

解 説

山陰の温泉とその地質構造

西村 進¹⁾

(平成 26 年 3 月 31 日受付, 平成 26 年 5 月 12 日受理)

Hot Springs and Their Geological Structures in
San-in District, JapanSusumu NISHIMURA¹⁾

Abstract

There are high temperature hot springs in the northern part of San-in District, Southwest Japan. Some serpentine and/or hydrated layer of the Pacific Plate released water (super-critical fluids) at about 400 km depth beneath the back-arc side. In this case, the partial melt of upper part of mantle had been occurred and then to produce initial magmas. These hot springs are related to the Quaternary volcanism.

On the other hand, there are some hot springs having high temperature and high concentration of chemical components in the southern part of San-in District, but there are no related to the Quaternary volcanism, and related to Miocene acidic volcanism. It is pointed out that these spring waters have partly some dehydrated water and carbon dioxide (super-critical fluids), from subducted slabs at the depth around 60 km of Philippine Sea Plate. Using the results of geological and geophysical surveys, it has been definitely that the evidences of hot springs are found along the active faults through the around the necks acidic igneous intrusions.

Key words : hot springs in the San-in District, Tertiary acidic volcanism, Quaternary volcanism, subducted slab, super-critical fluids

要 旨

西南日本の山陰地方北部には高温の温泉が散在する。太平洋プレートの沈み込みスラブの蛇紋岩、含水橄欖（カンラン）岩の約 400 km 深度の相変化による脱水が上部マントルを通り、部分溶融しアルカリ玄武岩の第四紀の火山活動を起こし、それに伴う高温の温泉がみられる。

一方、数は減るが、山陰地方の南部には高温で化学成分の濃い温泉が存在する。この地域には第四紀の火山活動は見られないが、中新世の溶結凝灰岩や流紋岩質の火山活動を伴う花崗岩の貫入帯（山陰帯）と関係が深い。山陰帯はフィリピン海プレートの沈み込と関係する。フィ

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。 ²⁾ NPO Think-tank Kyoto Institute of Natural History, Kinki-chiho Hatsumei Center, Yoshida-Kawaramachi 14, Sakyou-ku, Kyoto 606-8305, Japan.

フィリピン海プレートの沈み込みは約 60 km 深度までしか震源分布でたどれないが、30~60 km の深度で、スラブの蛇紋岩が脱水する。その超臨界の水は超臨界の二酸化炭素を伴い、酸性岩の岩頸・岩脈周辺の緩み域やその近くを走る活断層沿いに上昇し、高温の塩化物泉・放射能泉の温泉が分布する。

キーワード：山陰地域の温泉，第三紀酸性火山活動，第四紀火山活動，沈み込みスラブ，超臨界流体

1. はじめに

今年（平成 26 年）9 月 4 日~7 日は日本温泉科学会第 67 回大会が三朝温泉で開催される予定である。山陰地方での日本温泉科学会大会は、1962 年と 1980 年に三朝温泉、1971 年に長門湯本温泉、1977 年に温泉津温泉、1984 年には奥津温泉で開催されてきた。その都度、山陰の温泉と地質についても紹介がされていることが会誌からもうかがわれる。

兵庫県北部丹後半島から鳥取県北部・島根県東部には古くから有名な温泉が分布している。また、竹下首相の時代にふるさと創生事業として各自治体に自由に使える予算 1 億円がふるまわれた。その時には深度 1,000 m 程度の掘削で温泉を掘るための調査と掘削に使えて丁度良い予算であったことから、自治体が日帰り温泉施設を整備し始めるようになり、各地に新しい温泉場が多くできた。当時は掘削技術も進み、トリコンビットが非常に効果的に使用できるようになり、1,000 m 程度の掘削が方々でなされるようになった時期でもあった。

この前後で温泉の開発のされ方が異なる。それまでは、なるべく浅い掘削で、50~35℃までの温泉を得て、そのまま近くで利用する方法であった。その後は熱源のない平均的地温勾配でもポンプによる汲み上げにより温泉法が規定する 25℃以上の温度が得られるようになった。2000 年頃までの温泉は、平凡社（2005）アトラス日本地図帳でその分布がわかる。これら山陰の温泉と地質および地質構造をまとめる必要がある。特に、山陰地域の第四紀の火山活動に伴う温泉、第三紀とくに 18~14 Ma の日本海拡大時に地殻下部が再溶融してできた酸性岩マグマ活動に関係する温泉、フィリピン海プレートの沈み込みは山陰では 60 km 程度までしかないが、蛇紋岩質の海洋底プレートはこの深さで脱水するのでそれが関係する温泉、古第三紀以前の花崗岩地域でも、断層・亀裂から湧出する放射能泉、また 1,000 m 程度地下に地下水があれば汲みあげて単純泉が得られる。

一方、島根県と山口県の境界の近辺に阿武単成火山群の分布がみられる。この東部から九州地方の大分県から鹿児島県にかけてのフィリピン海プレートの西北への沈み込みに伴う深発地震の震源の深さが、100~200 km 程度まで観測される。この場所では火山活動に伴う温泉が分布する。このことについては、すでに議論しているので（西村，2007）、今回の解説では取り扱わない。

三朝温泉での講演会、エクスカッションが開催されるときに、このようなプレートテクトニクスやブルームテクトニクスの面から山陰地方の温泉を見直すことが必要と考え、ここに解説することにした。

2. 温泉の分布と地質構造

鳥取県・島根県東・中部における温泉の 2000 年頃の分布を地質図（村山ら，1963；鹿野ら，2001）上に示した（図 1A，図 2A）。現在の分布は T-spa net（2013）に日帰りの温泉が紹介されている鳥取県温泉地図、島根県温泉地図を参考に（図 1B，図 2B）に示した。この温泉の分布には、温泉水中の主要成分で単純泉、放射能泉、塩化物泉に分けて示している。

