

# 地熱井の温度・地質・変質データの簡易データベース化と 地図上統合表示

## -GISを利用した地熱資源評価研究の一環として「豊肥」地域を例に

茂野 博<sup>1)</sup>

### 1. はじめに

地熱資源の探査, 開発, 維持管理などでは, 様々な目的で坑井が掘削される(例えば, 江島, 1982; 田中・片桐, 1982; 物理探査学会, 1989, 1998). 坑井からは, 掘削, 検層, コア観察・試験, 注水・噴出試験, 生産・還元, モニタリングなどを通じて, 多種多様なデータが取得される(第1表). これらのデータは地下の状況を直接的に示すものであり, 非常に貴重である. しかし, 坑井掘削には多額の費用を要する(深度とともに指数関数的に)ため, その本数, 到達深度などは限られる. また, 環境的・社会的・技術的などの制約から, 重要な地点で坑井掘削が不可能な場合も少なくない.

地熱資源の探査・評価では, 地下の環境を推定・モデル化することが必要不可欠である. しかし, 地熱地域では地質構造に加えて, 温度・圧力, 各種の流体・変質・鉱物脈などの3次元空間分布が複雑な場合が多く, その作業は容易ではない. したがって, 地表・空中において広く平面的・間接的に得られた多種多様な調査・探査・モニタリングデータと, 限られた地点で得られた垂直的・直接的な坑井データとを上手く統合的に解析・表示することが, 非常に重要となる.

筆者らは2001年度より「地理情報システム(GIS)を利用した地熱資源の評価の研究」を進めている(茂野・阪口, 2002a, 2002b). 2002年度には, 広域地熱地域レベルのケーススタディーとして20万分の1地勢図「大分」の範囲の地域を選び, 各種データについて解析・表示手法の検討を行った(茂野・阪口, 2002c; 茂野, 2002, 2003). 2003年度には, 地熱開発有望地域レベルのケーススタディーと

第1表 地熱井に関する多種多様なデータの項目例の一覧表(矢野・村岡(1986)を編集した).

2次メッシュコード		検層図項目
ト坑井ヘッダー ●		
ト機密保護		
ト検層ヘッダー		
	トトレースヘッダー トトレースデータ ●	
	ト検層装置パラメータ	
ト年代検層		
ト時代		
ト岩相		
トコア物性試験		
トコア化学分析		
トX線分析 ●		
ト溢流泥		
トケーシング		
トビット		
ト掘削工程		
ト層群 - 地層 ●		
ト圧水試験(水位測定法) ヘッダー 水位測定法データ		
ト圧水試験(加圧注水法) ヘッダー		
	ト加圧注水法データ - 等圧流量推移データ	
ト圧水試験(自然圧注水法) ヘッダー		
	ト自然圧注水法データ - 等流量圧力推移データ	
ト泥水記録 - 調泥剤		
トセメンチング - セメント剤		
ト循環泥水温度		
ト掘削中坑底温度		
ト外気温度		

● 本報告で取り上げた項目.

して, 同地域の中で2万5千分の1地形図「湯坪」を中心とした地域を「豊肥」地域(狭義)として選び(茂野(2004, 第1図), 経度131.09°~131.26°E, 緯度33.04°~33.21°N; 概略15.9km×18.9kmの範囲), 各種データについて解析・表示手法の検討を進めている. 茂野(2004)では, 地熱流体化学(温泉水・熱水の主要溶存成分)データについての検討結果を紹介した.

今回は, 「豊肥」地域の地熱井データ, 特に探査・評価の目的で重要な温度・地質・変質データについて, 電子化・規格化・統合利用化を指向し

1) 産総研 地図資源環境研究部門

キーワード: 地熱資源, 坑井, 検層, 温度, 地質, 変質, データベース, 可視化, GIS, 豊肥地域

た検討の結果を紹介する。具体的には、(1) 表計算ソフト(以下ソフトウェアはソフトと略記)を利用した坑井データの簡易的なデータベース化の検討、(2) 坑井データの統合的な地図上表示などのための使いやすいプログラム群の試作と試用、および(3) 市販の簡易的なGISソフトの利用による各種の電子地理・地球科学情報と坑井データとの重合表示である。

なお、本説で取り上げた会社名・商品名などについては、筆者は必ずしもその利用を推奨するものではないことをお断りする。

## 2. 使用データおよびソフト

### 2.1 使用データ

大分・熊本県境で九重火山の西方～北方に当たる「豊肥」地域では、多数の地熱兆候地が分布しており、国・企業などによって様々な地表調査と坑井掘削が行われ、大岳、八丁原などの地域で地熱発電所が稼働している。本地域では、「大規模深部地熱発電所環境保全実証調査(豊肥地域)」として、3,000m級坑井掘削を含む様々な調査が1978-1985年に実施された(例えば、地質調査所, 1985)。本説では、この中で行われた坑井検層、コア観察・試験の編集データを利用する。

今回、以下の未電子化データ(1)～(4)および既存の電子地理情報(5)～(7)を使用した。

(1) 坑井：新エネルギー総合開発機構・電源開発株式会社(1987, 第4表)によって編集された深度500m以上の22本の坑井の位置・特性などの一覧表データ。

(2) 坑井温度：上記文献(表 no.231～241)中の数値化編集された上記坑井の検層温度データ。

(3) 坑井地質：矢野ほか(1989, 第7表)によって簡略的に数値化編集された上記坑井の地質層序データ。

(4) 坑井変質：新エネルギー総合開発機構・電源開発株式会社(1987, 表 no.176～186)によって編集された上記坑井のコア、カッティングスなどのX線回折分析データ。

(5) 標高(地形)：国土地理院の数値地図50mメッシュ(標高)データ。

(6) 県境・道路：日本地図センターのJMCマップ

のベクトルデータ。

(7) ブーゲー重力異常：地質調査所(2000)の1kmメッシュデータ(假定密度=2.67g/cm<sup>3</sup>)を、国土地理院の数値地図50mメッシュ(標高)のファイル単位・フォーマットでファイル化したデータ(茂野・阪口(2002a)・茂野(2004)を参照)。

地表地質分布データについては、精度、原図制作年度、作業負担などの点から適当な電子化データが見当たらなかったため、今回は使用しなかった。

### 2.2 使用ソフト

今回、第1図に示す処理の流れに沿って、下記の5種類のソフトを用いてデータの入力・管理・処理、図化表示・編集などを行った。なお、今回のこれらの処理は、Microsoft社のWindows 98/Meを基本ソフトとしたパーソナルコンピュータ(以下パソコンと略記)上で実施した。

(1) 表計算ソフト(Microsoft社のExcel)：各種坑井データの入力・データベース化・管理および解析・表示ソフトへのデータの入出力用。

(2) 坑井データの表示プログラム群(自作のGPWM(Grouped Programs for Well Data Mapping), 暫定版)：個別・複数坑井の温度・地質・変質データの柱状図表示および地図上分布表示用。なお、本プログラム群の使用にあたっては、Microsoft社のVisual Basicが別に必要である。

(3) 簡易的GISソフト(日本地図センター販売のBird's View Pro)：50mメッシュの標高・重力異常データおよびベクトルの県境・道路データの表示用。

