

標準250mメッシュレイヤー系を用いた地熱資源評価の事例研究 (その1): 20万分の1地勢図「大分」地域の2次元有望地域抽出

茂野 博¹⁾

1. はじめに

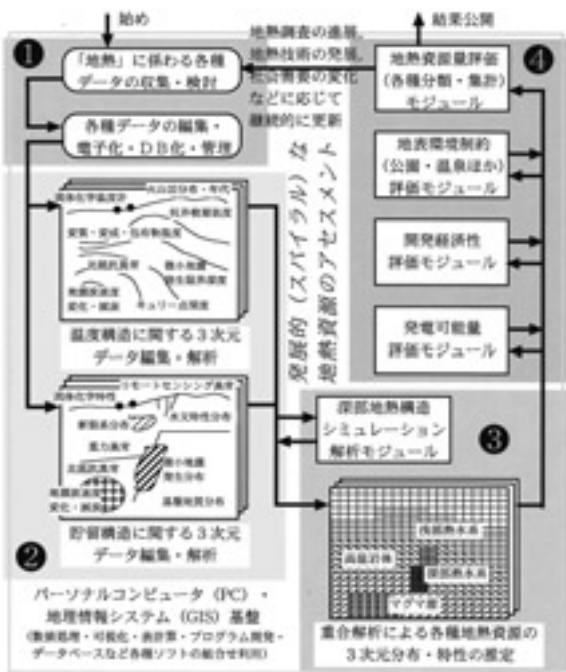
「地理情報システム(GIS)を利用した地熱資源の評価(アセスメント)の研究」を、筆者らは2001年より進めている(茂野・阪口, 2002a, 2002b, 2002c; 茂野, 2002, 2003, 2004a, 2004b, 2004c, 2004d; Shigeno, 2004). 本説では、その第1期の取りまとめの一環として、地熱資源評価の事例研究(その1)「2次元有望地域抽出」の概要を整理した。近い将来に、同(そ

の2)「簡易3次元資源評価」も地質ニュースで紹介する予定である(茂野, 2005)。第1図に、本研究の中核となる電子的な評価支援システムの概念図を示す。

本説の主目的は、日本の地熱資源の評価(アセスメント)を今後長期的・継承-発展的・多面的・経済-効率的・公開的に進めるために、その基礎となる電子化統合処理手法(の一例)を紹介することにある。特に、国土地理院の数値地図250mメッシュ(標高)のファイルフォーマット(国土地理院・日本地図センター, 1998)を、各種のデータおよび解析結果に対して共通的に(さらに「簡易3次元資源評価」の場合は、深度250m間隔の多層レイヤー形式で)適用することにより、作業の規格化・容易化を図った。

地下圏に関して、現在までに調査・研究によって得られた地球科学・工学情報(特に、深部についての確実性の高いデータや費用負担が大きい坑井掘削調査データ)は限られており、電子公開化されたデータはさらに限られる。このため残念ながら、今回試行した評価結果の確実性はあまり高くない。しかし、今回検討した処理システム、データ群などを基盤として、将来取得・電子公開化される各種のデータを統合的に処理・解析することにより、確実性の高い地熱資源の評価が効率的・継承的に進展することが期待される。

本説が、今後の地熱資源の調査・開発・保全の一層の進展、さらに環境保全や火山防災を含めた地域開発最適化の合意形成などに向けて参考となれば幸いである。なお、本説で取り上げた各種の市販ソフトウェアなどについては、必ずしもその使用を推奨するものではないことをお断りする。また、今回使用したメッシュ系は、現状では日本測地系に基づいており、世界測地系への変換が今後必要である。



第1図 GISを利用した発展的・公開的な地熱資源評価(アセスメント)の支援システムの概念図(茂野(2000), 茂野・阪口(2002a)などに基づく)。

1) 産総研 地図資源環境研究部門

キーワード: 地熱資源, 評価, アセスメント, 熱水系, 温度分布, 貯留層, 地理情報システム, メッシュ, 統合データ処理, 大分

2. 地熱資源の評価(アセスメント)について

地熱資源は、賦存する資源の特性(熱・流体)に基づく型・品位、賦存の確実性・開発の経済性などによって様々に分類される(例えば、茂野・阪口(2002a)の第6図を参照)が、地下3次元の空間分布を持つとともに、自然状態でも開発・保全によっても経時変化するため、複雑で把握が困難なものである。従って、地熱資源の評価(アセスメント)には、多様なデータが必要であるとともに、幅広い目的・方法・内容などがある(例えば、U.S.G.S., 1975, 1978; 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 1989, 2002; 地質調査所, 1991; 宮崎ほか, 1991; 伊達ほか, 2002)。以下に評価の水準を軸に、若干の整理を試みる。なお、(1)から(3)へと対象領域は限定的となり(深度は増大)、情報は多種多量で高品質・高費用となる。

- (1) 2次元(平面)的な評価(有望地域の抽出): 国の調査や企業の開発の初期段階には、まず広範囲について2次元平面的なデータ(主に地表の地質、重力異常、温泉・噴気地など)の編集が行われ、小縮尺の地熱資源図などとして整理されて、有望地域の抽出が行われる。これは、大きな費用負担を要する以降の野外調査・坑井掘削などの基礎となるものである。
- (2) 3次元の静的評価(地下温度・貯留構造の推定): さらに、上記(1)のデータに基づいて、地下3次元の温度・貯留層分布が解析・モデル化され、静的な「容積法」などを用いて大まかな資源賦存量の推定(評価)が行われる。地表調査による比抵抗など、坑井掘削調査による温度、地質、変質、透水性などの地下分布データが追加されることにより、評価精度が大きく向上する。
- (3) 3次元の動的評価(地熱貯留層の評価): 上記(1)、(2)のデータに、地熱生産井・還元井・観測井の掘削・試験・モニタリングなどのデータを加え、統合的な数理モデルに基づく数値シミュレーション解析により地熱貯留層(高温岩体に対する人工熱水系の造成などの場合を含む)の動的な評価が行われる。これは、開発経済性、周辺環境への影響などを含めた地熱資源の最適利用化の基礎となるものである。
- (4) より多面的な地熱資源の評価: 地熱資源の開

発・保全は、周辺地域の環境保全、災害防止、地域開発などと深く関係するものであり、より幅広い目的で上記の(1)～(3)を越えた4次元的评价が必要である。この例として、温泉地や自然公園における地熱開発による環境影響の評価、数百～万年スケールでの火山活動・災害との関係の評価などが挙げられる。

電子的な各種データと処理システムの上手な整備により、上記(1)～(4)の評価の継承的・発展的な実施が、様々な空間・時間スケールでまた公開的にも低費用で可能となることが期待される。その基礎～取り掛かりとして、今回の事例研究(その1)「2次元の有望地域抽出」は、(1)の段階にあたる。次回に紹介する(その2)「簡易3次元資源評価」は、概略的に(2)の段階に相当するものである。

