

日本温泉科学第 54 回大会

特別講演

## 紀伊半島の温泉とその熱源

シンクタンク京都自然史研究所

西村 進

Hot-Springs and their Heat Source in Kinki Peninsula,  
Southwest Japan

Susumu NISHIMURA

Kyoto Institute of Natural History

## Abstract

In the Kii Peninsula, there are many famous hot-springs, such as Ryujin, Totsugawa, Tousenji, Yunomine, Watarase, Kawayu, Yukawa, Katsuura, Shirahama hot-springs. These springs are located mainly along the north-south trends faults near the Kumano-Omine acidic intrusions and mineral deposits of which ages are 12-15 Ma. These ages are occurred just after the opening of Japan sea, causing of the 45° clockwise rotation of Southwest Japan Arc. These bodies have been cooled and could not be the heat source of hot-springs.

The sources of these hot-springs might be mixing of the underground water and dehydrated water from subducted slabs of Philippine Sea Plate. These hot-springs are found along the cracks associated with in these intrusions and dikes. The chemical characters of hot-springs and geophysical evidences around hot-springs supported these interpretation.

Key Words : Kinki Peninsula, heat source of hot-spring, dehydration of subducted slab  
キーワード : 紀伊半島, 温泉の熱源, 沈み込みのスラブからの脱水

## 1. はじめに

第 54 回日本温泉科学会大会が白浜町で開催されるにあたり, 特別講演「紀伊半島の温泉とその熱源」を担当することになった。これは第 52 回日本温泉科学会で紀伊半島における前弧火成作用と温泉 (西村, 2000 a) の話題を提供し, 温泉科学第 49 巻第 4 号に投稿したことに関係があるとみられる。今回はこの報告を簡単に紹介し, 昨年の第 53 回温泉科学会の特別講演で紀伊半島と地質構造の非常に良く似た四国についての「四国北部の地質構造と温泉」(西村, 2000 b) の内容を参考にして話をすすめたい。更に, 自分の考察を踏み込み, 学会でまだ通説になっていない解釈を提供する部分もある。

## 2. 既存の温泉とその分布

古くから知られている紀伊半島での温泉とその地質構造については、既に西村 (2000 a) に述べている。ここでは、龍神温泉、十津川温泉上ノ湯、下ノ湯、湯泉地温泉、湯の峰温泉、渡瀬温泉、川湯温泉、川

