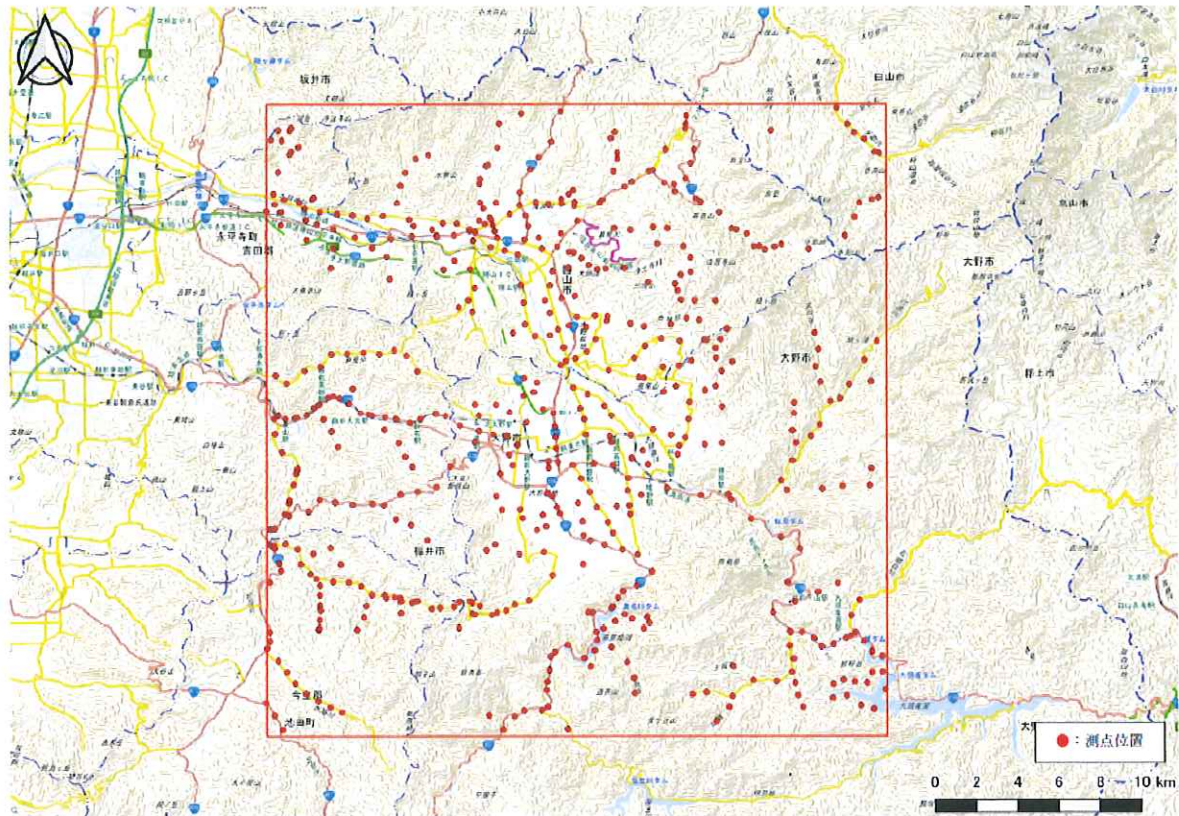


図 3.6 解析範囲と測点位置

### 3.3.2 重力異常分布の推定

上方接続フィルター処理によりフィルターテストを行い、仮定密度  $2.67\text{g/cm}^3$ におけるシグナル成分およびトレンド成分を抽出した。接続高度は、一般的な値である  $2000\text{m}$ とした。図 3.7、図 3.8 は、それぞれ仮定密度  $2.67\text{g/cm}^3$ におけるシグナル成分とトレンド成分を示している。

図 3.8 のトレンド成分を見ると、南東から北西に向かうにつれ重力異常値が増加する傾向があると分かる。これは、日本海側の地下奥深くのモホロビッチ不連続面（以下モホ面と称す）の影響であると考えられる。モホ面とは、地中奥深くに展開している地殻物質とマントルとの境界面のことを指す。図 3.9 は、モホ面のイメージを示している。本解析での仮定密度が  $2.67\text{g/cm}^3$ であるのに対し、地殻物質の平均密度はこの仮定密度と何ら差は生じないが、マントルの平均密度は一般的に  $3.3\text{g/cm}^3\sim 5.6\text{g/cm}^3$ と考えられている。すなわち、密度の大きいマントルの標高が、南東から北西に向かうにつれ高くなっているため、重力異常値が増大する。よって、トレンド成分は深度の大きい位置に展開しているモホ面の影響までも的確に捉えていると考えられるため、本解析においては無視をする必要があり、シグナル成分が本解析における重力異常値と断定する。ここで、国土地理院の地理院地図とシグナル成分を重ねた図を、図 3.10 に示す。

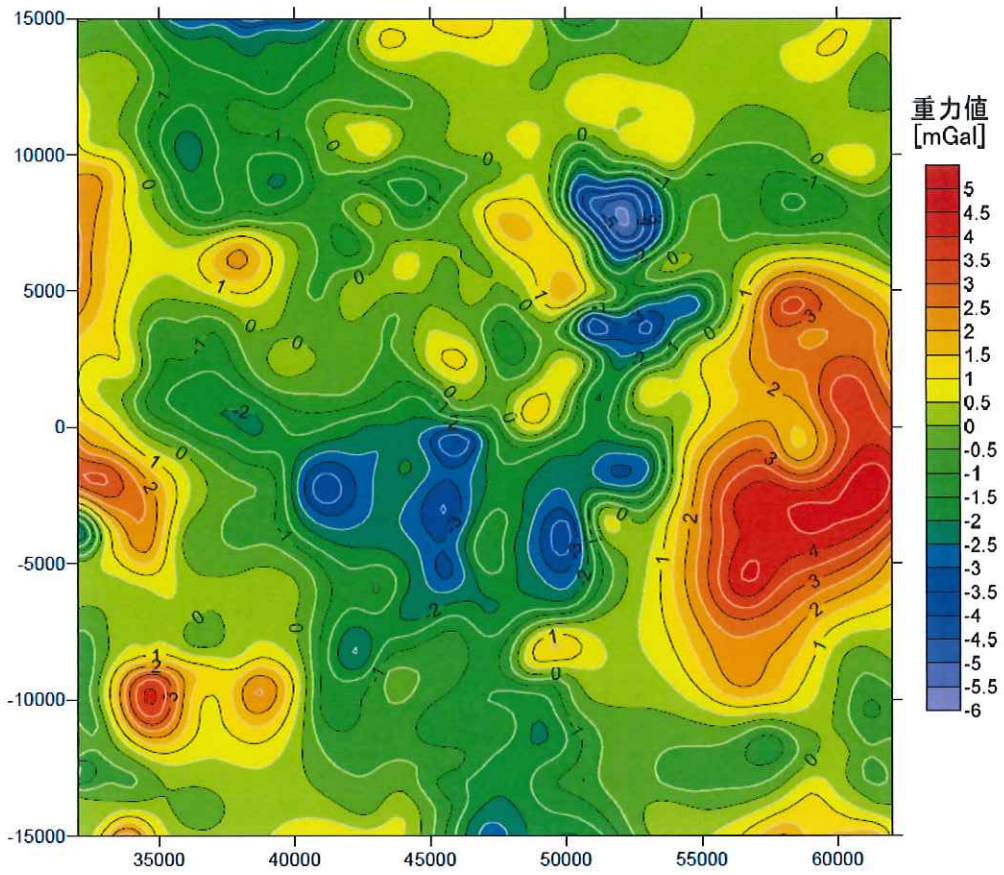


図 3.7 シグナル成分 (地表面下 0m~2000m)