3. 方法

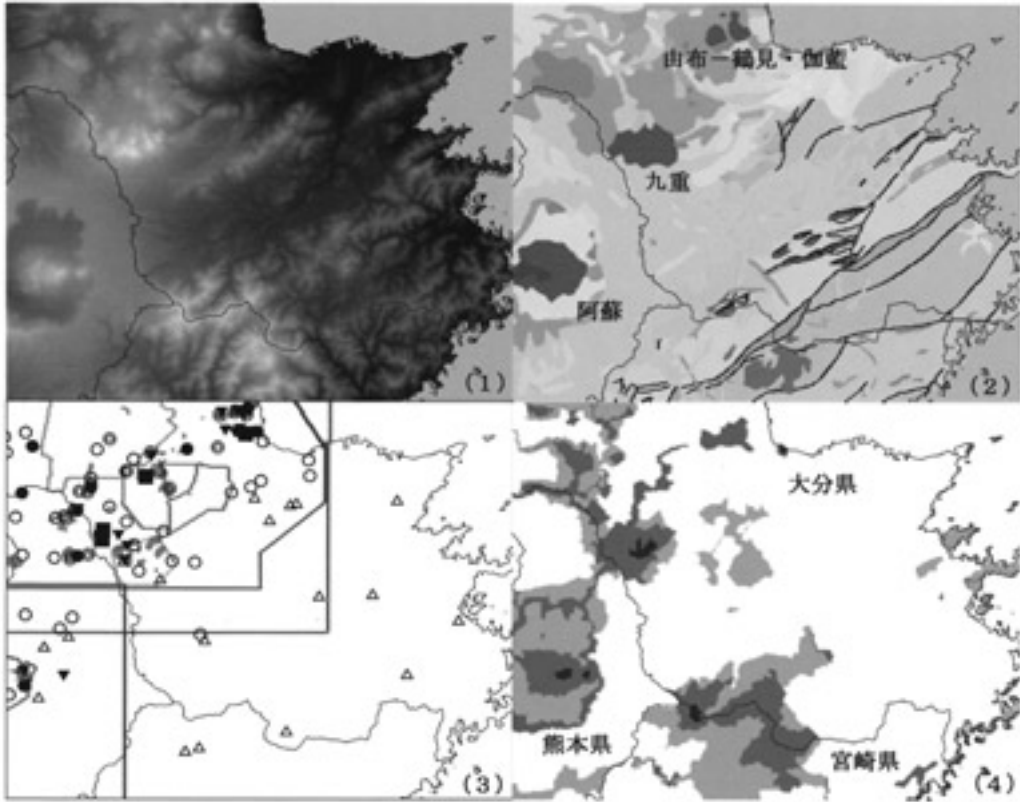
3.1 使用データと共通フォーマット化

今回、20万分の1地勢図「大分」の範囲(以下「大分」地域と略記; 標準1次メッシュ no. 4931に相当)を、試行的な事例研究の対象とした。使用したデータ

第1表 今回の処理に使用した「大分」地域のデータの種類の概要。

データの 種類	原典 データ の仕様	—使用目的— 温度 貯留 温度貯留 構造 構造 他	文 献
標高	250m #		基盤 国土地理院
地質	250m #	◎ P	地質調査所(1995)
噴気地	点ベクトル	◎ C	阪口・高橋(2002)
温泉地	点ベクトル	◎ C	阪口・高橋(2002)
重力異常	1kmグリッド	PF	地質調査所(2000)
自然公園	100 m #		環境 国土交通省(WWW)
変質帯	面ベクトル	○	阪口・高橋(2002)
地温勾配	点ベクトル \$	○	田中ほか(1999)
震源分布	点ベクトル	○ F	気象庁(2002)
坑井検層	複合ベクトル	○ P	茂野(2004c)
活断層	線ベクトル \$	F	活断層研究会編(1991)
地熱発電	点ベクトル		基盤 阪口・高橋(2002)
地熱地域	面ベクトル		基盤 阪口・高橋(2002)
県境など	線ベクトル		基盤 日本地図センター

上段は今回処理した主要データ、下段は検討した副次的データである。#はメッシュ形式で、\$は紙上データを電子化処理した。貯留構造のPは「地層型」、Fは「断裂型」、Cは調整を示す。



第2図 「大分」地域の地形・地質・地熱地域・自然公園の分布。

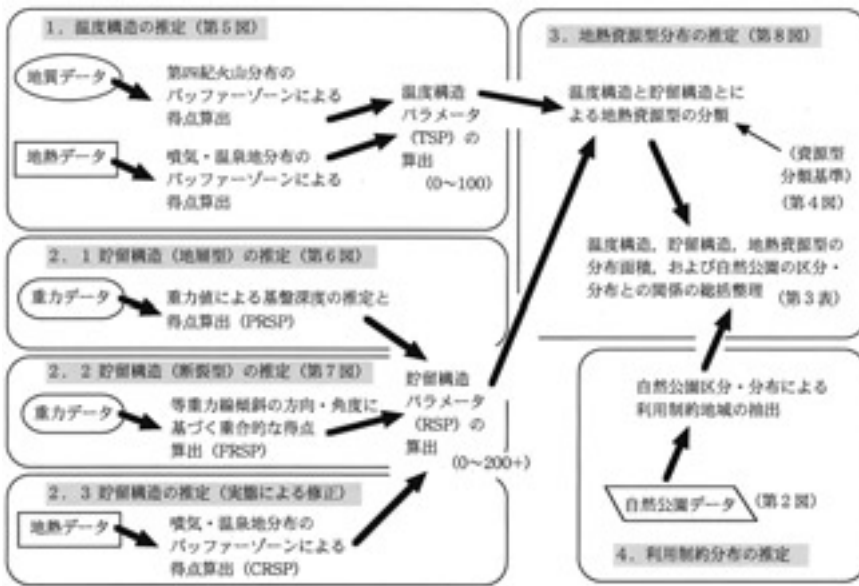
- (1) 地形陰影分布：低地ほど暗色で表示されている。国土地理院の数値地図250mメッシュ(標高)データを処理した。日本地図センターのJMCマップデータにより、海岸線・県境を示した(以下同様)。
- (2) 地質分布：カラー表示および地質凡例は、地質調査所(1995)を参照。地質調査所(1995)の250mメッシュデータを処理した。
- (3) 地熱地域分布：▼は噴気地，●，◎，○，△は温泉地(各々湧出温度が90℃以上，90～60℃，60～30℃，30℃以下)，■は地熱発電所を示す。また、酸性変質帯の分布を灰色域で、国による地熱調査地域を灰色線で示す。阪口・高橋(2002)の各種データを処理した。
- (4) 自然公園分布：自然公園は、濃灰色が特別保護区，中間の灰色が特別地域，淡灰色が普通地域である。国土交通省のWWW国土数値情報ダウンロードサービスの指定地域メッシュデータ(A02-60M)に基づき、各種の処理を行った。

の種類と概要を第1表に示す。なお、これらのデータについてすでに新版やより精密な紙上データが公開されている場合があるが、今回は作業効率などの理由で旧版データなどを用いた。第2図(1)～(4)に、本地域の地形、地質、地熱地域、自然公園の分布を示す。