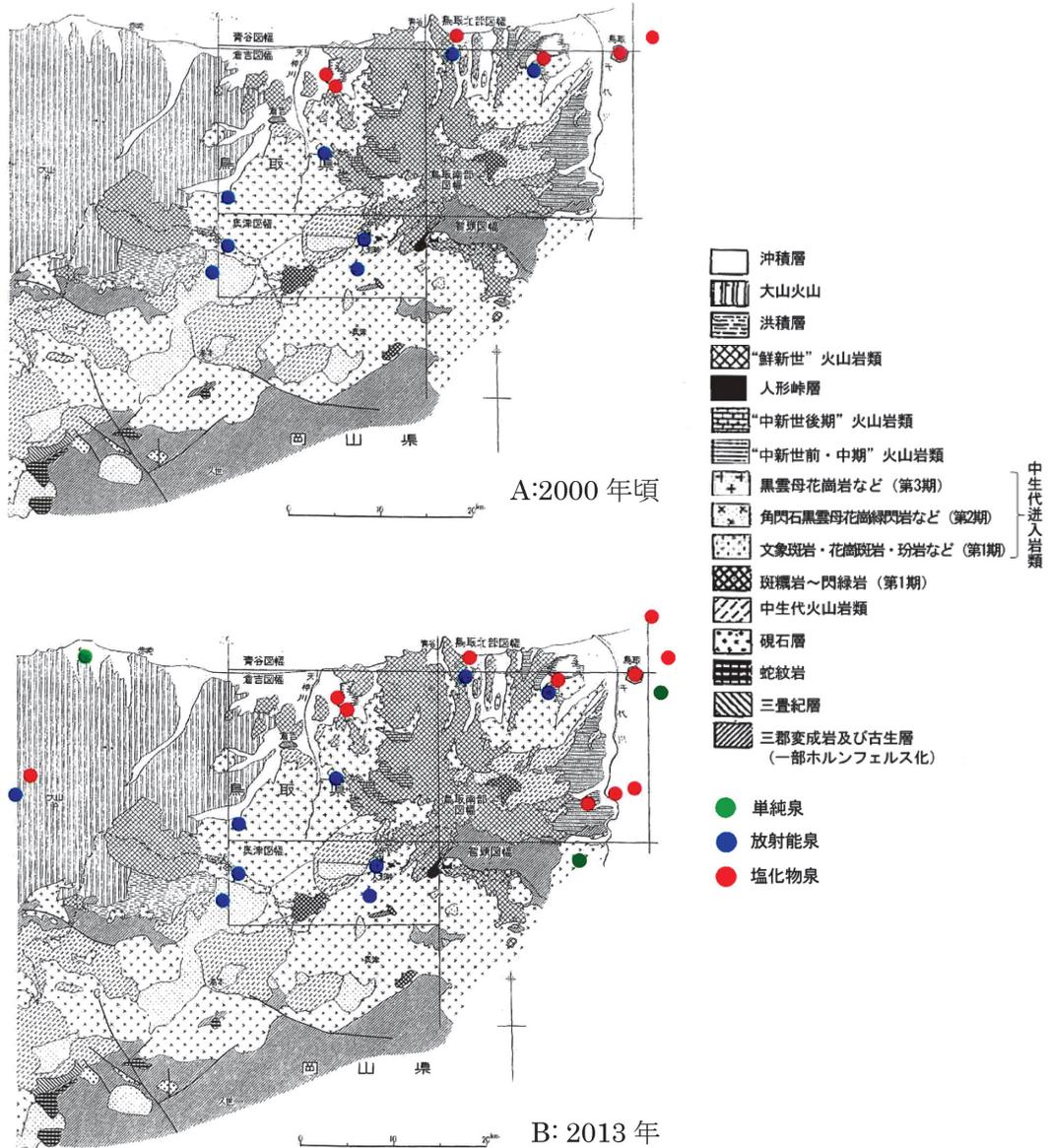


図 1 鳥取県の地質概略図 (村山ら, 1963) に 2000 年頃の温泉の分布 (A) と現在の温泉分布 (B)。(単純泉, 放射能泉, 塩化物泉の分類は泉水中の主成分で示した。) 2000 年以降は東北隅の砂丘の下から見つかった温泉, 深度掘削による火山活動と関係のある温泉, 西は大山の噴出堆積物の下部で見つかった温泉が増加している。

単純泉, 放射能泉, 塩化物泉は温泉水を三分類したもので, 単純泉は水温が 25℃ 以上で化学成分を規定以上含まない温泉で, 放射能泉は温泉水 1kg 中 $20 \times 10^{-10} \text{ Ci} = 74 \text{ Bq}$ (5.5 ME) 以上の泉水をいい, 塩化物泉は規定以上の化学成分を含む泉水を云う。

このように簡単に分類すると, 単純泉は火山活動に伴う場合と地温勾配を利用して湧出孔で 25℃ 以上の地下水をさし, 放射能泉は温度の高い場合と低い場合がある。塩化物泉は火山ガスなど

