

全国地熱資源総合調査

Nationwide Geothermal Exploration Survey Project

高 木 慎 一 郎*

Shinichiro Takagi

1. はじめに

新エネルギー総合開発機構(NEDO)では、国の石油代替エネルギーの開発促進政策に基づき、地熱資源の開発・利用を図る各種のプロジェクトを推進している。全国地熱資源総合調査もその一つで、わが国に広く分布する地熱資源の賦存状況を全国規模で把握し、体系的な地熱開発有望地域の抽出を可能とする技術を確認することを目的としている。

そのため、まず第1次調査(55年度~58年度)として、海外のリモートセンシング技術を導入した地質構造調査、キュリー点法調査による地温探査、重力調査による基盤構造調査等により日本列島全域をカバーする基本図を作成、整備し、これらのデータからマクロにみた地熱賦存可能性の高い地域(地熱有望地域)の抽出・選定とその特性からみた地熱タイプの分類を行った。次に第2次調査(59年度~61年度)では、これらの有望地域からタイプの異なる4地域をモデル・フィールドに選び、その地域の熱源、貯留構造、地熱流体の実態を明らかにするため、より詳細な調査を加えるとともに各タイプ地域の資源評価手法の基礎的研究を行った。

以上の成果を踏まえ、現在この調査は最終段階としての第3次調査(62年度~)に入っている。この調査では広域な概査データから開発有望地区を適確に絞り込むための技術の確認を目標とし、高度な情報処理技術を駆使した総合解析手法の開発と、地熱資源を広域に、かつ動的に把握し評価するための広域熱水流動系調査を加えることにより、わが国の地熱資源評価システムを確認することとしている。

2. 調査の概要と成果

2.1 第一次調査

* 新エネルギー総合開発機構地熱調査部調査専門員

〒170 東京都豊島区東池袋3丁目1-1 サンシャイン60

(1) リモートセンシング調査

約1万メートルの高度から側方斜めに電波(マイクロ波)を照射し、地上からの反射波により地形を映像化した合成開口レーダー画像(SAR画像)を作成し、この画像から線状、環状の地形を読み取り、地熱流体の通路となる断裂系の分布や火山活動に伴うカルデラ構造の抽出を行った。この調査によって、わが国では初めての日本全土をカバーする均質なSAR画像(20万分の1, 120枚)が整備され、全土の断裂構造解析が可能となった(図-1)。

また、日本全土のランドサット画像(61シーン)のフォールスカラー合成画像も併せて作成し、これからは大規模な線状、環状構造のほか変質帯分布、岩相分布等の地質情報の抽出を行い大域的な地質構造解析に役立てた。

以上のリモートセンシング調査による成果は、有望地域抽出の際の重要なファクターとして活用されている。

(2) キュリー点法調査

一般に岩石は熱によりその保有する磁性を失う。この時の温度を岩石のキュリー点温度(約560℃)という。

キュリー点法調査はこの性質を利用して空中磁気データから地下の岩石がキュリー点温度に達する深度(磁性を失う深度)を求め、地下の温度勾配の概要を把握する新しい技術である。この調査では、先ず日本全土を高度約1,500メートル、測線間隔3~4キロメートルの飛行による磁気測定を行い磁気図を作成した。次に近時開発されたキュリー点深度解析手法により地下温度が約560℃の高温になる深度を求め、日本全土のキュリー点等深度線図(図-2)を作成した。この図には6キロメートル以浅の高温帯から20キロメートル以深の低温帯まで1キロメートル間隔のコンターで図示されており、広域的にみた地下深部の温度分布推定が可能となった。

