
解 説

兵庫県のあるいくつかの温泉と地質構造

西村 進¹⁾, 赤松 信¹⁾

(平成 23 年 5 月 12 日受付, 平成 23 年 5 月 17 日受理)

Some Hot Springs and Geological Structure in Hyogo Prefecture

Susumu NISHIMURA¹⁾ and Makoto AKAMATSU¹⁾

Abstract

Relation between hot-springs and geological structures in deep wells in the Hyogo Prefecture is presented in this report. There are four types of geological belts where belong to Inner belt of SW Japan arc in Hyogo Prefecture : (1) Tango-Tajima volcanic belt, (2) Maizuru belt, (3) Tanba belt and (4) Awaji Island area.

(1) Tango-Tajima volcanic belt : Volcanic products are distributed in this belt having relatively high thermal gradient more than 6°C/100m. Many hot-springs have been drilled in this belt. (2) Maizuru belt : This belt belongs to a suture zone ; Serpentine block and Yakuno metamorphic belt. The geothermal gradient in this belt is around 3.0°C/100m. Deep well water has relatively high content of chemical materials. (3) Tanba belt : There are thick sedimentary rocks mainly belonging to Triassic Period. The geothermal gradients of this belt are 2.0-2.5°C/100m and very difficult to get the hot spring, even deep drilling wells more than 1,000 m depth. But some hot and mineral wells are founded along active faults such as Yamasaki and Arima-Takatsuki fault zones in the south part of this belt. (4) Awaji Island area : This area mainly consists of granitic intrusions and Izumi sandstone sediments, near the mediterranean tectonic line. There are some hot-springs in deep drilling wells. Igneous intrusives as granitic intrusive are found in some areas of Hyogo Prefecture. Around these granitic rocks, there are mineral springs containing gases such as radon and carbon dioxide.

Key words : Hyogo Prefecture, Hot-spring, Geological belt, Geothermal gradients, Geological structure

要 旨

兵庫県の比較的深掘の温泉と地質構造について紹介する。兵庫県の地質構造は西南日本弧の内帯に属し、大きく (1) 丹後・但馬火山帯, (2) 舞鶴帯, (3) 丹波帯, (4) 淡路島の 4 帯に分

¹⁾特定非営利活動法人シンクタンク京都自然史研究所 〒606-8305 京都市左京区吉田河原町 14, 近畿地方発明センター内. ¹⁾NPO Think-tank Kyoto Institute of Natural History, Kinki-chiho Hatsume center, Yoshida-Kawaramachi 14, Sakyo-ku, Kyoto 606-8305, Japan.

けられる。

(1) 丹後・但馬火山帯：現在活動している火山はないが、数万年前まで活動していた火山が分布する。この地質帯では比較的高い $6.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ の地温勾配を有し、多くの温泉が掘削されている。(2) 舞鶴帯：海底の岩石で構成されている縫合帯である。蛇紋岩体や夜久野変成岩がみられ、地温勾配はほぼ $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 程度で、比較的高濃度の成分を含む深堀の温泉が得られている。(3) 丹波帯：主として厚い三畳紀堆積岩が卓越している地域で、地温勾配も $2.0\sim 2.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ と低く、 $1,000\text{m}$ 以上の掘削でも温泉が非常に得にくい地域である。ただ、丹波帯の南部には山崎断層帯、有馬・高槻構造線のような大きな活断層に沿うところには、温泉・鉱泉が見られる。(4) 淡路島：淡路島は中央構造線のすぐ北側で、花崗岩や変成岩、和泉砂岩層が分布し、中央構造線の北側に分布する温泉・鉱泉が見られる。このほか兵庫県のところどころに花崗岩質の貫入岩が見られ、その辺りには放射能（ラドン）泉や炭酸泉などが見られる。

キーワード：兵庫県，温泉，地質帯，地温勾配，地質構造

1. はじめに

筆者の一人と近畿地方の温泉探査の関わり合いは、恩師故初田甚一郎先生、故吉沢甫先生に薦められて1956年3～4月の2カ月間、紀伊半島中部の萩村（後に周辺4村が合併し本宮町、さらに現在は田辺市であるが、湯の峰温泉に近接するところ）で地質調査、地温探査、自然電位探査を機器と取り扱い説明書をもとに温泉調査を行ったに始まる。