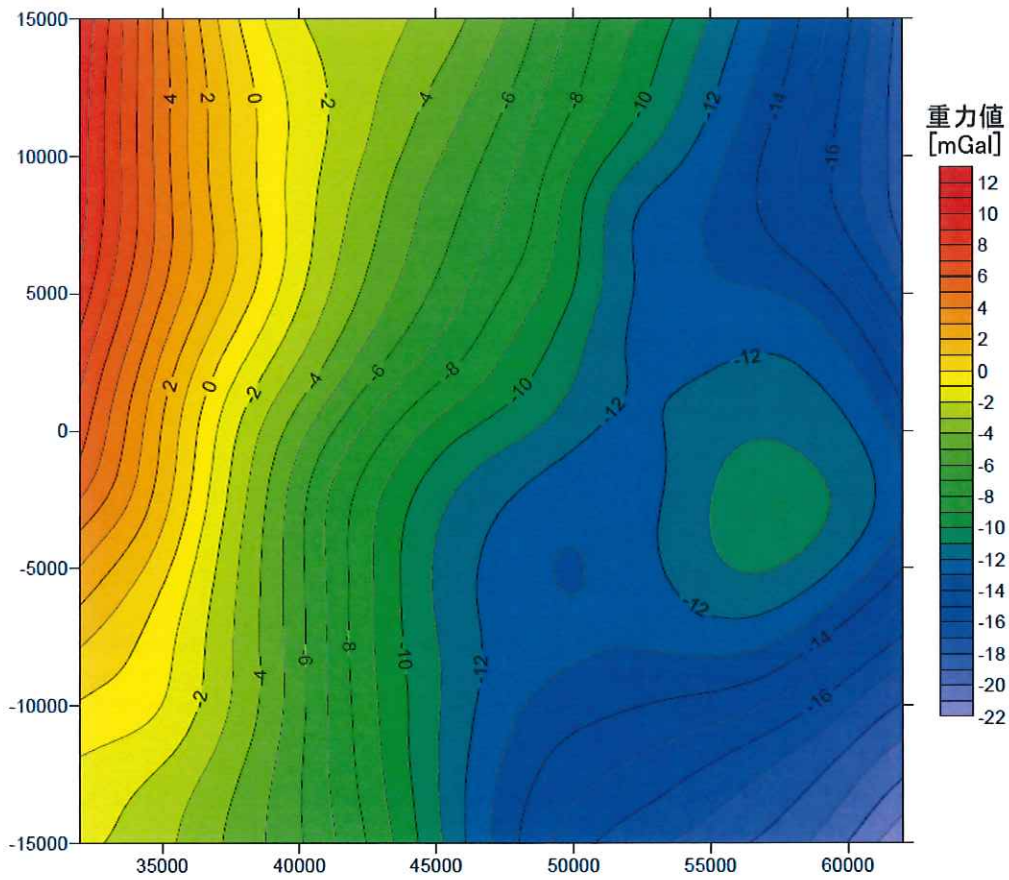


図 3.8 トレンド成分 (地表面下 2000 以深)



図 3.9 モホ面のイメージ

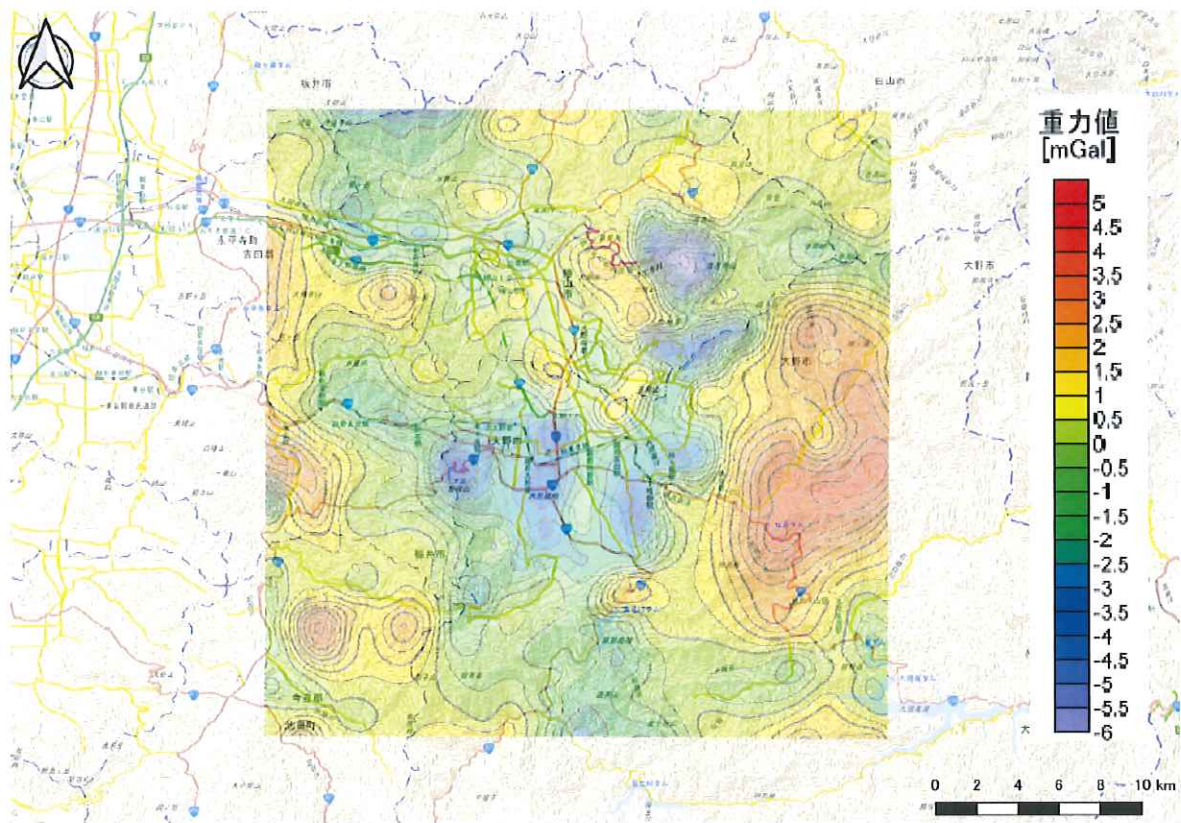


図 3.10 国土地理院「地理院地図」と重力異常分布



### 3.4 基盤標高の推定

シグナル成分を入力データとし、基盤岩とその上位層との密度境界面の深度分布を推定した。大野盆地周辺では基盤岩まで到達したボーリングデータは存在しないため、高重力異常域三点をコントロールポイント（CP1、CP2、CP3）とした拘束条件を設けた。ここで、重力異常分布の高重力異常域の地表は露岩していると仮定した。図 3.11 は、コントロールポイントを含むシグナル成分を示しており、表 3.1 は、コントロールポイントの座標を示している。

