

坑井温度データから推定される地下深部温度分布：
九州、豊肥地熱地域での適用例

玉生志郎*・吉沢正夫**・野村拳一***

TAMANYU Shiro, YOSHIZAWA Masao and NOMURA Kenichi (1995) Deep subsurface temperature distribution pattern estimated from many temperature logging data : Example of Hohi geothermal area, Kyushu, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.46 (7). p. 313-331, 11figs., 1table.

Abstract : It is generally difficult to estimate accurately deep subsurface temperature beyond the bottoms of drill holes because the degree of thermal gradient changes greatly with depth and geographical position. However, estimation of deep subsurface temperature based on temperature logging data from shallow drill holes has been tried by the relaxation method for the purpose of obtaining more accurate subsurface temperature distribution at a model field where many drill holes exist. Hohi geothermal area was chosen as the model field because many drilling data have been accumulated and available for this analysis.

At first, the temperature of -5,000 m above sea level is estimated by smooth downward extrapolation of the temperature profile of the drill holes. The temperatures at 0, -500, -1,000 m above sea levels are estimated by manual contouring at each level and digitizing of these contours. The temperatures in the subsurface space, gridded as cubic lattice with 250 m grid spacing, are calculated by the relaxation method in two steps. First, the temperatures at surface, 0, -500, -1,000 and -5,000 m above sea levels are fixed, and secondly the temperatures at surface, -5,000 m and at the lattice points which have corresponding measured temperature, are fixed.

In the relaxation method, the temperature at a point of cubic lattice is calculated from temperature values at 6 lattice points on x, y, z axes surrounding the central point, then repetition of this calculation provide equilibrium temperature in the whole field on the assumption that heat transfer is wholly controlled by conduction. These calculations result in the subsurface temperature distribution pattern on the whole.

Estimation of deep subsurface temperature should include consideration of hydrothermal convection in the further study. Fluid pressure and permeability distributions are needed for this purpose. More accurate thermal gradients are also important in heat conductive zones.

Keywords: geothermics, temperature distribution pattern, subsurface temperature, temperature logging, temperature profile, heat conduction, geothermal area, Hohi area, relaxation method

* 地殻熱部

** 日鉦探開(株)

*** (元)日鉦探開(株)、(現)セントラルコンピュータ・サービス(株)

要 旨

地下深部の温度を浅部の坑井温度データから精度よく予測することは、一般的には困難である。それは地下増温率が場所や深度により変化するためである。このような制約下ではあるものの、少しでも信頼性のある深部温度を推定するために、かなりの密度で坑井掘削のなされている地域をモデルにして検討を試みた。モデル地域としては坑井調査データがかなりの密度で蓄積されている豊肥地域を選定した。

今回用いた地下深部温度分布を推定する方法は、以下の通りである。まず坑井温度から標高0, -500, -1,000 mの各レベルの温度分布平面図をマニュアルでコンタリングし、それを数値化した。次に温度プロファイルのパターンから熱伝導タイプと熱対流タイプとに分類した後、各タイプ別に温度プロファイルを下方に滑らかに延長することで標高-5,000 mの温度を推定した。この後、計算対象域全体の地下温度を求めるため、第1次および第2次の緩和法計算を行った。まず第1次緩和法の計算では、地表温度、標高0, -500, -1,000 mの各レベルの温度および標高-5,000 mの推定温度を固定させ、坑底と標高-5,000 m間の各格子点の温度を大局的に求めた。次いで第2次緩和法の計算では、地表温度、標高-5,000 mの推定温度および坑井の実測温度と置換できる全レベルの格子点温度を固定させ、より詳細な地下温度を求めた。この緩和法による計算では地下空間を250 m間隔の立体格子に区画化し、それぞれの立体格子の中心格子点の温度を、x, y, z軸の隣接する6格子点の温度の影響を考慮して求めた。これを繰り返して実施することで、計算領域全体の平衡温度を求めることができる。この際、「熱は伝導によって伝ばする」という事を前提条件とした。また、深部温度を坑底からの外挿曲線で推定しているの、緩和法で計算された平衡温度のうち、今回の議論で用いた範囲は地表から標高-2,000 mまでと限定した。

実際の計算を行うに当たっては、あらかじめ坑井温度データの作成、格子点の初期値の設定、地形データの作成を行った。次いで、各格子点の初期値を順次変化させ全体が滑らかになるように繰り返し緩和法で計算し、最終的な平衡温度を求めた。その結果、本地域全体の深部温度分布がおおよそ推定できた。ただし、熱対流タイプの坑井の分布する地域では、対流系が深部まで連続していると仮定して標高-5,000 mの温度を推定しているため、実際より温度が低く推定されている可能性がある。

今回の計算では「熱は伝導によって伝ばする」と仮定しているの、今後は熱水対流を考慮した深部温度外挿

法を検討していく必要がある。そのためには熱水対流域の範囲、特に深度を明確にさせるとともに、その対流域内での流体圧力分布および広域的な浸透率・層厚積の分布を明らかにしなければならない。また、熱伝導域においても深度・地域毎に変化する地下増温率を正確に求めていく必要がある。

1. はじめに

地熱の研究において深部の温度をどのように推定するかは、最も重要な研究課題の一つである。一般的には、地下の平均的な増温率から地下の温度を推定する方法が用いられているが、実際には地下増温率は場所や深度により大きく変化するため、信頼性のある推定を行うことは困難なことが多い。このような制約下ではあるものの、少しでも信頼性のある深部温度を推定するために、かなりの密度で坑井掘削のなされている地域をモデルにして、地下深部温度分布を浅部坑井温度から推定する方法を検討した。その検討結果について、ここに報告する。モデル地域としては大規模深部地熱発電所環境保全実証調査(通商産業省, 1987)や地熱開発促進調査「久住地域」(新エネルギー・産業技術総合開発機構, 1989)が実施され、かなりの密度で坑井調査データが蓄積されている豊肥地域を選定した。

本地域においてはすでに花岡(1986)、矢野ほか(1987)らによって、坑井温度データに基づいた広域熱水対流のシミュレーションが行われている。

2. 研究方法

2.1 使用データ

本研究においては、大規模深部地熱発電所環境保全実証調査で得られた「豊肥地域」の温度検層データ、および地熱開発促進調査「久住地域」で得られた温度検層データを使用した。このうち豊肥地域のデータは地質調査所の地熱データベースシステム「SIGMA」の坑井データベース(須田・矢野, 1991)に保管されているので、データの一部を磁気テープに移植して使用した。実際に使用したデータは豊肥地域で28坑井、久住地域で10坑井で、いずれも10 m間隔のポイントデータである。各坑井の位置、標高および掘削深度は第1表に示す通りである。また、その坑井掘削位置は第1図に示す通りである。これらの坑井を含む範囲として、第2図に示すUTM(Universal Transverse Mercatorの略)座標系の領域を計算処理の対象領域とした。一方、計算処理の深度方向の範囲は、標高1,000 mから-5,000 mまでとし、これらの領域を250 mの間隔で切った立方体の頂点を計算の対象

第1表 データ処理対象坑井一覧表

Table List of bore holes used for data analyses.

No.	坑井名	北緯	東経	標高(m)	掘削深度(m)
[豊肥地域]					
1	50-AS-1	33° 8' 57.00"	131° 7' 50.49"	685.0	500.7
2	50-AS-2	33° 7' 20.00"	131° 7' 3' 00"	634.0	501.0
3	52E-TY-1	33° 9' 5.00"	131° 8' 36' 00"	750.0	1001.79
4	52E-TY-2	33° 9' 3.00"	131° 8' 30.00"	750.0	704.4
5	52-KK-1	33° 4' 15.00"	131° 9' 0.00"	760.0	706.8
6	DA-32-3	33° 1' 37.99"	131° 7' 21.99"	800.0	160.0
7	DB-1	33° 6' 4.95"	131° 6' 50.97"	550.0	500.0
8	DB-2	33° 6' 34.00"	131° 8' 3.00"	795.0	500.0
9	DB-3	33° 5' 25.00"	131° 9' 57.00"	1001.0	500.0
10	DB-4	33° 9' 58.00"	131° 9' 12.00"	652.0	500.0
11	DB-5	33° 8' 2.00"	131° 12' 34.00"	835.0	500.0
12	DB-7	33° 9' 48.00"	131° 12' 2.00"	830.0	500.0
13	DB-8	33° 4' 20.00"	131° 9' 16.00"	775.0	500.0
14	DB-9	33° 8' 34.00"	131° 8' 23.00"	760.0	500.0
15	DB-10	33° 9' 2.00"	131° 10' 3.00"	922.0	500.0
16	DB-11	33° 7' 39.03"	131° 14' 39.91"	957.0	500.0
17	DW-1	33° 7' 13.00"	131° 9' 8.00"	1063.0	1500.0
18	DW-2	33° 9' 47.00"	131° 8' 30.00"	770.0	1500.0
19	DW-3	33° 8' 32.00"	131° 11' 40.00"	840.0	1200.0
20	DW-4	33° 4' 42.00"	131° 9' 0.00"	760.0	1100.0
21	DW-5	33° 6' 23.18"	131° 10' 06.70"	1205.0	1500.0
22	DW-6	33° 10' 8.00"	131° 9' 45.00"	609.1	1550.0
23	DW-7	33° 9' 22.00"	131° 7' 20.00"	647.2	1800.0
24	DY-1	33° 9' 31.00"	131° 8' 48.00"	823.5	2618.0
25	DY-2	33° 7' 45.00"	131° 8' 19.00"	866.2	2401.5
26	DY-3	33° 5' 3.00"	131° 10' 20.00"	954.3	2303.0
27	DY-5	33° 7' 53.00"	131° 13' 37.00"	980.3	3206.0
28	DY-6	33° 8' 2.00"	131° 12' 35.00"	838.0	3003.2
[久住地域]					
29	T-1	33° 4' 5.53"	131° 19' 43.78"	600.0	402.0
30	T-2	33° 4' 4.23"	131° 16' 26.68"	962.0	400.4
31	T-3	33° 2' 30.24"	131° 14' 16.36"	835.0	403.0
32	N60-KJ-1	33° 4' 14.96"	131° 17' 47.57"	800.0	911.7
33	N60-KJ-2	33° 3' 8.29"	131° 16' 0.81"	810.0	1002.0
34	N61-KJ-3	33° 4' 39.00"	131° 19' 08.00"	680.0	847.6
35	N61-KJ-4	33° 4' 5.00"	131° 16' 27.00"	965.0	1331.6
36	N61-KJ-5	33° 3' 44.99"	131° 14' 11.00"	1095.0	1700.0
37	N62-KJ-6	33° 5' 51.00"	131° 18' 45.00"	890.0	1000.0
38	N62-KJ-7	33° 3' 52.00"	131° 13' 3.00"	1145.0	1700.0

