

## 「放射性廃棄物地層処分における熱・熱水の影響評価に関する基礎研究(その2)」の成果概要

玉生志郎<sup>1</sup>・阪口圭一<sup>2</sup>・中尾信典<sup>1</sup>

Shiro Tamanyu, Keiichi Sakaguchi and Shinsuke Nakao (2008) Summary of the basic study on the assessment of influence by heat and hydrothermal water for geological disposal of nuclear waste (Part 2). *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 59(1/2), p.1 - 6, 3 figs.

**Abstract:** The report is intended to open the result of three-year contract research to the public as the final report. This project was funded by the Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO). The preliminary result and background of the project was reported as the special issue of *Bull. Geol. Surv. Japan* in 2004. Therefore, this report was named as part 2. The purpose of the study is to comprehend earth scientific characteristics and genetic origins of high-temperature anomaly areas, and to examine the evaluation methods for the influence of heat and hydrothermal water on surroundings by geological repository at the stages of extraction of Preliminary Investigation Areas (PIAs) and of its following site-specific surveys. The characterization on wide areas including high-temperature anomaly regions of the Tohoku and Chugoku/Shikoku districts are examined, and the conceptual models for representative cross sections of both districts are drawn. The outline of investigation results are described for every theme as follows.

1. An examination of earth scientific characteristics of high-temperature anomaly areas

The reference surveys, data acquisition and evaluation analysis are carried out as follows.

1) Information gathering on earth scientific characteristics and 2D-3D visualization of data

Geological, geophysical and temperature logging data sets of the Tohoku and Chugoku/Shikoku districts were collected. These data sets were summarized by the data base software for 2D and 3D visualization in order to understand the properties and conditions of underground heat source, thermal structure, fracture systems, and hydrothermal systems.

2) Characterization of the high-temperature hot springs of the Kii peninsula

The origin of the high-temperature hot springs of the Kii peninsula were examined on the basis of regional tectonics and local characteristics.

3) An examination of the characterization on regions including high-temperature areas

The classification of the high-temperature anomaly areas of the Tohoku and Chugoku/Shikoku districts was examined with reference to the results of data analysis [1] and the fluid flow simulation [2].

2. An examination of genetic origin of high-temperature anomaly areas

A precise model was developed using geologic and other data along the E-W cross section in the middle Tohoku district, and a series of sensitivity analyses by multi-components and multi-phases simulator were carried out.

3. An examination of survey, analysis and evaluation methods

In order to confirm the optimum survey, analysis and evaluation methods for heat and hydrothermal influences, the following items were investigated.

1) An examination of analytical methods for extraction of heat anomalies and their characterization based on discharged heat from hot springs

Preliminary calculation of discharged heat from hot springs was carried out at Southwestern Honshu and Aomori prefecture. Old and new datasets of hot spring lists were available for this calculation, and the difference of calculated results was compared each other.

2) An examination of various alteration environments through making a rock-alteration database for geothermal wells, and modeling of six case study areas in Japan

Various alteration environments and their controlling factors have been studied, using exploration-well alteration data obtained by NEDO's Geothermal Development Promotion Survey.

3) An analytical method of long-term change of geothermal system by radiometric dating method

Reference survey on ESR dating of the minerals with low mineralization temperature was made. Examination and experiments on temperature-time evaluation in the ESR dating method were carried

<sup>1</sup>地圏資源環境研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute for Geo-Resources and Environment)

<sup>2</sup>地質調査情報センター (AIST, Geological Survey of Japan, Geoinformation Center)

out and problems were figured out.

4) An evaluation method for heat and hydrothermal activity effects based on fluids geochemistry

Characteristics and diversity of fluids in granitic and sedimentary terrains were simulated under the condition of various fluids sources and various degrees of water-rock interaction using the geochemical simulator.

4. Proposal of evaluation methods for the effects of heat and hydrothermal water on surroundings by geological repository during Preliminary Investigation

Based on the results of this three-year study, evaluation methods for the influence of heat and hydrothermal water on surroundings by geological repository during planning of Preliminary Investigation and its following site-specific surveys were proposed.

The reports of analytical methods by electromagnetic survey and hypocenter distribution are omitted in this special issue for personal reasons.