高重力異常域である各コントロールポイントは露岩しているため、その位置での標高は基盤標高と等しいとみなし、コントロールポイントでの基盤標高を推定する。そして、これら 3 点のコントロールポイントでの基盤標高と重力異常値との関係性を基準とし、解析範囲すべての基盤標高を、グリッド間隔 250m で推定した。図 3.12 は、推定された重力基盤標高の分布を示しており、図 3.13 は、国土地理院の地理院地図と重力基盤標高分布を重ねた図を示している。

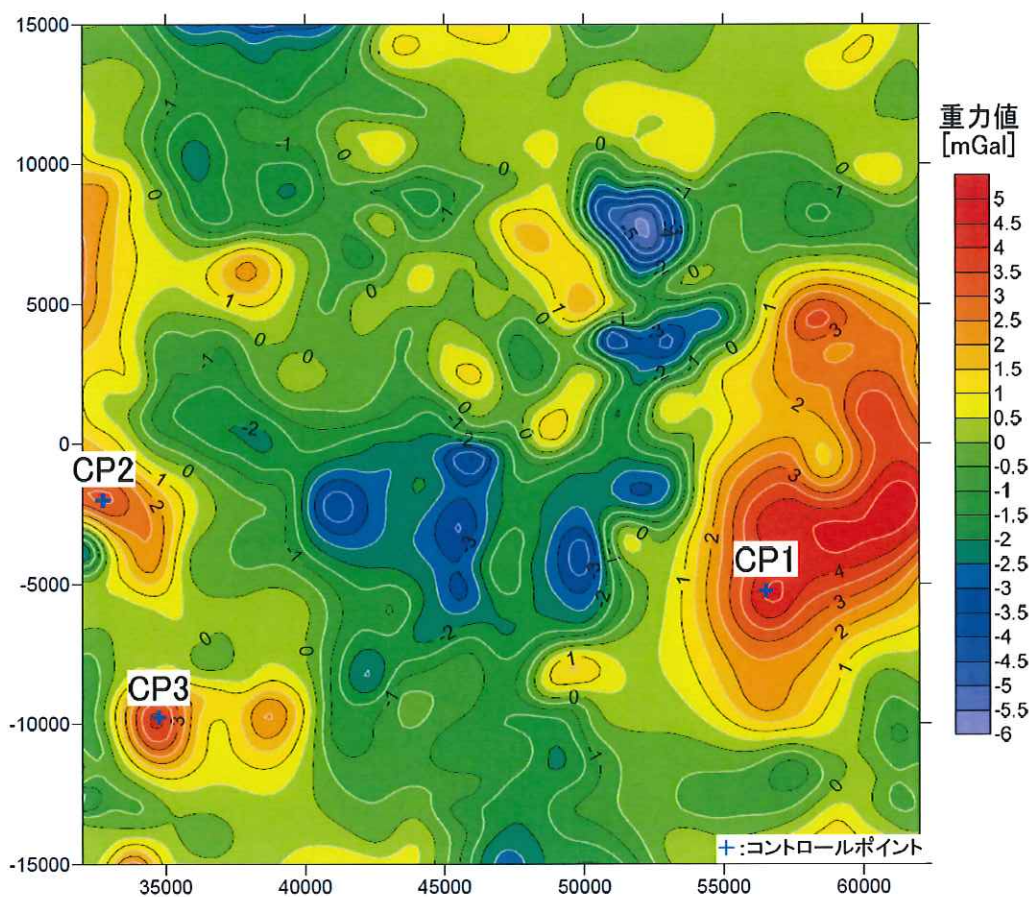


図 3.11 シグナル成分とコントロールポイント

表 3.11 コントロールポイント座標

名前	平面直交座標第Ⅵ系		標高(m)
	X(m)[北向き正]	Y(m)[東向き正]	
CP1	-5250	56500	390.586
CP2	-2000	32750	241.364
CP3	-9750	34750	350.644