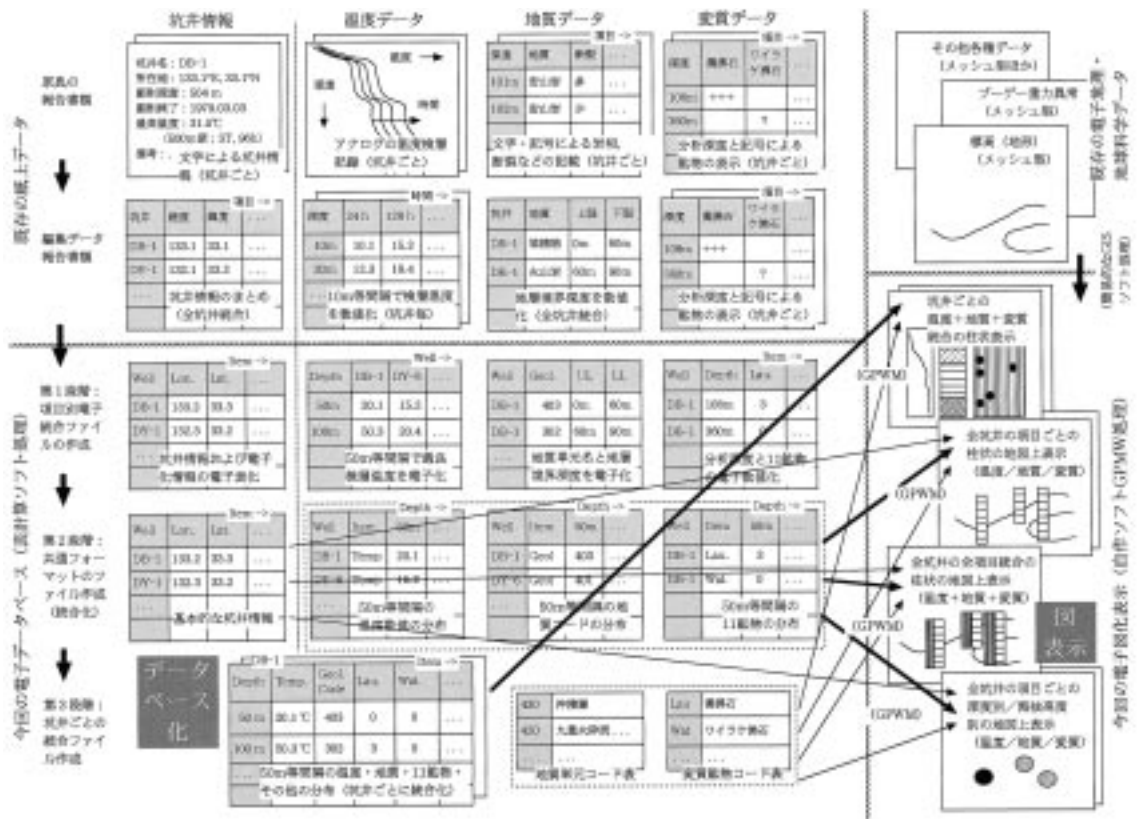
(4) グラフィックスソフト(ペイント系, Adobe社のPhotoshop)：各種の図・地図の重合表示および編集用。

(5) グラフィックスソフト(ドロー系, Adobe社のIllustrator)：(4)と同じ。

## 3. 地熱井データの簡易データベース化

### 3.1 基礎的な問題の検討

地理学的あるいは地球科学的な多種多様な情報(紙上および電子データ)については、従来様々なデータ形式、座標系・投影法、表・ファイル規格などが使用されており、効率的な統合利用に大きな



第1図 坑井情報と坑井検層・柱状データについての今回の電子データベース化と図化表示の処理の流れ図。

障害となっている。このため、これらの情報の今後の電子データベース化過程を通じて、体系的なデータフォーマットの規格化・標準化・共通化の進展が望まれる。しかし、各種情報の多様な特性、利用目的、処理手法などを考えると、これは最適化が難しい問題であり基礎的・多面的な検討が必要となる。

坑井データは、高価な掘削により地下の状況を直接的に示す貴重なもので、高精度の地下の探査・評価に不可欠であるが、以下のような特徴を持つ。(1) 基本的に垂直方向の空間1次元データで、地表・空中調査から得られる平面2次元的なデータとは特性が異なる。(2) 掘削、検層、コア観察・試験、注水・噴出試験、坑井内モニタリングなどの多段階の作業によって得られ、項目・内容が多様多様である(第1表を参照)。(3) 項目・内容が地質学、地球化学、地球物理学、資源工学などの多分野に渡り、非常に幅広くまたデータ量が多い。(4) 分野・目的によって大きく異なる掘削の仕様、調査

の対象項目、方法・仕様などの制約を受ける。

上記のような坑井データの性格から、そのデータフォーマットの標準化などについては、問題が大きいとともに課題が多く実体化は非常に困難である。したがって、恐らく坑井データについては分野・対象・手法などごとにデータフォーマットの規格化・標準化を進め、最低限の共通規格を各々が持つことによって情報の相互利用を計ることが、現状では現実的な対応であろう。

日本の坑井データの電子データベース化については、例えば地熱分野では矢野・村岡(1986)、前田ほか(2002)、石油・天然ガス分野では中山・柿崎(1990)、松本・渡辺(1990)、土木建設分野では土屋・藤城(2001)などが実施例・試行例を報告している。これらでは、上記の多様性や時代制約を反映して、方法、規模、ハード・ソフト仕様、データフォーマットなどは様々である。比較的小規模なものでは、パソコンと表計算ソフト-BASIC言語により簡単なデータベースの構築とデータ処理・表示

第2表 簡易データベース化した坑井情報のファイルフォーマット(暫定版)と「豊肥」地域の22本の地熱井データ(新エネルギー総合開発機構・電源開発株式会社(1987)を編集した)。

番号 (暫定)	坑井名	経度 (deg. E)	緯度 (deg. N)	坑口 標高 (m)	掘削 深度 (m)	坑底温度		坑内最高温度		データベース化			地図上位置調整		
						温度 (°C)	S. T.	温度 (°C)	深度 (m)	S. T.	温度	地質	変質	経度	緯度
101	DB-1	131.1139	33.1014	560.0	504.2	31.5	96h	31.5	500.0	96h	1	1	11	-0.10	-0.025
102	DB-2	131.1336	33.1092	769.0	502.4	23.8	120h	23.8	500.0	120h	1	1	11	-0.10	-0.025
103	DB-3	131.1658	33.0897	1001.0	503.0	61.2	4m	61.2	500.0	4m	1	1	11	-0.12	-0.003
104	DB-4	131.1539	33.1667	657.0	503.0	185.3	120h	185.3	500.0	120h	1	1	11	0.013	0.004
105	DB-5	131.2106	33.1333	832.0	504.3	80.3	120h	80.3	500.0	120h	1	1	11	0.005	0.010
107	DB-7	131.2006	33.1631	774.0	503.0	22.0	4m	22.0	500.0	4m	1	1	11	0.020	0.005
108	DB-8	131.1547	33.0731	731.0	505.0	91.7	5m	125.5	170.0	64m	1	1	11	-0.10	-0.025
109	DB-9	131.1400	33.1417	760.0	502.0	196.2	7m	196.2	500.0	7m	1	1	11	-0.10	-0.002
110	DB-10	131.1683	33.1508	922.0	501.9	28.3	8m	28.3	500.0	8m	1	1	11	0.015	0.000
111	DB-11	131.2431	33.1272	957.0	501.6	68.3	5m	75.1	450.0	5m	1	1	11	-0.005	0.010
201	DW-1	131.1519	33.1194	1063.0	1500.0	89.0	12m	89.0	1500.0	12m	1	1	11	0.000	0.000
202	DW-2	131.1419	33.1628	770.0	1500.0	194.9	120h	213.4	912.5	6m	1	1	11	-0.028	0.030
203	DW-3	131.1947	33.1428	840.0	1203.0	92.0	7m	92.0	1203.0	7m	1	1	11	-0.12	-0.010
204	DW-4	131.1500	33.0792	760.0	1100.0	95.8	120h	97.2	1070.0	3m	1	1	11	-0.030	-0.020
205	DW-5	131.1692	33.1050	1205.0	1500.0	222.0	120h	223.4	1465.0	17d	1	1	11	0.013	-0.005
206	DW-6	131.1617	33.1686	609.0	1550.0	185.1	19m	198.3	920.0	19m	1	1	11	0.028	0.020
207	DW-7	131.1228	33.1564	647.0	1800.0	182.8	120h	191.1	1017.0	20m	1	1	11	-0.026	0.020
301	DY-1	131.1458	33.1581	824.0	2618.0	156.5	134h	202.5	700.0	10d	1	1	11	-0.005	0.032
302	DY-2	131.1383	33.1294	866.0	2401.5	170.0	128h	170.0	2400.0	128h	1	1	11	-0.030	0.000
303	DY-3	131.1719	33.0839	954.0	2303.0	158.2	13.5h	176.5	1400.8	28m	1	1	11	0.007	-0.015
305	DY-5	131.2261	33.1308	980.0	3206.0	270.8	8m	270.8	3188.0	8m	1	1	11	0.008	-0.025
306	DY-6	131.2089	33.1350	838.0	3003.2	266.0	104h	266.0	3003.2	104h	1	1	11	0.002	-0.045

S.T.: 坑井内への送水停止後の経過時間 (h, 時; d, 日; m, 月)。データベース化: 1と11は今回の処理項目数に対応する(暫定)。  
地図上位置調整: 第5図の作成に使用。坑井データの幅広い利用のためには、本フォーマット(暫定版)は多数の追加項目を要する。