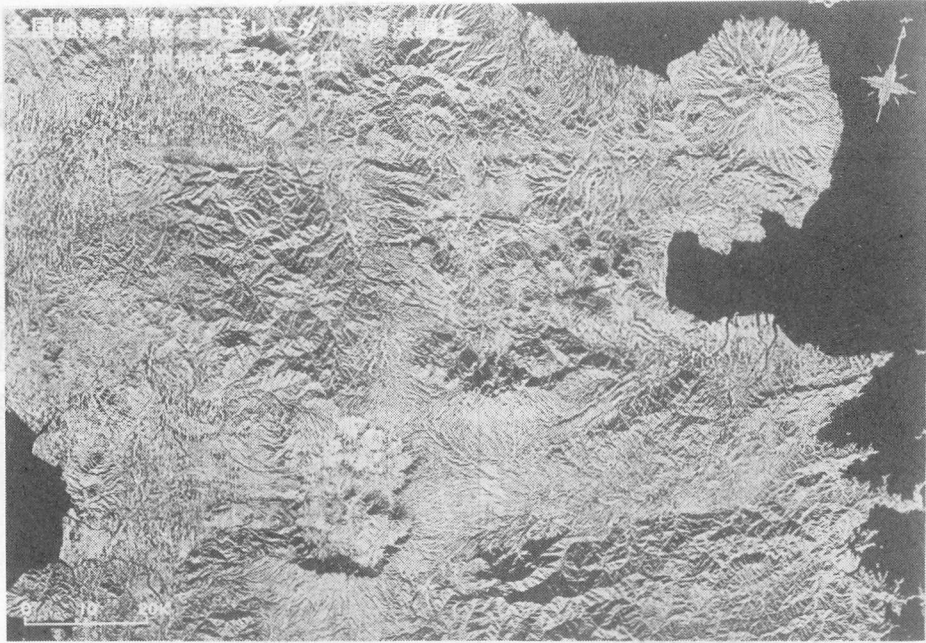


図-1 SAR画像 (九州中部地域)

(3) 重力調査

重力調査とは、地下に分布する岩石の密度が変化することによって生じる地表からの重力値の変化を測定し、基盤岩の深度、隆起、陥没構造、貫入岩、断層といった地熱深査に必要な地質構造を推定する深査手法である。この調査では、新に測定したデータに既存のデータを加えて編集し、統一的手法により日本全土の約1/2に及ぶ詳細な重力異常図を完成した。この重力データからは、地熱貯留構造の解析に不可欠な基盤構造

図が作成された。

(4) 有望地域の評価

以上の調査データを総合的に解析し、地熱有望地域を抽出するための解析作業が行われた。例えば SAR 画像から抽出された線状構造 (リニアメント) を数値化し、その密度分布図を作り、断層系の量的な評価を行ったり、重力と磁気の相関解析により火山活動と関連の深い貫入岩体の分布や地表に見られる火山岩体の厚さ、分布域、基盤構造等が求められた。

表1 地熱有望地域のタイプ区分と評価基準

評価項目 有害地域の類型		熱源		貯留構造		断裂構造
		キューリー点 温度の深度	火山岩(100万 年以新)の分布	重力基盤深度	地質・温泉分布	レーダーリニアメント密度
火山性熱水 対流系地域	タイプ①	10km以浅	周囲5km以内 又は カルデラ内	1.5km以深又は 局部的隆起 域の周囲5km 以内	42°C以上の温 泉あり	大(42°C以上の温泉あり)
	タイプ②					大(42°C以上の温泉なし)
	タイプ③					小
深層熱水系 地域		12km以浅		1.5km以深	古第三紀以降 の地層分布あり	
高温可能性 地域	タイプ①	8km以浅			90°C以上の温泉 周囲5km以内	
	タイプ②					

(注) リニアメント密度: 単位面積 (1 km²) 当りの総リニアメント長 (km)