卒論、修士論文、博士論文は一貫して、岩石の放射能分布、U、Th、Kの岩体（特に花崗岩体）中の分布、若い火山岩や鉱床、地下水中のU系列の放射非平衡の研究であったが、別に物理探査に興味を持ち、初田先生や木村毅一先生（初代京大原子炉所長）の研究室の先輩方の指導により、泉効計、精密ラドン計による測定、ローリッツェン電離計、電離箱の改造による α 線の計測器の製作、GM計数管の製作、ポータブルGMサーベイを製作し、実際に温泉探査に利用し始めた（例えば、Hatuda and Nishimura, 1956; Nishimura, 1961, 1970）。また、1958年3月には、ボーリング会社にやとわれて霧島観光ホテルの地熱ボーリングを自分で掘削したのも、温泉・地熱との関わりを始めである。

一方、ジルコンやウラン入りのガラスのフィッシュトラックを研究し始めたのも1968年で（例えば、西村, 1971）、そのことから故中村威大阪市立大学名誉教授、故弘原海弘大阪市立大学名誉教授（当時姫路工業大学）に誘われて、「生野・明延」の国内探鉱長期計画「広域調査」（1974～1975）の調査に加わっていた（通商産業省資源エネルギー庁, 1974）。そこで、兵庫県の森下茂治技師と出会い、広域調査終了後、兵庫県の地域活性化のため、県の援助で温泉調査を各年に1町村で実施することとなった。最初の年は、生野鉱山の支山の廃鉱坑道に湧出している地下水の量を助けるため、斜孔を3mほど掘り込み、総硫黄で温泉法に適應させたことに始まり、2年目は波賀町（現・宍粟市）原に花崗岩中の断層・亀裂の調査と放射能探査にて、自噴の放射能泉を見つけ開発したことに始まる。その後、兵庫県工業試験所の赤松信とともに、温泉探査は2000年ごろまで続いた。また、これらの流れとは異なり、城崎温泉、有馬温泉などの調査や温泉の開発を進めてきた（西村, 1994; 西村ら, 2006）。

今回有馬温泉で第64回温泉学会の講演会が開かれるにあわせて、主にこれらのデータをもとに、兵庫県の地質と温泉・鉱泉について解説することとした。

2. 兵庫県の地質と地質構造区分

兵庫県の地質（兵庫県, 1961）は、県でまとめられているが、部分的には少しずつ改訂されている。

ここでは、兵庫県でまとめられたものをもとに手を加えたものを Fig. 1 に示す。また、清水 (1987) により示された地質構造区分を Fig. 2 に示す。最近の研究により、地質構造の考え方は変更しなければならないところもあるが、岩相区分ではあまり変わらない。しかし、活断層の記載が満足に記載されていないので、我々の地震予知計画で調査してきたのでその結果を示した。この調査の多くは、1980 年代に京都大学防災研究所の方々とともに行ったものである。これらの成果は日本地震学会誌「地震」に順次報告してきた (総括としては、Nishimura and Katsura, 1990 になされている ; Fig. 3)。

一般に、兵庫県では、沖積平野が少なく、基盤岩が浅く分布しているので、沖積中の大規模掘削 (ここでは、大規模掘削は 1,000m 以上の掘削とする) で得られている温泉は尼崎・伊丹に見られる程度で、開発された温泉のほとんどが基盤岩中に掘削され、断層・亀裂に沿い胚胎する温泉水を汲みあげられているものが多い。そのほかのいくつかの個所で、浅い掘削で得られた放射能泉、塩類泉、鉄泉、炭酸泉のいわゆる鉱泉が見られる。温泉は、地温勾配を利用した 800~1,300m 深度の掘削井に水中ポンプで汲みだすものが多い。その掘削深度は特別な例を除き、地温勾配により決められていることが多い。

2. 1. 丹後・但馬地帯の温泉

丹後・但馬地帯は白亜紀から新第三紀に噴出した火山岩や凝灰岩が多く分布し、ところどころ小規模ながら第四紀のアルカリ玄武岩系の火山の噴火が見られる。それらは西から、鳥取県との境の