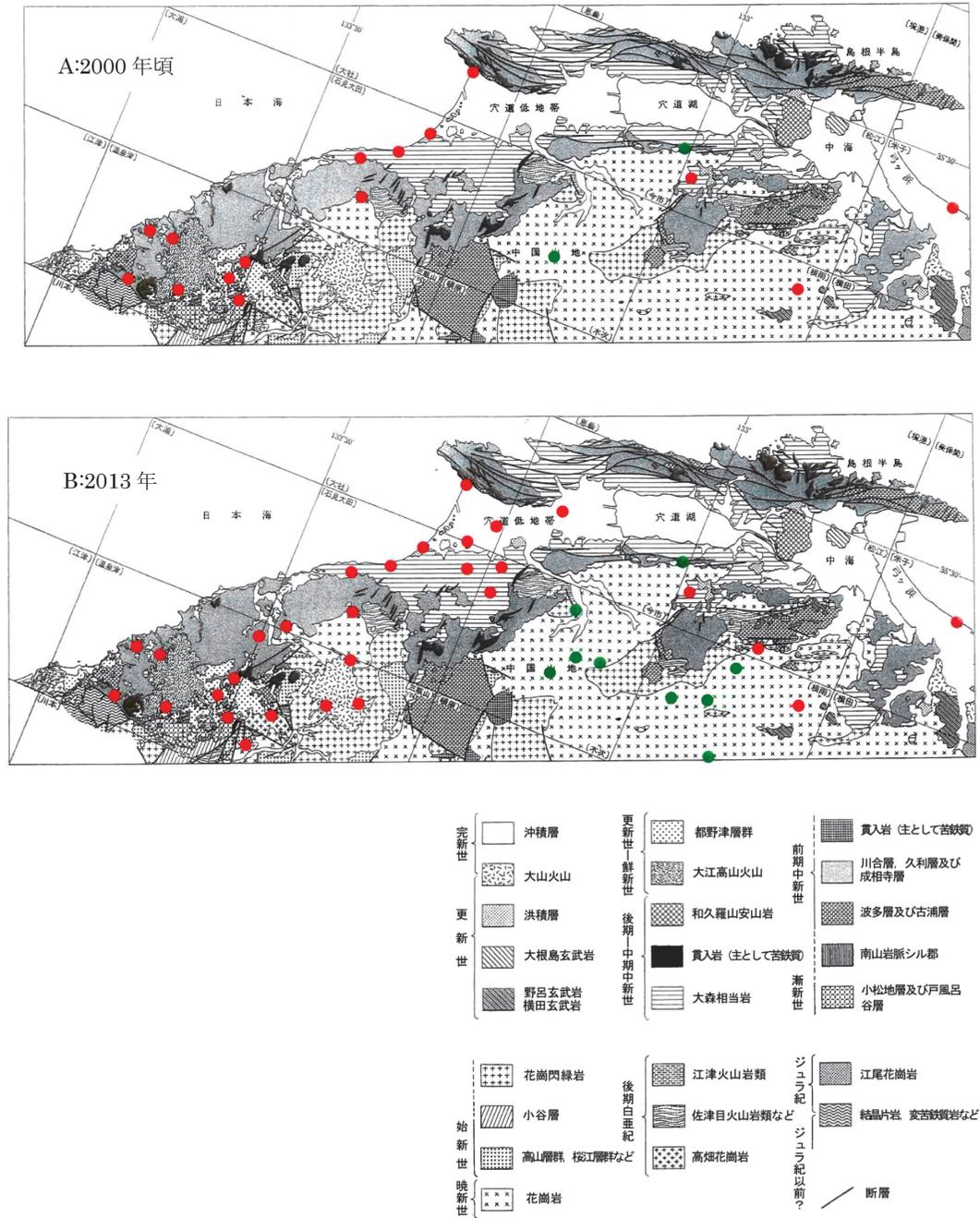


図 2 島根県東・中部の地質概略図 (鹿野ら, 2001) に 2000 年頃の温泉の分布 (A) と現在の温泉分布 (B). (温泉の分類は図 1 と同じ.) 2000 年以降増加した温泉は掘削によるものが多く, 山陰型の酸性岩の分布域が多い.

を含んだ温泉もあるし、古海水の場合もある。

温泉と地質・地質構造を論じる場合は、簡単な厚い堆積物の深層水や火口から約 15 km 離れるまでは 25°C 以上の地中温度があることが多いので、そのような場合は比較的簡単に説明できるが、岩盤の中の温泉水は、地質構造を反映し、岩圏中の水の大循環の中で地球の発達史を説くことに役立つ。地球科学の分野では、このことに非常に興味もたれることである。この立場から、山陰の温泉から、その地殻変動を推察するのに役立つ。

2.1 山陰の日本海に沿う第四紀の火山活動に伴う温泉

京都府北部の神鍋火山から西に鳥根県三瓶山に至る単成火山は山口県北部の阿武単性火山に比べて規模が大きい。これらの火山帯は、火山の研究者によればこの火山活動の南側に火山フロントを引き、阿武単成火山群から九州のフィリピン海プレートの沈み込みに伴う火山活動の火山フロントに続けることがあるが、日本海溝で沈み込んだ太平洋プレートが関係すると考える方が妥当である。

まず、この火山帯はアルカリ玄武岩系またはカルクアルカリ岩系の火山活動である。沈み込みのスラブの脱水によりその上部のマントルの融点が下がり、部分熔融をして、マグマを生じ上昇する。400~440 km 深度で、橄欖岩の相変化が起こり、その際に橄欖岩のスラブから脱水していると考えられる（笠原ら, 2003）。

太平洋プレートの日本海溝から西への沈み込みを、深発地震の震源分布（図 3）から考察される海洋底プレートからの脱水や高温高圧実験によるマントルの部分熔融によるマグマの生成（図 4；西村, 2013）から考え、また鳥取地方の主な地震による地殻応力（圧縮力）の考察（西田良平ら, 1991）から、ここでの主応力は東西方向であり（図 5）、兵庫県北部の火山活動から推定される主応力も東西であること（西村, 2001）から、神鍋火山から三瓶山までの火山は、太平洋プレートの

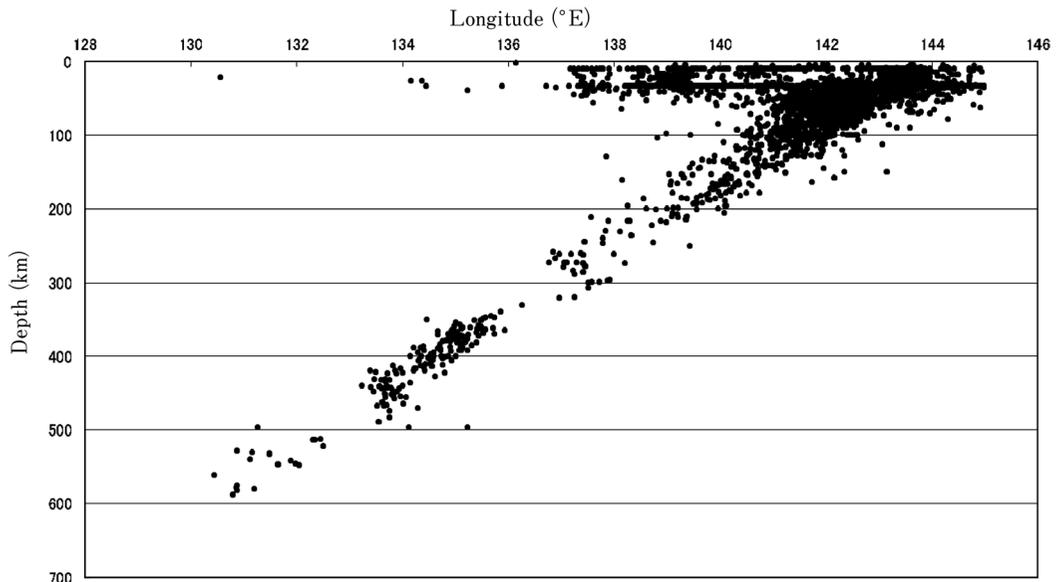


図 3 東北地方の 1973 年~2004 年（気象庁のデータから作成した）震源分布の東西断面。約 400 km 深度で相変化を起こしているのか震源の密度が高い。太平洋プレートのように古く温度の低いスラブではかなりの量の水が固相内に固定され、300 km 以深へと運ばれ、相変化に伴い 400 km 深度前後で、脱水する（笠原ら, 2003）。このような深度での水が上部のマントルの融点を下げ、部分熔融して生じるのはアルカリ玄武岩系のマグマである。