を行っている場合がある(松本・渡辺, 1990; 前田ほか, 2002)。

さて、本説の主題である地熱分野の坑井データに限定しても、坑井掘削・調査の目的・方法・実施者などによってデータ(紙上および電子)の内容・形式の多様性は大きい。したがって、地熱井データについてのデータフォーマットの標準化なども問題・課題が多く、効率的な統合データベースの構築や解析・表示システムの開発が非常に困難である。この問題の暫定的・現実的な解決策として、茂野・阪口(2002a)は重要なデータ項目について表計算ソフトを利用してフォーマットの規格化・共通化を図ることを提案した。その要点は、項目間共通のデータフォーマットを用いて、必要な情報精度を失わない範囲の一定深度間隔でデータの離散化(共通規格による各種坑井データの「1次元メッシュ化」)を行うことにより、データの入力・管理・処理・表示などを非常に容易にすることである。

今回、この考え方に沿って地熱井データの簡易的なデータベース化およびデータ処理を検討した。具体的には以下を指向した。(1) 多種・多様・多量の地熱井データについて電子データベース化する項目・内容を整理し、重要性が高く取り扱いが容易な項目を優先的に対象とする。(2) 省力化の目的で、原典ではなく信頼性の高い編集データを利用する。(3) 項目間共通のデータフォーマットを用い、必要な情報精度を失わない範囲の一定深度間隔

でデータの電子化を行う。(4) 表計算ソフトを用いてデータベースの入力・編集・管理などを行い、ファイルフォーマット変換を通じて他のソフトへのデータの入出力を容易に行う。(5) 表計算ソフトを用いて基礎的な図表の作成を行うとともに、各種の市販ソフトを組み合わせて利用し多様な解析・表示を容易に低価格で行う。(6) メッシュ形式・画像形式の各種電子地理・地球科学情報との重畳的な処理・表示を容易に低価格で可能とする。(7) 使用頻度の高い定型処理などは、一般性が高く作成・変更が容易なプログラム言語で分かりやすい簡易的なソフトを作成して、実行を可能とする。

### 3.2 今回の暫定的な処理

今回、2.1で述べた「豊肥」地域のデータを例として、暫定的に最低限の規格で柔軟性が高い共通フォーマットを使用して、簡易的な電子データベースを試作した。その要点は以下の通りである。

(1) データベース化の対象を、1) 坑井情報と2) 坑井検層・柱状データの2種類に区分し、2) については温度、地質、変質の3種類に絞った。

(2) 上記2)の3種類のデータについて、地表から地下深部へ50mの一定深度間隔で離散化した共通フォーマットのファイルを各々作成し、これらを統合したものを中心的なデータベースとした。

今回の地熱井データの簡易データベース化およびこれに続くデータの図化表示について、全体の

流れの概要は次の通りである(第1図参照)。

(1) データベース化の第1段階では、1) 坑井情報および2) 3種類の坑井検層・柱状データについて、表計算ソフト上で各々独自のフォーマットでデータの入力・編集を行って、各々1つのファイルにまとめた。同時に、地質単元名と変質鉱物名についてコードを定め、各々定義ファイルを作成するとともに、上記の各データファイルに適用した。

(2) 第2段階では、第1段階の2)の3種類の坑井検層・柱状データについて共通のフォーマット(横方向(列)に深度、縦方向(行)に坑井・項目)のファイルに変換するとともに、若干の管理用(坑井IDなど)のデータを行ごとに加えた。さらに、これらを合体して統合ファイルを作成した(第1図、第2段階の破線領域)。1)の坑井情報ファイルについては、上記2)の坑井検層・柱状データファイルに関する情報を添加した。

(3) 第3段階では、第2段階の1)・2)のファイル进行处理して、坑井ごとのデータファイル(縦方向(行)に深度、横方向(列)に各種項目へと変換)を作成した。

第2表は、上記(2)-1)の坑井情報のフォーマット形式(暫定版)のファイルとして、簡易データベース化した「豊肥」地域の22坑井のデータを示す。第3表は、(3)のフォーマット形式(暫定版)のファイルとして、DW-1井のデータを示す。

以下、坑井情報および温度、地質、変質の4データ種に分けて、データの特長、今回のデータベース化処理などの概要を説明する。

### 3.2.1 坑井情報の簡易データベース化

2.1(1)の文献から該当データを整理し、上述した坑井情報の暫定的なファイルフォーマットでデータベース化した(第2表)。フォーマットの右方向への様々な項目の追加(フォーマットの拡張)を予想しており、今回は暫定的に坑井検層・柱状データファイルにまとめた温度・地質・変質のデータ項目数およびデータの地図上表示における位置調整値(第5図参照)を経度・緯度相当値として加えた。

坑井情報のデータベースでは、地域名、都道府県名、標準地域1次～3次メッシュ番号、掘削目的、事業者、掘削者、検層者、工事開始時期、工事完了時期、利用形態、文献名、データベース化時期、同担当者名などの多様な基本的項目が、幅広い利

第3表 簡易データベース化した坑井検層・柱状データ(温度・地質・変質)のファイルフォーマット(暫定版)と「豊肥」地域の個別地熱井データの例(DW-1井、第2図参照)。

No.	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201
Well Name	DW-1	DW-1	DW-1	DW-1	DW-1	DW-1	DW-1	DW-1	DW-1	DW-1	DW-1	DW-1	DW-1	DW-1	DW-1	DW-1	DW-1
Item	Temp	Geol	Lau	Wai	Chi	Ser	Kao	Pyr	Alu	Anh	Gyp	Dia	Sul				
Memo 1	10	20	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41				
Memo 2	120h	Code	Cod1	Cod2	Cod3	Cod4	Cod5	Cod6	Cod7	Cod8	Cod9	Cod10	Cod11	Cod12	Cod13	Cod14	Cod15
Format	CID0	CID0	CID1	CID2	CID3	CID4	CID5	CID6	CID7	CID8	CID9	CID10	CID11	CID12	CID13	CID14	CID15
Depth (m)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
0	20.3	-88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	17.6	-88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	16.6	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	16.0	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	15.8	330	0	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
250	15.9	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
300	16.3	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	16.8	330	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
400	17.1	330	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
450	17.5	330	0	0	0	0	5	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0
500	17.9	330	0	0	0	0	3	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0
550	18.5	320	0	0	3	0	1	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0
600	18.7	320	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
650	19.1	320	0	0	1	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
700	19.5	320	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
750	19.6	320	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
800	20.4	320	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
850	21.1	320	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
900	21.8	320	0	0	1	1	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
950	22.9	320	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	24.3	320	0	0	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1050	27.5	320	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1100	32.2	320	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1150	38.2	320	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1200	43.0	320	0	0	3	1	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0
1250	48.0	320	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1300	52.0	220	0	0	3	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
1350	59.4	220	0	0	3	1	5	3	0	3	0	5	0	0	0	0	0
1400	67.3	220	0	0	3	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
1450	77.0	220	0	0	3	1	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0
1500	89.2	220	0	0	1	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	0	0

ファイルフォーマットは本文参照。各種データは深度50m等間隔化されている。温度単位は℃。地質単元のコードは第4表、変質鉱物のコードは第5表を参照。Memo1、Memo2およびFormatの合計5行は、作業用で今回暫定的に使用した。第2表から本ファイルにもたらされる地熱井情報の取り扱いも、今回省略した。

用の目的が必要である。しかし、今回は時間的な制約で1調査プロジェクトのデータのみを取り扱ったため、これらのデータ項目は割愛した。

### 3.2.2 温度データの簡易データベース化

地熱調査井掘削の主目的は、開発の可能性・経済性を実証するために掘削地点およびその周辺の温度構造・流体貯留構造を定量的に明らかにすることであり、地下温度分布は最重要データと言える。地熱調査井では、掘削完了後に坑井内温度検層が複数回実施されて、自然状態の地下温度分布が推定される(例えば、山下, 1982)。温度測定値は、坑井掘削・試験(特に注水)による地下環境の擾乱の程度、その後の経過時間などによって大きく異なる。

今回、22調査井の各々複数回の検層温度データについて、10m間隔で数値化された紙上の編集データ(2.1(2))から、原則的に掘削後の温度回復時間が最長のもの(多くの場合120時間後、ただし深い坑井では自然状態の温度まで完全には回復していない可能性が高い)を利用した。第1段階の処理