格子点とした。これらの関係を第3図に示す。

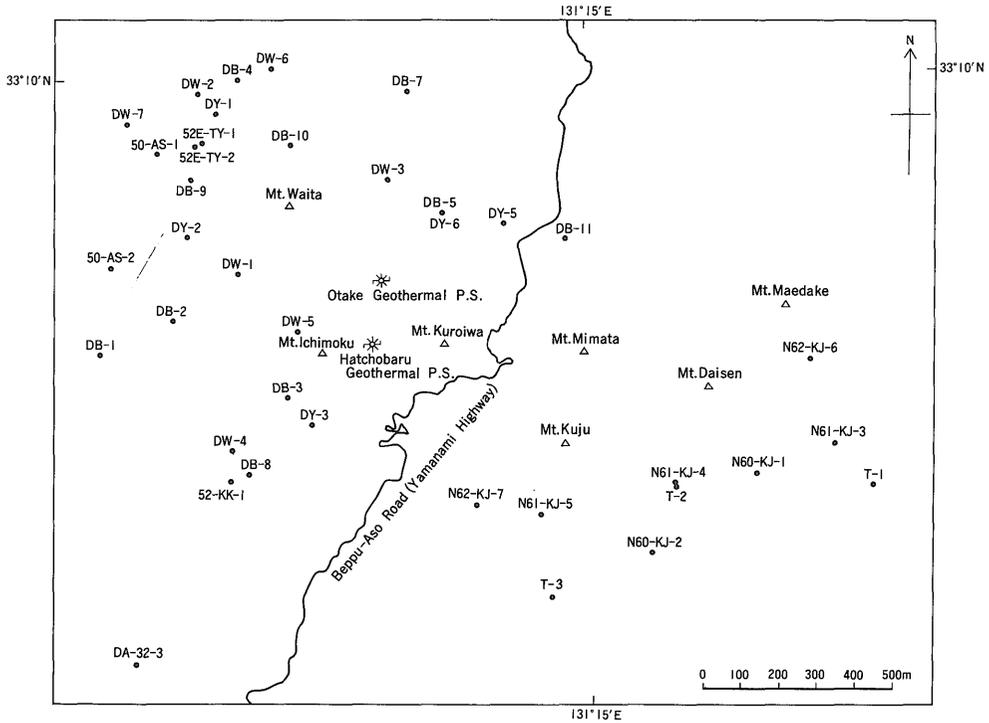
2.2 解析方法

2.2.1 地下温度の推定方法

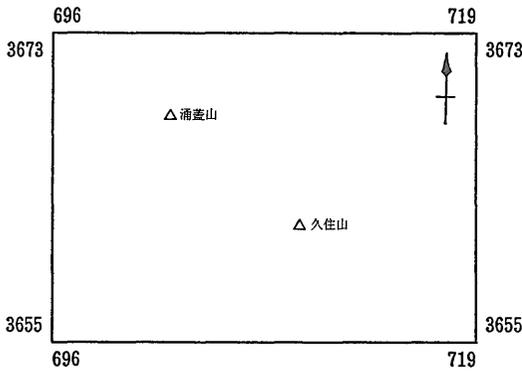
坑井温度データから、標高0, -500, -1,000 mの各レベルの温度分布平面図を作成した。その際、坑井地点が調査地域内で偏在しているため、まずマニュアル・コンタリングをしてから、デジタイザーでコンターをトレースした。このコンターをUTM座標系の250 m格子点に

変換した。次いで、坑井の温度分布から熱伝導タイプか熱対流タイプか判別し、標高-5,000 mまで延長することにより標高-5,000 mの温度を仮定した。標高-5,000 m準の温度を坑井データから仮定できない計算領域周辺部の格子に対しては、マニュアル・コンタリングで外挿した。地表温度(12°Cと設定)と上記の標高-5,000 m準の仮定温度を一次式で補間し、すべての格子点の温度を仮定した。

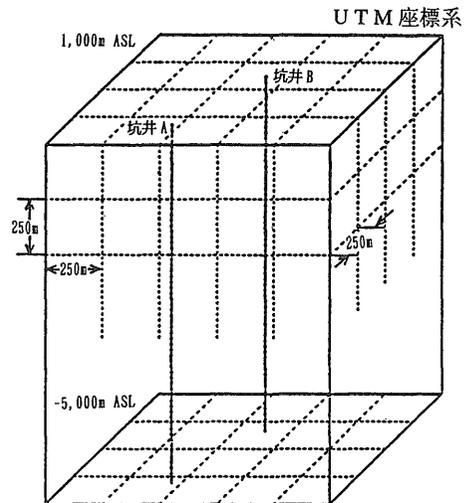
地表温度と標高-5,000 m準の格子点温度、さらに標高



第1図 坑井位置図
Fig. 1 Index map for bore hole localities.



第2図 計算対象領域のUTM座標(座標単位: km)
Fig. 2 UTM coordinates of calculated field (unit: km).



第3図 UTM座標系立体格子
Fig. 3 Three-dimensional grid for UTM coordinate.

0, -500, -1,000 m の各レベルの温度を固定して第一次の緩和法計算を実施した。途中結果を出力し、各坑井についての計算結果と実測データを比較検討し、標高-5,000 m まで推定した部分が実測温度と滑らかに接続するかどうか検討した。否の場合はその坑井の標高-5,000 m 準の

仮定値を修正し、再度、緩和法の計算を実施した。すべての坑井に関して、標高-5,000 m まで滑らかに外挿できた時点で第一次緩和法の計算を終了した。

第一次緩和法の計算で得られた格子点温度データのうち、実測温度データのある格子点を実測データと置き換えて、第二次緩和法の計算を実施した。この場合、地表温度、標高-5,000 m 準の格子点温度および実測データと置換した格子点のみを固定して第二次緩和法の計算を行った。温度が平衡状態に達して変化が生じなくなった時点で、第二次の緩和法の計算を終了した。

2.2.2 緩和法の計算方法

今回の計算では緩和法を用いた。この方法は第4図に示すような立体格子を考えた場合に、x, y, z 軸の隣接する6格子点の温度の影響を計算し中心格子点の温度と置き換えていく方法である。地温が平衡状態にあれば、 ϕ を温度としてラプラスの方程式

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (1式)$$

が成立する。立体格子の間隔を d として差分を考えると、この差分近似式は

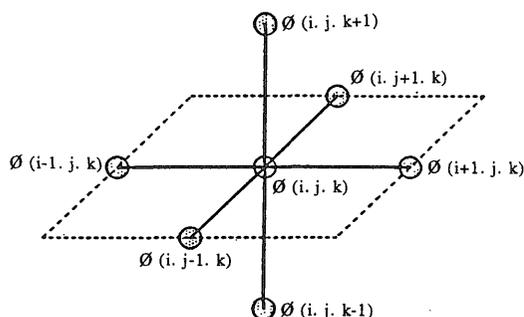
$$\nabla^2 \phi \frac{1}{d^2} (\phi_{(i-1,j,k)} + \phi_{(i+1,j,k)} + \phi_{(i,j-1,k)} + \phi_{(i,j+1,k)} + \phi_{(i,j,k-1)} + \phi_{(i,j,k+1)} - 6\phi_{(i,j,k)}) = 0 \quad (2式)$$

で表される。この緩和は

$$R = \phi_{(i-1,j,k)} + \phi_{(i+1,j,k)} + \phi_{(i,j-1,k)} + \phi_{(i,j+1,k)} + \phi_{(i,j,k-1)} + \phi_{(i,j,k+1)} - 6\phi_{(i,j,k)} \quad (3式)$$

とすると、R をゼロにすれば良い。R = 0 とすれば

$$\phi_{(i,j,k)} = \frac{1}{6} (\phi_{(i-1,j,k)} + \phi_{(i+1,j,k)} + \phi_{(i,j-1,k)} + \phi_{(i,j+1,k)} + \phi_{(i,j,k-1)} + \phi_{(i,j,k+1)}) \quad (4式)$$



第4図 緩和法で使用した立体格子
Fig. 4 Three-dimensional grid for relaxation method.