**Keywords:** geological repository, heat, hydrothermal system, subsurface survey, data analysis, simulation, evaluation method, characterization of high-temperature areas

## 要 旨

本報告は原子力発電環境整備機構の委託研究「熱・熱水の影響評価手法に関する検討」, 「同(その2)」, 「同(その3)」(原子力発電環境整備機構, 2004, 2005, 2006)として実施した研究成果を, 公表論文形式に書き改めたものである。初年度の成果については, 既に地質調査研究報告(Vol.55, No.11/12, 2004)に特集: 「放射性廃棄物地層処分における熱・熱水の影響評価に関する基礎研究」として公表している。ここでは2~3年目の成果を主に報告する。本研究の目的は, 高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する研究の一環として, わが国における高温地域の地球科学的特性と成因を把握し, 概要調査地区選定及びそれ以降の調査段階における熱・熱水の影響評価を行うための調査・解析・評価手法について検討することである。その過程で, 東北地方と中国・四国地方での高温地区を含む広域地域のタイプ分けを行い, それぞれの地域の概念図を作成した。また, サブテーマ毎に検討した研究概要は以下のとおりである。

(1) 高温地域の地球科学的特性の検討

以下に示すテーマ毎の文献調査及びデータの収集・整理を行った。

①地球科学的特性に関する情報収集及び2次元・3次元可視化

②紀伊半島の高温温泉の特性検討

③高温地区を含む広域地域のタイプ分け

(2) 高温地域の成因の検討

高温地域の成因を検討するために, 以下の広域流動シミュレーションによる成因の検討を実施した。

(3) 調査・解析・評価手法の検討

熱・熱水の影響評価における最適な調査・解析・評価手法を確認するために, 以下に示す検討を行った。

①温泉放熱量に基づく熱異常抽出・特性把握方法に

関する検討

②地熱井変質データベースの構築と事例6地域のモデル化による多様な変質環境の検討

③放射年代測定法を用いた地熱系の長期変動解析手法

④流体地化学に基づく熱・熱水の影響評価手法

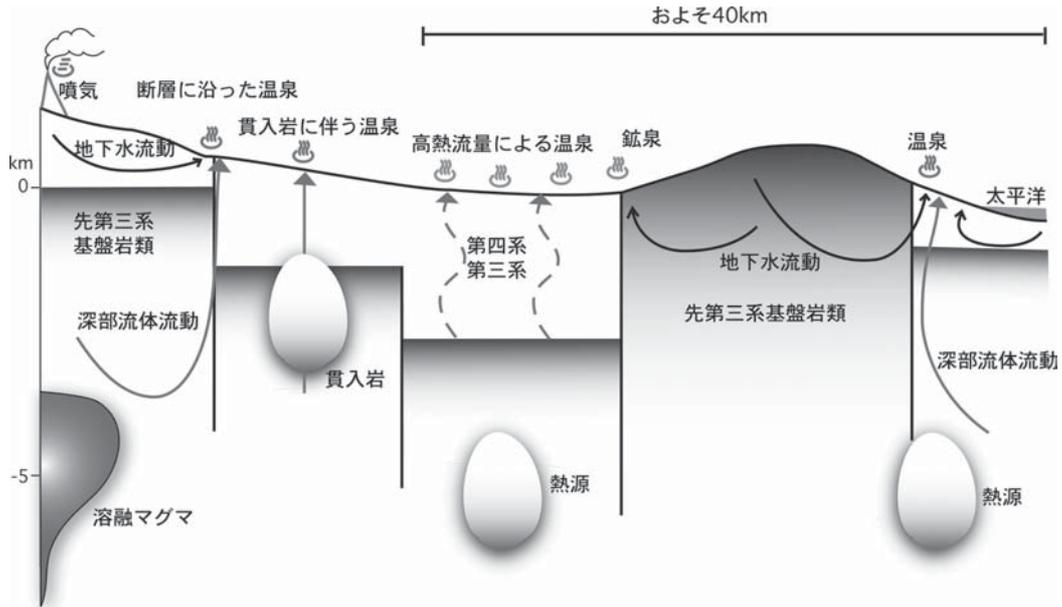
(4) 熱・熱水の影響評価のための調査・解析・評価手法

これまでの研究成果を踏まえて, 概要調査計画の立案及び概要調査の実施における「熱・熱水の影響評価のための調査・解析・評価手法」を提案した。