データの編集・処理・解析・表示などの一連の作業は、基本的に国土地理院の数値地図250mメッシュ(標高)のファイルフォーマット(各標準1次メッシュ(20万分の1地勢図1枚に相当)あたり320×320点)(国土地理院・日本地図センター、1998)を共通に適用して

行った(茂野・阪口(2002c)を参照)。なお、「大分」地域の各250mメッシュの面積は概略0.06745km²(292m×231m)で、総面積は約6908km²(海域を含む)である。

各種の原電子データ(1kmグリッド形式、ベクトル形式など)について、パーソナルコンピュータ(基本ソフトとしてMicrosoft社のWindowsを使用)上で各々独自に開発した小規模プログラム(開発環境としてCompaq社のVisual Fortran, v.6およびMicrosoft社のVisual Basic, v.6を使用)を利用して、上記のフォーマットに変換した。250mメッシュフォーマット化したデ

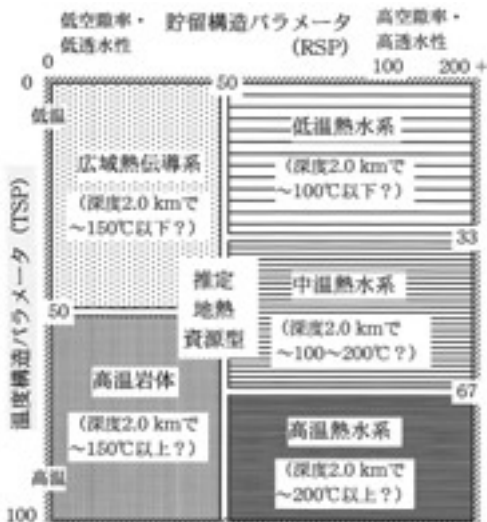


第3図
今回の簡易的な地熱資源の2次元有望地域抽出処理の流れ図。図中に該当する図表の番号を入れた。今回試行した得点・パラメータの算定の方法(データ種間の重み付けを含む)については、第2表および本文を参照。地熱資源型の分類方法については、第4図を参照。

ータの画像化と画像処理・編集は、日本地図センター販売のBird's View Pro, Adobe社のPhotoshopなどを使用して共通の方法により実施した。

3.2 処理の流れ

今回の2次元有望地域抽出の処理は、各メッシュ



第4図 今回簡易的に演算処理した地熱資源の分類方法。温度構造-貯留構造の2つのパラメータ値の範囲とこれにより分類される地熱資源型(想定した概略の温度を括弧書き)とを示す。2次元有望地域抽出の定性的な本図と3次元資源評価のより定量的な茂野(2005)の第5図とを比較参照。

に対して概略以下の(1)~(6)の流れで行った(第3図, 第2表, 第4図を参照)。なお、今回の得点の算定法や総合化法は「大分」地域を事例とした試行的なものであり、またそれらに使用した各種の係数は暫定的なものである。

- (1) まず、温度構造について、2種類のデータ(地質, 温泉・噴気地)の4項目(活火山, その他の第四紀火山(火砕流堆積物などは除く), 温泉(湧出温度), 噴気)に各々独立にバッファゾーン(例えば, Star and Estes, 1990)を適用し、該当のメッシュに該当の得点を与え、加重合算し温度構造パラメータ(TSP, 数値範囲 0~100)として定量化した(第2表の1)。
- (2) 貯留構造については、3種類に区分処理して総合化した。まず、貯留構造の「地層型」として、分布する地層・岩石を、1)貯留層となる可能性が高い上部層(第四紀の堆積岩類・火山岩類と新第三紀の堆積岩類・火山岩類), および2)その可能性が低い下部層(基盤岩類: 新第三紀の深成岩類と各種の先新第三紀層)に大別して検討した。ブーゲー板で近似する簡易的(原始的)な計算方法(例えば, 馬場, 1982)により、ブーゲー重力異常データ(假定密度, 2.30g/cm³, 多円錐図法に基づく1kmグリッドから簡易的に250mメッシュ化)を用いて、上記の2層構造假定(假定密度差, 0.35g/cm³)に基づき各メッシュの値か

第2表 今回の温度構造パラメータ値(TSP), 貯留構造パラメータ値(RSP), 地熱資源の分類型の算定方法(250mメッシュ系による)の概要.

<p>●1. メッシュ毎の温度構造に関するパラメータの算定法</p> <p>温度構造パラメータ: $TSP = (PAV + PQV + PHS + PFum) / 5.0$ (0~100)</p> <p>活火山得点: $PAV = 200$ (分布境界から5.0km以内\$)</p> <p>その他の第四紀火山得点: $PQV = 100$ (分布境界から5.0km以内\$)</p> <p>温泉得点: $PHS = \text{Discharge Temp. (}^\circ\text{C)}$ (分布域から3.0km以内\$)</p> <p>噴気得点: $PFum = 100$ (分布域から3.0km以内\$)</p>
<p>●2. メッシュ毎の貯留構造に関するパラメータの算定法</p> <p>(以下の「地層型」・「断裂型」の値および噴気・温泉地による調整値の合計)</p> <p>貯留構造パラメータ: $RSP = (PRSP + FRSP) / 2.0 + CRSP$ (0~200+)</p> <p>◎2.1 メッシュ毎の貯留構造(地層型)に関するパラメータ算定法</p> <p>貯留構造(地層型)パラメータ: $PRSP = BD \times 0.05$ (0~150+)</p> <p>第四紀~新第三紀の堆積岩類・火山岩類(上部層)の下限深度: BD (km)</p> <p>$BD = Elv - BH$; $BH = -\Delta g / (2\pi G \Delta \rho) \times 10^{-8}$</p> <p>ただし, Δg (mGal) はブーゲー重力異常の基準値(今回仮に-5.0mGalを使用)からの差, G は万有引力常数($6.7 \times 10^{-8} \text{cm}^3 / (\text{g s}^2)$), $\Delta \rho$ は2層構造の仮定で下部層を基準とした上部層の岩石の密度差(今回-0.35g/cm³を使用)で, BH (km) は上部層下限の標高, Elv (km) は標高.</p> <p>◎2.2 メッシュ毎の貯留構造(断裂型)に関するパラメータ算定法</p> <p>貯留構造(断裂型)パラメータ: $FRSP = PN + PNW + PE + PNE$ (0~100+)</p> <p>(N-S, NW-SE, E-W, NE-SWの方向により, 今回仮の重み(1.0~4.0)を付与)</p> <p>N-S方向重力傾斜度得点: $PN = \text{N-S方向傾斜度 (mGal/km)} \times 2.0$</p> <p>NW-SE方向重力傾斜度得点: $PNW = \text{NW-SE方向傾斜度 (mGal/km)} \times 1.0$</p> <p>E-W方向重力傾斜度得点: $PE = \text{E-W方向傾斜度 (mGal/km)} \times 3.0$</p> <p>NE-SW方向重力傾斜度得点: $PNE = \text{NE-SW方向傾斜度 (mGal/km)} \times 4.0$</p> <p>◎2.3 メッシュ毎の貯留構造に関するパラメータ調整法(噴気・温泉地による)</p> <p>貯留構造の調整パラメータ: $CRSP = (PHSC + PFumC) / 2.0$ (0~100)</p> <p>温泉得点: $PHSC = 100$ (分布域から3.0km以内\$)</p> <p>噴気得点: $PFumC = 100$ (分布域から3.0km以内\$)</p>
<p>●3. メッシュ毎の地熱資源型の推定法</p> <p>TSPとRSPの2つのパラメータに基づいて, 第4図の分類基準により推定</p>
<p>●4. 全域についての全メッシュの上記推定値の総計, パラメータ区分値による小計の算定(さらに, 地表環境状況(自然公園分布)に応じた上記推定値の集計)</p>

\$, バッファゾーンを使用(4種類の得点は各々独立).