となり、中心格子点の温度は隣接する6格子点の平均値になった状態であることが分かる。具体的な操作としては、隣接する6格子点の温度の平均値を算出し中心点の格子温度に置き換え、次に隣の格子点に移り同様の計算と手順を繰り返す。このようにして、次々に各格子点で実施して1回目の緩和を終わる。この緩和を繰り返してある条件のもとで計算を終了する。

計算領域の境界では境界外側のデータが欠如するが、本処理では側面の断熱境界の場合、中心点に対して対称の位置にある反対側の点(鏡に映した点)のデータを取り込み、計算を実施している。

3. データ処理

本計算処理の作業内容の手順を第5図に示す。以下、その詳細について記述する。

3.1 坑井温度データの作成

10 m 深度毎の温度データを標高 250 m 毎の温度データに変換するとともに、緯度経度で表記された坑井位置を UTM 座標系に変換した。具体的な作業は以下の通りである。各作業の番号は第5図のデータ処理の流れ図の中の番号に対応する。

(1) 深度 10 m 毎の坑井温度リスト:

各坑井の温度データは地質調査所のシグマデータベース(須田・矢野, 1991) から作成した深度 10 m 毎の温度データのリストである。

(2) 温度データファイルの作成:

上記の坑井温度リストをキー・インしてデータファイルを作成した。

(3) 標高温度への変換および 250 m 毎のポイントデータ作成:

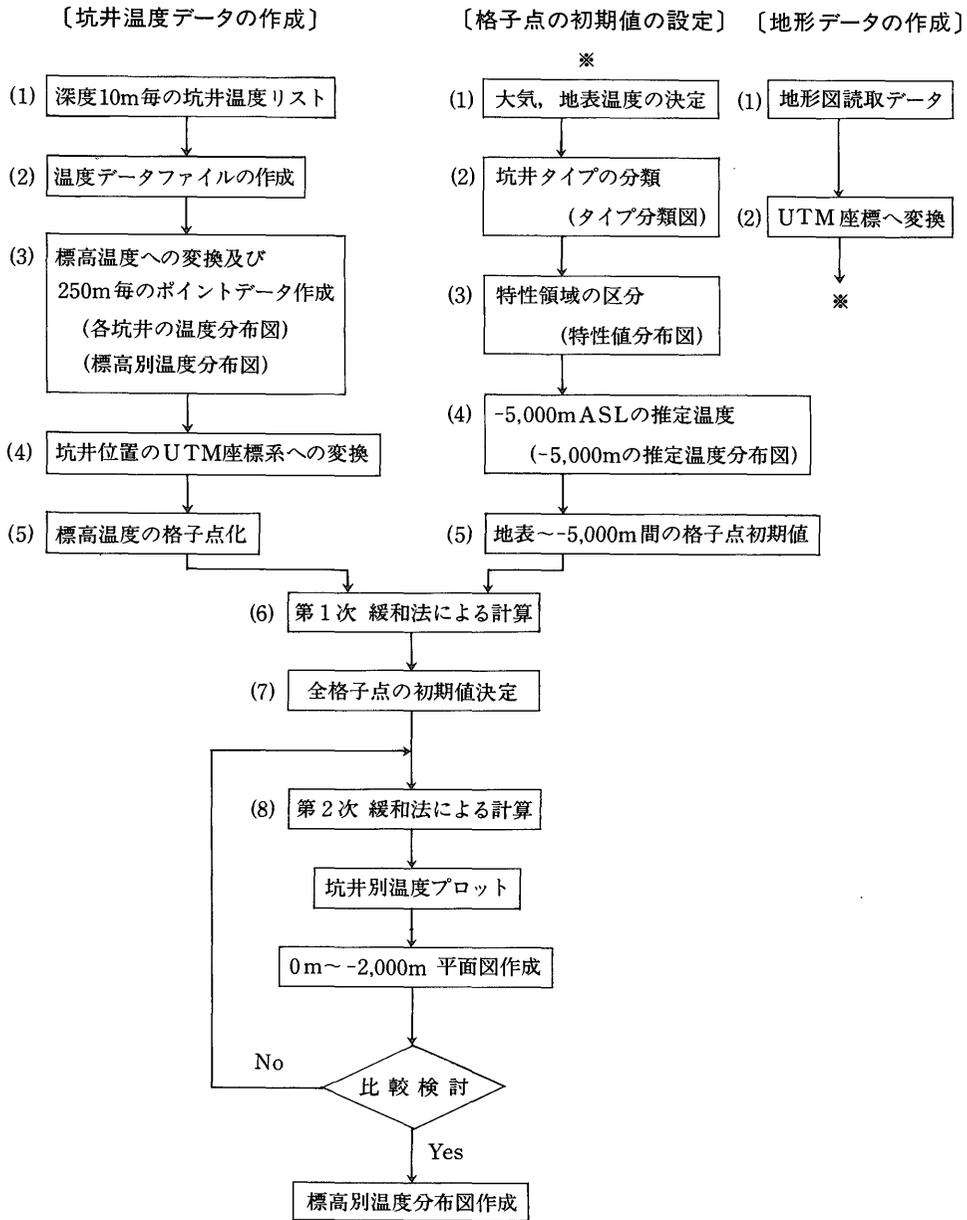
坑口の標高値を基に標高 10 m および 250 m 間隔のポイントデータファイルを作成した。このデータを基に各坑井の温度プロファイルおよび温度勾配図を作成した。また、標高 0, -500, -1,000 m の各レベルにおける温度分布図を作成した。この際、坑井位置が偏在しているのでマニュアル・コンタリングしてから、コンターをデジタイザーでトレースした。

(4) 坑井位置の UTM 座標への変換:

第1表の坑井位置(緯度、経度)を UTM 座標に変換した。

(5) 標高温度の格子点化:

(3)の標高 0, -500, -1,000 m の各レベルの温度分布図を La Porte(1962)の補間方法によって UTM 座標の 250 m 格子点に変換して、温度データのある格子点として取り扱うこととした。



第5図 データ処理の流れ

Fig. 5 Flow chart of data processing.

3.2 地形データの作成

(1) 地形図読取データ:

計算対象地域の地形データ(標高)は縮尺1/25,000の地形図を東西および南北を40等分したグリッド(概略200~250m)を用いて標高を読み取った。

(2) UTM座標への変換:

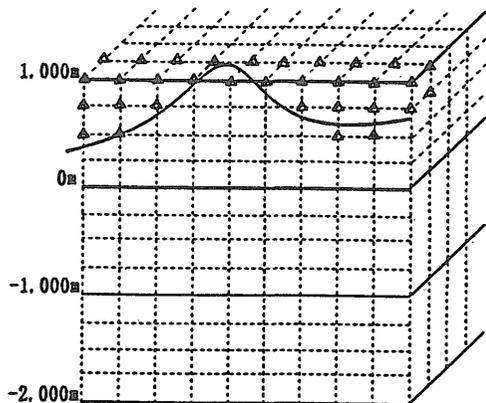
地表地形と立体格子の位置関係を求めるため、以下のような処理を行った。まず250mの格子点(UTM座標)の緯度および経度を求めた。次にこの緯度経度における標高を、(1)で求めた地形読み取り格子点の近傍4点の標高を使って算出した。

3.3 格子点の初期値の設定

測定データの無い格子点温度を緩和法で補間するために、以下の手順で各格子点の初期値を決定した。

(1) 大気、地表温度の決定：

地表の温度は年間平均気温を参考にして12°Cとして設定した。第6図に示すように大気中および地表に最も近い格子点は初期値として、この12°C (△印) を設定した。



第6図 地表温度を固定した格子点 (△印)
Fig. 6 Grid points at fixed surface temperature (mark △).