## 1. はじめに

2000年の第147国会において可決された「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」では, 概要調査地区は, 将来にわたって地震などの自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれることを文献により調査して選定し, 概要調査地区の調査によりこれを確認することが求められている。1999年に核燃料サイクル開発機構がとりまとめた「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性-地層処分研究開発第2次取りまとめ」(核燃料サイクル開発機構, 1999)では, 温泉などの熱異常については, 火山の中心からの距離が離れるにつれ水温や化学成分などの異常が小さくなるので, 候補地を火山体から一定距離はなれた場所に選定することで避けるとしている。

上記のとおり, 概要調査地区選定上の考慮事項で個別地区ごとに評価する事項において, 処分場への影響を及ぼすものの一つとしてマグマによる熱・熱水の影響をとりあげ, 将来を含めその影響が著しい場所を概要調査地区に含めないこととしている。文献によって, これが明らかな地域は除外されるが, 文献情報が無い場合も含めて明確にこの著しい影響範囲を把握できない場合は, 精密調査地区選定以降の



第1図 非火山地域の熱異常概念モデル図 (玉生, 2004).

Fig. 1 Conceptual model of subsurface thermal anomalies in non-volcanic area (Tamanyu, 2004).

調査(概要調査以降の調査)によって確認していくこととなる。

また、概要調査以降の調査において、この影響範囲を把握し将来の予測を行うためには、現在の熱・熱水の影響を評価するための適切な調査領域の設定と調査手法の選択及び将来のこれらの影響に関する評価手法の確立が必要である。わが国には火山と明確な関連のない高温地域も知られているので、それらの熱異常の成因を明らかにし、いくつかのタイプに分類する必要がある。そして、それぞれのタイプに応じた調査・解析・評価手法の整備が必要となる。

本研究では、このような背景のもと、概要調査地区選定結果の信頼性を高めること、及び適切な概要調査以降の調査計画の立案に資することを目的に、高温地域の地球科学的特性と成因の把握及びそれらの将来を含む影響の評価を行うための調査・解析・評価手法について検討することとした。この研究は2003年度から2005年度までの3か年にわたる原子力発電環境整備機構の委託研究「熱・熱水の影響評価手法に関する検討、同(その2)、同(その3)」(原子力発電環境整備機構, 2004, 2005, 2006)として実施したもので、その最終的な研究成果を公表論文形式に書き改めたものである。なお、原子力発電環境整備機構(2004)の成果については、既に地質調査研究報告(Vol.55, No.11/12, 2004)に特集:「放射性廃棄物地層処分における熱・熱水の影響評価に関する基礎研究」として公表している。そのなかで、玉生(2004)は本プロジェクト研究の背景と概要を報告している。なお、今回の特集では、電磁探