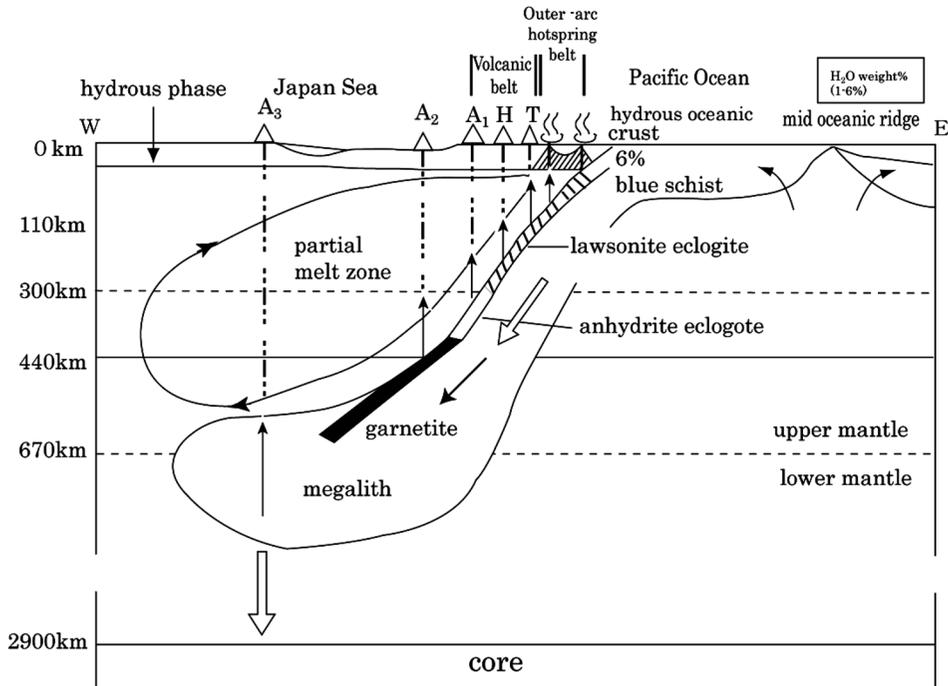


図 4 海洋プレートの沈み込みと島弧の火山活動 (西村, 2001 に加筆). ㉿: スラブの脱水が上昇する部分でマンツル成分を含んだ温泉がみられるところ; T△: ソレイアイト火山活動帯; H△: 高アルカリソレイアイト火山活動帯; A△: アルカリ玄武岩火山活動帯.

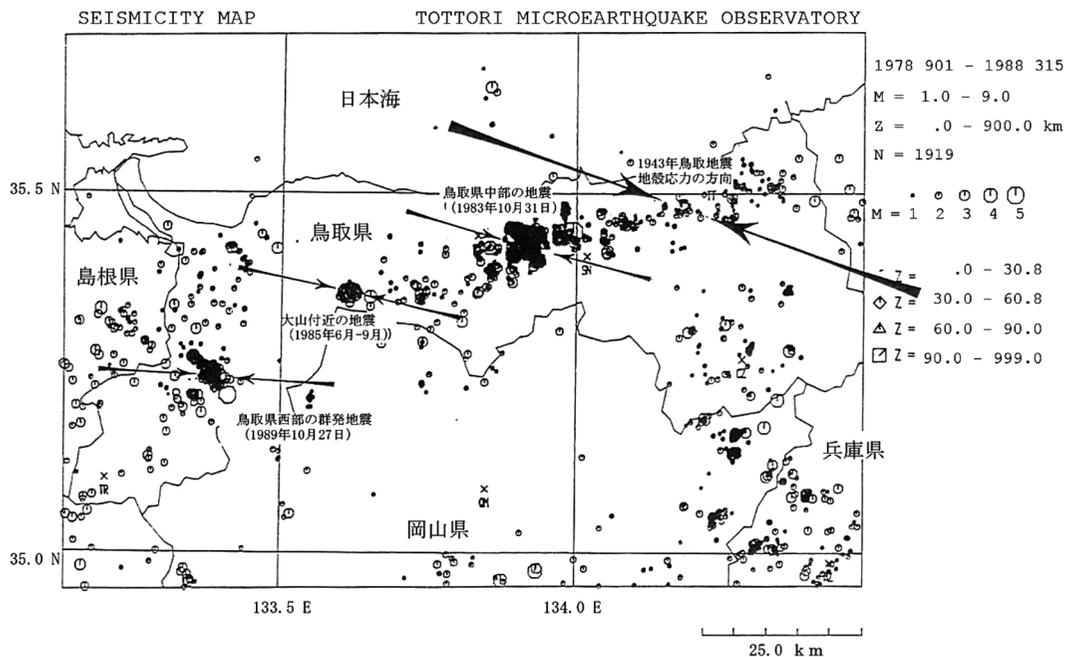


図 5 鳥取地方の主な地震の地殻応力 (圧縮力) の方向 (西田良平ら, 1991). 矢の方向が地殻最大主応力の方向を示し, 矢印の長さが相対的な大きさを示す. すべて東西方向で太平洋プレートの影響を示している.

沈み込みによる火山活動であると考えることが妥当である。

他方、フィリピン海プレートの沈み込みの状態から、フィリピン海プレートに関係する火山活動は、阿武単成火山群から大分県・鹿児島県にまたがる火山帯となる。フィリピン海プレートが山口県阿武あたりから西側に比較的急角度で100 km 深度まで沈み込み、鹿児島では200 km 深度まで沈み込んでいて、沈み込み帯に伴う火山活動があり、火山フロントが火山帯の東側に沿ってみられる(弘瀬ら, 2007; 中島・長谷川, 2009)。

火山活動により、主に周辺の地下水が温められ、さらにマグマからの主として高温のガス成分が加わり、温泉の湧出が山陰地方の海岸沿いにみられる。

近畿地方北部丹後半島から三瓶山にかけての火山活動は、太平洋プレートの沈み込みの約400 kmのスラブからの脱水に関係すると考えられるので、東北地方の火山フロント沿いのように活発な地熱や高温の温泉が分布することがないが、重曹や遊離炭酸を含む中性から弱アルカリの温泉や海水の成分が混入している塩化物泉がみられる。

2.2 鳥取県南部・島根県中部から西部の温泉

近畿地方北部から島根県東部にかけての火山活動に伴う温泉の南側には、中新世の花崗岩の地帯や更に若い酸性岩の分布域に、火山活動の地帯よりは比較的溫度が低い、鉱泉分析によって区分される高温泉放射能泉や塩化物泉が分布する。

山陰・山陽地域には花崗岩や酸性の酸性岩が広く分布する(西田和浩ら, 2013; 図6)が、領家帯、山陽帯、山陰帯に三分される。山陰帯の放射年代では新第三紀の年代を示す岩帯に非火山性の高温泉が分布する。三朝温泉、上斎原温泉、奥津温泉の南北の谷に沿う温泉列、その西に関金温泉、津黒高原、湯原温泉の温泉列、さらに西の島根県中部に古くから自然湧出の温泉津温泉が有名である。