大: 0.75以上

小: 0.75以下

但し、北海道地域は0.50使用

このような解析結果と既存の地質や温泉に関する情報を総合し、表1に示す評価基準に当てはめて全国に分布する地熱有望地域の抽出とタイプ分類を行った(図-3)。

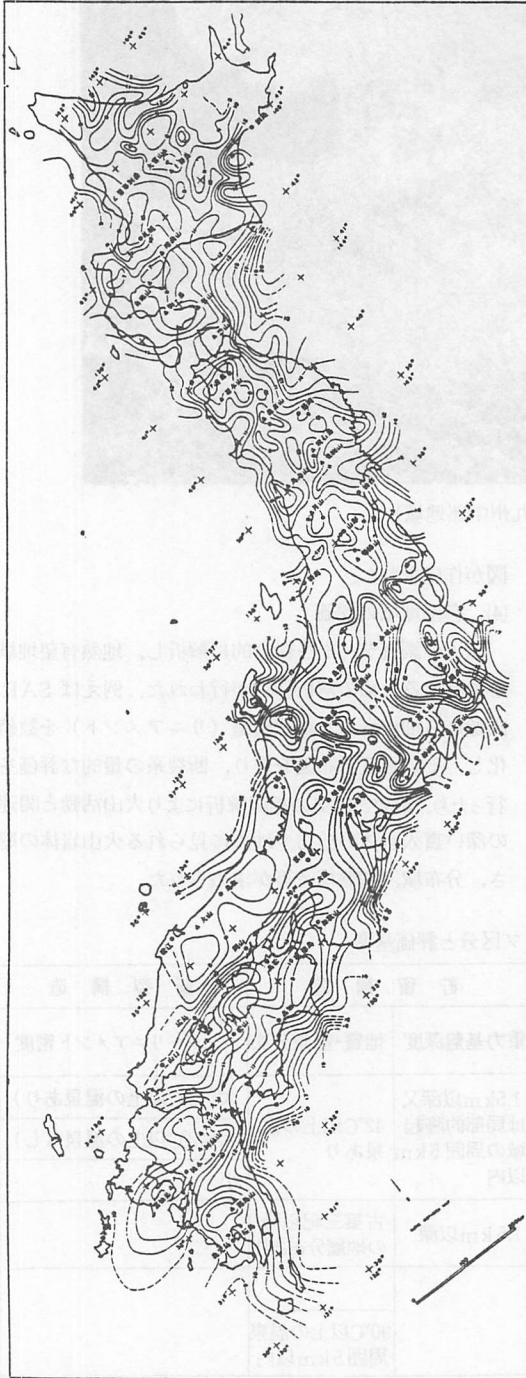


図-2 日本全土のキューリー点深度分布図(約560°Cになっている深度)、深度は海拔0 mを基準にした深さを示す(単位はkm)。

- | | |
|---------------|-------------|
| 1 知床・羅臼 | 18 燧ヶ岳・日光白根 |
| 2 阿寒・屈斜路 | 19 赤城・榛名 |
| 3 大雪山・十勝 | 20 飯土・苗場 |
| 4 支笏・倶多楽 | 21 草津白根・八ヶ岳 |
| 5 ニセコ・洞爺 | 22 伊豆・箱根 |
| 6 狩場山 | 23 三原山(大島) |
| 7 濁川・駒ヶ岳・恵山 | 24 御岳 |
| 8 岩木山 | 25 大山 |
| 9 八甲田・十和田 | 26 豊肥 |
| 10 八幡平・森吉 | 27 阿蘇 |
| 11 花巻 | 28 雲仙 |
| 12 焼石・栗駒 | 29 五島(福江) |
| 13 鳥海山・月山 | 30 霧島・桜島 |
| 14 肘折 | 31 川内 |
| 15 蔵王・船形 | 32 開聞岳 |
| 16 吾妻・磐梯・安達大良 | 33 口永良部島 |
| 17 那須 | |

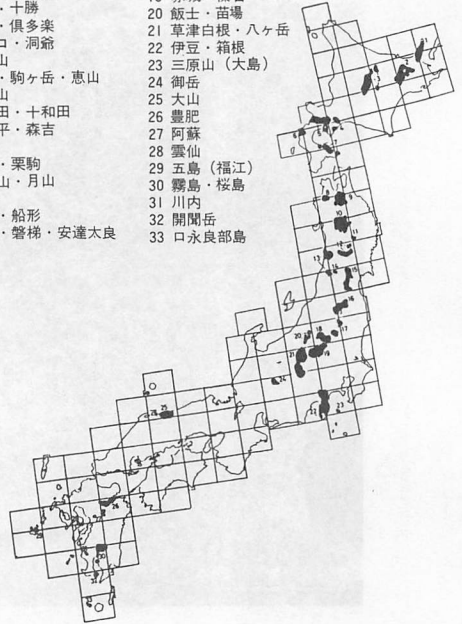


図-3 地熱有望地域(火山性熱水対流系地域)

この成果は、20万分の1の地勢図区画に合わせた地熱有望地域図(120枚)及び地熱地域断面モデル図(32断面)としてまとめられた。なお、この調査によって得られた成果図類はNEDOにより公開されており、地熱業界はもとより資源、土木関係、学術研究機関等において広く活用されている。

2.2 第2次調査(59年度~61年度)

第1次調査により選択された地熱有望地域について図-4に示すようなより詳細な調査を加え、その地域に含まれる地熱の実態を明らかにすることによりこれまでの地熱探査技術のレビューと最適な評価手法の調査