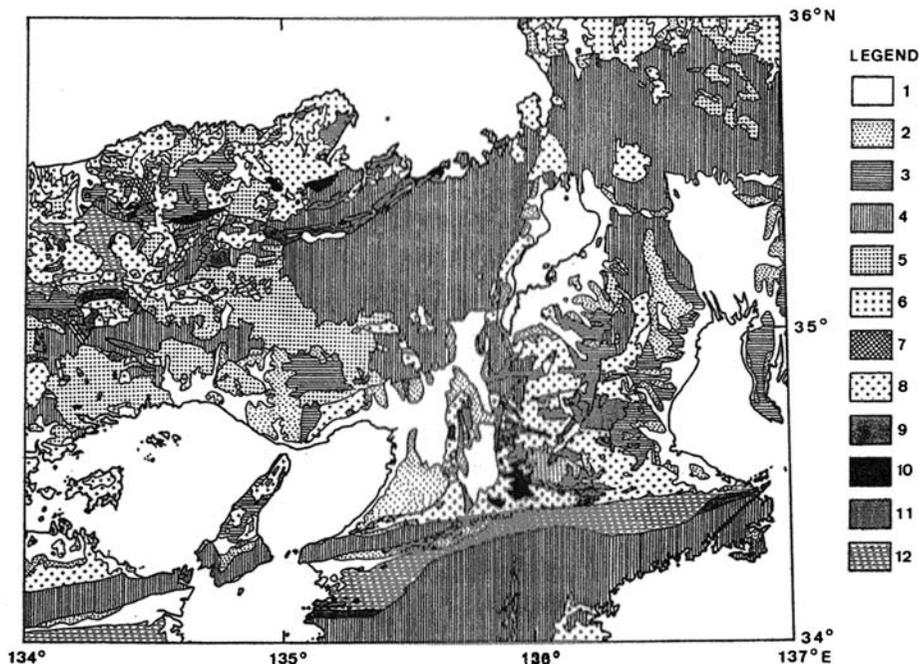


Fig. 1 Geological map of the northern part of Kinki district.
 1 : Holocene sediments. 2 : Pleistocene sedimentary rocks. 3 : Neogene sedimentary rocks. 4 : Pre-Neogene sedimentary rocks partly includes basalt. 5 : rhyolite and dacite. 6 : andesite and basalt. 7 : alkali basalt. 8 : granitic rocks. 9 : gabbro and diorite. 10 : ultramafic rocks. 11 : low-pressure type metamorphic rocks. 12 : high-pressure type metamorphic rocks.

図 1 近畿地方北部の地質。

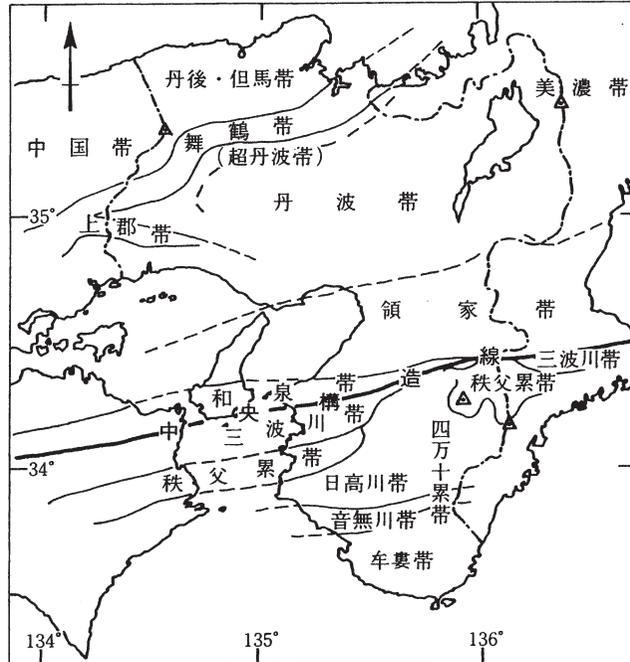


Fig. 2 Pre-Neogene geotectonic map of the Kinki district (Shimizu, 1987).