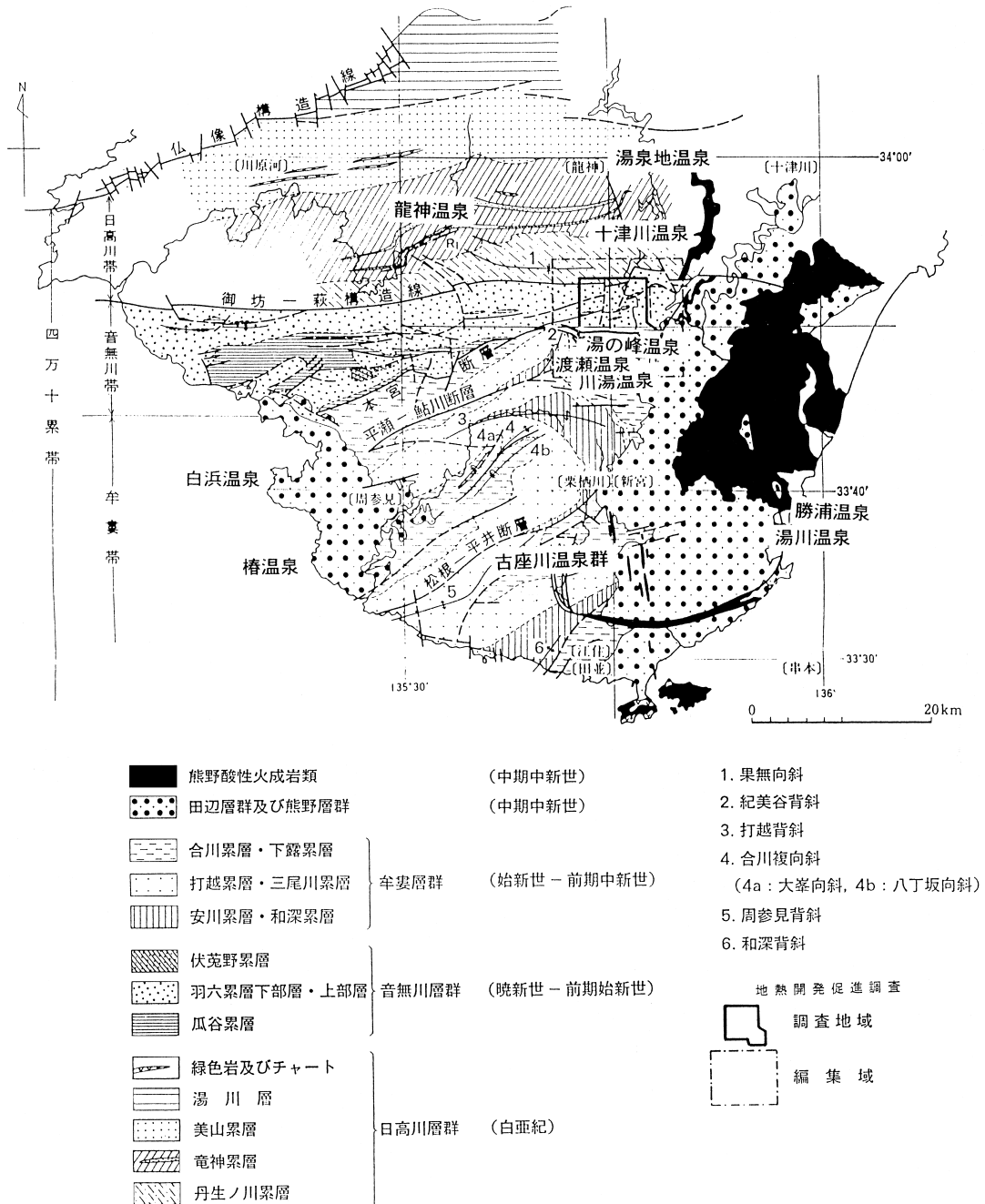


Fig. 1 Geological map and localities of hot-springs in Kii Peninsula.

湯温泉, 湯川温泉, 勝浦温泉, 白浜温泉, 椿温泉と地質の関係の概略を Fig. 1 に示そう. これには, 40℃以下の低温であるが地質構造と温泉の関係が明確な古座川町, 古座町の自噴泉群の所在をも示しておこう.

紀伊半島では, これらの温泉の他に最近, 近畿地方北部に較べて少ないが, 掘削されて得られた泉源もある.

これらの温泉は殆ど弱アルカリからアルカリ泉で, 一般に重曹を含む泉源が多い. これは断層・亀裂と関係が深く, 火山作用とは関係がないことも示している. 紀伊半島の温泉は, 地質構造からみて, 主に付加帯のスラストとスラストの間の背斜軸上にみられている. 紀伊半島や四国では, 向斜・背斜軸は東西から東北東-西南西の走向で, ほぼそれに直交する背斜にみられる比較的短い引張場の断層や大きな亀裂がみられ, その構造に沿って温泉源が得られている. 熊野・大峰酸性岩類は概ねこれらの引張場を連ねた方向に貫入している. これらの断層・亀裂はかなり深くまで生じていると考えられている.

### 3. 地熱開発促進調査「本宮地域」で得られた特徴

近畿地方で唯一の新エネルギー・産業技術総合開発機構の地熱促進調査「本宮地域」は平成4・5年度の二年度に亘り実施され報告されている(新エネルギー・産業技術総合開発機構, 1996). その