(2) 坑井タイプの分類：

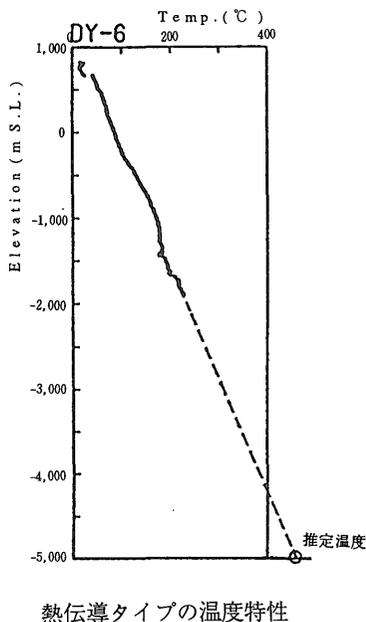
各坑井の温度特性から、各坑井が熱伝導タイプか熱対流タイプの特徴を示すかを判定し、各タイプの特性から深部の温度を推定した。本処理の対象となった坑井は十分な掘削長がないものもあり、また、温度特性がいずれのタイプに属するのか判定が困難なものが一部あったが、本地域の特徴として、同一タイプの坑井が地域的に集まっている傾向が認められることを考慮し、また、掘削長の短い坑井や特異な温度特性を示す場合は近傍の坑井のタイプを参考にしてタイプの分類を行った (第7図)。熱伝導タイプは“0”，熱対流タイプは“1”の特性値を与えた。このようにして各坑井を分類した結果を第8図に示した。

(3) 特性領域の区分：

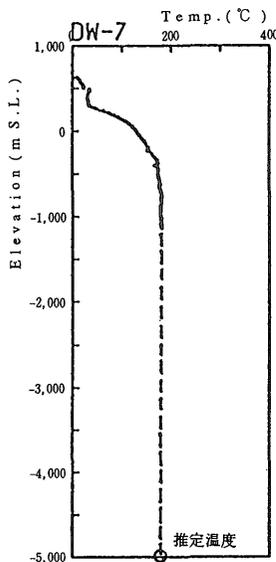
坑井タイプの分類結果を用いて熱伝導が卓越する地区と熱対流(流体流動)が卓越する地区とに領域区分を行った。第8図の特性値分布図から La Porte(1962) の補間方法により格子点の値を求めた。ここでは特性値が0.5以下の領域を熱伝導領域、特性値が0.5を越える領域を熱対流領域と見なした (第9図)。

(4) 標高-5,000 m の推定温度：

各坑井の温度特性から、それぞれの坑井を熱伝導タイプと熱対流タイプに分類し、標高-5,000 m における温度



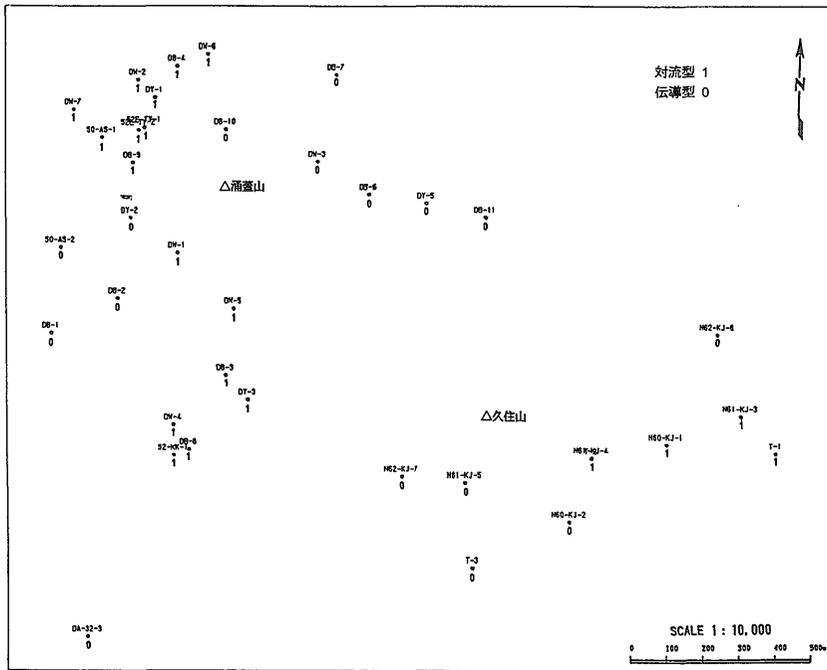
熱伝導タイプの温度特性



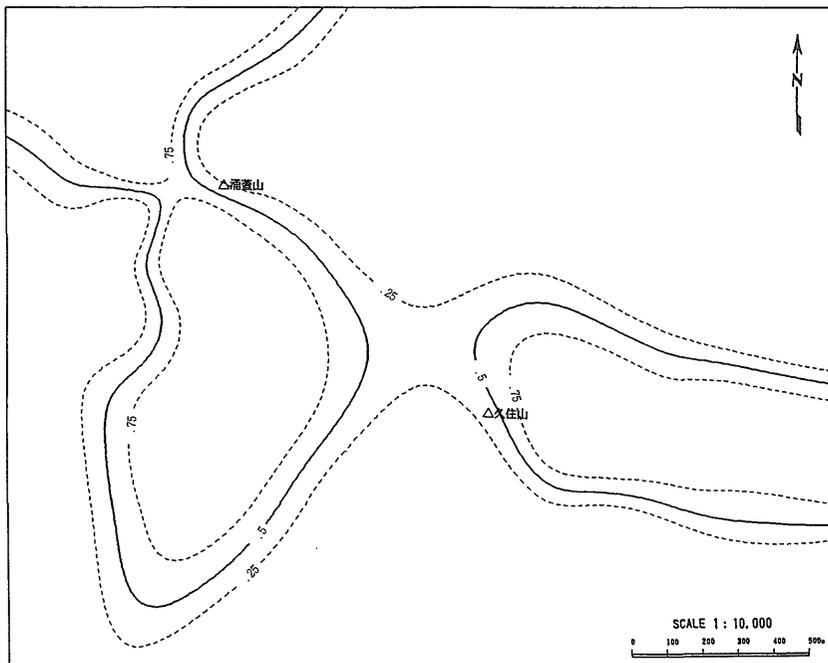
熱対流タイプの温度特性

第7図 熱伝導タイプと熱対流タイプの温度特性

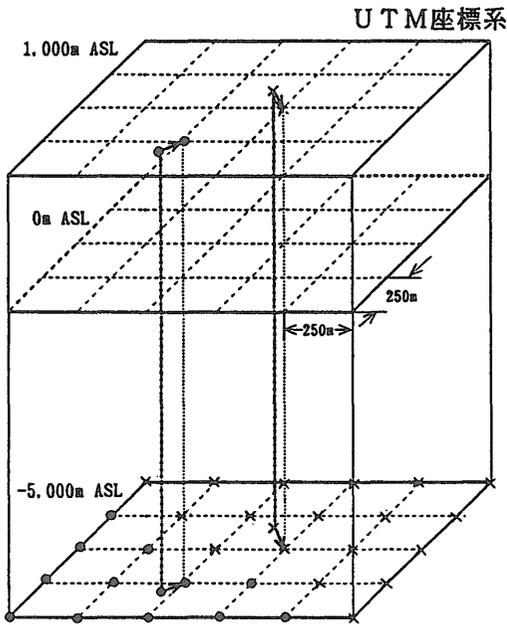
Fig. 7 Characteristics of temperature profiles for thermal conductive and convective types.



第8図 熱伝導・熱対流のタイプ別坑井分布図
Fig. 8 Classification of thermal conductive and convective typed wells.



第9図 対流特性値分布図
Fig. 9 Distribution map showing the degree of convection.



第10図 標高-5,000 m格子点への温度データの投影
Fig. 10 Projection of temperature data to the UTM grid.

を第7図に示すように各タイプ別に温度分布プロファイルを延長することによって推定した。下降流タイプの坑井では、標高-5,000 mまで温度プロファイルを延長すると異常な値となるので、第9図や近傍の坑井温度プロファイルを参考に適当な高温の値を与えた。推定温度は50°Cきざみで与えた。このようにして求めた標高-5,000 mにおける坑井投影点を第10図に示す。一方、標高-5,000 m準で坑井データから温度が仮定できない境界周辺領域の格子は、マニュアル・コンタリングして外挿し、格子点の温度を仮定した(第11図)。

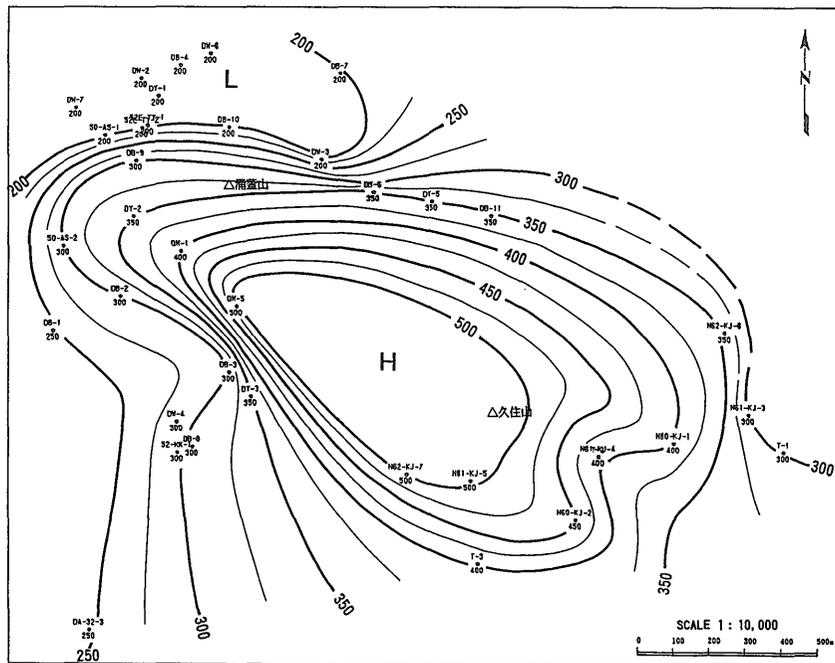
(5) 地表～標高-5,000 m間の格子点初期値：

地表に最も近い格子点の温度は上述のように12°Cとした。また標高-5,000 mレベルの格子点は上記の(4)の方法で推定した。地表～標高-5,000 m間の格子点の温度は両者の温度差を比例配分し、各格子点の初期値温度とした。このようにして、坑井データのない格子点の温度を求め、第1次緩和法に対する暫定初期値とした。

3.4 緩和法による温度計算

(1) 第1次緩和法による計算：

上記の手順で決定した暫定初期値を中間レベルの温度データを与えてより妥当なものにするため、地表温度



第11図 標高-5,000 mの推定温度分布図
Fig. 11 Distribution map of estimated temperature at -5,000m above sea level.