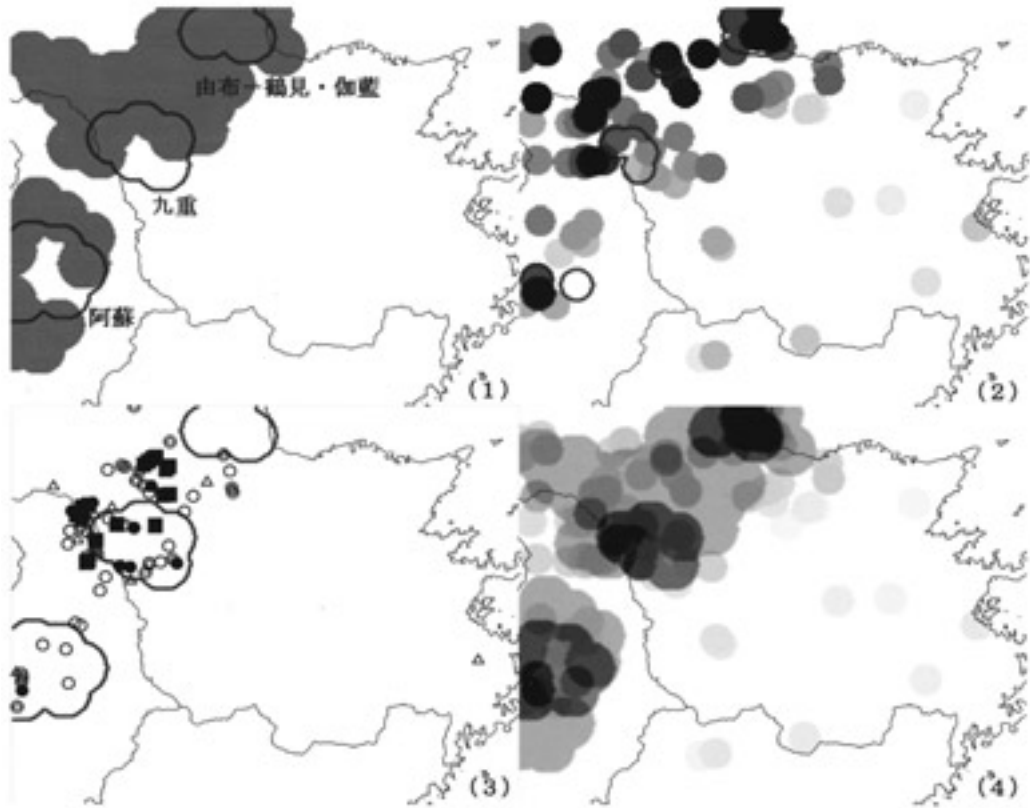
ら上部層下限の標高を求め, さらに250mメッシュ標高データを利用して上部層下限の深度(上部層の厚さ)として算出した. この深度を, 貯留構造(地層型)パラメータ(PRSP)として定量化した(第2表の2.1).

(3) 一方, 貯留構造の「断裂型」として, 同様にブーゲー重力異常データ(仮定密度, 2.30g/cm³)を利用し, 各メッシュ毎に簡易的に最隣接・次隣接の片側4方向(N-S, NW-SE, E-W, NE-SW)の4メッシュ値を用いて, 方向別の傾斜度の絶対値(mGal/km)を250mメッシュの得点とし

て計算した. これらの4得点を加重合算(詳しくは後述)して, 貯留構造(断裂型)パラメータ(FRSP)として定量化した(第2表の2.2).

(4) さらに評価上, 温泉・噴気地(第2図(3))と貯留構造パラメータ値との分布対応を整合化する目的で, 温泉・噴気地分布についての貯留構造の調整パラメータ(CRSP)を導入した(第2表の2.3). 貯留構造パラメータ(RSP, 数値範囲0~200+)は, 上記のPRSP, FRSP, CRSPの3つを加重合算して定量化した(第2表の2).

(5) 地熱資源の分類型としては, 熱水系が非発達



第5図 「大分」地域の温度構造の分布図。

- (1) 火山分布：中空の黒線は活火山，灰色域は他の第四紀火山（火砕流堆積物などの分布を除く）について，各々のバッファゾーン（分布の外縁から5.0km以内の範囲）を示す，地質調査所（1995）の250mメッシュデータを処理した。
- (2) 噴気・温泉地分布：中空の黒丸は噴気地，黒色は90℃以上の温泉地，濃灰色は90～30℃の温泉地，淡灰色は30℃以下の温泉地について，各々バッファゾーン（地点から半径3km以内の範囲）を示す。阪口・高橋（2002）の表データを処理した。
- (3) 地温勾配分布：坑井の地温勾配（℃/km，深度と坑底温度から計算）について，■は120以上，●は120～90，◎は90～60，○は60～30，△は30以下を示す。田中ほか（1999）の表データ（紙上）を処理した。黒線の活火山のバッファゾーンは（1）を参照。
- (4) 温度構造パラメータ値（TSP）の分布：今回は，各メッシュについて上記（1）と（2）の得点を処理し，温度構造パラメータ値として白色（0）～黒色（100，最良）で表示した（第2表参照）。

の「広域熱伝導系」，「高温岩体」および「低温熱水系」，「中温熱水系」，「高温熱水系」の5種類を今回の対象として半定量的に定義した（第4図）。上記の温度構造パラメータ（TSP）と貯留構造パラメータ（RSP）の演算処理により，メッシュ毎に分布する可能性の高い資源型を求めた（第2表の3）。

- (6) 上記で得られた温度構造パラメータ値，貯留構造パラメータ値，地熱資源型の各メッシュ数を集計し，面積化して総括表にとりまとめた。また，自然公園の分布（第2図（4））との関係について，