図 2 近畿地方の新第三紀以前の地質構造区分 (清水, 1987).

扇山火山群, 鉢伏火山群, 神鍋火山群, 県境に近い京都府の田倉山火山群が分布する。もっとも若い活動は神鍋火山で数万年前までの活動である。この地域には, 走向は東西から東北の低傾斜の断層の北側のすぐそばに南北系の短い引張性の断層に沿うものが見られる。それに沿っては, 比較的浅い掘削で高温の温泉が得られている。この地帯では地温勾配は低いところでも $6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ もあり, 一般に火山活動と関係があるとされている。しかし, 基盤をなす花崗岩にあたると地温勾配は $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 程度に下がる (西村, 2011)。

代表的なものには, 1 城崎温泉 (塩類泉), 2 湯村温泉 (重曹泉) であるが, その他に 3 浜坂町 (現・温泉町) のユートピア浜坂 (石膏・食塩泉), 4 鉢北スキー場の温泉 (単純泉), 5 美方町 (現・香美町) 大谷のおじろん (単純泉), 香住町 (現・香美町) 6 三谷野矢田川 (食塩泉), 7 竹野町 (現・豊岡市) の竹野の北前館 (食塩泉), 8 かなべゆとろき荘 (現・豊岡市) (アルカリ単純泉) などが開発されている (Fig. 4)。

2.2. 舞鶴帯の温泉

舞鶴帯はペルム系～三畳系の堆積岩, 夜久野岩類ならびに蛇紋岩が分布する狭い領域であり, 付加体の丹波帯の北側に位置するもとは海洋底地殻と考えられ, 縫合帯 (Suture zone) の地質構造を持つ。この非火山帯での温泉は, 地温勾配は $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 程度で, 1,000m 内外の掘削で温泉が得られている (Fig. 5)。

舞鶴帯の北側に位置する関宮蛇紋岩体には, 9 八鹿町 (現・養父市) 小山 (重曹泉), 10 関宮町 (現・養父市) 三宅 (重曹泉) の 2 泉源があり, 多くの稀元素を含む特殊な温泉である。夜久野層群には, 11 養父市のやぶ温泉 (アルカリ単純泉), 12 豊岡市但東相田のシルク温泉 (重曹泉) 13 出石