第4表 坑井データのデータベース化に用いた「豊肥」地域の地質単元とそのコードの一覧表(暫定版)。

地質時代	今回使用した地質単元名	暫定コード	矢野ほか(1989)第7表および須田・矢野(1991)第4表の名称	矢野(1985)第2表の名称
第四紀	沖積層	430	岩塊, 砂, 砂泥, 崖錐性堆積物	九重火山岩類?
完新世~	九重および阿蘇火砕流堆積物	420	九重火砕流堆積物, 阿蘇火砕流堆積物	九重火山岩類
更新世後期	九重火山岩類(新期火山岩類)	410	飯田堆積岩類	同上
第四紀	涌蓋火山岩類(新期火山岩類)	330	新期火山岩類, 一目山溶岩など	同上
更新世	豊肥火山岩類	320	豊肥火山岩類, 柴やかた峠溶岩など	豊肥火山岩類
	珍珠層群および相当層	310	珍珠層群, 野上泥岩など	珍珠層群および相当層
新第三紀	先珍珠変質火山岩類	220	先珍珠変質火山岩類, 火砕岩類など	先珍珠変質火山岩類
鮮新世	鯛生層群	210	鯛生層群, 火砕岩類など	同上
中生代~	基盤岩類(主に花崗岩類)	120	基盤岩類, 花崗岩類など	基盤岩類
古生代	基盤岩類(主に変成岩類)	110	基盤岩類, 結晶片岩類など	同上

では, 上記から深度50m等間隔のデータを表計算ソフト上で1枚のファイルに整理し, 第2段階でそれを共通ファイルフォーマット化した。

### 3.2.3 地質データの簡易データベース化

地熱調査井の掘削ではコア(あるいはカッティングス, スライム)の採取が行われ, 各種の観察・分析・測定・解釈により, 地層・岩石の色調・強度・断裂・変質, 種類, 年代, 単元名などが地質柱状図として整理される(例えば, 平沢, 1982; 林, 1982)。作成された地質柱状図は, 地下の地質構造・貯留層構造などの推定に中核的な資料となる。しかし, 地質柱状図の精度・信頼性は, 観察・測定の仕様などによって大きく異なる。過去の原典・編集データの多くは, フォーマットの規格化・標準化が進んでいない紙上のもので, その電子文字化・数値化編集には目的-必要項目・精度と手法・労力・費用負担とのバランスに注意を要する。

今回は22調査井の様々な地質関連の観察・測定データから, 坑井ごとに地質単元の境界深度を数値化編集した紙上データ(矢野ほか, 1989; 須田・矢野, 1991)を利用した。第1段階の処理では, 地質単元について区分体系を改善する目的で若干の修正を加えて10の数値コード区分(第4表)とし, 表計算ソフト上で矢野ほか(1989)の表を1つの共通ファイルとした。第2段階としては, 上記の表から直接的に判読して, 全坑井の深度50m等間隔の数値コード値を共通フォーマットのファイルに入力し

た。

### 3.2.4 変質データの簡易データベース化

地熱調査井の掘削では, 地質柱状図の作成と並行してコア, カッティングスのX線回折分析(粉末法)などにより変質鉱物の同定が行われ, その種類とともに定性的~半定量的な存在度が一覧表(通常は縦軸に深度を取り, 横軸に系統的に鉱物種を並べる)に整理される(例えば, 金原, 1982a, 1982b)。これらのデータは, 地下の熱水系の分布・特性・履歴などの推定に重要である。変質データの精度・信頼性についても, 分析の仕様などによって大きく異なる。

今回22調査井の合計1,243試料の変質データについて, 簡略化された紙上の編集データ(2.1(4))を利用した。これには, X線回折分析(各種の試料前処理を含む)により同定された約40種類の鉱物が整理されている。これらの中で今回対象とした高温熱水系環境の指示性が強い変質鉱物11種類を, 英字コードとして第5表に示す。第1段階では, 表計算ソフト上で試料採取深度と対象変質鉱物の非検出・検出(6段階の半定量区分を数値コード化, 第5表参照)を入力し, 1つの共通ファイルに整理した。なお, 試料採取深度の一部には高島ほか(1985)の編集データを利用した。第2段階では, 上記ファイルを自作のソフト(GPWMのFile-Alt)で処理することにより, 全坑井の対象変質鉱物の存在度を深度50m等間隔の数値コードとして, 1つの共通フォーマットファイルに整理した。

第5表 坑井データのデータベース化に用いた変質鉱物種名とそのコードの一覧表(暫定版)。

鉱物グループ	鉱物名	暫定コード	概略の生成環境
珪酸塩鉱物	沸石鉱物		
	濁沸石	Lau	中温・中-高pH
	ファイラケ沸石	Wai	高温・中-高pH
粘土鉱物	緑泥石	Chl	中-高温・中-高pH
	セリサイト	Ser	中-高温・低-高pH
	カオリナイト	Kao	低-中温・低pH*
	パイロフィライト	Pyr	高温・低pH*
硫酸塩鉱物			
	明ばん石	Alu	低-高温・低pH*
	硬石膏	Anh	低 高温・低-高pH
	石膏	Gyp	低-高温・低-高pH
水酸化鉱物			
	ダイアスポア	Dia	高温・低pH*
元素鉱物			
	自然硫黄	Sul	中-高温・低pH*

各鉱物の定性的な存在度を、0, 1~5の6段階に区分した(新エネルギー総合開発機構・電源開発株式会社(1987)の記載に基づく)。

本表は、金原(1982a)を簡略化した。概略の温度については、低温、100℃未満;中温、ca. 100~200℃;高温、ca. 200℃以上である。\*は、特に低pHを指示する鉱物種を示した。

### 3.2.5 温度・地質・変質データ簡易統合データベース化

今回の処理の第2段階では共通フォーマット化した坑井検層・柱状データ(温度数値1項目, 地質数値コード1項目, 変質鉱物の存在度の数値コード11項目)を合体化し, 全坑井で1つの簡易統合データベースを作成した。これが今回の中核的なデータベースであるが, 前述したように簡易的な坑井情報データベースと, 地質・変質についての各コード定義ファイルの合計4つで一体となる。

上記の坑井検層・柱状データの統合データベースは, 茂野(2004)が検討した流体地球化学データ用のものと類似しており, 多様なデータの統合的な解析・表示を指向するものになっている。しかし, 今回のフォーマットは暫定的なもので, 温度・地質・変質データのみを取り扱いの対象とする場合についても, 幅広い一般利用化のためには少なくとも各行先頭部のデータ情報の拡張化・規格化などが必要であり, 今後各種の検討を加えて漸次改良を進めていきたい。

## 4. 自作プログラムによる地熱井データの各種表示

### 4.1 プログラムの概要

地熱資源の探査・評価などでは, 温度・流体貯

第6表 坑井検層・柱状データ(温度・地質・変質)の図化表示用プログラム群(GPWM, 暫定版)のプログラム対象項目・機能・略号の一覧表。

項目\機能	データファイルのフォーマット変換 (File)	坑井毎(複数可)の柱状図表示 (Colu)	柱状図の地図上総合表示 (MapC)	深度別の平面図総合表示 (MapAD)	海拔高度別の平面図総合表示 (MapSD)
温度 (Temp)	(File-Temp)	Colu-Temp	MapC-Temp #	MapAD-Temp #	MapSD-Temp #
地質 (Geol)	(File-Geol)	Colu-Geol	MapC-Geol #	MapAD-Geol #	MapSD-Geol #
変質 (Alte)	(File-Alte)	Colu-Alte	MapC-Alte	MapAD-Alte #	MapSD-Alte #
統合 (Synt)	(File-Synt)	Colu-Synt ##	MapC-Synt #	(MapAD-Synt)	(MapSD-Synt)

備考 (1) 各プログラムは、Microsoft Visual Basicのインタープリター環境で動作。  
 (2) Fileは、項目別のフォーマットから項目共通の定型フォーマット(50mの一定深度間隔)へ変換する。  
 (3) Coluは、個別坑井または複数坑井の処理の場合がある (S/P)。  
 (4) Colu~MapSDは、白黒またはカラーの出力の場合がある (BW/RGB)。  
 (5) Alteは、多成分データ(11鉱物種-)であり、多変量解析ソフトにより成分を操作(減数化)して処理を行う場合がある。  
 (6) #は今回図化表示に使用したものを、()は今回未作成のプログラムを示す。

留構造の推定・モデル化の目的で, 空間3次元・多項目・多成分・多量の坑井データを分かりやすく効果的に表示することが必要不可欠である。今回, 初・中級者用プログラム開発環境として広く利用されているVisual Basic (Ver.6J Learning Edition, 以下VBと略記)を用いて, 主に地図上の表示用に簡単なプログラム群GPWMの自作を試みた。

本プログラム群は, (1)対象項目としては坑井検層・柱状データの温度, 地質, 変質および3者の統合, (2)機能としては柱状図表示, 地図上の柱状図表示, 深度別の平面図(散点)表示, 海拔高度別の平面図(散点)表示に分かれており, さらに(3)個別あるいは複数坑井の処理区分, (4)白黒(グレー)あるいはカラーでの表示区分を加えて, それらの組合せで各々が独立したプログラムとなっている。これらのプログラム名を整理して, 第6表に示す(他に一部ユーティリティがある)。

これらのプログラムは, 茂野(2004)の地熱流体化学用のプログラム群(GPGG)と同様の目的・構成・使用方法などとなっており, 現状では今回のケーススタディーに対応した暫定版である。ここでは以下に簡条書きにして, 簡単に概要を説明する。

(1)各プログラムは, 現状ではVBの環境下でインタープリター方式で動作する。各プログラムは, 単機能の独立プロジェクトとして共通の構成・使用方法となっており, 共通の入出力方式を持つ。

(2)入力データは, 共通に3.2で述べた坑井情

第7表 GPWMで今回図化表示した「豊肥」地域の坑井検層・柱状データ(温度・地質・変質)の一覧表.