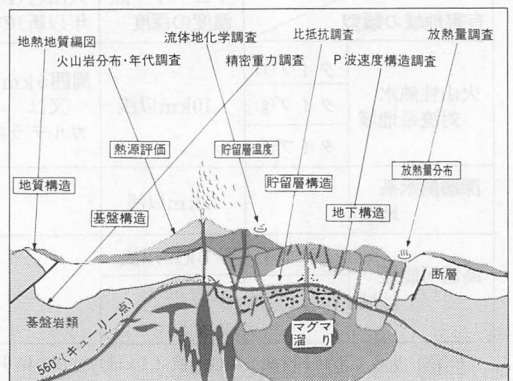


図-4 全国地熱資源総合調査(第2次)調査手法概念図

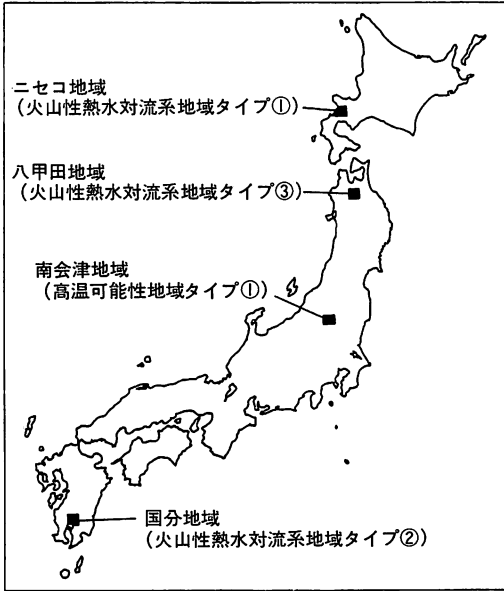


図-5 第2次調査地域図

・研究を行った。

調査対象地域は図-5に示す4地域で、夫々地熱タイプの異なる地域である。調査は前述の地表からの調査による地熱構造モデルの作成と開発可能地区の抽出ならびに資源評価技術の研究開発である。この調査に用いた主な探査手法は次の通りである。

(1) 火山岩分布・年代調査

火山に関する地質構造とその活動年代、噴出物の分布状況、火山岩の鉱物組成や化学組成から各火山の活動に対応するマグマ留りの残存熱量を試算し、熱源としてのポテンシャルを評価した。

(2) 比抵抗調査

地磁気地電流法 (MT法) 調査により浅部から数キロメートルの深部に及ぶ地下の電気比抵抗の分布図を

作り、これより地熱流体を含む貯留構造の分布範囲、深度の推定を行った。

(3) 流体地化学調査

地表でみられる温泉水、噴気ガスの成分特性を分析し地下における地熱流体の挙動、生成環境の温度を推定した。

(4) 地熱資源評価技術の開発

広域な地熱有望地域から開発可能性の高い地区を抽出するには、熱源、貯留構造、流体流動系の3つを組合せた適確なモデル化 (概念モデル~数値モデル) とこれに基づく量的な資源評価が必要である。そのため第2次調査の中で先ずその方法論から調査・検討し、資源評価のためのシステムを作成した。その手順は次の通りである。

① 概念モデルの作成

広域な概査データから熱源、貯留層位置、熱水流動を予測した概念モデルを作成する (図-6)。

② 地質的類似性による熱源規模の推定

概念モデルの地質、地化学、地球物理及び水理的特徴を既に開発された地域と比較・検討し、半定量的評価を行う。

③ 地熱系の予察モデル作成

更に詳細な調査データの解析により概念モデルを定量的予察モデルにリファインする (図-7)。

④ 熱流量解析モデルの作成

調査井による熱流量等のデータ及び深部のマグマ溜りによる広域な熱伝導の解析により、熱流量解析モデルを作成する。またこれにより地熱系の修正モデルを作成する。

⑤ 分配パラメータモデルの作成

この修正モデルを多角形格子状に分割し、各ブロックに温度、圧力、化学成分、水理特性等のパラメ

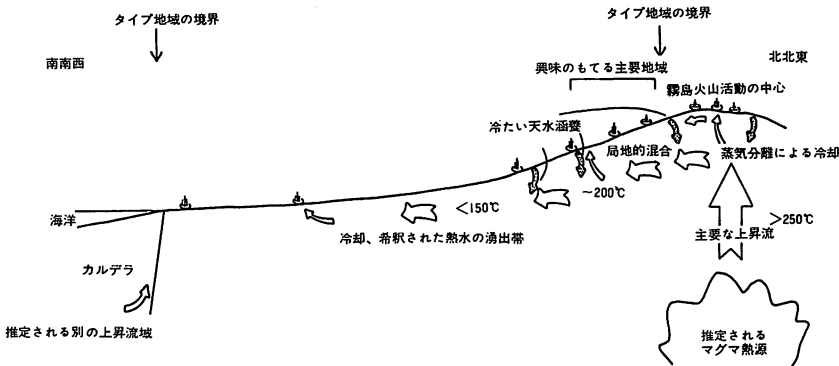


図-6 概念モデルの例 (国分地域)