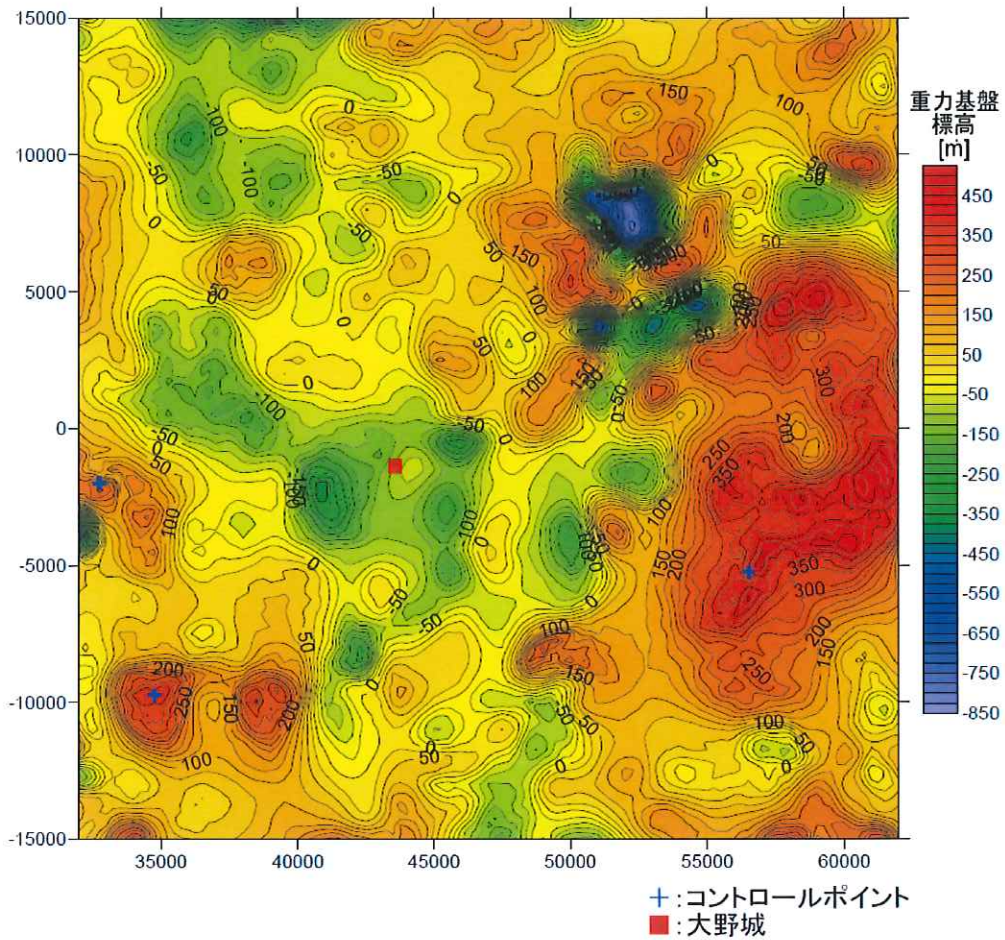


図 3.12 重力基盤標高分布

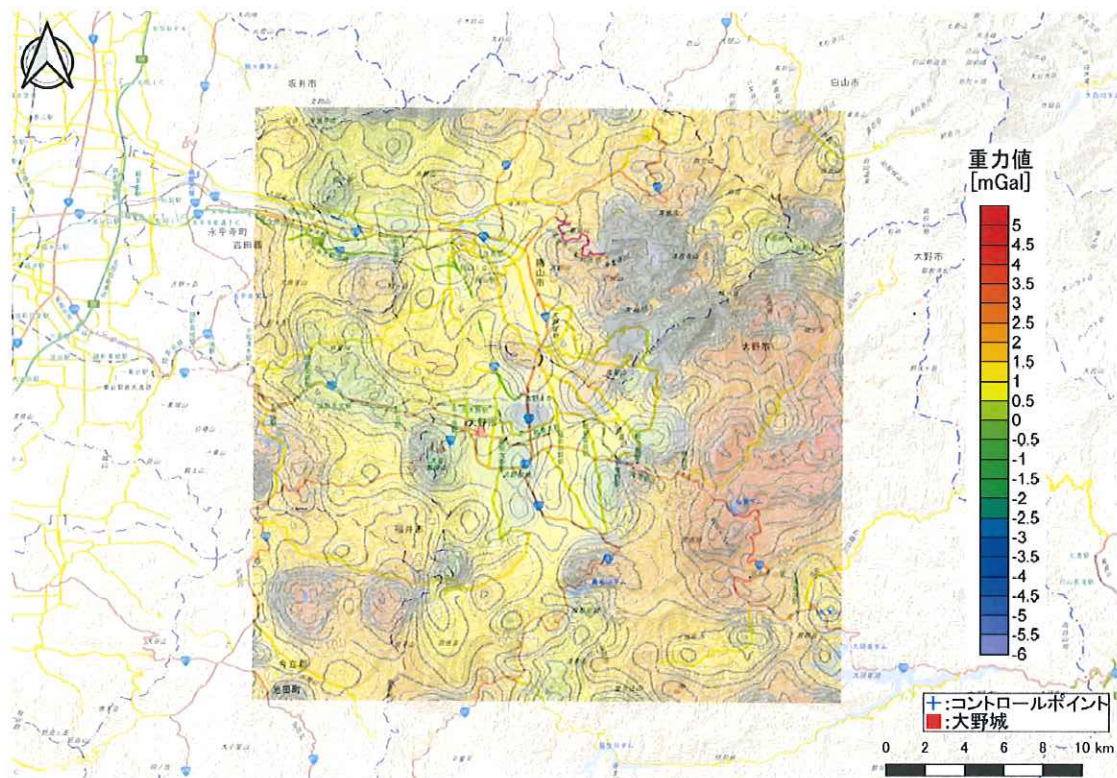


図 3.13 国土地理院「地理院地図」と重力基盤標高分布

## 第4章 大野盆地の3次元地質モデル

### 4.1 はじめに

第1章の1.4でも述べた通り、大野盆地地下の可視化を図るため、3次元地質モデルを作成する。これにより、現在の大野盆地帯水層に含まれる地下水賦存量の推定が可能となり、さらに地下水の流れや収支などといった特性を把握することができれば、今後の地下水の保全管理にもつながる。したがって、まずは大野盆地地下の基盤構造モデルを、第3章で求めた重力基盤標高データを用いて作成する。ここで、基盤構造モデルならびに3次元地質モデルの作成はGEO-CRE（ジオクリ）を用いた。GEO-CREとは、地質データやボーリングデータ、物理探査データ、地形データなどを可視化し、リアルタイムで現実的感覚のある3次元地質モデリングを可能とするソフトウェアである。図4.1はGEO-CREの利用イメージを示している<sup>8)</sup>。以上より、本章では大野盆地の3次元モデルの作成について述べる。



図4.1 GEO-CREの利用イメージ

## 4.2 3次元地質モデルの作成範囲

第3章の3.1でも述べた通り、重力解析の対象範囲は、大野盆地を中心とした30km×30kmの範囲で、日本の平面直角座標第VI系においては $-15000\text{m} \leq x \leq 15000\text{m}$ 、 $32000\text{m} \leq y \leq 62000\text{m}$ であったが、本研究では大野盆地内の帯水層の構造を作成することが目的であるため、3次元地質モデルの作成範囲としては、 $-7500\text{m} \leq x \leq 4000\text{m}$ 、 $40000\text{m} \leq y \leq 54000\text{m}$ とした。図4.2は3次元地質モデル作成を行う範囲を示している。



図 4.2 3次元地質モデル作成範囲

## 4.3 3次元地質モデルの作成

### 4.3.1 データの補正

基盤構造を作成するために、第3章で求めた重力基盤標高データを用いてGEO-CRE上に表示させるが、より精度の高い3次元モデルを作成するために、重力基盤標高データの補正を行う。

まず、重力標高と、国土地理院の地理院地図に掲載されている実際の標高との差を求め、その差が重力標高に対してどれだけの割合を占めているかを算出し、重力解析の精度の確認を行う。これは、実際の基盤標高データがなく、重力基盤標高と実際の基盤標高を比較することができないため、標高での精度確認となった。

内容は、重力基盤標高と重力標高が等しい任意の地点における重力基盤標高を $h_i(\text{m})$ 、重力標高を $H_i(\text{m})$ とし、この任意の地点では、本解析において基盤岩が露呈していると考えることができる。したがってこの地点においては、重力基盤標高と国土地理院の地理院地図に

掲載されている実際の標高  $H'_i$ (m) と比較可能なため、 $H_i$  と  $H'_i$  との差  $\Delta H_i$ (m) を算出する。 $\Delta H_i$  が小さければ  $h_i$  の信頼性は高いと考えられるが、 $\Delta H_i$  が大きければ  $h_i$  の信頼性は低いと考えられる。また、重力標高と実際の標高が等しい地点は全 1177 地点中 59 地点となり、これら 59 地点における  $\Delta H_i$  を求め、全 1177 地点での重力基盤標高  $h_k$ (m) を補正した。この補正方法を以下に示す。