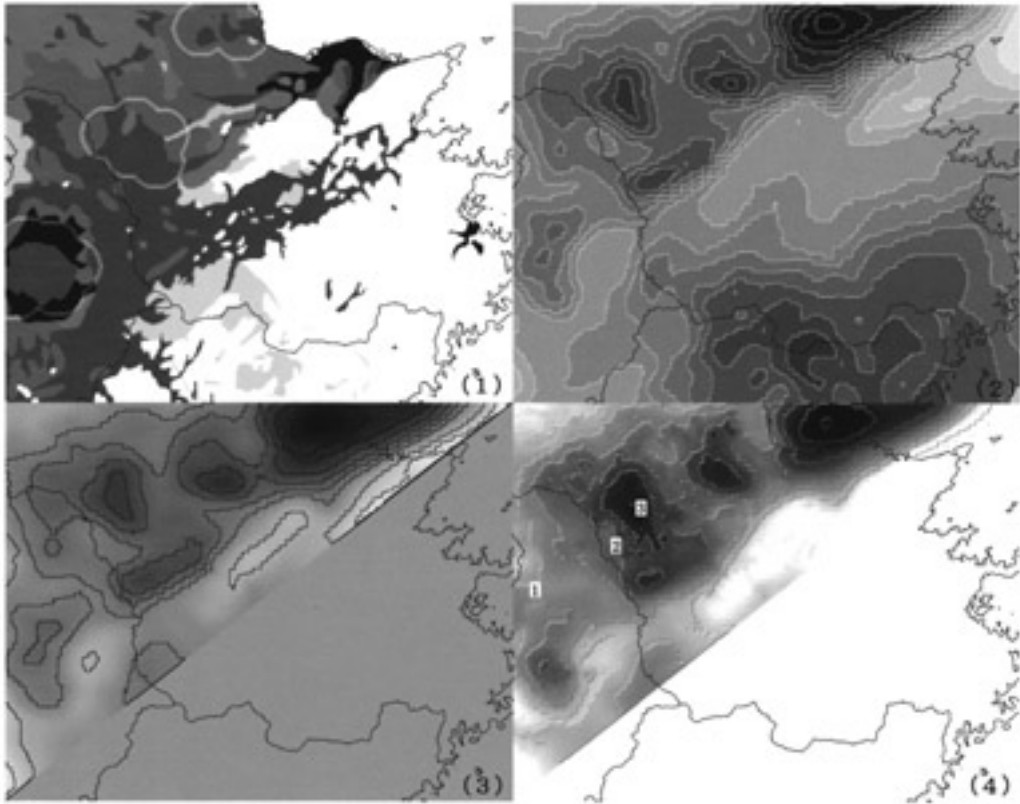
現状での地熱開発への制約や今後の両者の発展的協力の観点から，メッシュデータを処理して統計的に整理した。

以下，上記の（1）～（6）の作業順に沿って結果を紹介する。

4. 結果と考察

4.1 温度構造

第5図（1）～（4）に，3.2（1）で述べた温度構造につ



第6図 「大分」地域の貯留構造(「地層型」)の分布図。

- (1) 地質年代分布：暗色ほど若い地質単元で、黒色～濃灰色は第四紀の堆積岩類、火山岩類(火砕岩類を含む)、淡灰色は新第三紀の堆積岩類・火山岩類(中南部の深成岩類を含む)、白色は各種の先新第三系の地表分布を示す。暗色ほど、平均的に高い空隙率・透水性が推定される。地質調査所(1995)の250mメッシュデータを処理した。白線の活火山のバッファゾーンは第5図(1)を参照。
- (2) ブーゲー重力異常分布：黒色～白色は、ブーゲー重力異常(假定密度 = 2.30g/cm^3)の低値～高値($-57\sim+25\text{mGal}$)を示す。地質調査所(2000)の1kmグリッド(多円錐図法)データを簡易的に処理して250mメッシュデータとした。
- (3) 基盤標高分布：簡易的な手法で(2)から作成した(本文参照)。平均的に空隙率・透水性が高い岩石((1)の黒色～灰色域)の分布下限の概略の標高(km, a.s.l.)を、黒色～白色(暗色ほど低い)で示す。先新第三系が地表～地下浅部に分布する南東半部については、処理の対象外とした。
- (4) 貯留構造(「地層型」)パラメータ値(PRSP)の分布(基盤深度分布)：簡易的な手法により、(3)と国土地理院の標高メッシュデータとから作成した(本文参照)。平均的に空隙率・透水性の高い岩石の概略の厚さ(km)を、白色～黒色および等高線・数値で示す。

いての今回の処理結果を整理した。まとめとして第5図(4)に、(1)と(2)の得点を加重合算した試行的な温度構造パラメータ値(TSP)の分布を示す(第2表参照)。「大分」地域の北西部(広義の「豊肥地域」と呼ばれる)は、E-W～NE-SW方向に伸びる大規模な地溝帯となっており、そこに第四紀の火山体および高温の噴気・温泉地が広く分布している。従って、ここに高いTSP値が集中的に分布し、特に活火山と高温

噴気地が分布する由布-鶴見・伽藍、九重、阿蘇地域で最も高いTSP値(~ 100)が分布している。一方、地溝帯の外部では、第四紀火山、高温噴気・温泉地が分布せず、広く低いTSP値(~ 0)となっている。

今回、坑井検層によって得られた地温勾配データについても処理を試行した(第5図(3))が、TSPの算出には含めなかった。測定データは、上記の地溝帯内に集中しているが、多くの高い値($90\sim 120^\circ\text{C}/\text{km}$

以上)とともに一部には低い値(30℃/km以下)の場合があり、火山地域における地形、熱水系分布などの影響による複雑な流体流動・温度分布の存在を示している。地溝帯外の測定データは非常に限られているが、非常に低い値となっており、(2)の温泉の温度分布と調和的である。なお、温度構造に関連性を持つ地殻内震源分布などについても処理を行った(茂野(2003)を参照)が、本説では省略した。

4.2 「地層型」貯留構造

空隙率・透水性が高い地層・岩体には、地熱貯留層の発達が期待される。日本では、主に生成年代が新しい(新第三紀～第四紀)非結晶質層(堆積岩類・火山岩類)がこれに該当すると考えられる。非第四紀火山活動地域でも、このような岩石の分布地域の深部には「低・中温熱水系」の分布が期待される。今回、3.2(2)の方法により簡易的にこのような地層の厚さを求めて、試行的にパラメータ化(PRSP)した。

第6図(1)～(4)に、「地層型」貯留構造についての今回の検討結果を示した。(1)の地表地質分布は、「大分」地域の南東部には広く基盤岩類が分布しており、「地層型」貯留構造の発達に乏しいことを示している。なお、一部に分布する第四紀の阿蘇火山の火砕岩類や平野堆積物は、層厚数100m程度の薄いものである。(2)に分布を示したブーゲー重力異常値(仮定密度、2.30g/cm³)は、「大分」地域の南東部では平均的に高い値となっており、(1)の基盤岩類の地表分布と調和的である。なお、広域的にSE方向の日向灘へ向かうブーゲー重力異常値の低下などについては、今回は検討の対象外とした。上記により、今回の「地層型」貯留構造についてのデータ処理範囲は、「大分」地域の北西半部のみとした。