(12°C)と標高-5,000 m 推定温度および標高0, -500, -1,000 m レベルの格子点の温度を固定し、第1次緩和法計算を実施して平衡状態の温度を求めた。緩和法の回数は平衡状態が得られるまで実行され、今回は1500回の試行で目的を達したと判断した。ここでは各坑井の温度分布図およびレベル毎の平面図を対象に実測値の図面と各回の結果を比較検討し、平衡状態でしかも不自然な結果にならない、妥当な結果が得られたと判断した時点で緩和法の計算を打ち切った。

(2) 全格子点の初期値決定:

このようにして、測定データのある格子点および補間する格子点の値がすべて決定された。これらは次の第2次緩和法計算の初期値となる。

(3) 第2次緩和法による計算:

第1次緩和法では地表温度(12°C)と標高-5,000 m 推定温度の他、標高0, -500, -1,000 m レベルの格子点の温度を固定して計算したが、第2次緩和法では実測データのある格子点(250 m 間隔)を実測データと置き換えて、地表温度(12°C)、標高-5,000 m 推定温度とともに固定点として計算した。第1次緩和法では大局的な温度分布を効率的に計算すること、第2次緩和法では実測データを十分反映させることを目的とした。第2次緩和法の結果、浅部の温度分布はより実測データに近いものとなった。緩和法の計算は、温度が平衡状態に達して変化がなくなった時点で終了とした。

4. データ処理結果

(1) 坑井別温度分布図

実際に使用した坑井温度プロファイルの原データを付図1.1, 1.2に示す。これらはいずれも120時間ないし128時間の温度回復データで、ほぼ地層平衡温度と見なすことができる。第1次緩和法の計算を1500回実行したところ、十分平衡に達していると判断できたので、この時点で第1次の緩和法の計算を打ち切った。ここで得られた格子点温度が、第2次緩和法計算の初期値となる。第2次緩和法の計算では一部の坑井(DB-4, DB-9)を除いてほとんど変化がなく、その一部の坑井でも2~3回の計算で平衡になってしまった。それゆえ、今回は第2次の緩和法の計算は15回目の結果を最終的な平衡温度と見なすこととし、それらを付図2.1, 2.2に図示した。

(2) 標高別温度分布図

坑井別温度分布に基づいて標高0, -500, -1,000, -2,000 m の各レベルの温度分布図を作成した。まず、坑井の実測温度に基づいた温度分布図はマニュアルでコンタリングして求めた。その際、標高-2,000 m レベルは実

測坑井が一つしかないので温度分布図を作成できなかった。坑井の実測温度に基づいた標高0, -500, -1,000 m 準の温度分布図を付図3.1, 3.2, 3.3に示す。また、第2次緩和法15回目の計算結果に基づく標高0, -500, -1,000, -2,000 m の温度分布図を付図4.1, 4.2, 4.3, 4.4にそれぞれ図示した。

マニュアル コンタリングによる標高0, -500 m, -1,000 m の温度分布と第2次緩和法の計算15回目による温度分布を比較すると、第2次緩和法による方が標高0, -500 m で高温部の領域が若干減少している。標高-1,000, -2,000 m レベルでは、両者はほぼ一致している。

5. 結論と今後の課題

本研究によって、本地域の全体として深部温度分布がおおよそ推定できた。ただし、熱水対流の発達している地域では緩和法の基本則である熱伝導の仮定が成り立たないため、深部温度推定にかなりの誤差が生じていると思われる。また、使用した坑井の掘削長が十分な深度に達していないものがあることや、坑井が偏在(特に涌蓋山の北西部)している等の理由から、計算領域の周辺部では外挿温度の精度は相対的に低いと思われる。

今後は熱水対流を考慮した深部温度推定法を検討していく必要がある。そのためには地下の温度分布の他に流体圧力分布を明らかにしなければならない。地下の流体圧力分布は貯留層の圧力遷移テストなどから得ることができるが、広域的にはなかなか得ることが難しいデータである。また、広域的な浸透率・層厚積の分布データを求めていく方法も検討する必要がある。

また、熱伝導域においても深度や地域によって地下増温率が大きく変化するため、これらをいかに正しく見積っていくかが今後の研究課題となる。当面は広域的な地下増温率の傾向を把握するとともに、地層単元に対応した地下増温率を求めていくことが急務と思われる。

謝辞 本研究をすすめるにあたり、地質調査所地殻熱部の矢野雄策博士には、豊肥地域の温度検層データの準備を手伝って頂いた。また、原稿を懇切丁寧に検討し、重要な修正点を指摘して頂いた。ここに深謝の意を表する。

文 献

- 花岡尚之(1986) 重力基盤による熱水対流系の規制。日本地熱学会誌 Vol. 8, p. 379-412.
La Porte, M. (1962) Elaboration rapide de Cartes gravimetriques deduites de L'anomalie de Bouguer. *Gephysical Prospecting*, vol.10, p.

坑井温度データから推定される地下深部温度分布（玉生 ほか）

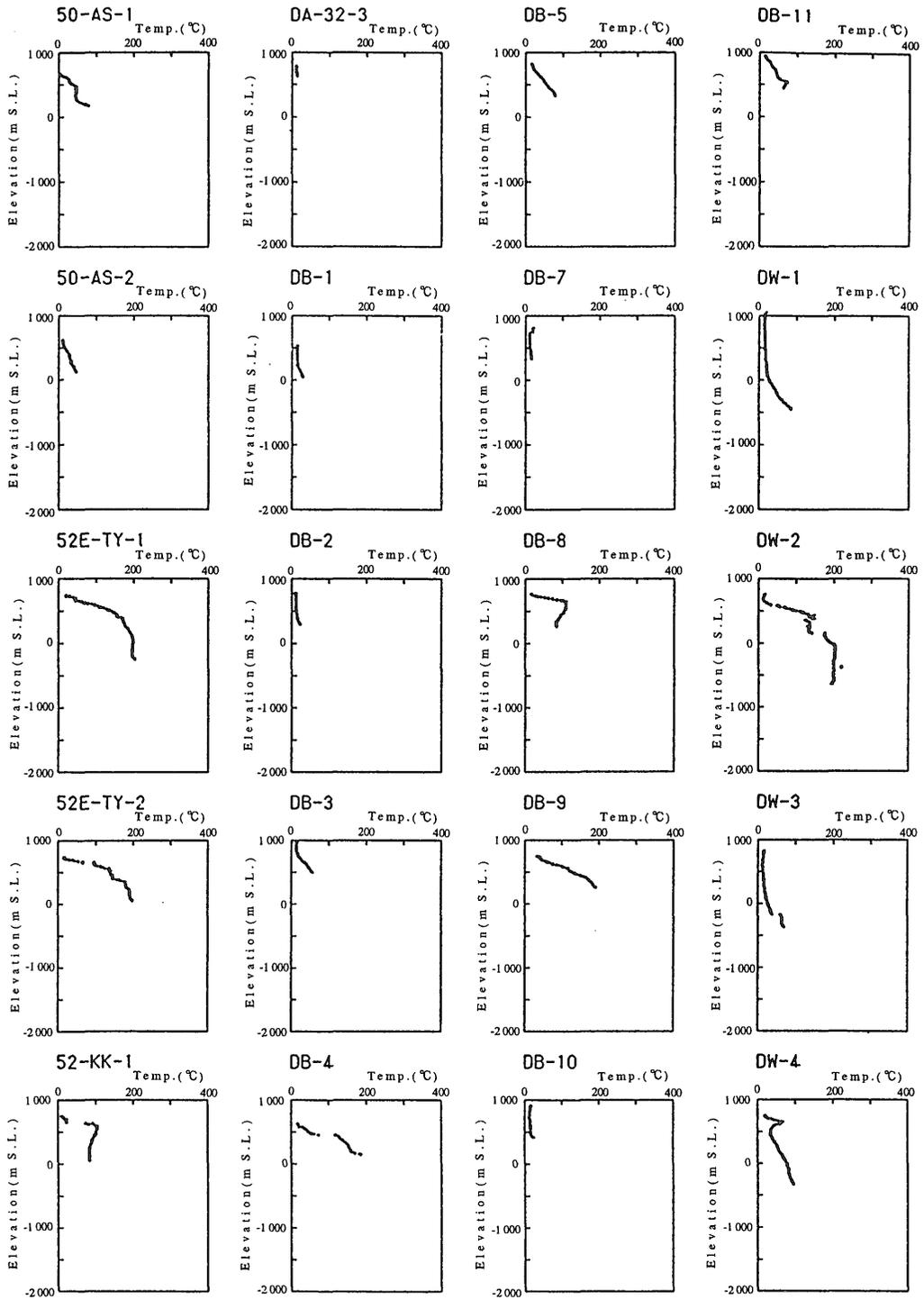
238-257.

