
解 説

茨城の温泉と地質 —熱源と水脈を探る—

堀川 有¹⁾, 笠井勝美¹⁾, 飛田 格¹⁾

(平成 20 年 11 月 26 日受付, 平成 21 年 2 月 12 日受理)

Hot Springs and Geological Features of Ibaraki Prefecture —Exploring Heat Sources and Groundwater Veins—

Yuu HORIKAWA¹⁾, Katsumi KASAI¹⁾ and Tadashi TOBITA¹⁾

Abstract

In Ibaraki Prefecture, geothermal resources of high temperatures are poor because of lack of presently active volcanic belt. Natural hot springs, thus, that had enough temperatures for bathing are few. However, due to progress of drilling technique and pumping system, artificial hot springs have been recently developed in places. Our company, Ibaraki Onsen Kaihatsu (Ibaraki Hot Spring Developer Co. Ltd.) has challenged to develop hot springs since 1965, mainly in Ibaraki Prefecture, and we had successfully developed more than forty hot springs. Through our achievement, we have ascertained that heat resources and groundwater veins, which were not thought to locally exist but widely distribute in Ibaraki Prefecture. This paper discuss hot springs and geological features in Ibaraki Prefecture on the basis of our experiences and achievements for obtaining hot water discharge in order to apply the knowledge to development of hot springs in future.

Key words : Ibaraki Prefecture, hot springs, heat sources, groundwater veins, development of hot spring, geothermal gradient

要 旨

茨城県内には現在は活動的な火山帯がないため高温の地熱資源に乏しい。このため、入浴に十分な温水が自然に湧出する源泉が少なかった。しかし、掘削技術や揚湯装置の進歩により近年ではさまざまな場所において人工的に温泉を開発できるようになってきた。茨城温泉開発株式会社では、1965年(昭和40年)より茨城県内を中心に温泉開発を行ってきており、これまで40本以上の温泉湧出に成功してきた。この実績を通じて、私たちは以前に考えられていた以上に、高温熱源や豊富な温泉水脈が茨城県内にもあることを確認してきた。小論では、今後の温泉開発に大いに役立っていくために、われわれの開発の経験と実績から得た茨城県の熱源と水

¹⁾ 茨城温泉開発株式会社, 〒311-4143 茨城県水戸市大塚町 1888 番地. ¹⁾ Ibaraki Hot Spring Developer Co. Ltd., 1888, Ootsuka-cho, Mito, Ibaraki Prefecture 311-4143, Japan.

脈データを総括する。

キーワード：茨城県, 温泉, 熱源, 水脈, 温泉開発, 地下増温率分布

1. はじめに

茨城県内には、現在は活動的な火山帯（第四紀火山）が存在しないことから、高温の地熱資源に乏しく、高温泉は県内には存在しないと考えられてきた。例えば、2007（平成19）年3月現在では、茨城県には138カ所の源泉が報告されているが、これは全国でもワースト10に入る少なさである。ちなみに一番多い大分で5,093カ所、一番少ない沖縄で9カ所となっている。

茨城温泉開発株式会社（弊社）では、これまで茨城県内を中心に様々な温泉開発を手がけてきた。弊社創業の頃は、大子町内の袋田温泉が約40℃で、茨城県内で最も温度の高い温泉であった。昭和58年に、創業者 故堀川亀雄が、北茨城市内に高温泉を湧出させるぞという意気込みで周囲の反対を押し切り、自費で温泉掘削を行った。その結果、880mの掘削により泉温64℃、湧出量360l/分（動力）と県内初の高温泉湧出を成功させた。これを機に、全国の掘削業者が茨城県における温泉開発の可能性に着目するところとなり、一斉に温泉掘削が行われた。現在では、北茨城市内には76.8℃という温泉も存在し、県内では大子町と肩を並べる一大温泉街にまで成長している。

今回、弊社は創業40周年を迎え、その過程で培ってきた経験と研究成果を「茨城の温泉と地質」と題した冊子にまとめた（Fig. 1, 笠井, 2008）。小論では、笠井（2008）を参照しつつ県内で開発された温泉（源泉）における熱源や水脈との関連などについて地質学的な観点から総括する。



Fig. 1 Hot springs and geology in Ibaraki Prefecture.