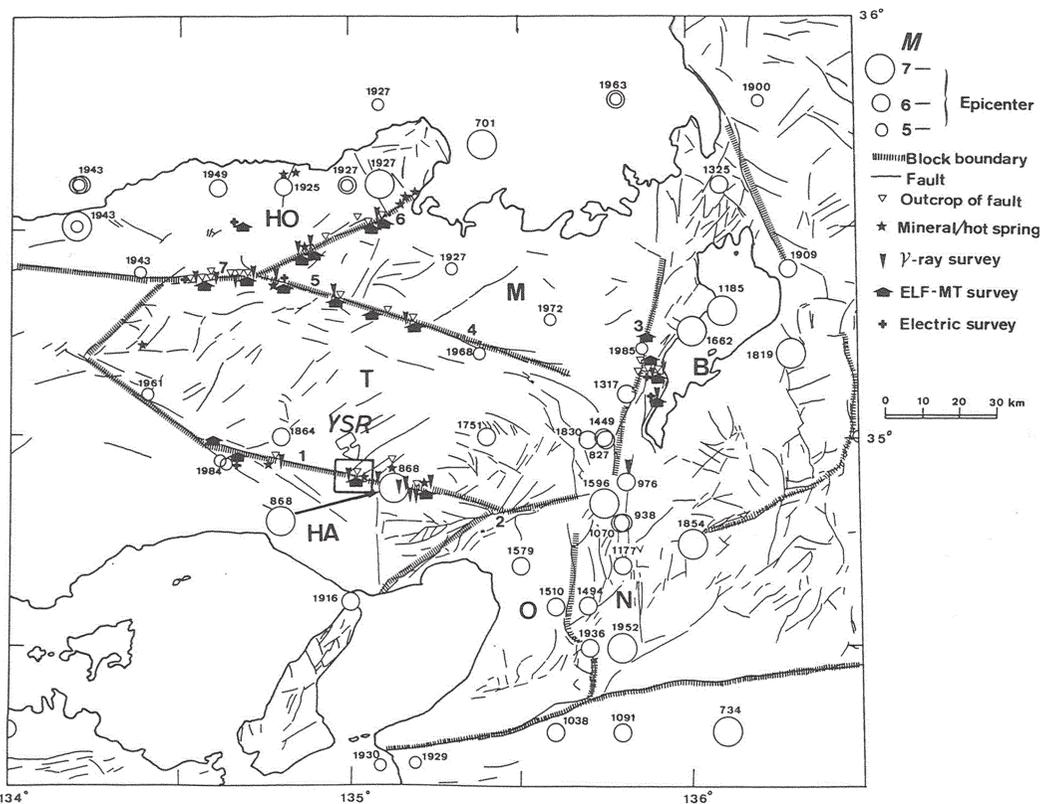


Fig. 3 The block tectonic structure revealed by the geophysical surveys in the northern part of Kinki district (Nishimura and Katsura, 1990).

HO : Hokutan block. M : Maizuru block. T : Tamba highland block. B : Biwa-ko block. N : Nara block. O : Osaka block. HA : Harima block. 1 : Yamasaki fault. 2 : Arima-Takatsuki tectonic line. 3 : Hanaori fault. 4 : Mitoke fault. 5 : Yabu fault. 6 : Yamada fault. 7 : Yagi fault.

図 3 近畿地方北西部の地球物理探査で示されたブロック構造 (Nishimura and Katsura, 1990)。

の乙女の湯 (重曹泉) が見られる。

夜久野層群の主部の活断層には、14 生野町 (現・朝来市) の黒川温泉 (アルカリ単純泉), 15 一宮町 (現・宍粟市) 三方のまほろばの湯 (食塩泉) が胚胎している。

2.3. 丹波帯の温泉

丹波帯は、三疊系の堆積岩が広く分布する地帯で、大深度掘削をしてもなかなか温泉の成功しない地帯である。一般的に見て地温勾配が低く、2.0~2.5℃/100m で、活断層がなければ掘削しても温泉が得られないことが多い。また、活断層の一部でも、地下水位がとくに低い部分では成功していない。

山崎断層系の安富断層沿いでは、16 滝野町 (現・加東市) のぼかぼ (アルカリ単純泉) のほかはよく利用されているものは見られない。一方、安富断層の山崎より17 山崎町 (現・宍粟市) 夢前 (重曹泉)、三木断層沿いに、とくに三木断層の北側には、凝灰岩の下部に古海水が閉じ込められたと見られ、古くから塩類泉の鉱泉がとところどころ利用されていて、この緩み域に1,300m 程度の掘削で温泉が得られている。西から18 赤穂の温泉, 19 小野市の温泉, 20 神戸市のフルーツパー



Fig. 4 The distribution of hot-springs and Quaternary alkali basalt eruptions in Sannin, Kinki district. ◎hot-springs are shown as numbers in the text.

図 4 山陰地方の温泉と第四紀のアルカリ玄武岩の噴火の分布。◎温泉の所在地とその番号は本文中の温泉の番号を示す。

ク（食塩泉）がある。

また、三木断層の東への延長と有馬高槻構造線の西への延長の交差点近く、六甲花崗岩の貫入の周辺に 21 有馬温泉, 22 宝塚温泉, 神戸市内の高温泉が見られる (Fig. 5)。

丹波帯の西部に花崗岩の貫入があり、そこに 23 千種町（現・宍粟市）の岡山県との県境のスキー場入口, 24 千種町中央部, 25 神戸市しあわせの村, 26 大三寺に放射能泉, 27 波賀町（現・宍粟市）原の放射能泉が数 100 m 以内の掘削で得られている (Figs. 5, 6)。