新エネルギー・産業技術総合開発機構(1989) 地熱開発
促進調査報告書 No.18 久住地域 768 P.
須田芳朗・矢野雄策(1991) 日本の地熱調査における坑
井データ その2 検層データおよび地質柱状
図データ, 地調報告 no. 273, 842P.
通商産業省(1987) 大規模深部地熱発電所環境保全実証

調査 総合評価報告書(豊肥地域) 117 P.

矢野雄策・鎌田浩毅・小川克郎(1987) 基盤傾斜部上部
の高温熱水系の形成条件について—中部九州,
猪牟田カルデラのモデル化—.石油技術協会誌,
vol. 52, p.399-412.

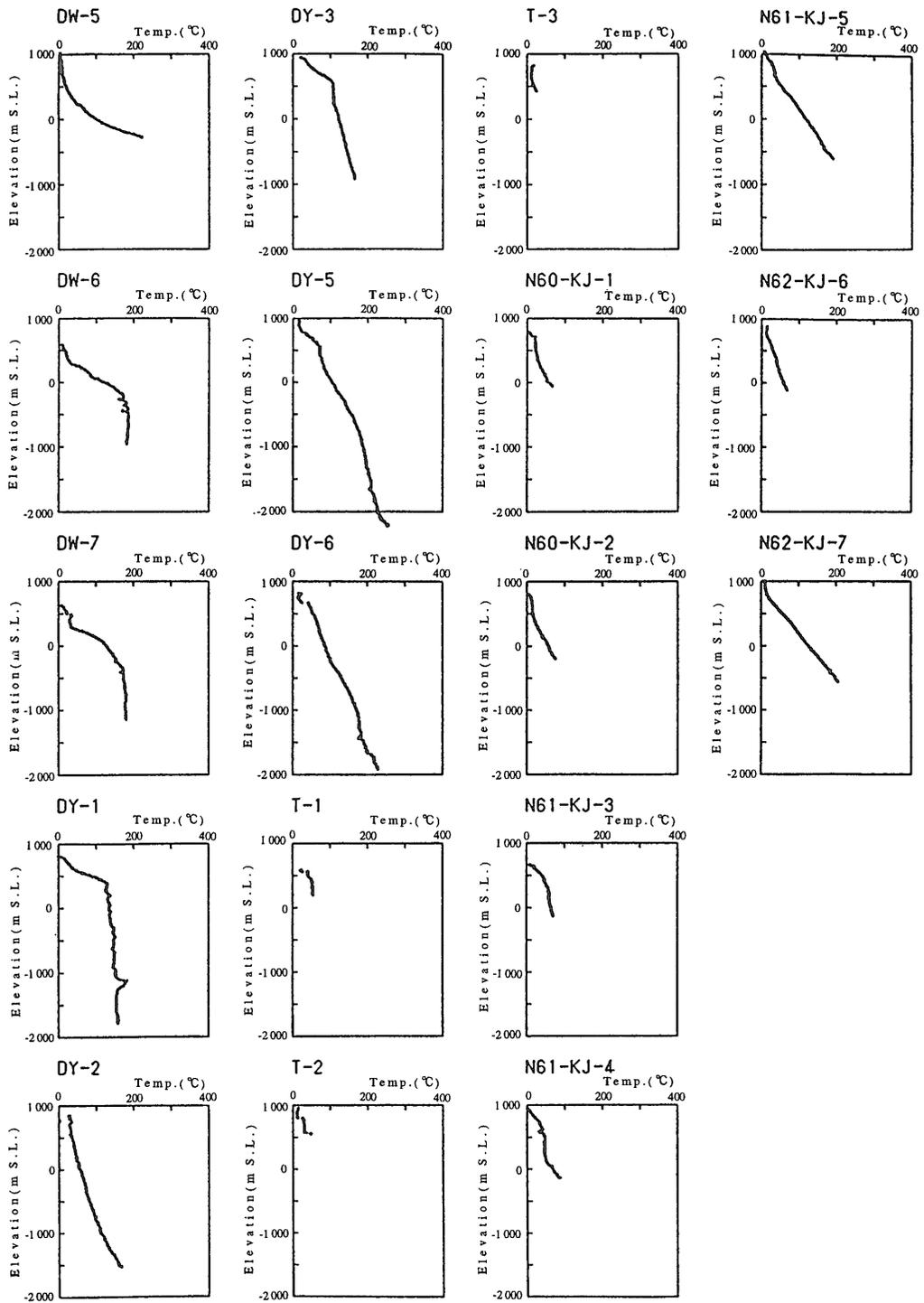
(受付:1995年4月11日;受理:1995年6月23日)



付図 1.1 坑井別温度分布図 (実測値) (その1)

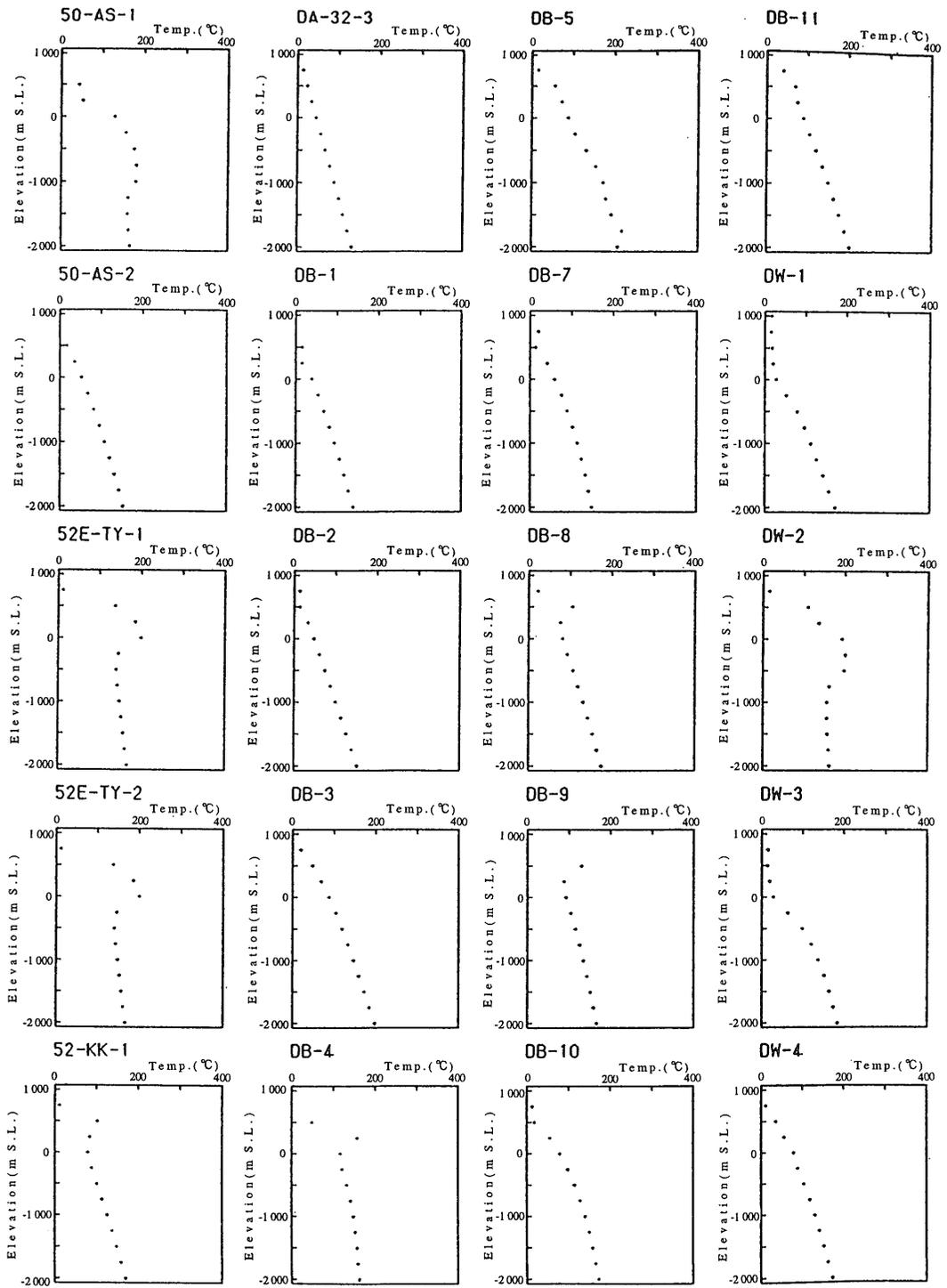
Appdx. fig. 1.1 Measured temperature profile for each bore hole (part 1).