図番号	図の内容	表示対象項目			使用ソフト (GPWM中) (第6表参照)	背景図 (備考)
		温度	地質	変質		
第2図	個別坑井の検層・柱状データの表示	○	○	○	Colu-Synt	—
第3図	温度データの地図上総合表示	○	—	—	MapC-Temp	地形等高線図
第4図	地質データの地図上総合表示	—	○	—	MapC-Geol	重力異常図
第5図	変質データの地図上総合表示	—	○	—	MapC-Synt	地形陰影図
第6図	検層・柱状データの深度別および 海拔高度別の平面図(散点)表示	○	○	○	MapAD-Temp*	—
第7図	検層・柱状データの統合比較表示	○	○	○	MapSD-Temp* (15小区)	—
		○	○	○	Colu Synt #	(横並び)

\*、他にMapAD-Geol, MapAD-Alte, MapSD-Geol, MapSD-Alteを使用。#, 大幅に拡表修正。

報, 統合坑井検層・柱状データ, 地質単元コード, 変質鉱物コードの4種類のファイルをCSV形式で使用する。これらのファイルを, プログラムプロジェクトの全ファイルと同一のフォルダー内に置く。

(3) 各プログラムの使用に当たっては, VBを起動して各プログラムのソースコードを開き, 指定箇所に入出力ファイル名の書き込み, 各種パラメータ値の代入・変更などを行う。VBの実行開始(Run)命令により, 各プログラムは入力データファイル群を読み込み, 各種処理を行って出力ウインドウに図を表示するとともに, それを画像形式ファイル(.BMP)として同一のフォルダー内に出力する。

(4) グラフィックスソフト(2.2参照)を用いて出力画像ファイルを開き, 独自の修正・加筆により出力図を完成する。場合によっては, 各プログラム添付のオーバーレイシート(基準線など)の重合化を行うとともに, GISソフトなどで処理した各種のデータと重合化して出力図を完成する。

4.2 主な作図例

第7表に整理したように, 3.2で述べた簡易データベース化した「豊肥」地域の22坑井データについて, 上記のプログラム群を用いて作図した例を第2図~第7図に示す。なお, 矢野(1985)は地熱情報データベース・システム(地質調査所, 1986)を用いて検層温度・柱状地質データの地図上総合表示を行っており, 今回の図はそれに一部対応している。また, 川村(1985), 玉生ほか(1995)などは温度検層データを, 玉生(1985)などは柱状地質データを, 高島ほか(1985)は変質データをそれぞれ解析・地図上表示しており, 一部今回の図に類似の図を報告している。

以下に, 温度・地質・変質データの地図上表示(第3図~第5図)について簡単に紹介し, その後各

種データの統合表示・解析について若干述べる。

4.2.1 温度データの地図上総合表示

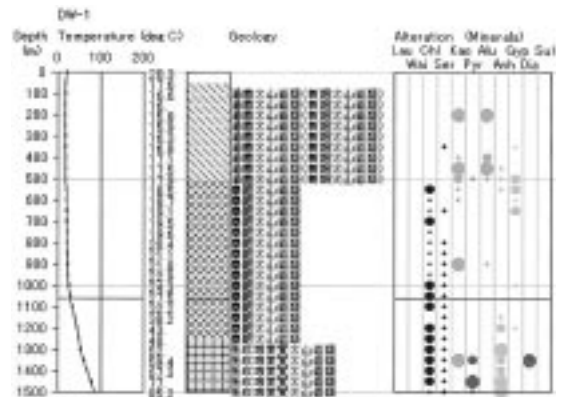
第3図では, 本地域の22坑井の検層温度データを取りまとめて示すとともに, 地形等高線図を重合表示した。第3図では実態把握を容易にする目的で, 温度プロファイルの型によって坑井を簡易的に5つのグループに分類(さらに坑井深度により色分け)して, 坑井の位置に記号表示している。

誌面の制約により詳しい説明は省略するが, 多数の坑井の検層温度データを地形等高線図などと重層的に表示することにより, 地下3次元温度分布が地区, 地形などによって系統的に異なっている様子を分かりやすく把握することができる。このようなデータの電子化整理と可視化を通じて, その原因の定量的な解析・推定が進展することが期待される。

4.2.2 地質データの地図上総合表示

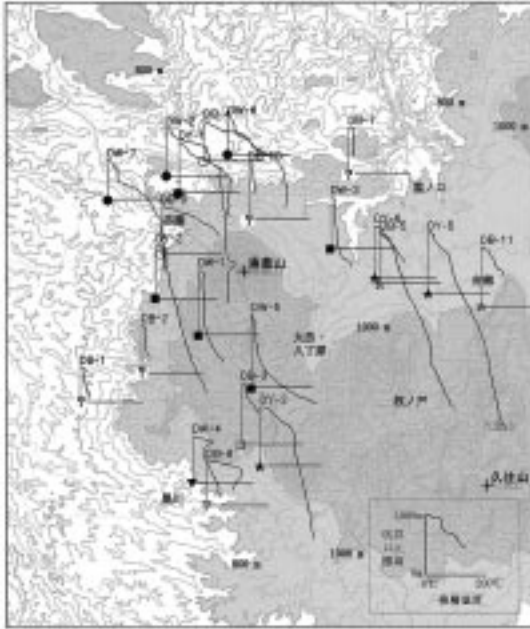
第4図では, 本地域の22坑井の柱状地質データを取りまとめて示すとともに, プーゲー重力異常の等値線を重合表示した。なお第4図では, 第4表の地質単元は4種類に再編されている。

誌面の制約により詳しい説明は省略するが, 多数の坑井の柱状地質データをプーゲー重力異常分布などと地図上で重層的に表示することにより, 地下の地質分布やその温度・貯留環境が地区, 地下構造などによって大きく異なっている様子を分かりやすく把握することができる。このようなデータの

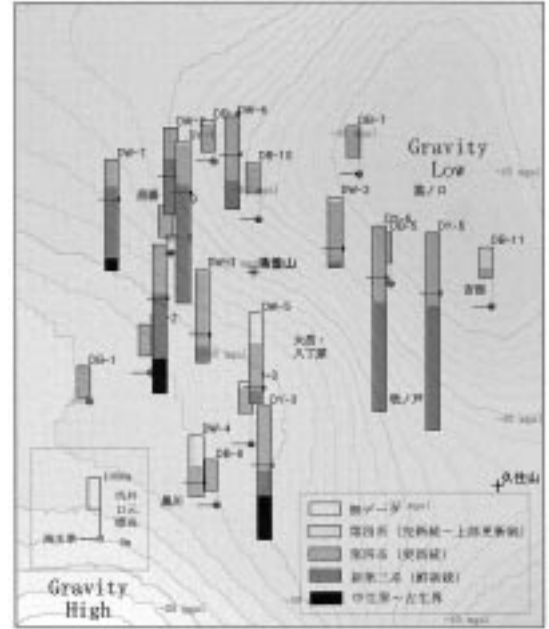


第2図 個別坑井の坑井検層・柱状データ(温度・地質・変質)の総合表示例。DW-1井を例とした(第3表参照)。表示はGPWMによる。地質単元は第4表を参照。変質鉱物は第5表のコードを参照(記号の大きさは半定量的な存在度を示す)。





第3図 「豊肥」地域の地熱井温度データの地図上統合表示. 検層温度データの表示はGPWMによる. 地熱井位置には, 温度プロファイルの形状による分類記号(○, ●, □, ■, ☆, ★, ▼および?)を示した. 白印は坑井深度が1,000m未満, 黒印は1,000m以上である. 背景の地形等高線図の作成には, 国土地理院の数値地図50mメッシュ(標高)および日本地図センターのJMCマップのベクトルデータを使用した.