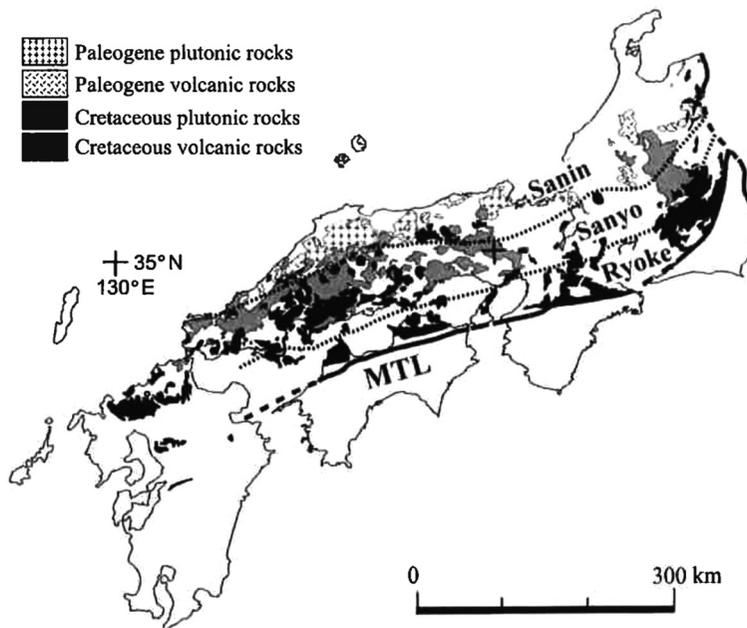


図6 西南日本の第三紀と白亜紀の火成岩(おもに花崗岩や溶結凝灰岩)の分布(Teraoka and Okumura, 2003の一部を修正して引用した。)酸性岩の同位体年代は領家帯、山陽帯、山陰帯の順で若くなる。San-in: 山陰帯; Sanyo: 山陽帯; Ryoke: 領家帯。

これらの花崗岩は年代・古地磁気の研究 (Matsuda, 1983; Otofujii and Matsuda, 1983; 沢田ら, 2013; Sakai *et. al.*, 2013) から, 日本海の拡大の時期に地殻下部が再溶融して, 酸性のマグマを生じ, 上昇してくる順序に従い同位体年代が異なり, 古地磁気の研究により日本海拡大の議論がなされている. すなわち, 日本海生成のときに地殻下部が再溶融した部分があり, 地殻深部に存在する部分ではいまだに高温で流動性がある. これらの花崗岩質岩体の冷却に従い, 部分的にマンツルの二酸化炭素や熱水に濃集する. ウラン, トリウムもその残液の貫入の年代に鉱床を作っている. これらの状態では, ^{238}U の種々の放射非平衡の関係を示すウラン鉱床, ラジウム, ラドンを含む高温の温泉が湧出している.

山陰でのフィリピン海プレートの沈み込みスラブの追跡は, 深発地震の震源の解析からかなり正確に推定されるようになり, 九州・パラオリッジの沈み込みの東側の方向は北北西で, 最先端のスラブの深さ 60 km より浅いが, 九州・パラオリッジの西側では, 山口から九州にかけて沈み込みの方向は西北西方向になり, 山口あたりでは急傾斜で 100 km 程度の深度まで沈み込みに伴う震源の分布がみられ, その南は次第に深く 200 km まで観測されている (弘瀬ら, 2007).

重力異常の考察からは, 温泉津温泉あたりより海岸に沿って太田市北部まで, これらの酸性岩体の溶結凝灰岩の火山活動や岩脈の貫入活動などの結果とみられるコールドロンの存在が示唆される (Matsuda, 1983; 河野・古瀬, 1989; 島根県地質図編集委員会, 1982; 鹿野ら, 2001; 図 7). 温泉津温泉はそのひとつのコールドロン内にある温泉で, 最近詳細な調査を行っており, 別に温泉科学誌に投稿する予定である.

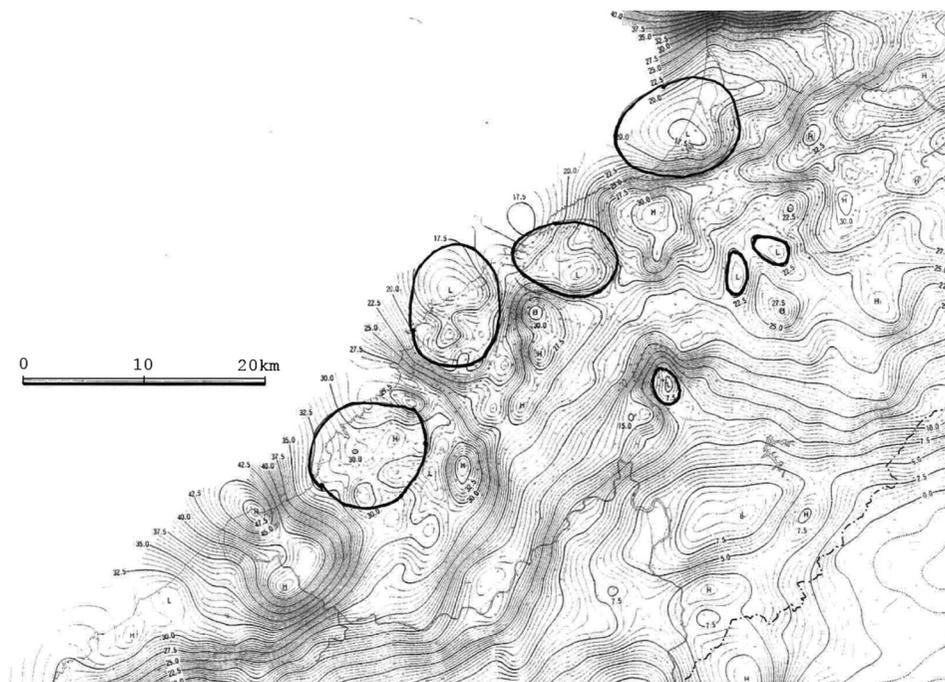


図 7 山陰地方で見られるコールドロンと岩頸 重力異常図 (島根県地質図編集委員会, 1982) から比重の低い分布が分かり, その分布からコールドロンと岩頸を推定した. 重力異常図の等重力線は 0.1 mgal ごとで L は周りより低重力の部分で H は周りより高重力異常の部分を示す.