図1 「茨城の温泉と地質：地質構造から温泉の熱源をさぐる」（笠井, 2008）

2. 泉質による温泉分布図

2007 (平成 19) 年 3 月末現在, 県内には 138 カ所の源泉が存在する. それぞれの源泉を泉質別に分類したのが Fig. 2 である. 以下, 泉質別に地域をまとめた. なお, 茨城県内の地域名として, 一

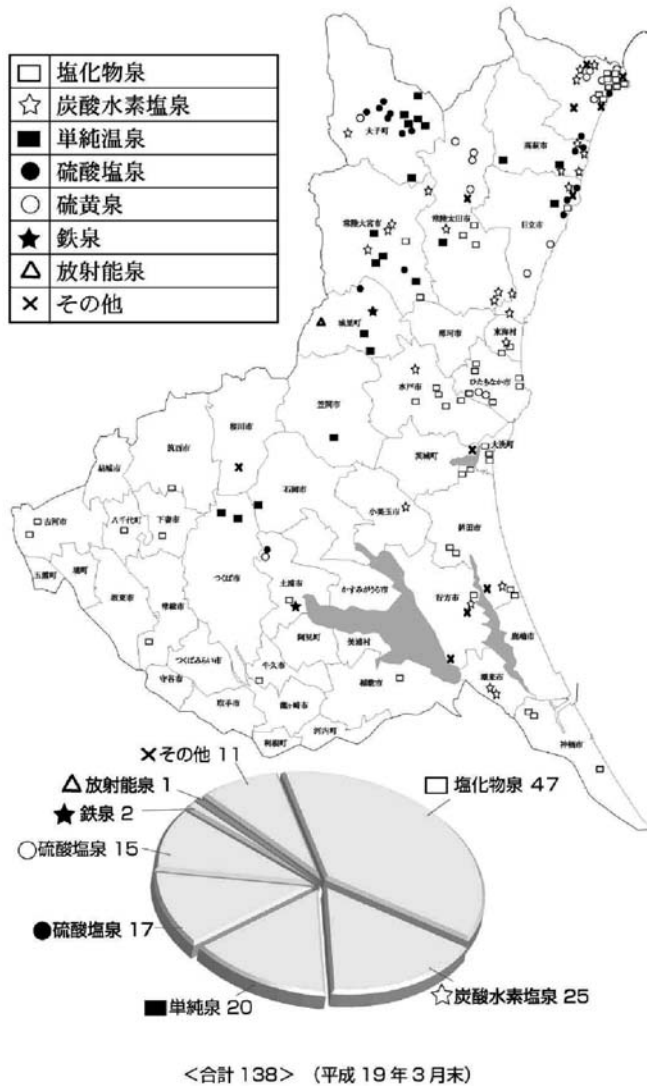


Fig. 2 Distribution map of hot springs in Ibaraki Prefecture.

図 2 泉質による茨城県の温泉分布図

1) 塩化物泉: 県内で最も多い温泉で全体の約 30% を占める. 県北以外の第三系化石海水分布地域と海岸平野地域に多く分布する. 2) 炭酸水素塩泉: 全体の約 20% を占め, 海岸より少し内陸部か, 深度の浅い源泉に多くみられる. 3) 単純温泉: 筑波山周辺や県北山間部に分布する. 4) 硫酸塩泉: 県北の太子町地域, 日立市・高萩市地域に多く分布する. 5) 硫黄泉: 県内すべての硫黄泉の硫黄濃度は, 10 ppm 未満と低いが, 主に県北地域に多く分布する. 6) 鉄泉: 鹿嶋市を中心とする鹿行地域に分布し塩化物泉と共存する. 総鉄イオン濃度が 50 mg/l を超える温泉もある. 7) 放射能泉: ラドンなどが含まれる温泉で, 県央地域の花崗岩帯から湧出する. 8) その他: 上記のような泉質名のつかない温泉法で定めた温泉.