$H_i$  に対する  $\Delta H_i$  の割合を  $s_i$  とし、59 地点すべての  $s_i$  の平均値を  $\bar{s}$  とする。この  $\bar{s}$  を 3 次元地質モデル作成に使用する全 1177 地点の  $h_k$  に作用させ、 $h_k$  を補正する。補正後の全 1177 地点における重力基盤標高を  $h'_k$ (m) とする。式 (4.1)、式 (4.2)、式 (4.3)、式 (4.4)、式 (4.5) は、上記の内容を式にまとめたものである。

$$H'_i - H_i = \Delta H_i \quad (4.1)$$

$$s_i = \Delta H_i / H_i \quad (4.2)$$

$$\bar{s} = \sum_{i=1}^{59} s_i / 59 \quad (4.3)$$

$$\bar{s} > 0 \text{ のとき } h'_k = h_k + |h_k \times \bar{s}| \quad (4.4)$$

$$\bar{s} < 0 \text{ のとき } h'_k = h_k - |h_k \times \bar{s}| \quad (4.5)$$

上式より、 $\bar{s} > 0$  となると、平均的に実際の標高が重力標高よりも高いため、重力基盤標高を高くする必要があり、 $\bar{s} < 0$  となると、平均的に実際の標高が重力標高よりも低いため、重力基盤標高を低くする必要がある。

式 (4.1)、式 (4.2)、式 (4.3) より、 $\bar{s}$  の値は  $\bar{s} = -0.0403$  と求めた。これは、実際の基盤標高は重力基盤標高よりも 4.03%低いことを意味する。よって、この値を作成範囲である  $-7500\text{m} \leq x \leq 4000\text{m}$ 、 $40000\text{m} \leq y \leq 54000\text{m}$  でのすべての重力基盤標高  $h_k$  に式 (4.5) の通り作用させ、3 次元地質モデル作成で使用する基盤標高  $h'_k$  を求めた。以下の表 4.1 は結果の一例を示している。

表 4.1 基盤標高の一例

x(m)	y(m)	重力基盤標高 $h_k$ (m)	使用する基盤標高 $h'_k$ (m)
-7000	40000	61.21	58.74
-7000	40500	29.60	28.41
-7000	41000	-6.68	-6.95

#### 4.3.2 帯水層厚の算出

4.3.1 で算出した補正後の全重力基盤標高  $h'_k$  と、同じ位置における実際の標高  $H'_k$ (m) を用いて、鉛直方向の帯水層の層厚（地表面から基盤面までの深度） $L_k$ (m) を求める。式 (4.6) は、 $L_k$  を求める計算式を示す。

$$L = H'_k - h'_k \quad (4.6)$$

以下の表 4.1 は結果の一例を示す。これを用い、3次元地質モデルをソフトウェア上に表現する。

表 4.1 基盤標高の一例

x(m)	y(m)	標高 $H'_k$ (m)	基盤標高 $h'_k$ (m)	層厚 (深度) $L_k$ (m)
-7000	40000	448	58.74	389.26
-7000	40500	491	28.41	462.59
-7000	41000	344.4	-6.95	351.35

#### 4.3.3 基盤面・地表面の作成

基盤面と地表面の作成は、作成範囲における各位置の基盤標高と標高を点で表示させ、それらを結び基盤面・地表面とした。ここで、図 4.3 は基盤面を表し、図 4.4 は地表面を表す。ここで、鉛直方向の起伏を 5 倍とした。

図 4.3 から分かるように、大野盆地の基盤面は凹凸のある形状を成しており、図 4.4 の地表面では、盆地構造を成しているのが分かり、市街地の起伏はほぼ平坦であることが分かる。

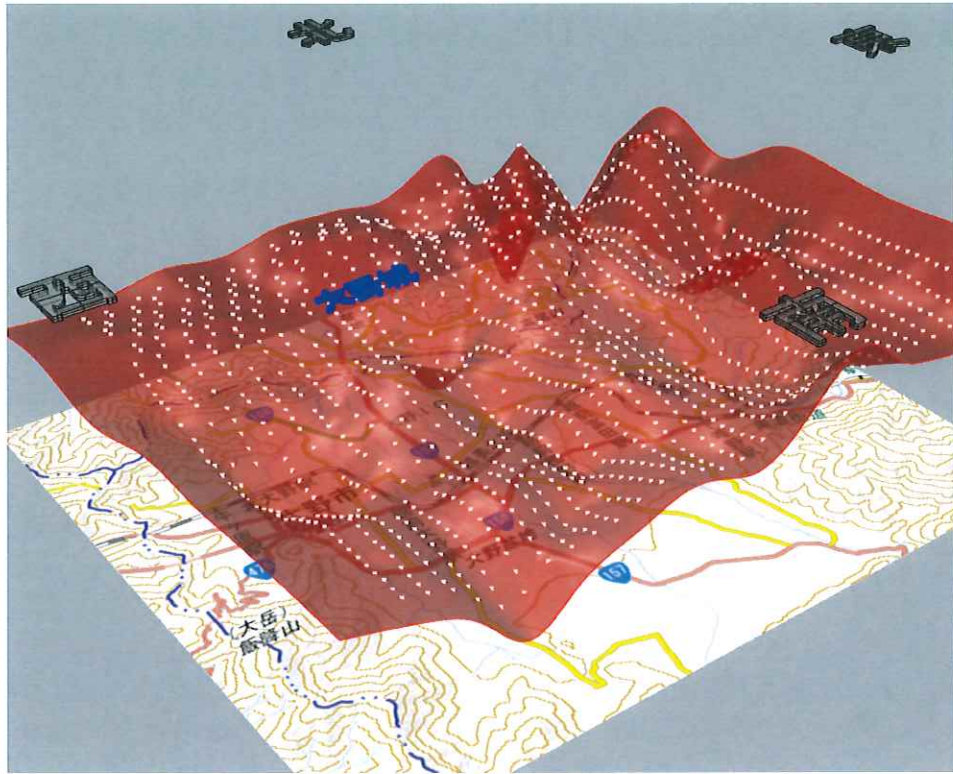


图 4.3 基盤面



图 4.4 地表面



#### 4.3.4 大野盆地の3次元地質モデル

図4.5は、大野市内を流れる4つの一級河川である九頭竜川・真名川・清滝川・赤根川、さらに、大野城、越前大野駅の位置を示しており、図4.6、図4.7は3次元地質モデルを示している。図4.6、図4.7の黄色面は山々、緑色面は地表、青色層が帯水層を表す。これより、市街地は低地で、その周囲は山々に囲まれていると判断できる。さらに、図4.8は、帯水層を表す。以上より、大野盆地の3次元地質モデルの作成が完了した。次章ではこの3次元モデルを用い、地下水賦存量の推定を行う。