2.3 第67回温泉科学会大会のエクスカージョンの予定ルートのウラン鉱床とその近辺の高温の温泉

大会のエクスカージョンのルートには日本海側の東郷湖に松崎温泉，東郷温泉と羽合温泉（浅津温泉）があり，この温泉は日本海沿いに岩井温泉，砂丘温泉，鳥取温泉，吉岡温泉と続く火山活動と関係のある塩化物泉であると推定できる。昭和30（1955）年に故初田甚一郎先生の指導のもと，温泉探査のため鳥取市の湖山池の南で1m，15mの地温調査をした記憶がある。

同じ年の11月に地質調査所のジープに乗りカーボーン（Car-borne）探査班に同行して人形峠の露頭の探査をしていたことを思い出す（その時はこの峠は無名の峠で歩道しかなかったが，近くの山の名前「人形仙」にちなんで佐藤源郎技師により命名されたと聞く）。昭和31年，32年に原子燃料公社が倉古城跡に事務所を持ち，そこを根拠に数台のシュミット型泉効計とHS泉効計（初田先生の設計，鳥津製作所製作）により湧水のラドン量を測定し，探査に加わった。このことの続きで，自作のポータブルGMサーベイを持ち放射能探査，1m地温探査，L10型横河製の比抵抗測定器で活断層を探し，関金温泉の谷を越えた場所に公営国民宿舎の放射能高温泉を探し出した。

これらの酸性岩類に伴いウラン鉱床が形成された。日本海が成立した動きとそれに続くフィリピン海プレートの沈み込みによる影響で，約100万年前まで西南日本内帯は南北圧縮の応力場で，第三紀花崗岩の東西方向を走向とするうねりの地形ができた。その向斜軸にチャンネル堆積構造ができ，鳥取県側では方面・麻畑，さらに南で，人形峠・夜次・中津河から辰巳峠にかけてチャンネル構造がみられる（図8；佐藤，1961）。その後約50万年以降は東西圧縮に変わり，いくつかの南北の活断層ができた。それらがチャンネル構造を切っている。その一つが人形峠を越える断層で上斎原，奥津温泉の高温の放射能泉がみられる。平行して関金温泉から犬伏峠を越えて津黒高原温泉，湯原温泉がみられる。

年代が若く貫入した花崗岩の周りで熱変成作用を受けている接触部のウラン・トリウム分布（自作のα線測定用電位計で測定；Nishimura, 1960；図9）は，貫入岩体中でも²³⁸U系列が放射非平

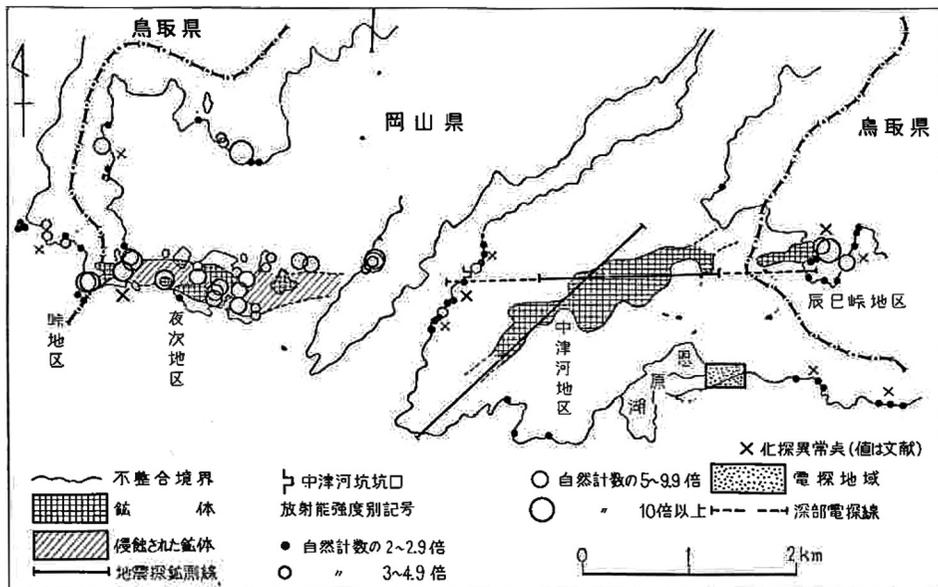


図8 人形峠辰巳峠鉍床分布図および放射能強度と化探の結果（佐藤源郎，1961）。人形峠から辰巳峠の東西のチャンネル構造にU放射系列の元素を含む堆積物が堆積し，その後，南北性の断層に沿って河川が浸食し，そのチャンネル堆積物が分断された。

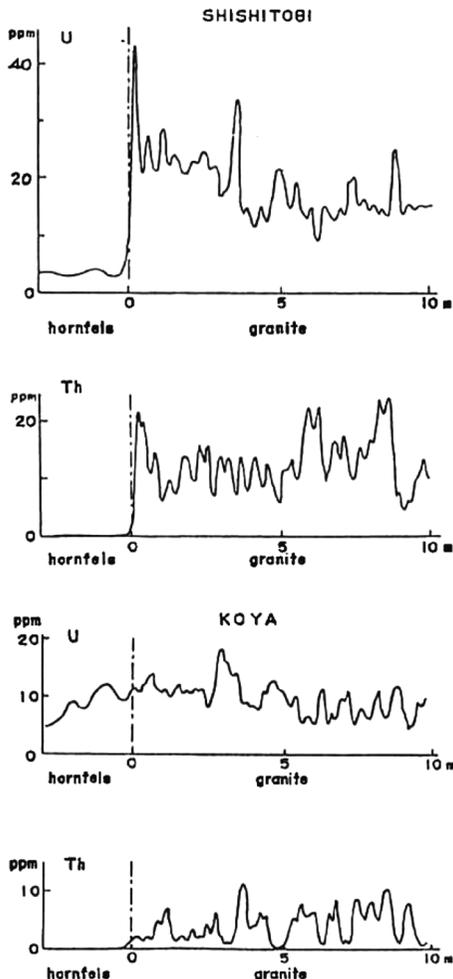


図 9 大津市鹿跳貫入型花崗岩体および木屋領家型花崗岩体の接触部の U, Th 分布 (Nishimura, 1965). 山陰地域の研究では、採取間隔が広いのでわかりにくい
が、大津市鹿跳、木屋ではほぼ連続試料で同じ成果が得られている (Nishimura,
1961) ので、ここではよく理解できる近畿地方の例を示した。比較的流動性が
よく、比較的浅い部分に貫入した花崗岩の接触部に U, Th が濃集し、比較的深
部に貫入し、流動性に乏しい領家型花崗岩では U, Th の接触部での濃集がない。
前者の周辺には高濃度の放射能 (ラドン) 泉 (低温) がみつがっている。