第6図(3)～(4)に示したブーゲー重力異常データの簡易的な処理結果は、地溝帯域において上部層が最大深度3.0km程度まで分布しており、「地層型」の貯留層となっている可能性を示している。なお、駒澤・鎌田(1985)などはほぼ同一の地域について、より厳密な手法(駒澤・石原(1998)などを参照)と考察によってブーゲー重力異常の分布から基盤標高、基盤深度の分布を検討しており($\Delta\rho$ として0.3および0.4g/cm³を使用)、概略的には今回と類似性の高い結果(駒澤・鎌田(1985)の第18図～第21図)を報告している。

4.3 「断裂型」貯留構造

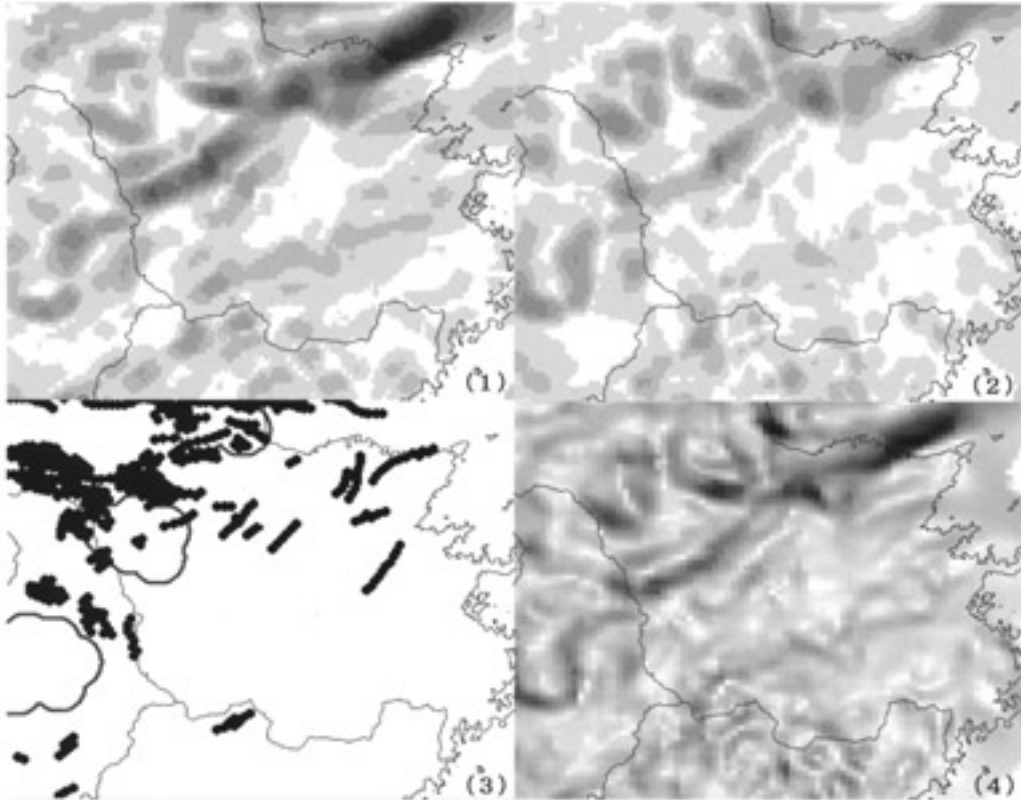
日本の地熱地域では、比較的大規模な断裂系に沿って高温流体が貯留される場合が多く、「断裂型」貯留層の探査を目的としてブーゲー重力異常の高傾斜部の分布が有効な指標とされてきた(例えば、馬場、1982)。第7図(1)～(4)に、3.2(3)で述べた「断裂型」貯留構造についての今回の検討結果を示す。第7図では、方向別のブーゲー重力異常の傾斜度の分布を整理することにより、(1)には走向がE-WおよびNE-SW性の構造、(2)には走向がN-SおよびNW-SE性の構造が抽出されている。第7図(4)では4方向の得点に重みを付けて加算し、試行的な「断裂型」貯留構造パラメータ(FRSP)値を求めた(第2表2.2参照)。

広義の「豊肥地域」では、NE-SWおよびE-W方向の断層を周辺境界として、地溝帯内部には多数のE-W方向の活正断層が地表に分布する。しかし、地下の高温熱水系は、NW-SE(～N-S)方向に伸びる大きな構造に規制されている場合が多く(第2図(3)を比較参照;また例えば、茂野(2003, 2004b)、新エネルギー・産業技術総合開発機構(2002)を参照)、得点係数はこれを考慮したものとなっている。高いFRSP値は、地溝帯の縁辺部に沿って直線状に、また内部で一部環状に集中的に分布している。

今回、活断層研究会編(1991)の「大分」地域の活断層分布図をスキャナーで読み取って線ベクトル化したもの(茂野、2003)についても、バッファゾーンを設けて検討した(第7図(3))が、FRSPの算出には含めなかった。また、標高分布(50mメッシュ)、衛星画像(分解能30m以上)を用いて断裂系の抽出を試行するとともに、地殻内震源分布などの処理を行った(茂野(2003)参照)が、本説では省略した。

4.4 貯留構造のパラメータ調整

上記4.2と4.3の「地層型」と「断裂型」による貯留構造パラメータ値の算出では、「大分」地域の南東部に分布する低温の温泉地(坑井掘削による開発地が含まれる)については分布が抽出できない。このため、今回暫定的に貯留構造のパラメータ値の調整として、温泉地・噴気地分布のバッファゾーンを利用して得点化(CRSP)し、3者を総合して貯留構造パラメータ値(RSP)とした(第2表の2および3.2(4)を参照)。その概略の分布は、後述する第8図(1)・(2)に表現されている。