第4図 「豊肥」地域の地熱井地質データの地図上統合表示. 柱状地質データの表示はGPWMによる. 背景は, 地質調査所(2000)の1kmメッシュデータを変換処理したブーゲー重力異常図(仮定密度=2.67g/cm<sup>3</sup>)である.

電子化整理と可視化を通じて, 地下3次元の地質分布およびその温度・貯留環境の定量的な解析・推定が進展することが期待される.

#### 4.2.3 変質データの地図上統合表示

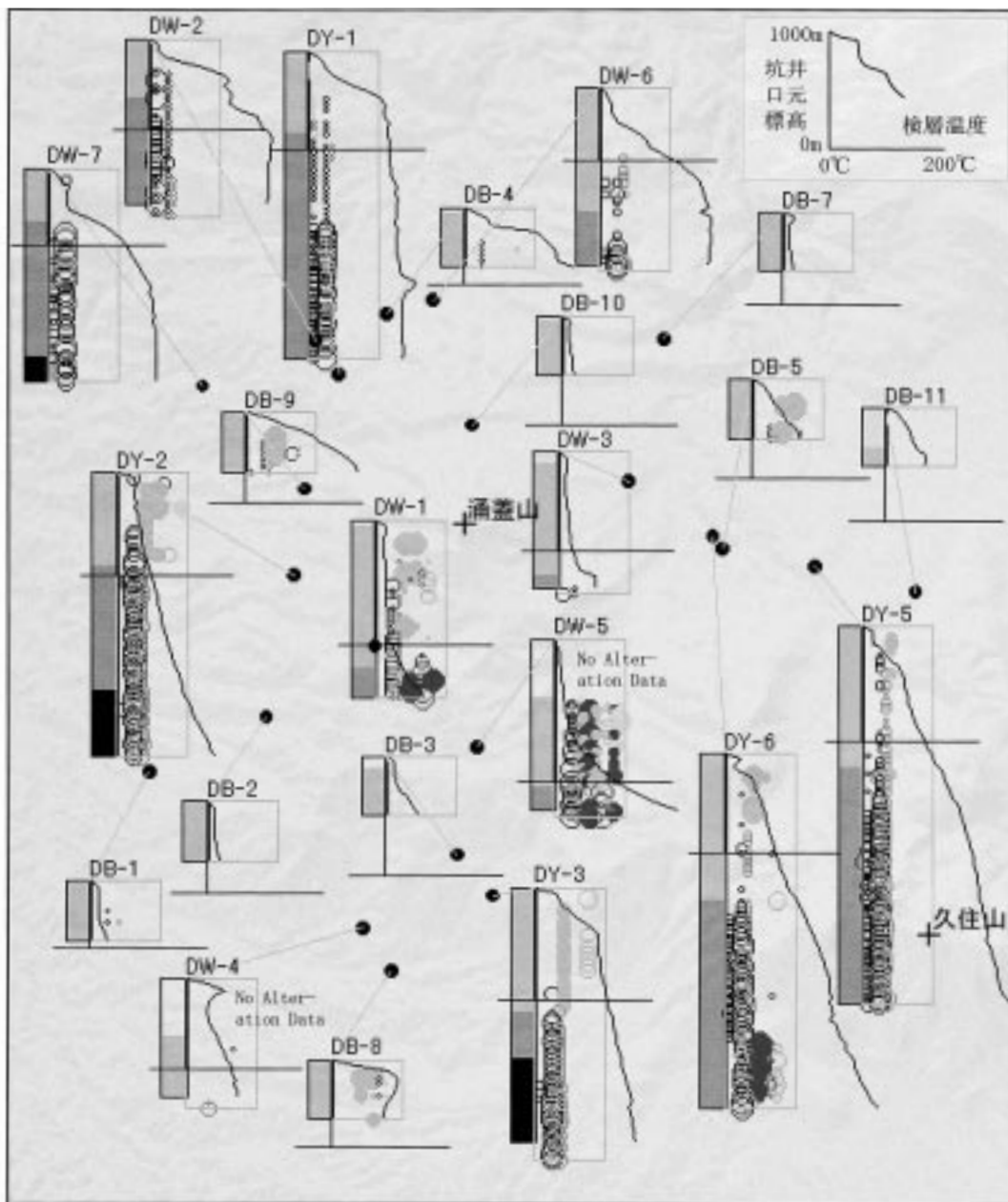
第5図では, 地形陰影図を背景として本地域の22坑井の変質データを, 検層温度・柱状地質データとともにとりまとめて示した. なお, 第5図では各柱状データの表示位置を坑井位置から適度にずらして, 相互の重なりを避けた(第2表参照). 本地域の変質データから, 地熱系の賦存環境を指示する以下の3種類の変質鉱物組合せの分布を抽出することができる. なお, この鉱物組合せの有意性については多変量解析(茂野, 2004)によって検討し良好な結果を得たが, 誌面の制約により省略する.

(1) 今回処理した中では, 濁沸石, ワイラケ沸石, 緑泥石, セリサイトの4鉱物の分布が, 中性～アルカリ性の中温～高温環境(概略100～200℃以

上)に現在存在しているあるいは過去の一時期に存在したことを示している(第5表). 本地域ではこれらの変質鉱物は, ほぼ全域で概略500m以深に広く認められる. DW-3井の第四系のように深度1,000m程度までこれらの鉱物に乏しい場合については, 現在まで上記の環境にはなかったと解釈される.

(2) カオリナイトと明ばん石(および自然硫黄)は, 酸性の中温環境(概略100℃以上)に現在存在しているあるいは過去の一時期に存在したことを示している(第5表). 第6図に示すように, 上記(1)に比較してこれらの鉱物は九重火山と涌蓋山などの若干古い火山の周辺の限定された地域で, 概略深度800m以浅に出現する. これらの分布は, 火山ガスあるいは蒸気卓越系からの蒸気(H<sub>2</sub>Sに富む)の寄与を受けて, 地表付近～地下浅部の酸化性環境で生成した酸性の中温熱水系に関連している場合が多いと考えられる. しかし, 多くの坑井では該当変質箇所は現在100℃以下であり, 過去の高温期の熱水系活動に対応している可能性が高い.

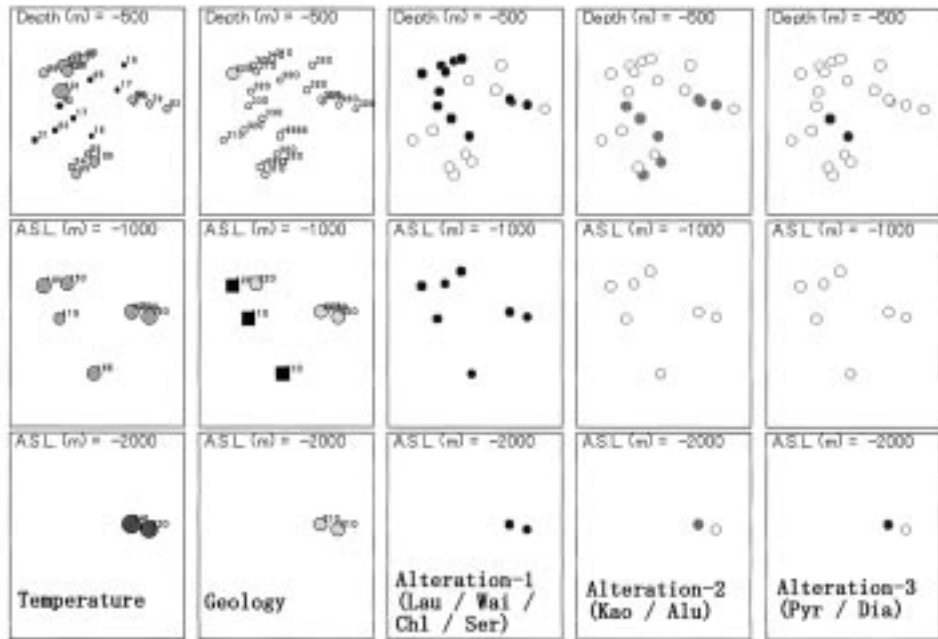
(3) パイロフィライトとダイアスポアは, 酸性の高



第5図 「豊肥」地域の地熱井の変質データおよび温度・地質データの地図上統合表示. データの表示はGPWMによる. 変質鉱物は第5表・第2図を参照. 温度・地質データは, 第3図・第4図を参照. 各坑井データの表示位置の調整量は, 第2表を参照. 背景の地形陰影図の作成には, 国土地理院の数値地図50mメッシュ(標高)データを使用した.