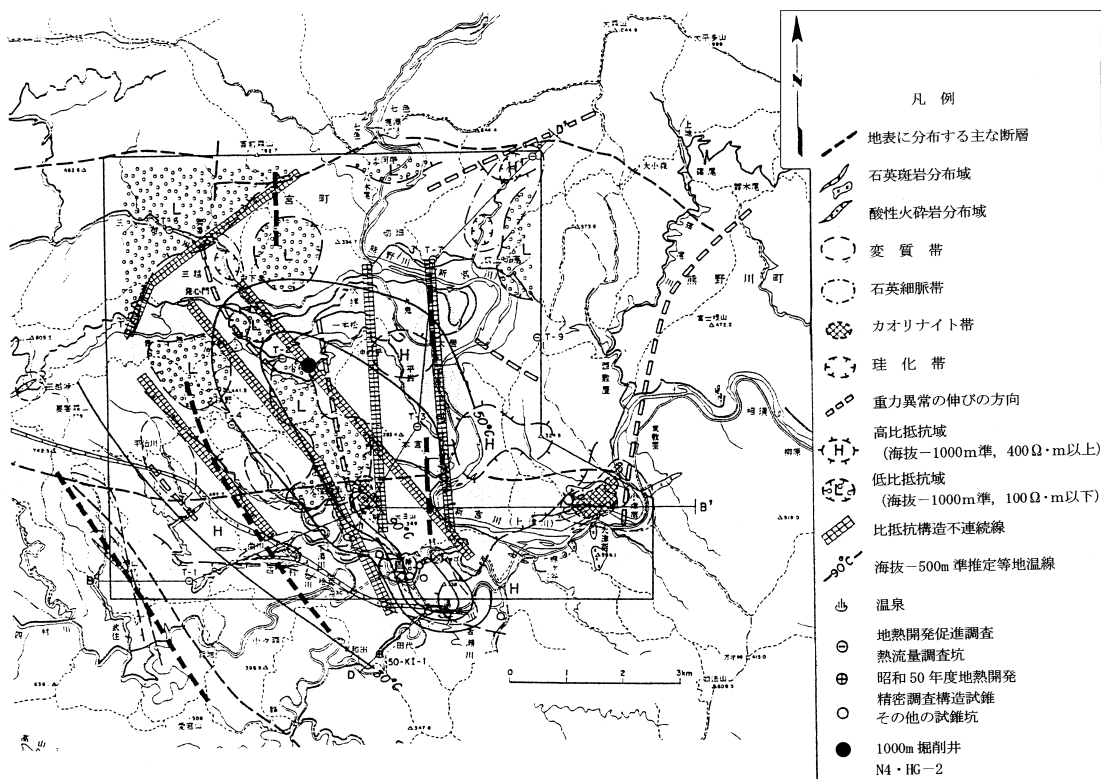


Fig. 2 Geophysical and geological interpretations of Hongu-Area, Kii Peninsula, modified from NEDO (1996).

結果は紀伊半島の温泉の熱源の特徴を示唆している. しかし, 残念ながら確実に熱源を検討出来るところまでは掘削されず終了した.

初年(平成4年)度は(1)地上調査 ①地質・変質帯調査, ②地化学調査, ③重力探査, ④電磁探査(CSAMT法), (2)熱流量調査 ①掘削工事(400m深度3本, 200m深度7本), ②調査および測定, ③コア試験, ④熱流量, (3)環境影響調査がなされ, 総合解析がなされた. 次年(平成5年)度は(1)試錐調査 ①掘削工事(1,002.0mと1,002.2mの深度の掘削), ②調査および測定, ③コア試験, ④試錐調査のまとめ, (2)熱水の調査 ①地熱流体噴出誘導, ②熱水調査, ③総合解析がなさ