2.4. 淡路島の温泉

淡路島は、明治の初め廃藩置県の前は阿波の国に属し、最終的に兵庫県に属した島であり、南端部分に中央構造線が走っている。基盤は花崗岩で近畿トライアングル（藤田, 1984）の北東-南西の断層が卓越する地域で、島の北端の明石海峡を震源とした兵庫県南部地震（阪神大震災）を起こした野島断層、平行に島の東部に東浦断層が走る。この東浦断層の北部 28 淡路町（現・淡路市）岩屋に松帆の郷（単純泉）、29 東浦温泉（重曹泉）が見られる。また島の中部に郡家から洲本に至る北傾斜の逆断層が走り、その断層に 30 一宮町（現・淡路市）にパルシエ香りの湯（アルカリ単純泉）などが見られる。西淡から洲本に至る中央構造線北側の低地に小さな南北の断層に胎胎する西から 31 西淡町（現・南あわじ市）湊の湯トリック（重層泉）、32 三原町（現・南あわじ市）神代社家のさんゆ〜館（アルカリ単純泉）などが見られる (Fig. 6)。

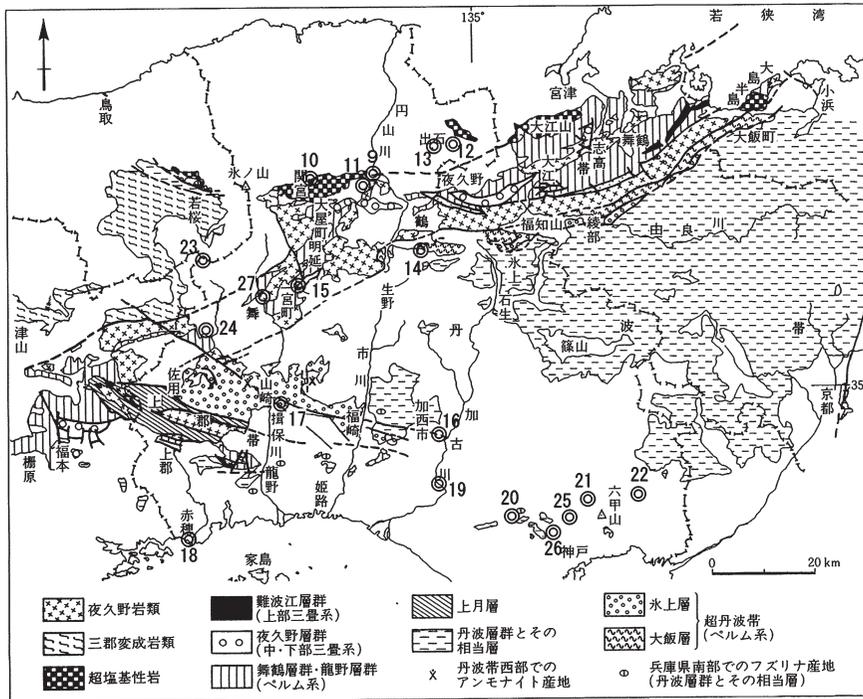


Fig. 5 The distribution of hot-springs and geological map of Maizuru and Tanba belts in northwestern part of Kinki district. ◎ hot-springs are shown as numbers in the text.