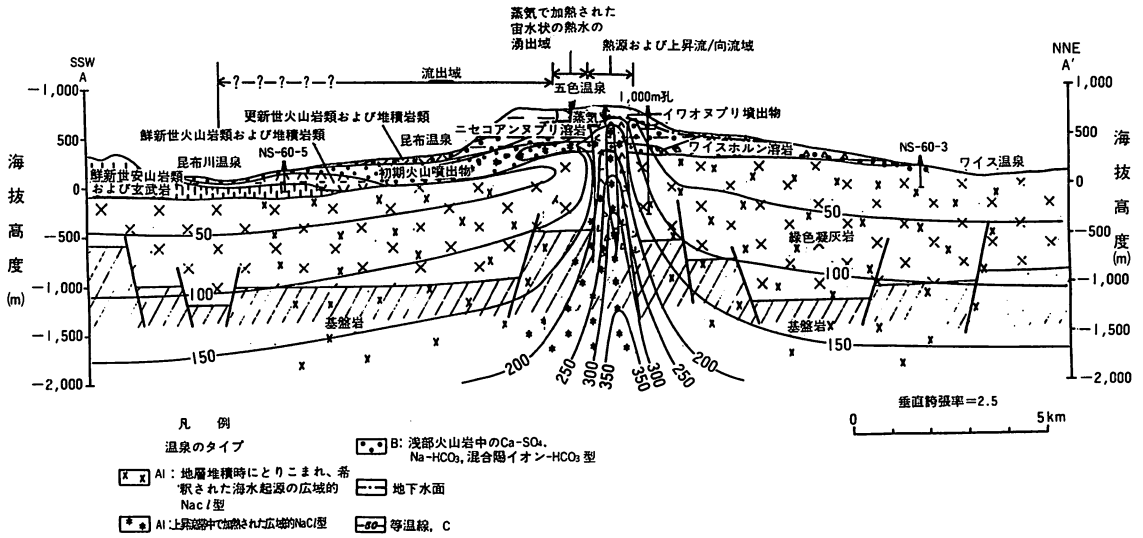


図-7 地熱系予察モデル断面図の例 (ニセコ地域)

ータと各種の境界条件を与えて数値シミュレーションを行い、地熱系の定量モデルを作成する (図-8)。

⑥ 容積法による資源量評価

地熱系定量モデルに基づき、容積法により調査地内の地熱資源量 (発電可能量) を評価する。この際各パラメータのもつ不確実性による影響を明確にするため、モンテカルロ・シミュレーションによる確率的手法等を用い評価値の不確実性も数値化する。

以上が第2次調査に用いた調査、研究の内容であるが、4地域における調査結果は次の通りであった。

(1) ニセコ地域 (火山性熱水対流系地域タイプ①)

このタイプに分類される北海道ニセコ地域の地下に

は、高温マグマ溜りの存在、地熱流体の通路となる断裂系の存在、これに沿った熱水流動と貯留層の存在が推定されることから、この地域には高ポテンシャルの地熱資源が存在する可能性が高いと判断された。特に有望な地域は、地熱上昇流帯と判断された五色温泉、湯本温泉を含むイワオヌプリ～ニトヌプリ火山を中心とする約14平方キロメートルの範囲が挙げられ、その一部は南方へ流動していると判断される。この地区以外の大部分は低温の広域熱伝導域に区分される。容積法による4地域の地熱資源量を表2に示す。

(2) 国分地域 (火山性熱水体系地域タイプ②)