坑井温度データから推定される地下深部温度分布 (玉生 ほか)



付図 1.2 坑井別温度分布図 (実測値) (その2)

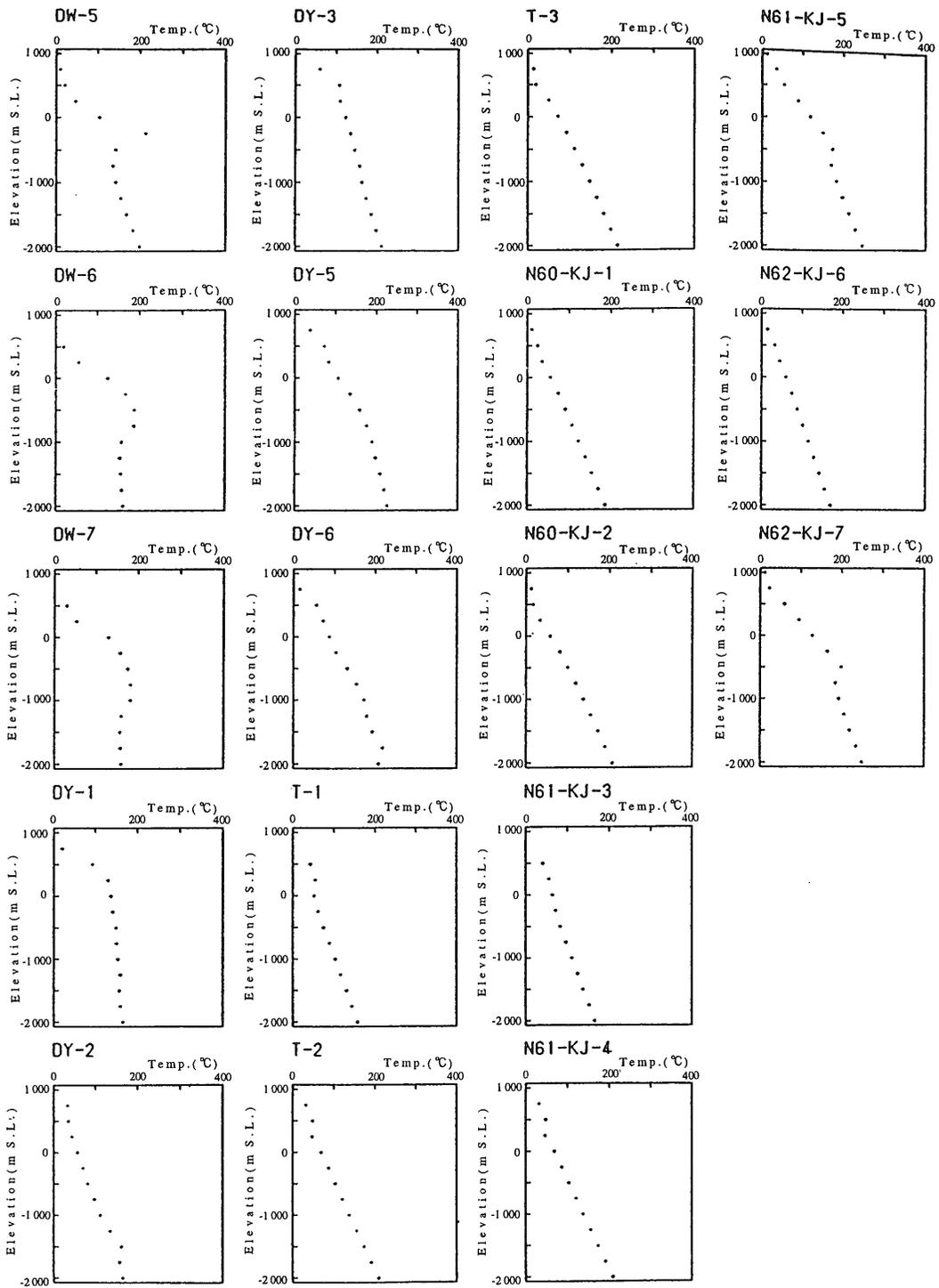
Appdx. fig. 1.2 Measured temperature profile for each bore hole (part 2).



付図 2.1 第2次緩和法15回による坑井別温度分布図(その1)

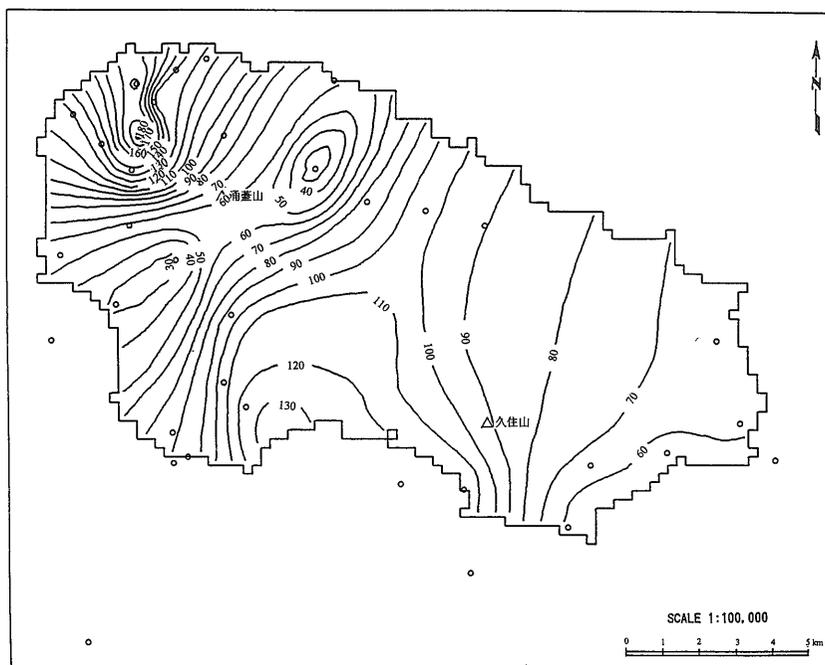
Appdx. fig. 2.1 Temperature profile based on 15th calculation of the second relaxation for each bore hole (part 1).

坑井温度データから推定される地下深部温度分布 (玉生 ほか)



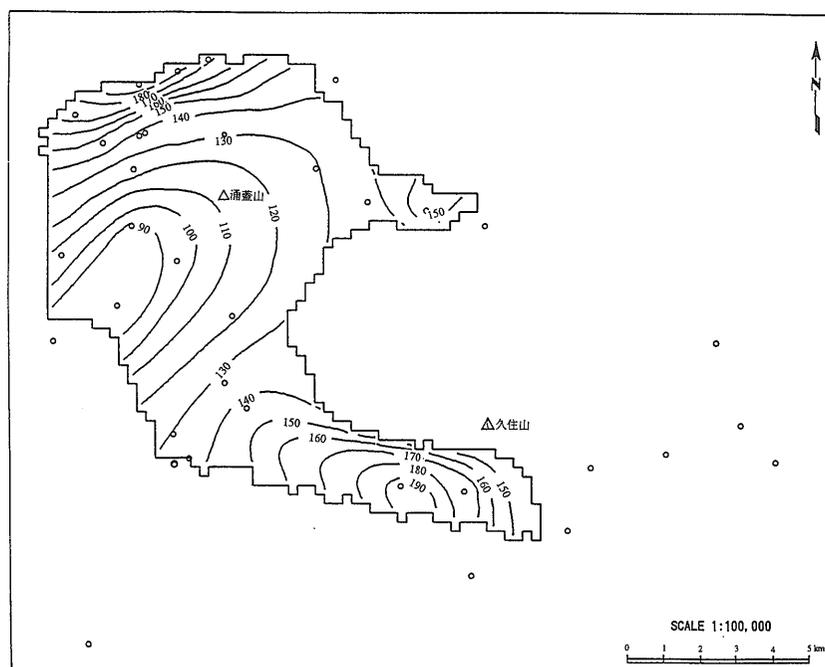
付図 2.2 第 2 次緩和法 15 回による坑井別温度分布図 (その 2)

Appdx. fig. 2.2 Temperature profile based on 15th calculation of the second relaxation for each bore hole (part 2).



付図 3.1 実測値による標高別温度分布図 (標高 0 m)

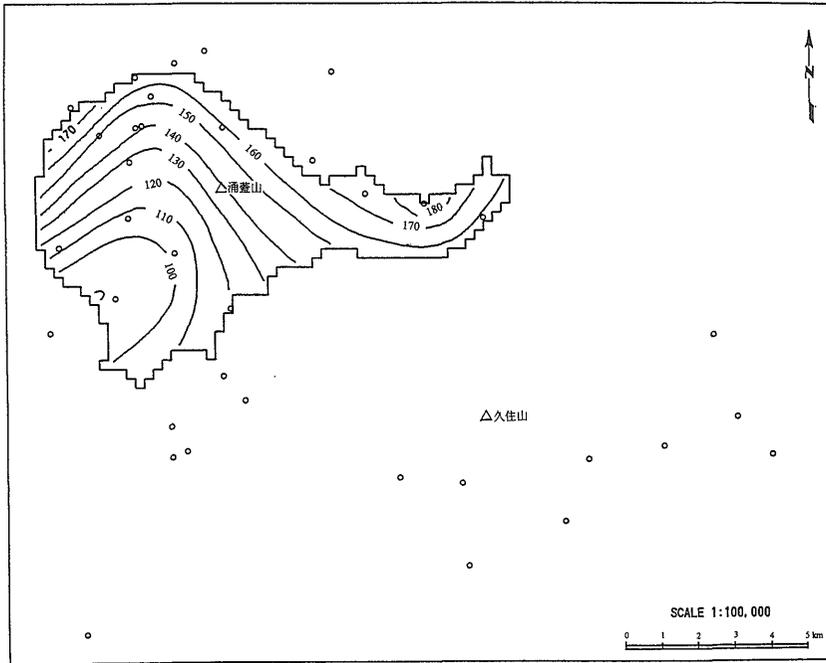
Appdx. fig. 3.1 Temperature distribution map at sea level based on logging data.