図4.5 作成範囲と、一級河川・大野城・越前大野駅

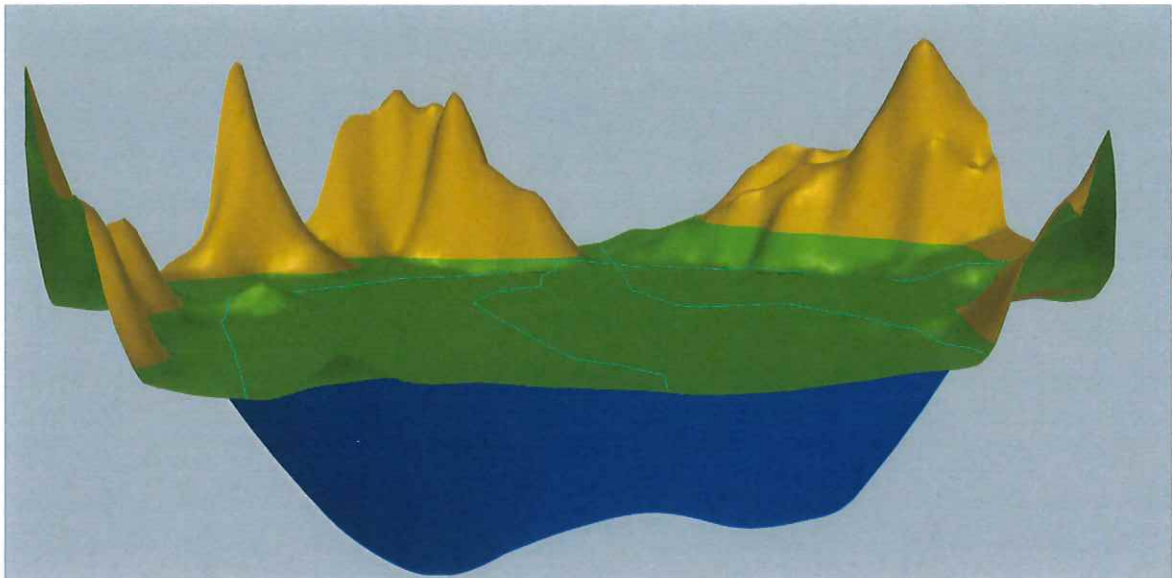


図 4.6 黄色面：山々、緑色面：地表、青色層：帯水層

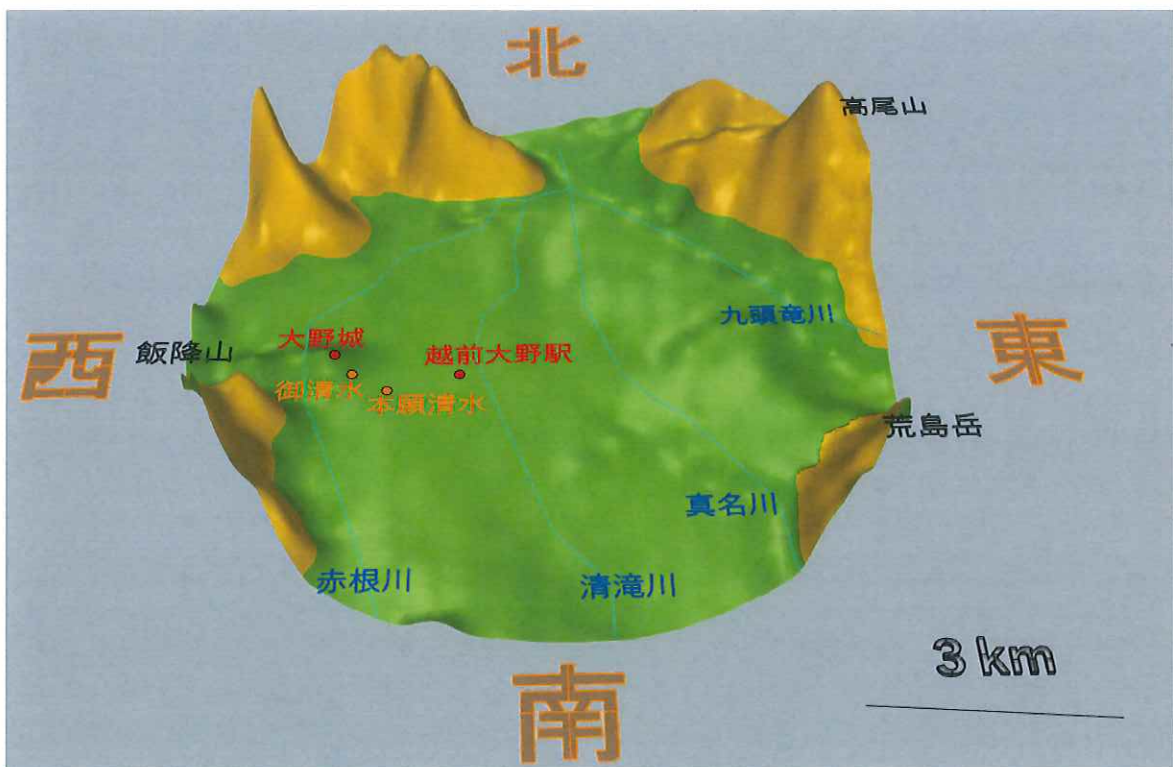


図 4.7 上から見た 3 次元地質モデル

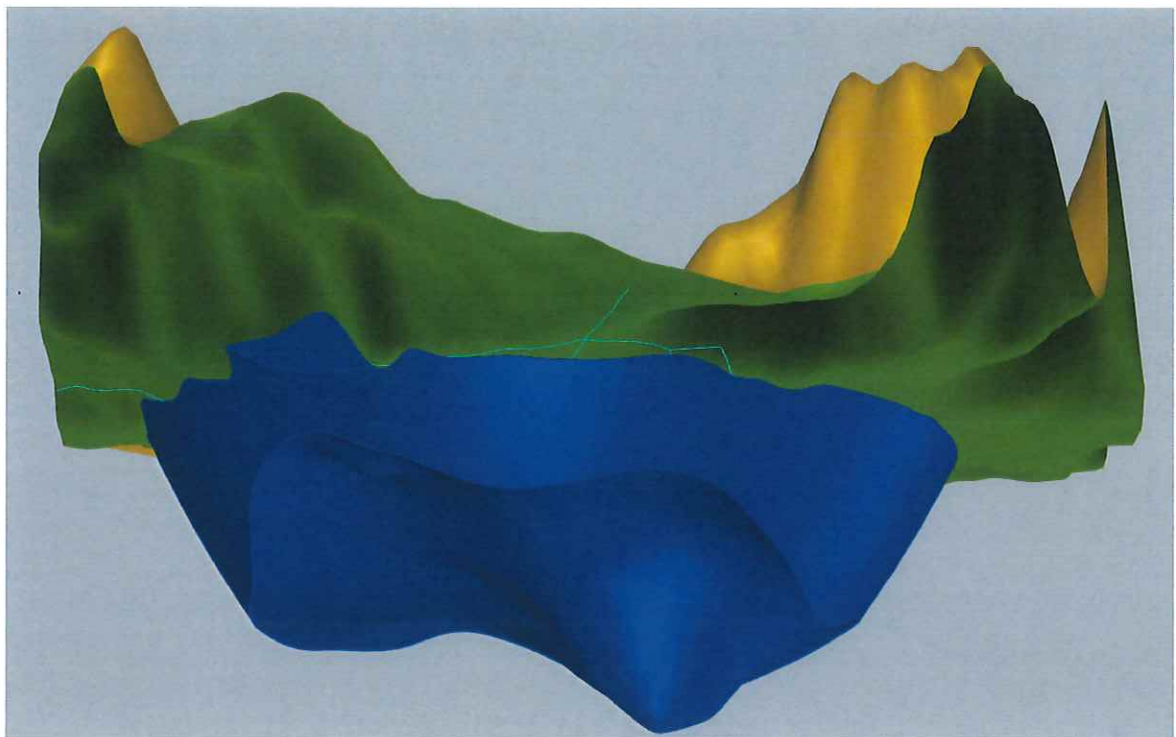


図 4.8 北側から見た帯水層

## 第5章 地下水賦存量の推定

### 5.1 地下水賦存量の推定方法

大野盆地の地下水賦存量を推定するにあたり、本研究においては、地下水面を G.L.±0 として扱い、それ以下の帯水層は基盤面まですべて飽和していると仮定する。

したがって、地下水賦存量の推定は、帯水層の体積と未固結層の間隙率によって算出することができる。式 (5.1) はその計算式を示し、帯水層の体積を  $V$  ( $\text{m}^3$ )、帯水層の間隙の体積を  $V_v$  ( $\text{m}^3$ )、間隙率を  $n$  として表している。

$$V_v = V \times n \quad (5.1)$$

以上より、以下にその結果について述べる。