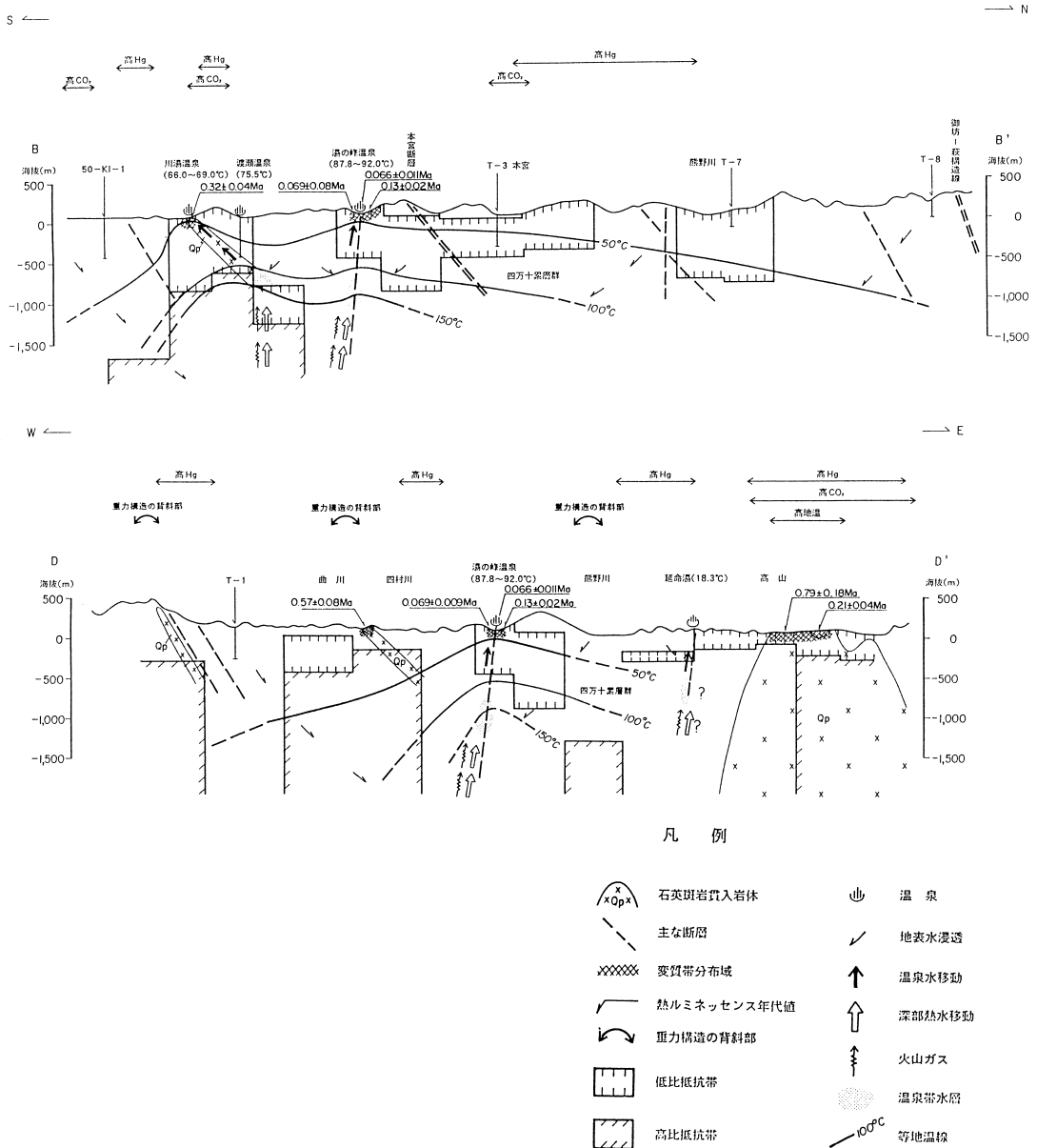


Fig. 3 Cross-sections of geophysical and geological interpretations of Hongu-Area, Kii Peninsula, modified from NEDO (1996).

れた。

初年度の結果から、主として物理探査からの総合解析結果 (Fig. 2) によると、ほぼ東西の走向をもつ大きな付加帯の衝上断層 (構造線) の間で主に背斜軸の近辺で、現在のフィリピン海プレートの沈み込み方向の小さい断層・亀裂が見られる。断面 (Fig. 3) を見ると物質境界、とくに熊野酸性

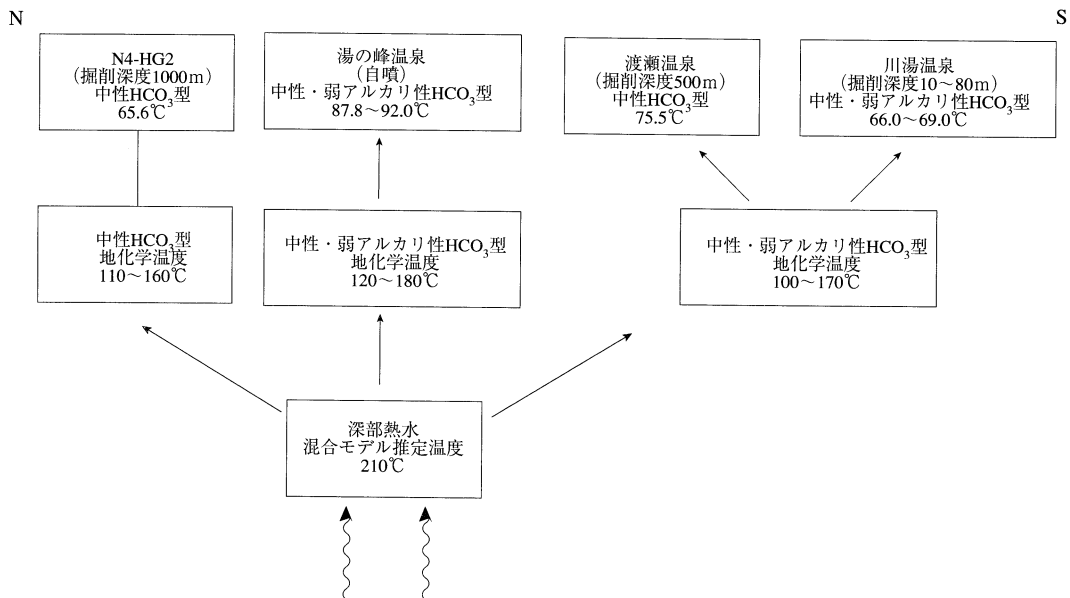


Fig. 4 Schematic model of thermal structures of Yunomine, Watarase, Kawayu and drilling well (N4-HG-2), modified from NEDO (1996).