第7図 「大分」地域の貯留構造(「断裂型」)の分布図。

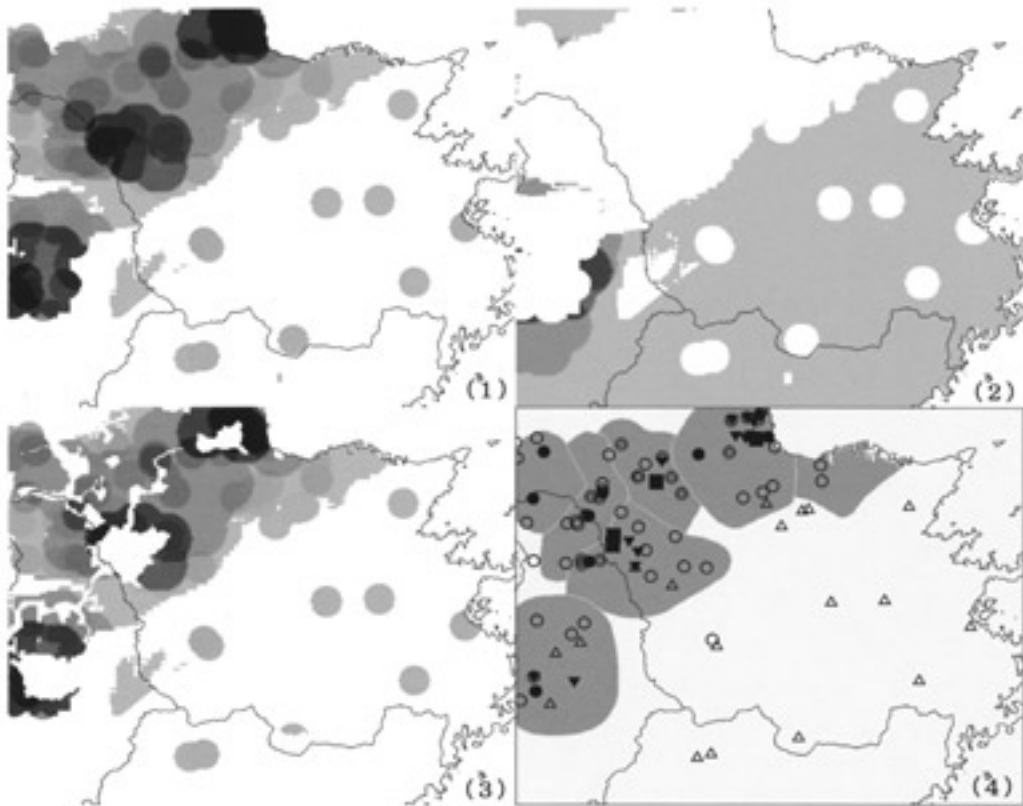
- (1) ブーゲー重力異常の傾斜度の絶対値(N-SおよびNW-SE方向)の分布: これら2方向への傾斜度(大きい方を), 白色~黒色(0~10mGal/km)で示す。暗色域では走向がE-W~NE-SWの断裂系の発達が期待される。ブーゲー重力異常分布(仮定密度 = 2.30g/cm³)は地質調査所(2000)に基づき, 1kmグリッド(多円錐図法)データを簡易的に処理した。
- (2) ブーゲー重力異常の傾斜度の絶対値(E-WおよびNE-SW方向)の分布: これら2方向への傾斜度(大きい方を), 白色~黒色(0~10mGal/km)で示す。暗色域では走向がN-S~NW-SEの断裂系の発達が期待される。(1)と同様に作成した。
- (3) 活断層分布: 黒色は活断層について, 各々バッファゾーン(断層から約1km内の範囲)を示す。活断層研究会編(1991)の編集図(紙上)を簡易的に電子化処理した。黒線の活火山のバッファゾーンは第5図(1)を参照。
- (4) 貯留構造(「断裂型」)パラメータ値(FRSP)の分布: 今回は, 各メッシュについて4方向別のブーゲー重力異常の傾斜度絶対値を加重演算処理し, 貯留構造(「断裂型」)パラメータ値として白色(0)~黒色(100+, 最良)で表示した(第2表参照)。

4.5 2次元の有望地域抽出図の作成

上記4.1~4.4の温度構造および貯留構造のパラメータ値(TSP・RSP)を各メッシュ毎に演算処理することによって, 水平2次元的に地熱資源の分布が有望な地域(概略的に地下深度3km以浅)を抽出した。第4図に従って資源型を分類した結果を, 第8図(1)に熱水系の発達可能性が高く期待される地域(「低温熱水系」・「中温熱水系」・「高温熱水系」), (2)に熱水系の発達可能性が低い地域(「広域熱伝導系」・「高温

岩体」)として示す。なお, 参考として第8図(4)には, 阪口・高橋(2002)に表示された7つの地熱地域とともに, 活火山, 噴気・温泉地, 地熱発電所などの分布(第2図(3)参照)を示した。

第8図(1)の熱水系の発達が強く期待される地域は, 全体的に(4)の地熱地域と非常によく分布の一致を示しており, (4)の地域有望性について半定量化したものと見ることができる。「高温熱水系」の分布可能性は, 特に3つの活火山地域(由布・鶴見・伽藍,



第8図 「大分」地域の平面的な地熱資源分布有望地域(概略深度3km以浅)の抽出図。評価法は第2表、第4図、本文を、資源型毎の抽出結果のまとめは第3表を参照。

- (1) 低温～高温熱水系の分布が有望な地域：暗色ほど高温の熱水系の分布の可能性が高い。白色は熱水系発達の可能性が低いことを示す。
- (2) 広域熱伝導系～高温岩体の分布が推定される地域：暗色ほど高温の可能性が高い。(2)の着色域は(1)の白色域に当る。
- (3) 熱水系の分布が有望な地域と自然公園の特別地域(特別保護区を含む)との重合表示：画像上で(1)から第2図(4)の該当公園域を白色化した。
- (4) 阪口・高橋(2002)による地熱地域の抽出図：7つの地熱地域を灰色の領域で示すとともに、噴気・温泉地、地熱発電所などを示した(凡例は、第2図(3)を参照)。

九重、阿蘇)周辺に広く示され、またより狭く岳ノ湯および野矢地域に認められる。「中温熱水系」の分布可能性は、北西部の地溝帯内に散点的に示されている。

第8図(3)には、(1)の地域の中で開発の制約が大きい自然公園の特別地域(第2図(4)参照)を除外したものを示す。(3)は、自然公園の特別地域が3つの活火山地域を広く被い、「高温熱水系」の発達が期待される地域の中心部に対応していることを示している。現在地熱発電所が稼働している地域((4)参照)は、概略的に「高温熱水系」の発達が期待される地域の周辺部に相当する。

一方、第8図(2)の「高温岩体」発達有望地域の分布は非常に限られ、阿蘇地域周辺などに存在するのみである。これは、今回3.2(4)、4.4で述べた調整によって「楽観的な」貯留構造パラメータ値の算定法になっており、北西部の地溝帯域について全体的に貯留構造パラメータ値が高くなっていることに起因すると考えられる。従って、貯留構造パラメータについてより厳しい条件設定を行えば、「高温岩体」発達の有望地域をより広く抽出することができるが、逆に既存技術で開発可能性・経済性が高い熱水系の発達可能性地域は狭く抽出されることとなる。

第3表 250mメッシュ系による「大分」地域の地熱資源
分布有望地域 (km²) 抽出のまとめ。

項目 区分	全域自然		一自然公園内の地域*一		
	公園外 の地域	普通 地域	特別 地域	特別 保護区	
1. 温度構造パラメータ値 (TSP) の区分					
0- 25	4857.	3589.	765.	469.	8.
25- 50	474.	263.	107.	101.	3.
50- 75	428.	142.	131.	137.	17.
75-100	196.	69.	25.	98.	5.
2. 貯留構造パラメータ値 (RSP) の区分					
0- 25	3320.	2419.	545.	352.	4.
25- 50	755.	471.	168.	86.	6.
50- 75	603.	451.	83.	66.	0.
75-100	477.	297.	109.	70.	1.
100-200+	800.	424.	124.	230.	22.
3. 地熱資源型による分類 \$					
広域熱伝導系	3979.	2863.	675.	408.	8.
高温岩体	96.	26.	37.	30.	2.
低温熱水系	1115.	870.	144.	97.	2.
中温熱水系	418.	190.	105.	119.	4.
高温熱水系	346.	112.	67.	150.	17.
総面積 #	5955.	4062.	1029.	805.	33.