### 5.2 結果

#### 5.2.1 帯水層の体積の算出

第4章で述べた通り、3次元地質モデルを作成したことによって帯水層の体積を算出することが可能となった。帯水層の体積は、GEO-CRE に備わっている3次元空間の体積を求める機能を使用して算出した。図5.1は帯水層の体積計算の考え方を示したもので、ここでは帯水層ではなく別モデルを用いて表す。体積算出の概要は、帯水層を無数の断面に分割し、それらを足し合わせることによる求め方を利用した。

以上より、帯水層の体積は  $V = 121.9$  億 ( $\text{m}^3$ ) と算出された。また、図5.2は帯水層の概形を表している。

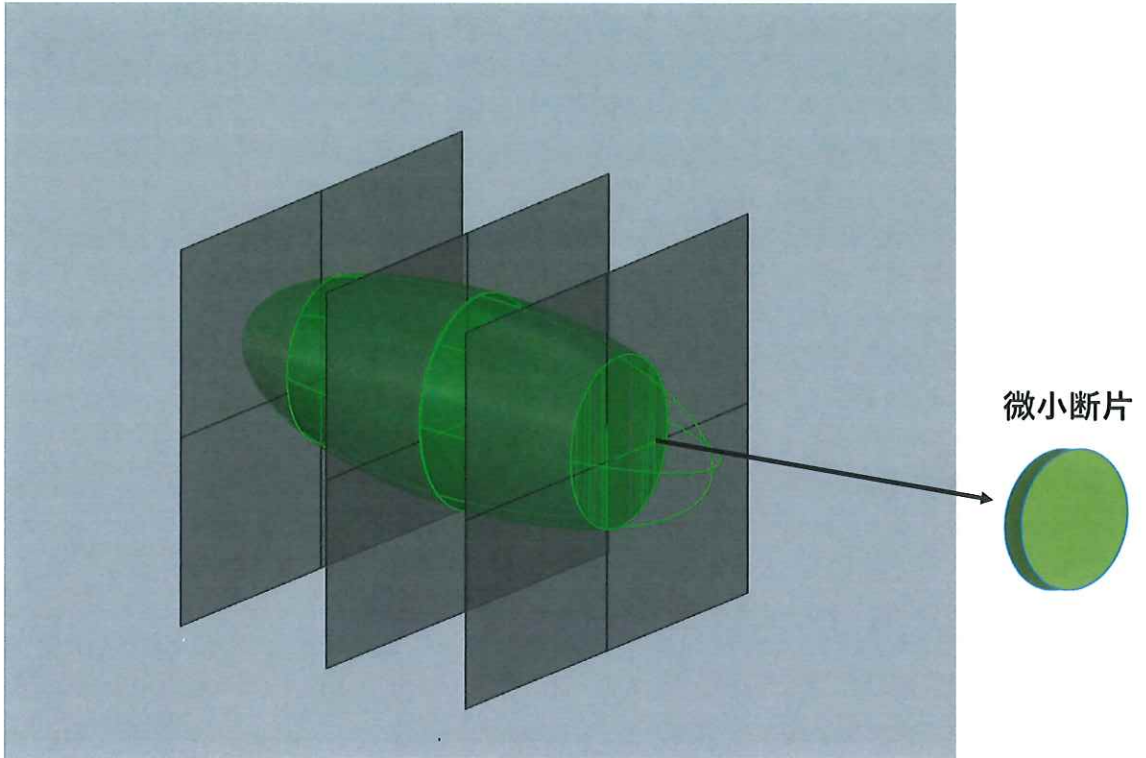


図 5.1 体積計算の考え方

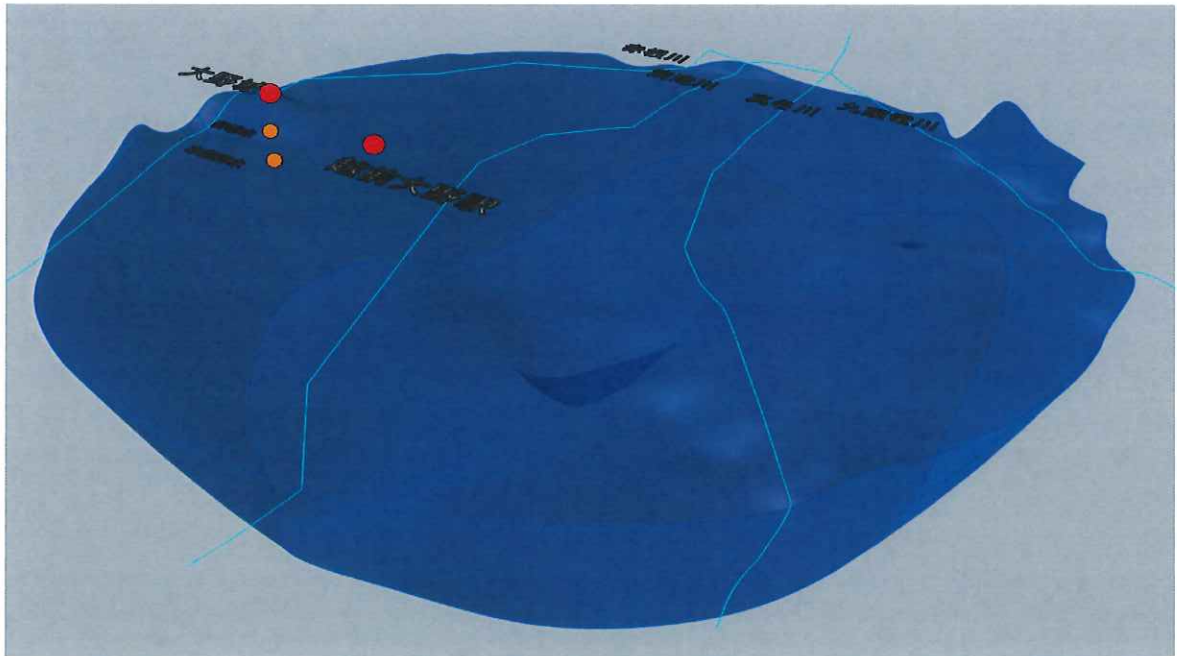


図 5.2 帯水層の概形

### 5.2.2 間隙率の設定

間隙率は地質の種類に依存するため、大野盆地の地質構成比を把握する必要がある。そこで、大野市地下水総合調査業務報告書に掲載されている過去に実施されたボーリングデータ（無論、基盤面まで到達したボーリングデータは皆無）を利用し、帯水層を構成する地質をまとめた。表 5.1 は大野盆地の地質構成比を示す。表 5.1 より、主な構成要素が砂礫であることが確認され、全体の約 76%を占めているため、本研究においての間隙率は砂礫の一般的な数値である  $n=0.3$  を帯水層の間隙率として使用した<sup>9)</sup>。