温環境(恐らく200℃よりもかなり高い)に現在存在しているあるいは過去の一時期に存在したことを示している(第5表). 第6図に示すように, これらの鉱物の出現は上記(2)以上に限定されており, 大岳・八丁原地区周辺のDW-1井, DW-5井および飯田高原のDY-6井の深部でのみ認められている. こ

れらの分布は, 高温のマグマ起源流体の寄与を受けて地下深部で生成した酸性の高温熱水系に関連している場合が多いと考えられる. 上述した坑井の該当個所では温度は30~250℃程度であり, また酸性の高温流体の噴出はなく, これらの分布は過去の高温期活動に対応していると推定される.



第6図 「豊肥」地域の地熱井検層・柱状データ(温度・地質・変質)の深度(-500m)および海拔高度(-1,000m, -2,000m)別の地図上表示。データの表示はGPWMによる。左側から、温度は円の大きさと数字(°C)で示す。地質は小丸が第四系、大丸が新第三系、四角が中・古生界で、コード(第4表)を数字で示す。変質は3種類に分類し(英字コードは第5表参照)、表示深度・海拔高度から±100m範囲内での鉱物の存在を黒白の丸で示す。

以上のように、多数の坑井の変質データを各種のデータと地図上で重層的に表示することにより、地下の変質分布やその温度・貯留環境が地区、時間経過などによってかなり体系的に大きく異なっている様子を把握することができる。このようなデータの電子化整理と可視化を通じて、地下3次元の変質分布およびその温度・貯留環境の定量的な解析・推定が進展することが期待される。

#### 4.2.4 温度・地質・変質データおよびその他のデータの統合表示・解析

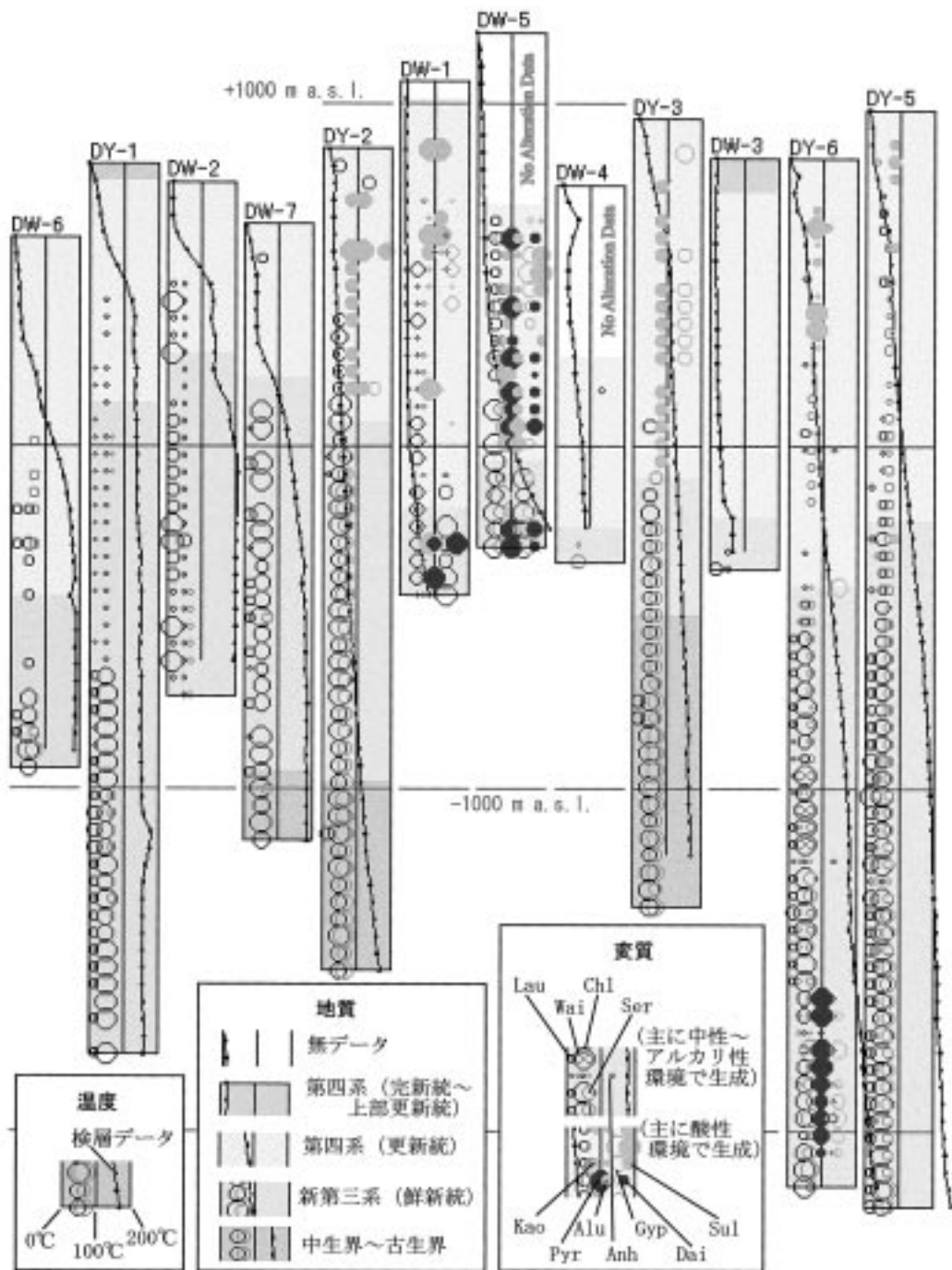
今回の総合的な解析・表示の検討では、4種類の図化表示を行った(第7表参照)。

まず第2図には、個別坑井の検層・柱状データとして温度、地質、変質を総合的に表示した例(DW-1#)を示した。また、上述した第5図では全坑井をまとめて温度・地質・変質データを地図上に総合柱状図を表示した。さらに第6図には、同一地図範囲について温度、地質、変質(11鉱物を3グループ化)を1深度および2海拔高度の平面(散点)図で、合計15の小図として表示した。最後に第7図には、本地域の深度1,000m以上の12坑井について各々

の温度・地質・変質の統合検層・柱状図(圧縮化)を海拔高度を揃えて比較表示した。

地下状況の表現では、一般に2次元的に水平断面図、垂直断面図、3次元的にフェンス図、ブロック図、透視図などが用いられている。今回の坑井データのように分布が散点的で多項目・多成分の場合には、分かりやすい総合的な表現には様々な工夫の可能性がある。第5図・第7図では、空間的な配置を調整・簡略化して多点(多線)における多項目・多成分データの相互比較を容易なものとした。

さて、茂野・阪口(2002a)では、「地理情報システム(GIS)を利用した地熱資源の評価」の方法として、多種多様な地理・地球科学情報を平面的には250m間隔(階層的に50m~1km)のメッシュ系(国土地理院の数値地図の50m-250m-1kmの標高メッシュ(DEM)系の規格(国土地理院・日本地図センター, 1998)を利用)、垂直的には250m間隔(同じく階層的に50m~1km)のレイヤー群として規格化・標準化・共通化したフォーマットで整備し、市販の各種ソフトを上手く組み合わせて利用することによりそれらの重層的・統合的な数値演算・数値



第7図 「豊肥」地域の深度1,000m以上の地熱井12本の検層・柱状データ(温度・地質・変質)の圧縮した比較表示。データの表示はGPWMによる。縦軸を海拔高度で揃えた。坑井配列は、左から右へ概略「豊肥」地域の北中部→中西部→南中部→中東部の順になっている(第5図を参照)。

シミュレーション・可視化などを可能とすることを提案した。今回取り上げた坑井検層・柱状データはその主軸となるものであり、今後上記のメッシュ

レイヤー系に組み込んだ空間3次元解析・表示の検討を進めたい。

今回のケーススタディーで取り上げたデータは、

前述したように1プロジェクトで掘削された坑井のものに限られるが、本地域では国の調査や企業の開発などにより多数の坑井が掘削されており(例えば、阪口・高橋, 2002), 多種多様な地表・空中調査の結果も報告されている。今後, このようなデータを加えた統合的な地熱資源の解析・評価において, 上記の3次元メッシュレイヤー系の利用が効力を発揮すると期待される。