単位はkm² (0.06745km²/メッシュ)である。

*、海中公園を除き、特別地域は特別保護区を除く。

\$、地熱資源型の分類方法は、第4図を参照。

#、海域(約954km²)などを除く。

4.6 地熱資源評価のとりまとめ

今回の「大分」地域における地熱資源評価の事例研究(その1)のとりまとめとして、4.1~4.5で水平2次元的に得られた温度構造パラメータ値、貯留構造パラメータ値および地熱資源型別に抽出された有望地域の各分布面積を、3.2(6)の方法により集計して第3表に示す。第3表では、現状での地熱開発制約などの視点から自然公園の分布(第2図(4))との関係について統計的に整理した、第3表の総面積に示すように、本地域では自然公園が占める割合が非常に高い(海域などを除く全面積のうち特別地域(特別保護区を含む)が約14%、普通地域が約17%)。ちなみに、日本の平均としては、概略的に特別地域(特別保護区を含む)が3.9%、普通地域が1.6%である。なお今回のとりまとめでは、その平面的な性格から熱エネルギー賦存量、発電可能エネルギー量などとしての

整理は行わなかった。

温度構造、貯留構造ともに高いパラメータ値は一部の地域に限られ、多くの地域は(～全面積の67%)は「広域熱伝導系」の分布推定域にあたる。前述したように楽観的な貯留構造パラメータ値の設定により、「高温岩体」の分布推定域は非常に狭い(～全面積の2%)。熱水系分布有望地域(～全面積の32%)の中では低温系、中温系、高温系へと分布域が狭く(～各々全面積の19, 7, 6%)になっている。現状の技術・経済性で発電開発の実現性が高い「高温熱水系」の分布が期待される地域の面積は、346km²と算定される。

さらに第3表によって、自然公園内の(1)特別地域(特別保護区を含む)、(2)普通地域、および(3)公園外の地域の3者の各々に占める資源型の割合を比較すれば、(1)から(3)へと「高温熱水系」・「中温熱水系」・「高温岩体」が減少し、逆に「低温熱水系」・「広域熱伝導系」が増加することが明らかである。特に現状の技術・経済性で発電開発の実現性が高い「高温熱水系」については、上記3者間の分布の割合は概略48, 19, 32%となっており、自然公園内、特に特別地域(167km²)内の分布が顕著である。

5. おわりに

本説では、筆者らが2001年より進めている「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」第1期の取りまとめの一環として、「大分」地域を例とした地熱資源評価の事例研究(その1)「2次元的有望地域抽出」の概要を紹介した。近い将来に、(その2)「簡易3次元的資源評価」も地質ニュースで紹介する予定である。

両者は一体的なものであり、また誌面の都合もあるため、「総合的な考察」、「おわりに」などは(その2)の最後でまとめて述べることにしたい。なお、別にCD-ROMを媒体として、「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」第1期の成果を取りまとめて、2005年末を目途に公開化する計画である。これらについてもご一覽頂ければ幸いです。

謝辞：原稿について地圏資源環境研究部門・地熱資源研究グループの村岡洋文、玉生志郎、阪口圭一な

どの方々から有益なコメントを頂いた。重力データの解析については、地質情報研究部門の駒澤正夫氏から貴重なコメントを頂いた。東電設計株式会社の方々からは、関東とその周辺地域におけるGISを利用した地熱資源のデータ処理・評価について情報を頂き、今回の取りまとめの参考とした。以上の方々には厚く感謝します。

文 献

- 馬場健三(1982):重力探査. 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, 198-210.
- 地質調査所(1991):日本の地熱資源評価に関する研究. 地調報告, no. 275, 352p.
- 地質調査所(1995):100万分の1日本地質図第3版CD-ROM版. 数値地質図, G-1.
- 地質調査所(2000):日本重力CD-ROM. 数値地質図, P-2.
- 伊達二郎・井出俊夫・山田亮一(2002):地熱開発促進調査開発可能性調査(戦略的調査全国調査)の概要. 地熱エネルギー, 27, 211-219.
- 活断層研究会編(1991):新編日本の活断層-分布図と資料, 東大出版会, 437p.
- 気象庁(2002):平成12年地震年報(CD-ROM), 気象業務支援センター.
- 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.
- 駒澤正夫・鎌田浩毅(1985):豊肥地域の重力基盤構造. 地調報告, no. 264, 305-333.
- 駒澤正夫・石原丈美(1998):重力探査. 物理探査ハンドブック, 4, 431-471.
- 宮崎芳徳・津 宏治・浦井 稔・高倉伸一・大久保泰邦・小川克郎(1991):全国規模地熱資源評価の研究. 地調報告, no. 175, 17-43.
- 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.
- 茂野 博(2000):深部地熱資源の探査・開発の今後の進展に向けて. 地調報告, no. 284, 313-336.
- 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(2004a):火山防災と地熱開発の協力-磐梯山1888年噴火(水蒸気爆発)災害を例に考える. 地熱エネルギー, 29, 17-32.
- 茂野 博(2004b):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.
- 茂野 博(2004c):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. 地質ニュース, no. 595, 43-56.
- Shigeno, H. (2004): Fluid geochemistry data processing for integrated assessment of Japanese geothermal resources using GIS: A case study for the Hoho area, Kyushu. Proc. 11th Internat. Symp. on Water-Rock Interaction, Saratoga Spring 2004, 177-181.
- 茂野 博(2004d):地球科学分野における国際単位系(SI)の使用:問題点と解決策. 地質ニュース, no. 603, 25-33.
- 茂野 博(2005):標準250mメッシュレイヤー系を用いた地熱資源評価の事例研究(その2):20万分の1地勢図「大分」地域の簡易3次元的資源評価. 地質ニュース. (投稿中).
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(1989):地熱資源量の評価に関する調査. 194p.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(2002):平成13年度地熱開発促進調査 開発可能性調査(戦略的調査全国調査)(第3次). 262p.
- Star, J. and Estes, J. (1990)(岡部篤行・貞広幸雄・今井 修訳(1992)):入門地理情報システム. 共立出版, 235p.
- 田中明子・矢野雄策・笹田政克・大久保泰邦・梅田浩司・中野昇・秋田藤夫(1999):坑井の温度データによる日本の地温勾配値のコンパイル. 地調月報, 50, 457-487.
- United States Geological Survey(1975): Assessment of Geothermal Resources of the United States - 1975. U. S. G. S. Circular, no. 726, 155p.
- United States Geological Survey(1978): Assessment of Geothermal Resources of the United States - 1978. U. S. G. S. Circular, no. 790, 163p.

SHIGENO Hiroshi (2005): Case study of geothermal resources assessment using the standardized 250-m mesh-layer system: 2-D selection of promising areas for the "Oita" area, Kyushu, Japan.

< 受付: 2005年2月24日 >