衡を示している。自然界での放射非平衡のパターンを周期律表・半減期などを組み合わせて示した (西村ら, 1966; 図 10)。

1996 年 1 月に方面の 2 号坑口から方面川を下がる地点で、Ge (Li) 3 インチ検出器と 400 チャンネル波長分析器を持ち込み、人形峠の研究所から液体窒素の補給を受けて、非平衡状態を求めることができた (図 11)。その当時 (1956 年)、三朝温泉の橋のたもとの露天風呂で 142.1 ME (マッペ)、関金温泉温清塚の露天風呂で 114.5 ME であった (ME は空気または水 1 l につき、その含まれるラドンの電離作用によって 10^{-3} esu の飽和電流を生じるときの放射能濃度と定義される。1 ME = 約 1.33×10^4 Bq/l = 約 3.64×10^{-10} Ci/l である)。

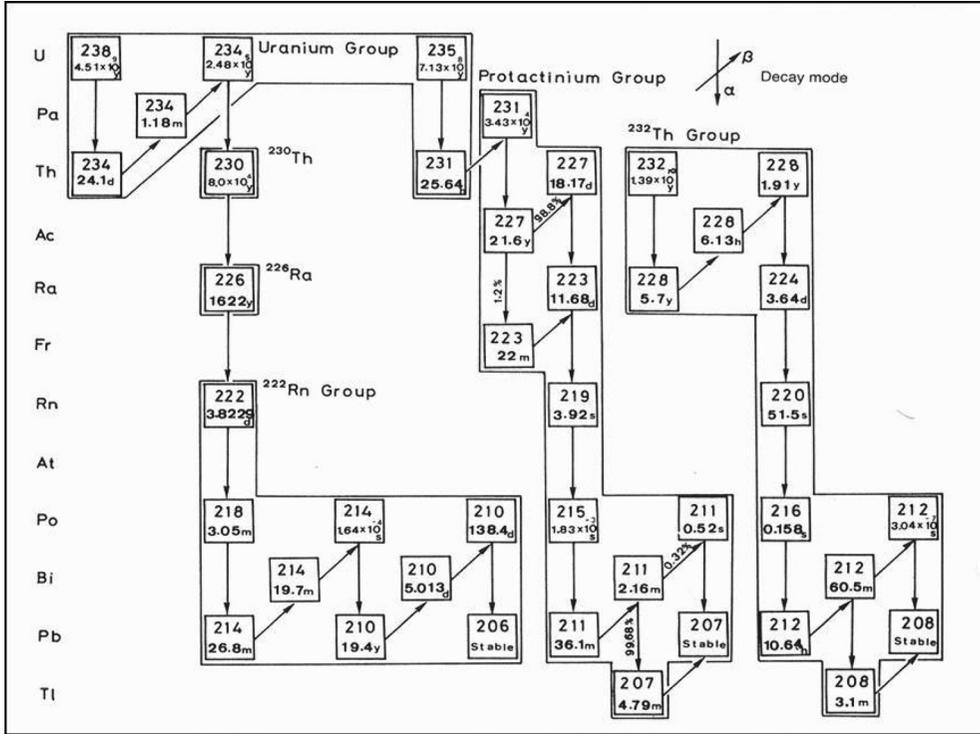


図 10 U, Th 系列の核種の半減期と化学的性質から放射非平衡になる型 (Group) (西村ら, 1966). 比較的半減期の長い放射性元素は化学的な違いで分布が分かれ, この図のようなグループの非平衡状態を作る. その後, 時間がたつと, そのグループごとに一番半減期の長い元素を親元素として放射平衡の状態になる.

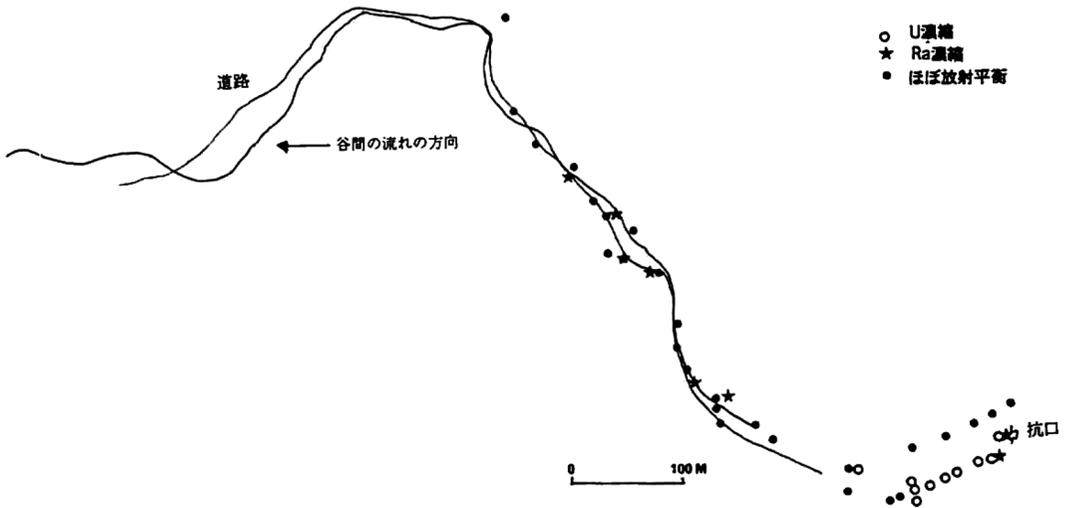


図 11 鳥取県方面鉱山の方面川の放射非平衡状態 (当時の野帳から作成した) 鳥取県の方面鉱山の坑口からの小川沿いの堆積物を Ge (Li) 検出器とマルチチャンネル計数機を用いて分析した結果から, 比較的短い年数で出来た放射非平衡状態.

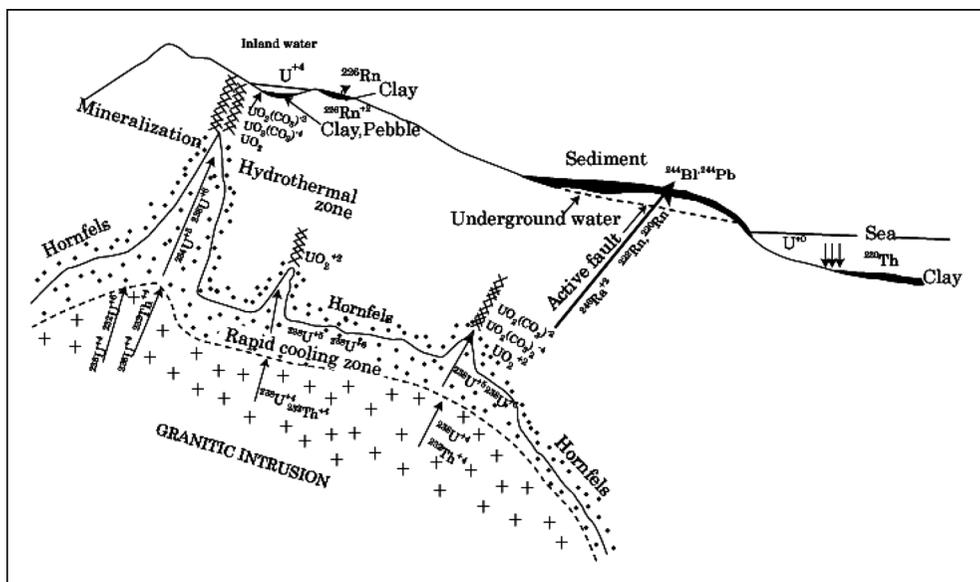


図 12 地表近くに存在する U 系列元素の分布の概念図 (西村, 桂, 1999 を修正). 鹿跳花崗岩のような比較的浅部に貫入した花崗岩や花崗岩から発生した岩脈・岩頸に沿い地表近くもたらされ、沈積するウラン系元素の分布を概念的にあらわした。