このタイプに分類される鹿児島県国分地域は地下に

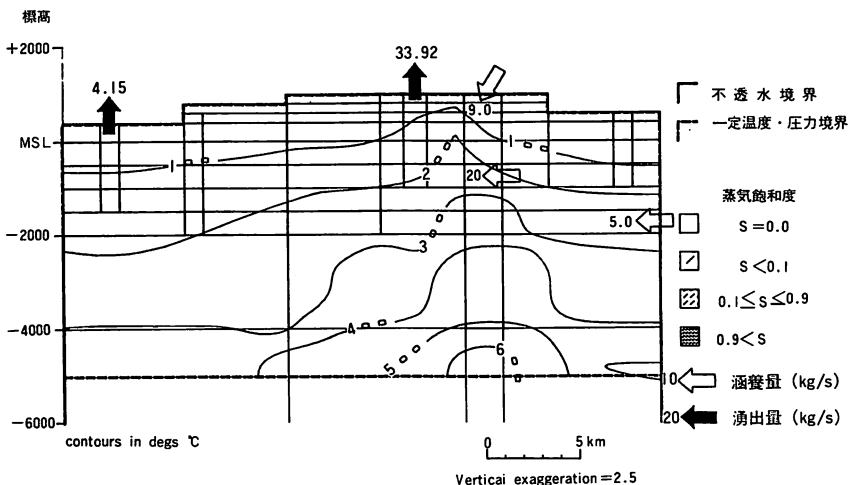


図-8 数値シミュレーション・モデルの例 (八甲田地域)

表2 容積法による4地域の地熱貯留量推定

方法	ニセコ		国分		八甲田		南会津(北)		南会津(南)	
	上昇流	伝導	上昇流*	伝導	上昇流	伝導	上昇流**	伝導	上昇流**	伝導
決定式										
MW	128	1,438	502	357	225	1,659	—	66	454	37
回収効率(%)	1.03	0.51	2.08	0.55	1.26	0.65	—	1.28	1.48	1.28
MW/km ²	12.8	2.9	33.5	1.6	22.5	6.1	—	1.8	17.5	1.8
パラメータ式										
MW	40~338	745~2,100	180~1,210	150~850	117~328	763~2,556	—	24~173	135~839	13~76
回収効率(%)	0.32~1.70	0.26~0.74	1.23~2.90	0.23~0.85	0.65~1.83	0.28~1.01	—	0.46~2.07	0.53~2.38	0.46~2.07
MW/km ²	4.0~21.0	1.5~4.2	19.7~46.7	0.7~3.8	11.7~32.8	2.6~9.5	—	0.6~2.8	6.3~28.2	0.6~2.8
確率的										
MW	144	1,182	519	348	169	1,541	—	56	280	17
回収効率(%)	0.68	0.67	1.68	0.39	1.68	0.46	—	1.73	0.96	1.73
MW/km ²	13.6	2.8	31.2	1.8	19.4	5.7	—	1.0	15.4	1.0

* 境界内に位置する霧島上昇流体の一部にのみ適合

** 鬼怒川沿いに位置する

熱源となり得る高温マグマ溜りの存在が期待できず大部分は熱伝導域と判断された。ただし調査地域の北方及び南方の一部には、この地域に隣接する霧島火山や始良火山(いずれもタイプ①の地域に区分される)深部の高温マグマ溜りを熱源とし、浅部までの熱水上昇域が存在し、それからの側方流出と考えられる高温帯が認められた。以上の結果からこのタイプの地域内では高ポテンシャルの地熱資源が存在する可能性は低いと判断された。

(3) 八甲田地域(火山性熱水対流系地域タイプ③)

このタイプに分類される青森県八甲田地域は、北八甲田火山群の下部に局所的な高温マグマ溜りが残存し、北部の八甲田カルデラ断層や下湯〜鳶トレンドと呼ばれるNW系断層および沖浦カルデラ断層に沿った熱上昇域(約20平方キロメートル)とそれからの側方流動域(約20平方キロメートル)が想定された。この熱上昇域以外の地域は低温の広域熱伝導域に区分される。

以上の調査結果から、このタイプの地域は高ポテンシャルの地熱賦存可能性は高いと判断される。特に有望な地区としては、前記の熱上昇域である北八甲田山から八甲田カルデラ南部及び下湯温泉と猿倉温泉を結ぶ地区が挙げられる。

(4) 南会津地域(高温可能性地域タイプ①)

この地域は、前記の3地域と異なり、火山性熱水対流系地域に区分される諸条件は満たさないが、たゞキュリー一点深度が比較的浅い(8キロメートル以浅)ことから深部に高温が予想されるとされた地域である。調査はこの南方に接する奥鬼怒、川俣温泉地区(火山性熱水対流系地域タイプ③)も含めて実施された。