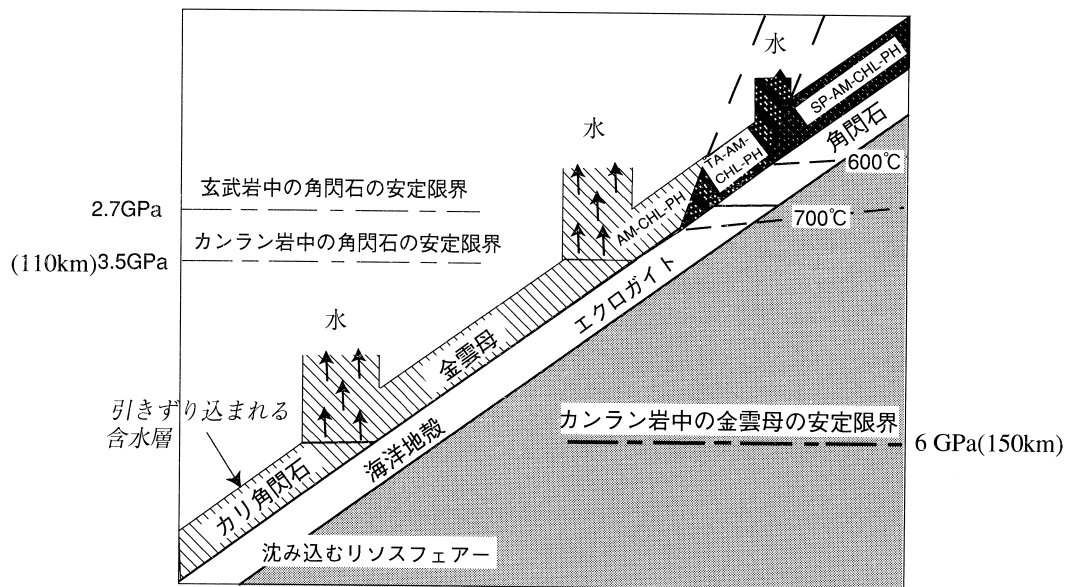


Fig. 5 A plausible model for the migration of H<sub>2</sub>O in subduction zones, modified from Tatsumi (1995).

岩体や岩脈沿いで、その背斜にある亀裂を伝って熱水が上昇していることが推察される。

湯の峰温泉、渡瀬温泉、川湯温泉、1,000 m 掘削井 (N4-HG-2) の地化学調査の結果 (Fig. 4) をみると、これらの深部熱水の推定温度は約 210°C で熊野酸性岩の貫入の周辺を上昇し、ほぼ 1,000~1,500 m 深度で上記亀裂にわかれて、ほぼ 100~180°C になり、地上に到達している。化学成分からも、深い断層・亀裂沿いの温泉水であることがわかる。

#### 4. 西南日本弧のテクトニクス

西南日本弧のなかで中国地方・近畿地方は全体として一体で約 20~15 Ma に平行移動して大陸からはなれ、約 15 Ma ごろに約 100 万年で、45° 時計廻りに回転した。そのときに関東地方では伊豆-マリアナ弧と衝突し、北九州地方では朝鮮半島と衝突し変形しているが、中国地方・近畿地方ではその様な変形を伴っていない (西村, 1998)。しかし、この変動により付加帯のスラスト近辺に中央構造線のような東西若しくは東北東-西南西の横ずれ大断層が生じている。

このような大きい比較的短期での動きはブルームテクトニクスで説明され、現在のフィリピン海プレートの前に存在したプレートが沈み込んで 670 km 深度に滞留していたスラブが深部マントル

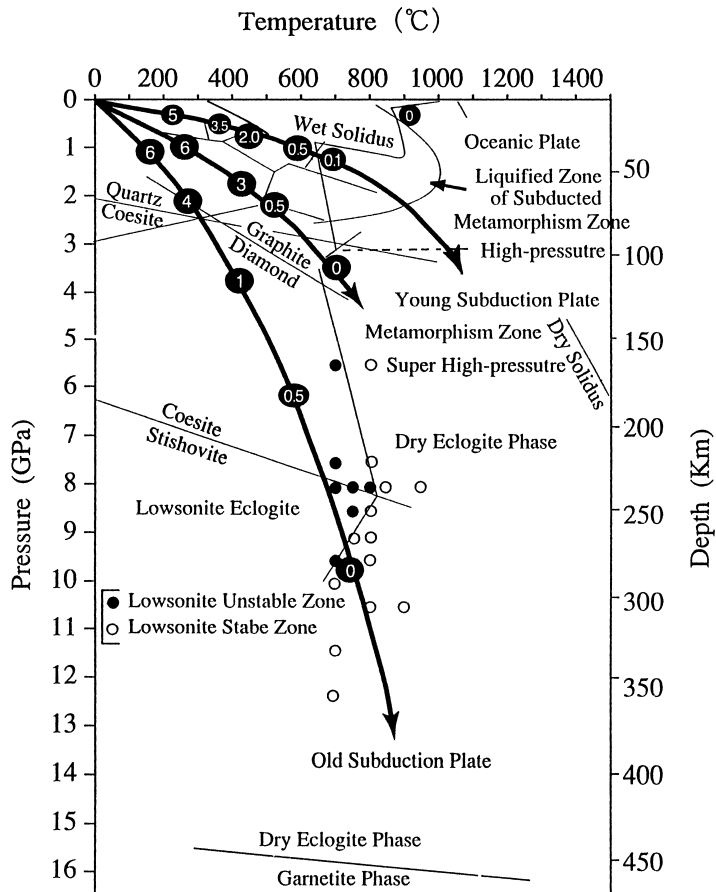


Fig. 6 Hydrous percent in subducted slab showing in figures in black circles (modified from Okamoto et al., 1997).