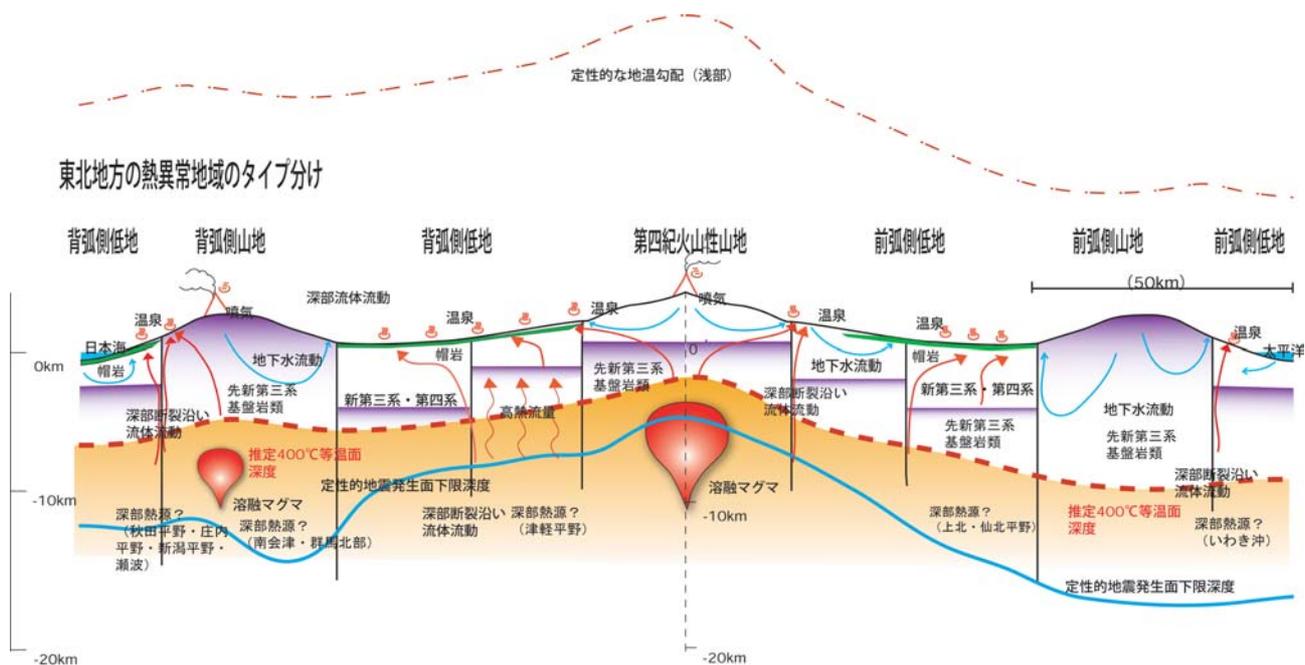
査による深部構造解析手法と震源データを用いた深部構造解析手法に関する2件の報告は、都合により割愛した。

島弧における地層処分の可能性の検討の一つとして、日本列島では火山活動と構造運動に着目した検討結果が多数報告されている(例えばApted *et al.*, 2004)。しかしながら、熱・熱水の影響については、まだ十分な検討がなされていない状況にある。

## 2. 東北地方と中国・四国地方での高温地区を含む広域地域のタイプ分け概念図

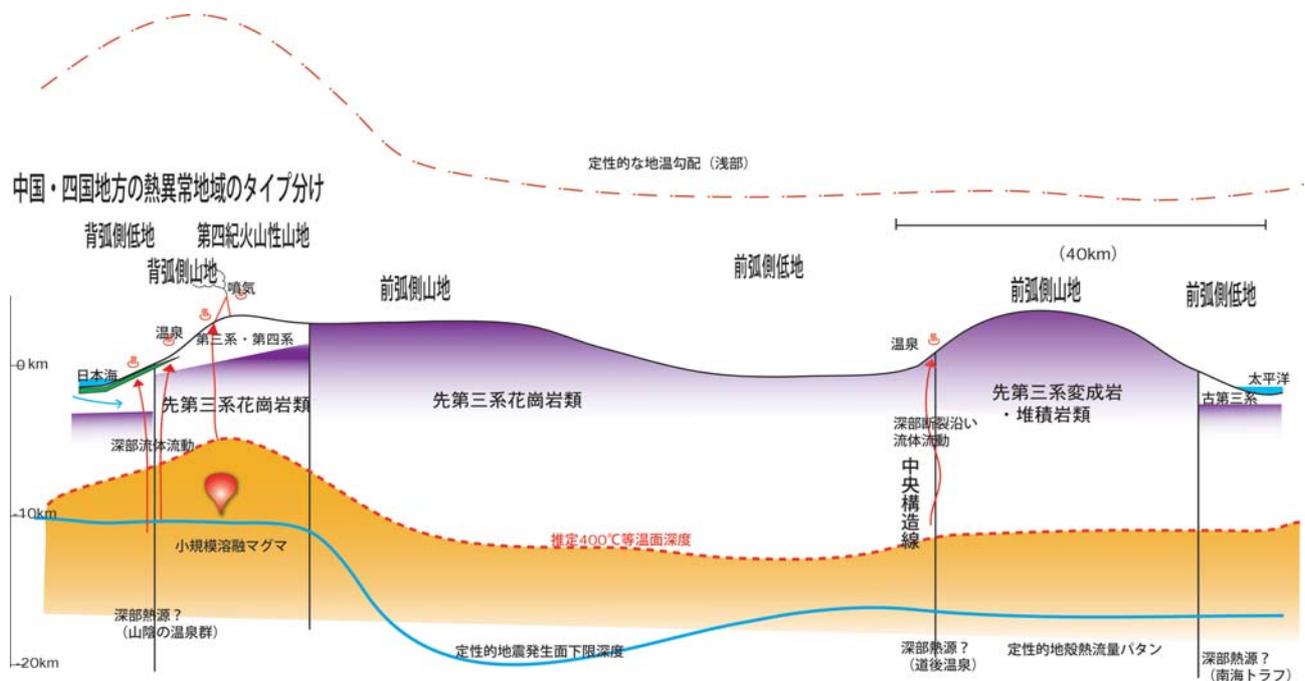
本研究を進めるに当たり、作業仮説として、第1図(玉生, 2004)に示すような非火山性地熱資源の分布と熱源の概念モデルを作成した。これは東北地方の東西断面を模式的に描いたものである。これに対して、それ以降の文献調査やデータ解析結果を踏まえて、高温地区を含む広域地域のタイプ分け概念図を作成した。その結果を、東北地方に関しては第2図(玉生, 2008)に、中国・四国地方に関しては第3図(玉生, 2008)に示す。その作業にあたって、考慮した事項並びに検討結果については以下に述べるとおりである。