## 5. おわりに

筆者らは「地理情報システム(GIS)を利用した地熱資源の評価(アセスメント)の研究」を実施しており, 2001-2004年度にはその第1期として代表的な地域について各種のデータの解析・表示のケーススタディーを進めている。今回は, 地熱流体化学データ(茂野, 2004)に引き続いて地熱開発有望地域レベルとして, 「豊肥」地域の「大規模深部地熱発電所環境保全実証調査」で掘削された調査井データについて, 以下の3点の検討結果を紹介した。

(1) 多様な地熱井データの中で, 坑井情報および坑井検層・柱状データ(温度・地質・変質)についての表計算ソフトによる簡易的な統合データベースの構築(基礎的な問題の検討および今回の暫定的な処理の説明)。

(2) VBで自作したプログラム群(GPWM)による地熱井の上記検層・柱状データの地図上表示ほか各種の表示(プログラムの概要および主な作図例の紹介)。

(3) 市販の簡易的なGISソフトを利用した電子地理・地球科学情報と地熱井検層・柱状データとの重合表示およびこれによる地熱系の実態の解釈の容易化。

今回の地熱開発有望地域のケーススタディーで不十分な点としては, (1) 上記3項目以外の各種坑井データについては対象外としたこと, (2) 「豊肥」地域内でも上記調査以外の多数の坑井については対象外としたこと, (3) 地表・空中調査による多種類データの分布との重合処理を割愛したこと, (4) 「豊肥」地域で提案されている各種の地熱系モデルとの比較検討を割愛したことなどが挙げられる。これらについては本研究の時間的な制約によるものであり, 今後の検討課題としたい。

本説の3. で述べたように, 各種の坑井掘削によって得られたデータは高価で貴重なものであり, 各地域レベル~世界規模での資源開発・環境保全・災害防止などの目的で多面的に非常に重要なものである。今後, 多種多様な坑井データの電子データベース化が分野・項目・地域ごとなどで進められることが期待されるが, データベースの公開化による使いやすいデータの相互利用が要望される。地熱井データについても, この観点を含めたデータベース化, 処理システム化などが必要であろう。今回試作したデータベースおよびプログラム群(GPWM)は, 現状では限られた内容ではあるが今後さらに充実化を図り, 本研究第1期のとりまとめの一環として2004年度に他の各種編集データ・開発プログラムなどとともに電子公開化したい。

なお, 本説の原稿では「5. 坑井データベースについての若干の議論と今後の課題」としてより幅広い取りまとめを行ったが, 厳しい誌面の制約により今回は残念ながら省略した。その概要は, (1) 様々な分野の坑井データ(深度を階層化したデータフォーマットの利用), (2) 空間3次元データ処理(高機能3次元処理・表示ソフト利用の長所・短所), (3) 地質データの標準コード化(地層・岩石の種類・年齢・単元名の取り扱い方法), (4) 温度・変質データ(経過時間, 各種変質鉱物の重要性), (5) 多様な地熱井データ(その他の検層・分析項目などの取り扱い), (6) 坑井データベースの今後の進展に向けて(重要な点)である。今後再整理し, 機会を見て公表したい。

**謝辞:** 本説で引用した地熱井データの起源である「大規模深部地熱発電所環境保全実証調査(豊肥地域)」に関係された省庁・企業・研究機関などの多くの方々, 特に電源開発株式会社および旧工業技術院地質調査所の方々に改めて謝意を表します。企業における坑井データの作成・管理・処理法などの現状については, 大久保 進, 品田正一, 前田俊一などの方々から多くのご教示を頂きました。本説のとりまとめに当たっては, 地質調査総合センターの村田泰章(情報解析研究グループ), 佐々木宗建(地熱資源研究グループ)などの方々から有益なコメントを頂きました。記して感謝します。

## 文 献

- 物理探査学会(1989): 図解物理探査, 239p.
- 物理探査学会(1998): 物理検層. 物理探査ハンドブック, vol.5, 631-709.
- 地質調査所(1985): 豊肥地熱地域における研究. 地調報告, no.264, 443p.
- 地質調査所(1986): 地熱情報データベース・システムの研究. 地調報告, no.265, 538p.
- 地質調査所(2000): 日本重力CD-ROM. 数値地質図, P-2.
- 江島康彦(1982): 掘削地点. 湯原浩三監修, 地熱開発総合ハンドブック, フジテクノシステム, 293-296.
- 林 正雄(1982): コア観察. 湯原浩三監修, 地熱開発総合ハンドブック, フジテクノシステム, 459-467.
- 平沢 清(1982): 地質柱状図. 湯原浩三監修, 地熱開発総合ハンドブック, フジテクノシステム, 449-458.
- 川村政和(1985): 九州中央部・涌蓋山周辺における地熱構造について. 地調報告, no.264, 353-382.
- 金原啓司(1982a): 変質帯調査. 湯原浩三監修, 地熱開発総合ハンドブック, フジテクノシステム, 41-52.
- 金原啓司(1982b): X線分析. 湯原浩三監修, 地熱開発総合ハンドブック, フジテクノシステム, 480-489.
- 国土地理院・日本地図センター(1998): 数値地図ユーザーズガイド(第2版補訂版). 471+29p.
- 前田俊一・高木 博・藤野敏雄・田口幸洋・林 正雄・堀越孝昌(2002): 地質データ解析システム. 情報地質, 13, 82-83.
- 松本則夫・渡辺芳夫(1990): パーソナルコンピュータを用いた坑井情報管理システムの開発. 情報地質, 1, 219-225.
- 中山一夫・柿崎恭子(1990): 石油探鉱における坑井データベース-"WORLDWELL"について. 情報地質, 1, 41-49.
- 阪口圭一・高橋正明(2002): 東北・九州地熱資源図(CD-ROM版). 数値地質図, GT-1, 地質調査総合センター.
- 新エネルギー総合開発機構・電源開発株式会社(1987): 通商産業省大規模深部地熱発電所環境保全実証調査資料集 豊肥地域(地上調査・地下調査). 500p.
- 茂野 博・阪口圭一(2002a): 地理情報システム(GIS)を利用した地熱資源の評価(アセスメント)新計画. 地質ニュース, no.574, 24-45.
- 茂野 博・阪口圭一(2002b): 電子地理情報を地熱調査・開発に利用する. 地熱エネルギー, 27, 252-273.
- 茂野 博・阪口圭一(2002c): 地質調査所「100万分の1日本地質図CD-ROM版」メッシュデータの様々な利用法-国土地理院・標高メッシュ・ファイルフォーマット化を通じて. 地質ニュース, no.578, 36-49.
- 茂野 博(2002): 九州の地熱発電開発地域の地質鳥瞰図-山と風景のGISソフト「カシミール3D」による作図例. 地質ニュース, no.580, 21-31.
- 茂野 博(2003): 公開震源データとGISを利用した深部地熱環境の推定-20万分の1地勢図「大分」地域を例とした試み. 地質ニュース, no.581, 14-32.
- 茂野 博(2004): 地熱流体化学データの簡易データベース化と統合解析-GISを利用した地熱資源評価研究の一環として「豊肥」地域を例に. 地質ニュース, no.594, 58-69.
- 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.
- 高島 勲・金原啓司・角 清愛(1985): 豊肥地域の地熱変質と熱水系. 地調報告, no.264, 185-241.
- 玉生志郎(1985): 豊肥地熱地域の層序と地質構造-主に坑井データに基づいて-. 地調報告, no.264, 115-142.
- 玉生志郎・吉沢正夫・野村拳一(1995): 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. 地調月報, 46, 313-331.
- 田中彰一・片桐邦雄(1982): 坑井計画. 湯原浩三監修, 地熱開発総合ハンドブック, フジテクノシステム, 297-307.
- 土屋彰義・藤城泰行(2001): 建設CALS/ECと地質調査成果の電子化. 地質と調査, '01, no.2, 2-9.
- 山下武男(1982): 坑井内測定. 湯原浩三監修, 地熱開発総合ハンドブック, フジテクノシステム, 427-448.
- 矢野雄策(1985): 豊肥地熱地域の坑井データを用いた熱水系の解析. 地調報告, no.264, 385-404.
- 矢野雄策・村岡洋文(1986): 坑井データベース・システム. 地調報告, no.265, 69-189.
- 矢野雄策・須田芳朗・玉生志郎(1989): 日本の地熱調査における坑井データ, その1, コア測定データ-物性, 地質層序, 年代, 化学組成-. 地調報告, no.271, 832p.

SHIGENO Hiroshi (2004): Simple database and integrated map presentation of geothermal-well data (temperature, geology and alteration) - A case study for the Hoho area, Japan, in geothermal resources assessment program using GIS.

< 受付: 2003年8月8日 >