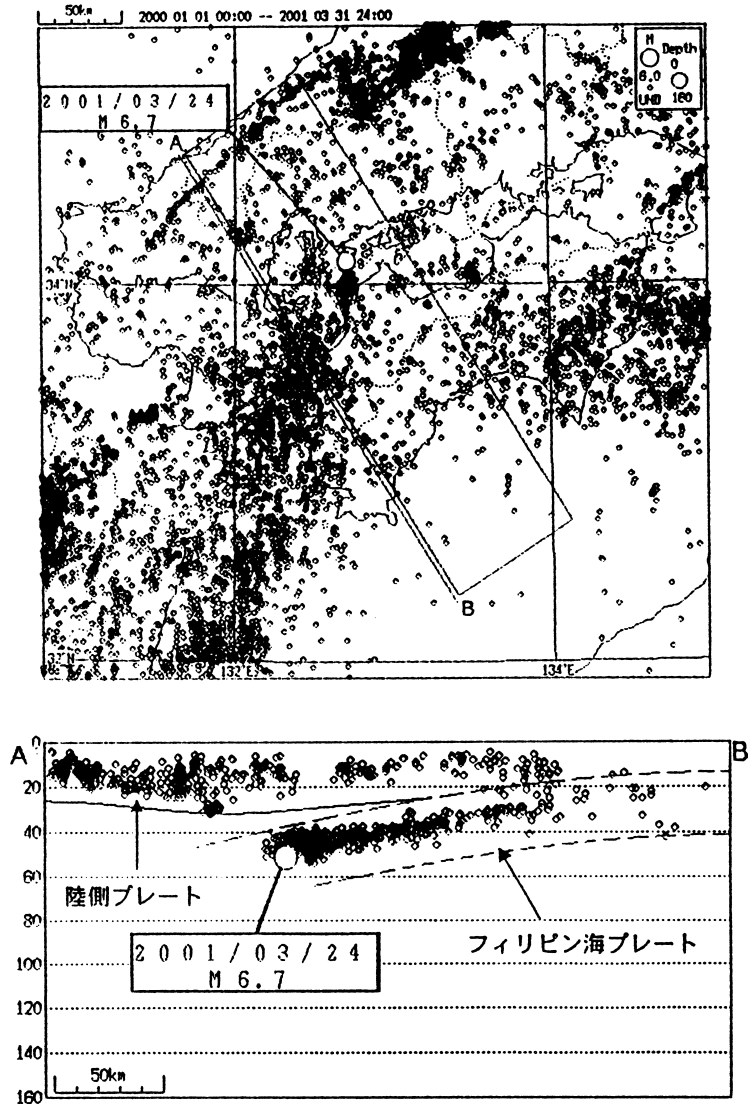


Fig. 7-a The distribution of hypocenters occurred from January 1, 2000, to March 31, 2001, in and around Kinki District and the section of the distribution in the squared area (modified from Newsletter of the Seismological Society of Japan, 2001).

に落ち込んだときに起こった現象であろう (西村, 2000 c).

その日本海が生まれた後に、フィリピン海プレートの沈み込みがはじまり、現在の地震の震源分布からみて、その沈み込みの先端は近畿地方では約 65 km の深さに、四国西方では約 50 km の深さに到達している。このことは 2001 年 3 月 24 日の安芸灘の地震 (芸北地震) の発振機構をみてもこの解釈が成り立つ。そのスラブからの脱水の現象が深度 40~65 km で推定出来る (巽, 1995; 岡本他, 1997) (Fig. 5, 6)。紀伊半島の震源分布を見ても、これらの物質の上昇を示唆するものが認められる (Fig. 7)。このスラブからの脱水が上部マントルを通り、地殻の深い割れ目を上昇して地下水