広域的な温度分布状況を示唆する各種探査・調査データと地形・地質との対応を検討することで、東北地方と中国・四国地方における広域的なタイプ分けを行った。熱源としては、地下から熱伝導によって供給される地殻熱流量と、第四紀火山の溶融マグマ及び非火山域の潜頭性熱源〔貫入岩・固結マグマ・深部熱源



第2図 東北地方の高温地区を含む広域地域のタイプ分け概念図 (玉生, 2008).

Fig. 2 Conceptual model showing thermal and hydrothermal features of Tohoku district on classification of areas including temperature anomaly regions (Tamanyu, 2008).



第3図 中国・四国地方の高温地区を含む広域地域のタイプ分け概念図 (玉生, 2008).

Fig. 3 Conceptual model showing thermal and hydrothermal features of Chugoku/Shikoku districts on classification of areas including temperature anomaly regions (Tamanyu, 2008).

(P波速度の減衰などから示唆されるもの)など]を考慮した。熱源の観点からは、島弧は第四紀火山のある火山地域と第四紀火山のない非火山地域に大別できる。また、プレートの沈み込み帯が最初にマグマを発生させる深さに対応する火山フロントを境にして、マグマ発生のない前弧側と、マグマ発生があり得る背弧側とに区分することができる。一方、広域熱水対流の観点からは、それらを規制する地形勾配や透水性構造(特に先第三系基盤岩類の深度)と密接に関わる地形と地質を考慮して、大きく低地と山地とに区分した。これらの区分を総合して背弧側火山地域を第四紀火山地域の1タイプに、また非火山地域を前弧側低地、前弧側山地、背弧側低地、背弧側山地の4タイプに、合計5タイプに区分することとした。

### 3. 研究概要

本特集号は、この研究プロジェクトの最終的な検討結果を紹介するものである。本プロジェクトの最終成果イメージを示すために、東北日本と西南日本の熱・熱水構造モデルを提示した。また、概要調査計画の立案及び概要調査の実施における「熱・熱水の影響評価のための調査・解析・評価手法」を提案した。各サブテーマの実施内容と結果の概要は、以下に記述するとおりである。

#### (1) 高温地域の地球科学的特性の検討

以下に示す文献調査及びデータの収集・整理を行った。

##### ①地球科学的特性に関する情報収集及び2次元・3次元可視化

東北地方と中国・四国地方を対象に、既存の地表地質調査と地球物理探査データ及び坑井温度データなどを収集するとともに、熱異常の原因となる熱源分布、地下温度構造、深部断裂及び熱水対流の分布・形状等を把握するために必要なデータの可視化を行った。