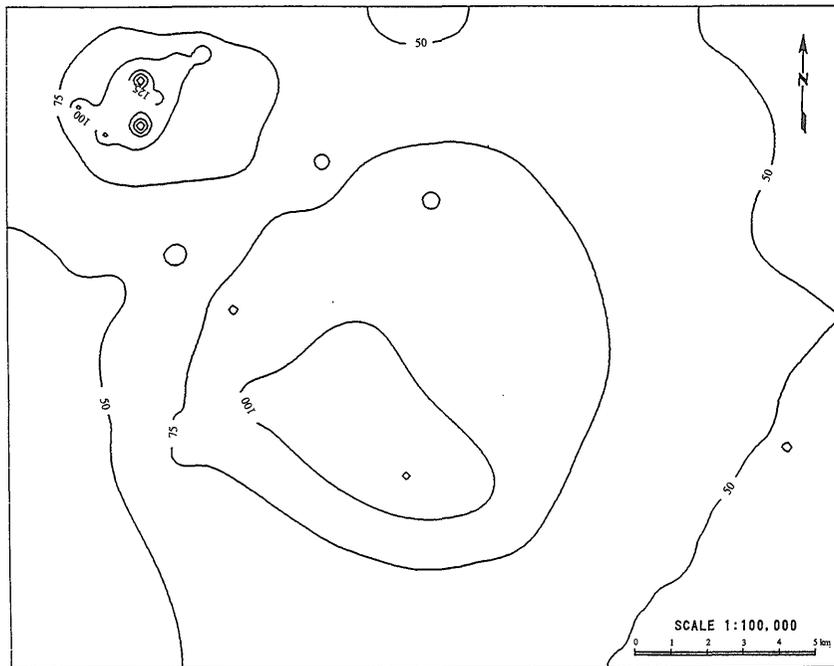
付図 3.2 実測値による標高別温度分布図 (標高-500 m)

Appdx. fig. 3.2 Temperature distribution map at -500m above sea level based on logging data.

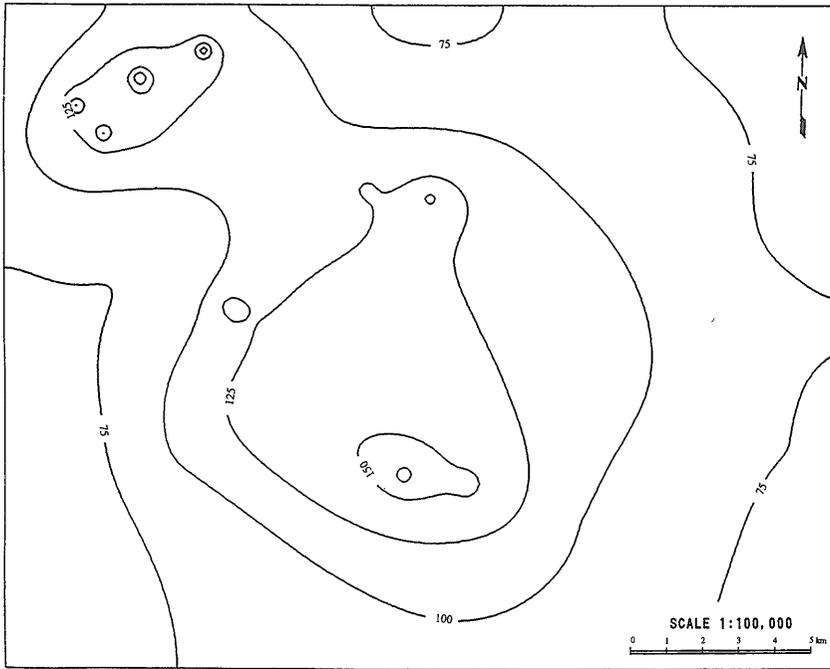
坑井温度データから推定される地下深部温度分布（玉生 ほか）



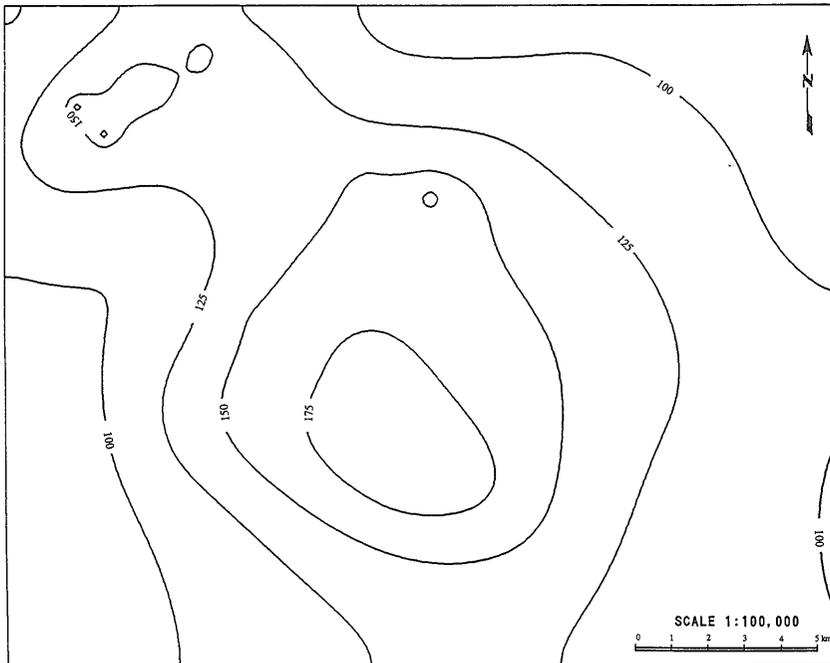
付図 3.3 実測値による標高別温度分布図（標高-1,000 m）
 Appdx. fig. 3.3 Temperature distribution map at -1,000m based on logging data.



付図 4.1 第 2 次緩和法 15 回による標高別温度分布図（標高 0 m）
 Appdx. fig. 4.1 Temperature distribution map at sea level based on 15th calculation of the second relaxation.

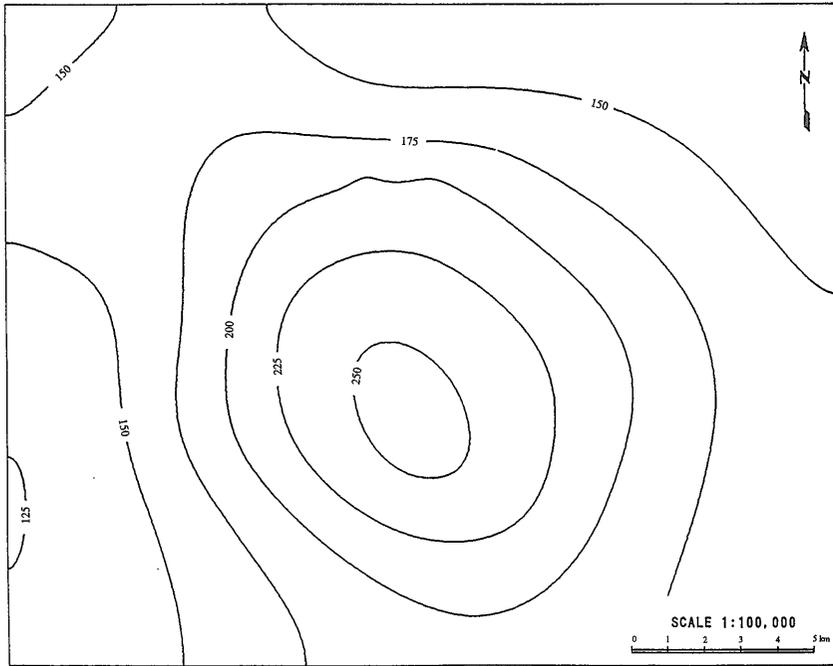


付図4.2 第2次緩和法15回による標高別温度分布図(標高-500m)
Appdx. fig. 4.2 Temperature distribution map at -500m above sea level based on 15th relaxation.



付図4.3 第2次緩和法15回による標高別温度分布図(標高-1,000m)
Appdx. fig. 4.3 Temperature distribution map at -1,000m above sea level based on 15th relaxation.

坑井温度データから推定される地下深部温度分布（玉生 ほか）



付図 4.4 第 2 次緩和法 15 回による標高別温度分布図（標高-2,000 m）

Appdx. fig. 4.4 Temperature distribution map at -2,000 m above sea level based on 15th relaxation.