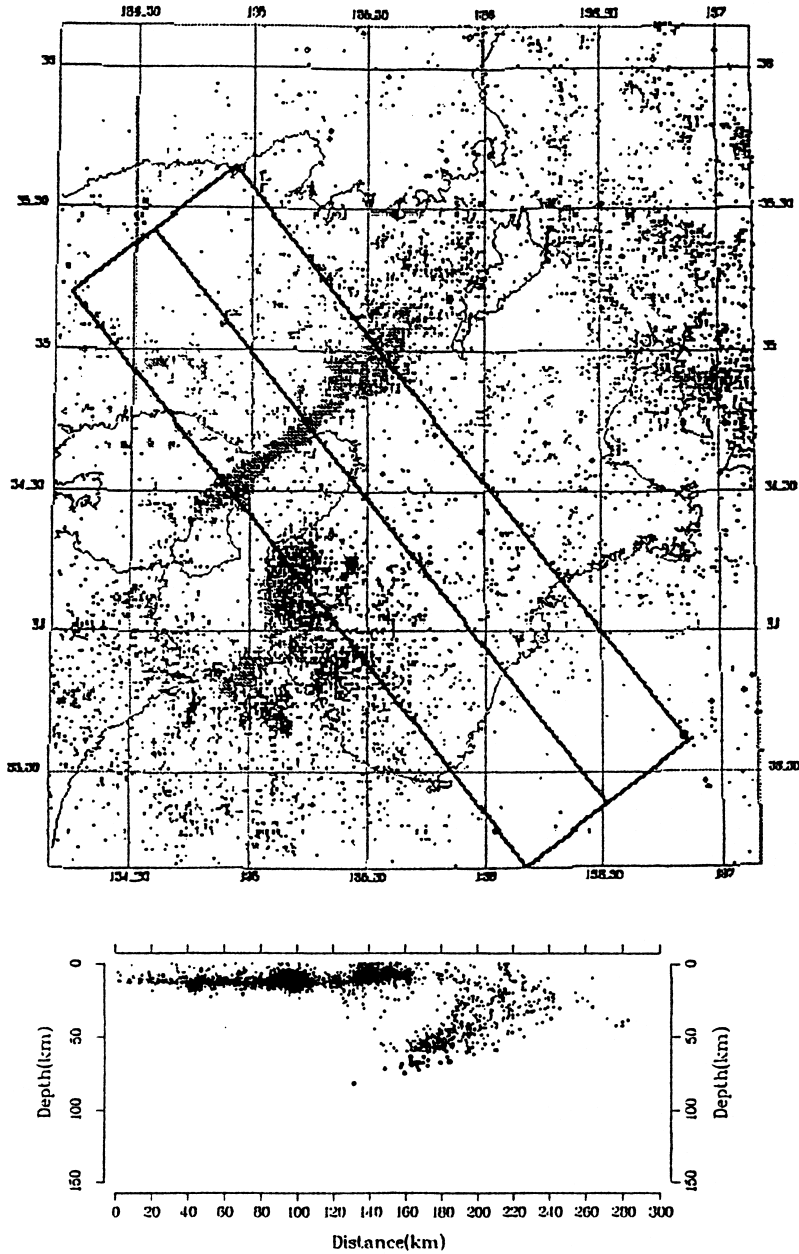


Fig. 7-b The distribution of hypocenters occurred from January 1, 1988, to May 31, 1996, around Geiyo Earthquake and the section of the distribution in the squared area (Nishimura, 1998).

を暖めたり、混合して地表に紀伊半島の温度の高い泉源をもたらしている可能性が高い (西村, 2000 a). このことは紀伊半島の熱流量の分布や温泉水の  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比の分布にも反映している (Furukawa, et al., 1998 ; Sano and Wakita, 1983) (Fig. 8, 9).