##### ②紀伊半島の高温温泉の特性検討

中国・四国・近畿の広域テクトニクス及び紀伊半島高温温泉群の局地的特性の観点から、紀伊半島の高温温泉群の成因についての考察を行った。

##### ③高温地区を含む広域地域のタイプ分け

①の検討結果と(2)におけるシミュレーション結果を参考にして、東北地方と中国・四国地方のタイプ分けとモデル図の作成を行った。

#### (2) 高温地域の成因の検討

高温地域の成因を検討するために、以下の広域流動シミュレーションによる成因の検討を実施した。

北上低地帯を含む東北地方の東西120 kmにわたる地形を取り込んだ2次元断面について、地質データ等を参考にしてモデルを作成し、地熱用の多成分多相流体流動シミュレータを用いた広域流動シミュレーションに

よる感度解析を実施した。

#### (3) 調査・解析・評価手法の検討

熱・熱水の影響評価における最適な調査・解析・評価手法を確認するために、以下に示す検討を行った。また、各手法における2003～2005年度の研究成果と課題を取りまとめた。

##### ①温泉放熱量に基づく熱異常抽出・特性把握方法に関する検討

温泉放熱量分布計算における温泉産状や温泉ボーリング深度情報と放熱量値の関連等について検討した。

##### ②地熱井変質データベースの構築と事例6地域のモデル化による多様な変質環境の検討

NEDOの地熱開発促進調査で掘削された調査坑井の変質データについて、電子データベース化を試みるとともに、事例6地域について概念的モデル化を通じて変質環境の多様性とその原因を検討した。

##### ③放射年代測定法を用いた地熱系の長期変動解析手法

低温析出鉱物におけるESR年代測定の研究事例を収集・解析した。また、ESR年代測定における温度・時間条件評価の検討及び実験を行い、今後の課題を抽出した。

##### ④流体地化学に基づく熱・熱水の影響評価手法

花崗岩及び堆積岩地域に賦存する海水起源の地下水水質の多様性を把握することを目的に、地化学平衡計算ソフトを用いて海水・塩水・天水と堆積岩との模擬反応実験を行い、水質形成過程の特徴を検討した。

#### (4) 熱・熱水の影響評価のための調査・解析・評価手法

これまでの研究成果を踏まえて、概要調査計画の立案及び概要調査の実施における「熱・熱水の影響評価のための調査・解析・評価手法」を提案した。

**謝辞:**本研究は原子力発電環境整備機構の委託研究として実施したものです。原子力発電環境整備機構の土 宏之、瀬尾俊弘、後藤淳一、大東秀光の諸氏からは、研究管理担当者として本研究に対して詳細なコメントをして頂きました。また、村岡洋文氏には本原稿を査読して頂きました。佐脇貴幸氏には担当編集委員として本特集号のすべての原稿をチェックして頂きました。以上の方々に感謝の意を表します。

## 文 献

Apted, M., Berryman, K., Chapman, N., Cloos, M., Connor, C., Kitayama, K., Sparks, S. and Tsuchi, H. (2004) Locating a radioactive waste repository in the ring of fire. *EOS*, **85**, 465 & 471.

原子力発電環境整備機構(2004)熱・熱水の影響評価手法に関する検討。(独)産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門, 145p.

原子力発電環境整備機構 (2005) 熱・熱水の影響評価  
手法に関する検討(その2). (独)産業技術総合研  
究所 地圏資源環境研究部門, 184p.

原子力発電環境整備機構 (2006) 熱・熱水の影響評価  
手法に関する検討(その3). (独)産業技術総合研  
究所 地圏資源環境研究部門, 236p.

核燃料サイクル開発機構 (1999) わが国における高レ  
ベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層  
処分研究開発第2次取りまとめ— 総論レポート,

JNC-TN1400 99-020 (PDFファイル).

玉生志郎 (2004) 「放射性廃棄物地層処分における熱・  
熱水の影響評価に関する基礎研究」の背景と概要.  
地調研報, **55**, 389-391.

玉生志郎 (2008) 地下温度分布から見た高温地区を含  
む広域地域のタイプ分け —東北地方と中国・四  
国地方の例—. 地調研報, **59**, 45-52.

(受付:2008年1月28日;受理:2008年2月7日)