図 5 舞鶴帯と丹波帯における温泉の分布。◎温泉の所在地とその番号は本文中の温泉の番号を示す。

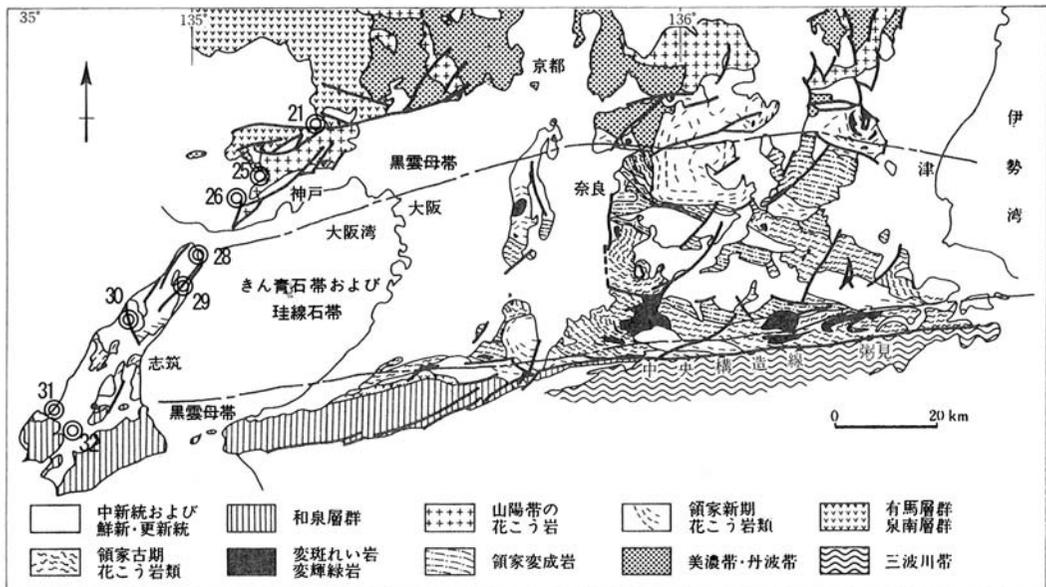


Fig. 6 The distribution of hot-springs and geological map of southern part of Hyogo Prefecture. ◎ hot-springs are shown as numbers in the text.

図 6 兵庫県南部の地質と温泉の分布。◎温泉の所在地とその番号は本文中の温泉の番号を示す。

3. ま と め

兵庫県は南北に長い県であり、西南日本列島内帯の地質がおおむねすべてが見られる県である。特異な温泉としてはスポット的に有馬温泉が見られ、その泉質から一部マントルからの温泉水を含む海水の2倍の塩類を含み、二酸化炭素により自噴している。

兵庫県北部の丹後・但馬の新第三紀から第四紀の火山活動に関係する地域には、城崎温泉、湯村温泉に代表される温泉があり、その南部にある舞鶴帯の縫合帯には、珍しい元素を含有する重曹泉が見られる地帯がある。その南に丹波帯があるが、温泉の開発の難しい地帯で、その南部には山崎断層系の活断層に沿って食塩泉、アルカリ単純泉が開発されている場所がある。淡路島にも活断層沿いにいくつかの重曹泉が見られている。このように、温泉の胚胎には地質構造が深く関わっている。

引用文献

- 藤田和夫編著 (1984) : アジアの変動帯, 400 頁, 海文堂, 神戸.
- Hatuda, Z. and Nishimura, S. (1956) : Variation in Radioactivity across Igneous Contacts. Mem. Coll. Sci., Univ. Kyoto, Ser. B, **23**, 285-295.
- 兵庫県 (1961) : 兵庫県地質鉱産図および同説明書, 兵庫県.
- Nishimura, S. (1961) : Variations in Radioactivity and Chemical Elements across Igneous Contacts. Mem. Coll. Sci., Univ. Kyoto, Ser. B, Geol. Min., **28**, 265-284.
- Nishimura, S. (1970) : Disequilibrium of the ^{238}U series in recent volcanic rocks. Earth Planet. Sci. Lett., **8**, 293-300.
- 西村 進 (1971) : 核分裂片の飛跡の計数による年代決定. 岩鉱, **64**, 173-181.
- 西村 進 (1994) : 城崎温泉と城崎近辺の温泉. 温泉科学, **43**, 128-135.
- 西村 進 (2011) : 近畿地方の高温泉とその地質構造. 温泉科学, **60**, 481-491.
- Nishimura, S. and Katsura, I. (1990) : Radon in Soil Gas : Applications in Exploration and Earthquake Prediction. Geochemistry of Gaseous Elements and Compounds (eds. Durrace, E.M. *et al.*), 497-533, Theophrastus Pub., Athens, Greece.
- 西村 進, 桂 郁雄, 西田潤一 (2006) : 有馬温泉の地質構造. 温泉科学, **56**, 3-15.
- 清水大吉郎 (1987) : 近畿地方の新第三紀以前の地質構造区分. 代表編 中沢, 市川, 市原, 日本の地質 6 近畿地方, 4, 共立出版, 東京.
- 通商産業省資源エネルギー庁 (1974) : 昭和 48 年度広域調査報告書, 播但地域, p 48.