このように若い同位体年代を出す酸性岩体は高温岩体であることが多く、年代が若く上昇してきて、熱水鉱床や人形峠野付近のように放射非平衡の状態を示していることが多い (西村・桂, 1999; 図 12)。

3. ま と め

山陰の温泉は東日本の火山帯のように、数多くは存在しないが、古くから利用されている。山陰の日本海沿いには丹後半島から三瓶山までの、アルカリ玄武岩系やカルクアルカリ岩系の単成火山がところどころに活動しているが、その存在と重なり、主に塩化物泉が分布している。この火山活動は太平洋プレートのスラブの約 400 km 深度での橄欖岩の相変化に伴う脱水(超臨界流体)により、その上部のマントルの部分の溶融が原因と考えられる。

その火山帯の南に接して、山陰帯の中新世及びそれ以降の花崗岩や溶結凝灰岩が分布する。この山陰帯の島根県西部では非火山性の高温の温泉津温泉がみられる。また若い花崗岩体の中の南北活断層に沿い、高温の放射能泉が分布している。これらの温泉の近辺には熱水鉱床がところどころでみられる。温泉津温泉の近傍では石見銀山であり、鳥取県の東郷湖周辺、三朝温泉では人形峠から東に分布するウラン鉱床である。

そのほかに、新しく 1,000 m 程度の掘削で温泉が掘削されている。これらは日帰り温泉として利用されていることが多い。

引用文献

平凡社編 (2005) : 平凡社アトラス日本地図帳. 221 頁, 平凡社, 東京.

弘瀬冬樹, 中島淳一, 長谷川昭 (2007) : Double-Difference Tomography 法による西南日本の 3 次

- 元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定. 地震2, **60**, 1-2.
- 鹿野和彦, 宝田普治, 牧本 博, 土谷信之, 豊遥秋 (2001): 地域地質研究報告5万分の1地質図幅 温泉津及び江津地域の地質. 130頁, 地質調査所.
- 笠原順三, 鳥海光弘, 河村雄行編 (2003): 地震発生と水—地球と水のダイナミクス. 293頁, 東大出版, 東京.
- 河野芳輝, 古瀬慶博 (1989): 日本列島重力異常図—カラー・日本重力異常図. 地震活動分布図, 解説書一, 東大出版, 東京.
- Matsuda, T. (1983): Fission-Track Geochronology and Tectonics of Late Cretaceous to Early Miocene Igneous Rocks in Central to West San'in, Southwest Japan, 135 p. Dr. Thesis of Kyoto University.
- 村山正郎, 一色直記, 坂本 亨 (1963): 5万分の1地質図幅説明書 鳥取北部・鳥取南部, 83頁, 地質調査所.
- 中島淳一, 長谷川昭 (2009): 地震波トモグラフィでみたスラブの沈み込みと鳥弧のマグマ活動. 地震2, **61** (特集号), S177-S186.
- 西田良平, 岡田昭明, 渋谷拓郎 (1991): 鳥取地方の地震と活断層. 230頁, 鳥取大学教養部, 鳥取.
- 西田和浩, 今岡照喜, 君波和雄, 長 松雄, 飯泉 滋 (2013): 西南日本山陰帯と韓国慶尚盆地の花崗岩類における白亜紀最末期の Sr-Nd 同位体組成変化とその意義. 地質学雑誌, **119**, 229-248.
- Nishimura, S. (1961): Variations in radioactivity and chemical elements across igneous contacts. Mem. Coll. Sci., Kyoto Univ., Ser. B, Geol. Min., **28**, 265-284.
- Nishimura, S. (1965): Variation in the content of uranium and thorium across igneous contacts. Mem. Coll. Sci., Kyoto Univ., Ser. B, Geol. Min., **31**, 229-238.
- 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.
- 西村 進 (2007): 鳥弧の地熱活動と沈み込みプレート—南九州とスマトラの地熱・温泉の類似性から—. 温泉科学, **57**, 42-53.
- 西村 進 (2013): 大陸縫合帯 (Suture Zone) の温泉 (4), 一まとめ—. 温泉科学, **63**, 66-75.
- 西村 進, 桂 郁雄 (1999): 放射能探査の信頼性について. 自然と環境, **1**, 1-6.
- 西村 進, 初田甚一郎, 浅山哲二 (1966): 放射能測定による岩石の U, Th の定量 (その2). Radioisotope, **15**, 289-294.
- Otofuji, Y. and Matsuda, T. (1983): Paleomagnetic evidence for the clockwise rotation of Southwest Japan. Earth Planet. Sci. Lett., **62**, 397-405.
- Sakai, T., Furukawa, A and Kawano, S. (2013): Stepwise environmental changes in the lower Miocene Koura Formation, southwest Japan, associated with Japan Sea evolution. J. Geol., Soc. Japan, **119**, 285-299.
- 佐藤源郎 (1961): 日本の山塊とウラン鉱床. ウラン・トリウム鉱物研究委員会編, 177-183, 朝倉書店, 東京.
- 沢田順弘, 三代喜弘, 今岡照喜, 吉田聖典, 稲田理沙, 久井和徳, 近藤 仁, 兵頭政幸 (2013): 鳥根県出雲市南方地域における中新統の K-Ar 年代と古地磁気方位. 地質学雑誌, **119**, 267-284.
- 鳥根県地質図編集委員会 (1982): 鳥根県地質図 (20万分の1). 国土地図株式会社.
- Teraoka, Y. and Okumura, K. (2003): Geological Map of East Asia, 1 : 3,000,000, Geol. Surv. Japan, AIST.
- T-spa.net (2013): 中国地方の日帰り温泉 鳥取県・鳥根県温泉地図. <http://t.spa.net>.
- ウラン・トリウム鉱物研究委員会編 (1961): ウラン—その資源と鉱物. 560頁, 朝倉書店, 東京.