表 5.1 大野盆地の地質割合

層種	砂礫層	粘土層	砂利層・その他
層厚 (m)	3889.2	664.3	538.7
割合 (%)	76.4	10.6	13.0

### 5.2.3 地下水賦存量の推定

5.2.1 と 5.2.2 の結果を用いて、式 (5.1) に代入する。

$$V_v = 121.9 \text{ 億 (m}^3\text{)} \times 0.3 = 36.57 \text{ 億 (m}^3\text{)}$$

上式より、大野盆地の地下水賦存量は 36.57 億 (m<sup>3</sup>) と算出された。また、地下水の密度を 1.0 (t/m<sup>3</sup>) と仮定すると、この地下水賦存量の質量  $m$  (t) は、以下の式 (5.2) の通りとなる。

$$m = 36.57 \text{ 億 (m}^3\text{)} \times 1.0 \text{ (t/m}^3\text{)} = 36.57 \text{ 億 (t)} \quad (5.2)$$

以下の表 5.2 はその結果について示している。

表 5.2 地下水賦存量の推定結果まとめ

	体積 (m <sup>3</sup> )	質量 (t)
地下水賦存量	36.57 億	36.57 億

### 5.3 比較

5.2 で算出された地下水賦存量の値について、代表的な例と比較する。体積については、体積が約 0.0124 億 (m<sup>3</sup>) の東京ドームに対して約 3000 杯の大きさであり、質量については、質量が約 275 億 (t) の琵琶湖に対して約 13.3%の量をもつことが判明した。

## 第6章 結論

地下水が豊富なことで有名な福井県大野市では、古くから市民の生活と地下水との関係が非常に深く、平成29年度の大野市の地下水揚水量は、工業用で3204千(m<sup>3</sup>)、建築物用で745千(m<sup>3</sup>)、水道用で3864千(m<sup>3</sup>)、農業用で430千(m<sup>3</sup>)、消雪用で127千(m<sup>3</sup>)となっている。これより、大野市民にとって、地下水のない生活を送ることは不可能なほどであることがうかがえる。そこで、地下水を未来永劫利用し続けるためには、現在の地下水賦存量を把握する必要がある。しかし、過去にそれを明確にした研究は行われていない。よって本研究では、大野盆地の地下水賦存量を算出するために大野盆地の3次元地質モデルを作成し、大野盆地帯水層の可視化に努めた。

大野盆地の3次元地質モデルを作成するためにはじめに行ったことは、未だに判明されていない基盤構造の推定である。そこでとった方法とは、第3章のとおり、重力解析によって基盤面の標高を推定するといった方法である。さらに、標高を利用して重力基盤標高の精度を上げるための補正を行い、本研究では、重力基盤標高を4.03%低くするという結果が得られた。これによって基盤構造が判明したため、地表面と併せて、第4章では、3次元モデルの作成が可能となった。また、重力基盤標高を補正するためにこの補正方法を採用したのは、基盤面まで到達したボーリングデータが存在しないという理由からであり、実際のボーリングデータが存在すれば、さらなる精度向上につながるであろう。

3次元モデルを利用した地下水賦存量の推定は第5章の通りで、帯水層が飽和しているという仮定を利用し、帯水層の間隙の体積を求めた。また、大野盆地の地層のほとんどが砂礫によって構成されていることから、間隙率は砂礫の一般値である0.3を使用し、帯水層の間隙の体積を算出した。その結果、体積が36.57億(m<sup>3</sup>)、質量が36.57億(t)と求まり、琵琶湖の約13.3%の水量があると分かった。

最後に、この結果を踏まえた上で、今後の課題について述べる。上記にも述べた通り、重力基盤標高値の真偽を確認するために、実際に基盤面まで到達したボーリングデータとの比較を行うべきであったが、そのデータが皆無なため、比較することができなかった。そこで本研究では、第4章で述べた通りデータの補正という形を採用したが、やはり数か所でのボーリングデータがあれば精度が向上すると考えられる。その理由の一つとして、基盤面の起伏が挙げられる。本研究で得られた基盤面は凹凸のある起伏となっているが、大野城付近や、一級河川である九頭竜川・真名川・清滝川・赤根川の四河川合流地点の構造に大きな特徴が見られなかった。実際の大野城付近には亀山があり、基盤岩が隆起しており、それによって地下水がせき止められ御清水のような湧水があると考えられるのだが、本研究での3次元地質モデルには、亀山の位置での基盤が隆起しているというのが確認されなかった。ただし、あくまでもこれは仮説であるため、今後はさらなる精密な3次元モデルの作成を行う必要がある。また、3次元モデルを作成すれば、地下水の流れやどの部分に貯まりやすいのかといった地下水収支について判明するのだが、本研究結果においてはそれを明言するに至らなかった。さらに、地質を砂礫とみなし間隙率を一概に0.3として計算したが、これについても



他の地質を考慮した上で間隙率を求める必要があるのだが、間隙率についてのデータも不足しているため、この値を用いた。よって、上記の課題を克服することで、地下水賦存量はさらに現実のものに近い値をとることができるだろう。

## 参考文献

- 1) 谷口真人：気候変動と地下水、地下水学会誌，Vol.47，NO.1，pp5-17，発行 2005.
- 2) 国土交通省：日本の水資源の現況、「第一章 水の循環と水資源の賦存状況」，平成 30 年版.
- 3) 大野市：大野市地下水年次報告書，平成 29 年版，発行 2017.
- 4) 物理探査学会：図解物理探査、重力探査，pp43-44，発行 1992
- 5) 国土交通省：国土地理院、地理院地図，平成 29 年版
- 6) 産業技術総合研究所：日本重力データベース DVD 版、地質調査総合センター，発行 2013
- 7) 古瀬慶博、河野芳輝：中部地方北西部の重力異常と地下構造，Vol.35，NO.2，pp547-556，  
発行 1982
- 8) (株)応用地質：GEO-CRE 操作ガイド，Ver1.0.0.発行 2016
- 9) 大野市：大野市地下水総合調査業務報告書、「資料編」，平成 13 年度版.