高温可能性地域に属する北部地域には局部的熱源となるマグマ溜りの存在は認められず広域な低温熱伝導域と推定された。この地域内には、木賊、湯の花、湯西川等の新第三紀カルデラの存在が確認されたが、調査の結果では何れもその中で局地的な低温対流が生じているに過ぎないことが判明した。一方この地域の南部奥鬼怒、川俣温泉地区には、日光火山群を形成したマグマ溜りを熱源とする高温の対流上昇域(約35.7平方キロメートル)の存在が推定された。

なお、高温可能性地域に区分される北部地域での熱流量測定の結果では、この地域の特徴であるキュリー一点深度から類推される温度勾配より低い値となる。この点、当地域についてはキュリー一点深度解析上の問題も含め、より広域的な視点から検討を加える必要がある。

2.3 第3次調査(62年度~67年度)

(1) 調査の目的

この調査は、高度なコンピュータ技術を用い、データベース化された膨大な地熱データを総合的に解析し、地熱に関する地下モデルの作成とその中に含まれる資源の評価を行うまでの一連のシステム開発を行い、適確な地熱有望地区を抽出、選定する手法の体系化を目的としている。

また、この手法開発のため、第1次、第2次調査により高ポテンシャル地域と判断されるタイプのうち主要な地域については、特に広域に視た熱水流動系に主眼をおいた調査を続け、前記の評価システムの完成と相俟ってわが国の全国的な規模での有望地区選定を行うこととしている。

(2) 調査の内容

① 総合解析手法の開発

- (イ) 既存の地熱データベースとの情報交換を可能とする情報ネットワークシステムの整備
- (ロ) 総合解析を支援するコンピュータマッピングシステムの開発
- (ハ) 開発有望地区の抽出・選定のための資源評価システムの設計と開発

② 広域熱水流動系調査

上記の技術開発に必要なデータを取得するため、わが国の主要な地熱有望地域において次の調査を継続する。

- (イ) 火山岩分布・年代調査
- (ロ) 流体地化学調査
- (ハ) 精密重力調査
- (ニ) 比抵抗調査

3. おわりに

以上わが国の地熱開発の第1段階とも言える科学的手法による全国規模での地熱有望地域の抽出・選定と、そのための技術開発を目標とした全国地熱資源総合調査プロジェクトの概要を紹介した。

NEDOではこのような全国規模～広域規模の調査と並行し、企業開発促進のためより狭い地域を対象とし、開発可能性を実証する「地熱開発促進調査」を実施している。このような一連の調査の積み重ねと新しい探

査技術の開発とは、今後のわが国の地熱開発、利用を促進させる原動力と期待されているものである。

最後に、この調査は通産省サンシャイン計画の一環としてNEDOが工業技術院地質調査所との連携のもとに進めているものである。

これまでの調査に関し、これらの関係各位に御協力、御指導を得たことに感謝します。

参考文献

- 1) 高木慎一郎(1983): 全国地熱資源総合調査, 地熱技術, Vol. 8, No. 1 & 2.
- 2) 玉生志郎(1986): 全国地熱資源総合調査(第2次), 地熱技術, Vol. 11, No. 1 & 2.
- 3) 小川克郎(1985): 「全国地熱資源総合調査」及び「国土地熱資源基本図に関する研究」, 物理探鉱, Vol. 38, No. 2.
- 4) 大久保泰邦(1986): 地熱探査とキュリー点解析, 地熱エネルギー, Vol. 11, No. 4.
- 5) 堀 昌雄ほか(1986), 全国地熱資源総合調査地域レポート〔1〕ニセコ地域, 地熱エネルギー, Vol. 11, No. 4.
- 6) 高木慎一郎ほか(1987): 全国地熱資源総合調査地域レポート〔2〕国分地域, 地熱エネルギー, Vol. 12, No. 1.
- 7) 村岡洋文ほか(1987): 全国地熱資源総合調査地域レポート〔3〕八甲田地域, 地熱エネルギー, Vol. 12, No. 2.
- 8) 品田正一(1987): 全国地熱資源総合調査地域レポート〔4〕, 南会津地域, 地熱エネルギー, Vol. 12, No. 3.
- 9) 玉生志郎ほか(1987): 全国地熱資源総合調査解析レポート, 地熱エネルギー, Vol. 12, No. 4.