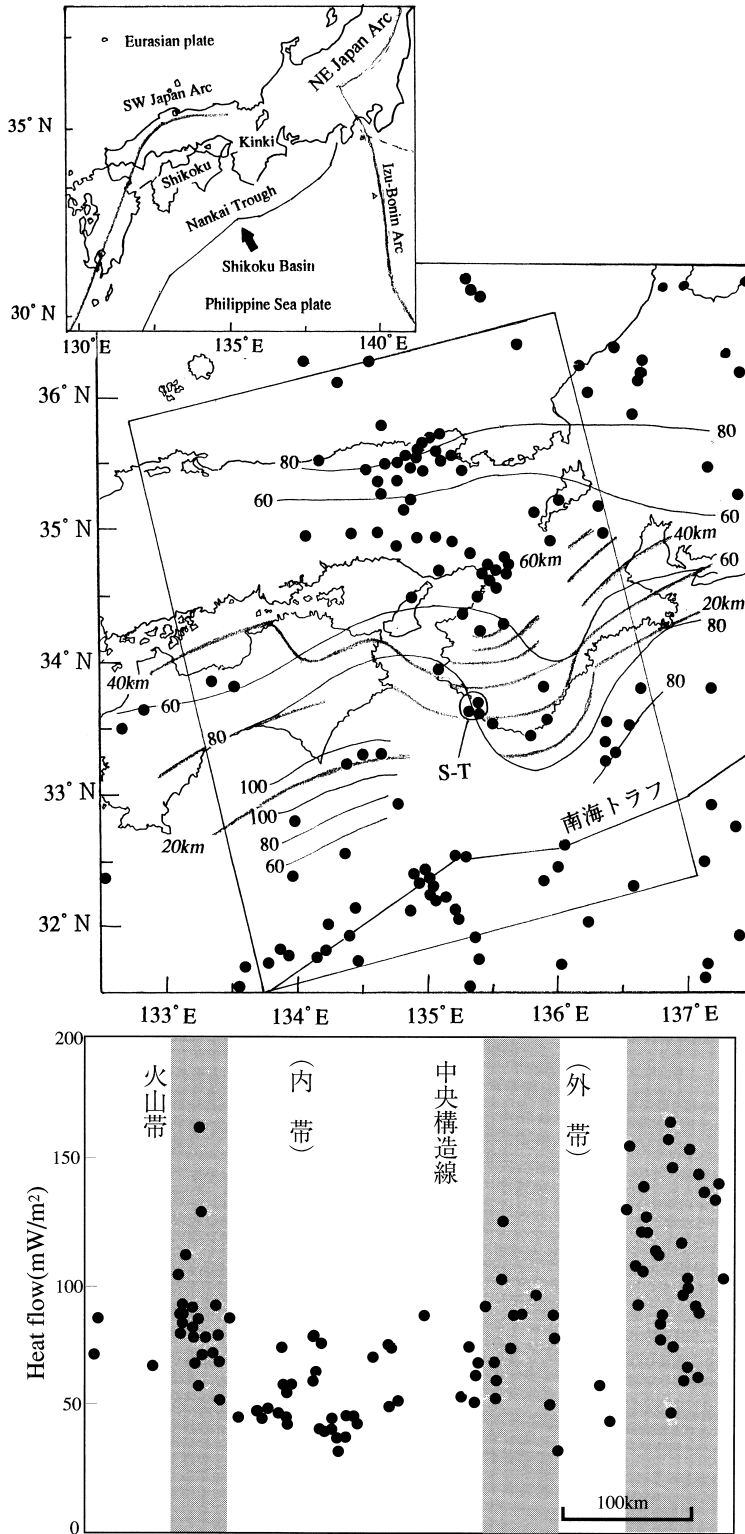


Fig. 8 The distribution of the heat flow in and around Kinki District and the section of the heat flow in the squared area (modified from Furukawa et al, 1998).

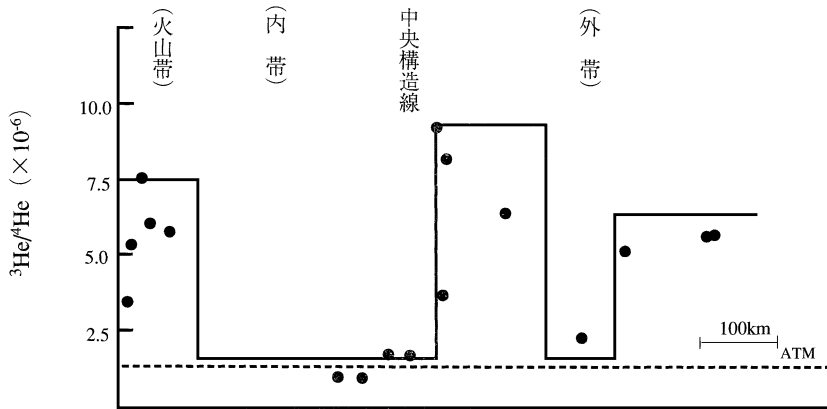


Fig. 9 The  $^3\text{He}/^4\text{He}$  profile in the Kinki and Chugoku Districts. The dashed line shows the atmospheric ratio (modified from Sano and Wakita, 1983).

## 5. ま と め

紀伊半島には古くから限られた場所に高温の温泉が知られている。それらは地質や地質構造と関係がある。特に付加帯のスラストとスラストの間にスラストとほぼ直交する比較的短い(数 km)の断層に沿って湧出している。この方向は 15~12 Ma の熊野・大峰酸性岩の岩体や岩脈の貫入している方向である。とくに岩脈や岩体の亀裂と関係が見られることが多い。

この貫入している岩体や岩脈、それに伴う鉱床に沿って温泉がみられるが、その年代からみて、これらが温泉の熱源とは言えない。

現在、フィリピン海プレートは震源分布からみて 50~60 km 深度までしか確認できない。しかし、高温・高圧実験からみて、この深さでは沈み込みのスラブから脱水が起こることが知られている。この脱水した流体には上部マントルを通るときに、マントル内に含まれる、 $^3\text{He}$  が加わり、地殻深くまで生じている割れ目を通り上昇して、地下水と混合したり、熱源となり地上に湧出しているのが紀州の温泉と見られる。

## 引用文献

- Furukawa, Y., Shinjoe, H. and Nishimura, S. (1998): Heat flow in the Japan arc and its implication for thermal processes under arcs, *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 1087-1090.
- 西村 進 (1998): 地質構造の解析と将来予測—近畿地方を例として—, *資源と素材*, **114**, 753-762.
- 西村 進 (2000 a): 紀伊半島における前弧火成作用と温泉, *温泉科学*, **49**, 207-216.
- 西村 進 (2000 b): 四国北部の地質構造と温泉, *温泉科学*, **50**, 113-119.
- 西村 進 (2000 c): 島弧の新生代の火山活動について, *自然と環境*, **2**, 18-23.
- 西村 進 (2001): 近畿地方北部の第四紀単成火山と地質構造, *自然と環境*, **3**, 22-29.
- 岡本和明, Max Schmidt, 丸山茂徳 (1997): 海水をマントルに運ぶ, *科学*, **67**, 478-479.
- Sano, Y. and Wakita, K. (1983): Geographic distributions of the  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratios in Japan; Implications for arc tectonics and incipient magmatism, *Jour. Geophys. Res.*, **90**, 8729-8741.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (1996): 本宮地域—地熱開発促進調査報告書—No. 37, p. 885.
- 巽 好幸 (1995): 沈み込み帯のマグマ学, 全マントルダイナミクスに向けて, 東大出版. 東京, p. 186.