一般的に使われている県北地域, 県央地域, 県西地域, 県南地域, 鹿行地域の5つの名称を用いた。

□塩化物泉

県内で最も多い温泉で全体の約30%を占める。県北以外の第三系化石海水分布地域と海岸平野地域に多く分布する。

☆炭酸水素塩泉

全体の約20%を占め, 海岸より少し内陸部か, 深度の浅い源泉に多く分布する。

■単純温泉

筑波山周辺や県北山間部に分布する。

●硫酸塩泉

県北の大字町地域, 日立市・高萩市地域に多く分布する。

○硫黄泉

県内全ての硫黄泉は, 硫黄濃度は10 ppm未滿と低いが, 主に県北地域に多く分布する。

★鉄泉

鹿嶋市を中心とした鹿行地域に分布する塩化物泉と共存している。鉄イオンが50 mg/lを超える温泉もある。

△放射能泉

ラドンが含まれている温泉で, 県央地域の花崗岩地帯から湧出している。

3. 茨城県の温泉熱源

一般的に火山と温泉とは深い関係がある。火山活動は地下深部に蓄えられた熱エネルギーをマグマの形で地表近くまで運び上げ, さらに溶岩や水蒸気などの火山ガスを噴出させるプロセスである。日本の高温で湯量豊富な温泉の多くは, 主にこの火山活動がもたらした熱によって温められた火山性温泉である。

一方で地下増温率が $3.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以下の温泉は, 直接火山活動に関係のない非火山性の温泉と考えられ, その熱源としては地下深部からの伝導熱, 地殻変動による摩擦熱や圧縮熱, 花崗岩類中の放射性元素の崩壊熱などが考えられる。また, 地表では火山が無くても地下でマグマが発生していたり, 地質学的に見て比較的新しい時代のマグマ活動の熱が地下に閉じ込められていたりした場所なども熱源と考えられる。

さて, 茨城県の主要温泉の泉温から作成した茨城の地温勾配分布図 (Fig. 3) を概観すると, 多くの場所では地下増温率が約 $3.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以下であるのに対し, 平潟港温泉付近と奥久慈温泉付近は $5.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以上の高温地帯となっている。一方, 県北地域に位置する八溝山地の中生層では地下増温率は約 $1.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以下の場合が多い。ただし, 日立市以北の海岸線地域のように花崗岩帯でも被覆層が覆っている場合は地温勾配が大きく地下増温率が大きくなる。また, 県西の下妻市や八千代町付近で地下増温率の大きいのは, 栃木県にある鬼怒川地溝帯の東縁断層 (白河-真岡線) の西側が高温であるように, その延長であるものと推定される。

3.1 平潟港温泉高温地帯の熱源

平潟港温泉高温地帯は, 北方の福島県いわき湯本温泉の高温地帯と深く関連するものと推定される。その高温で湯量豊富な温泉水の熱源については, 弊社の創業者 故堀川亀雄は平潟港沖合の海底火山説を唱えていたが現在のところ確証は無い。

平潟港温泉2号源泉は泉温 63.4°C であり, 掘削当時は茨城県内の最高温度を記録した。平潟港温



Fig. 3 Geothermal gradient map in Ibaraki Prefecture (Kasai, 2008).

図 3 茨城県内の地温勾配分布図 (笠井, 2008)

泉は、平潟断層南側に存在する東西に延びる背斜構造部に位置し、背斜部の基盤岩漿である変成岩中に発達する破碎部や亀裂から湧出する高温の温泉である。同温泉の高温中心は背斜構造の軸部にあたり、温泉の熱源と背斜構造との関連が示唆される。この背斜構造が新期花崗岩の貫入によって生じた潜丘であるとすれば、そうした花崗岩が熱源である可能性がある (Fig. 4, 堀川, 2002)。

一方、近年の火山学研究では、古いスラブが沈み込んだ場合には、蛇紋岩が脱水してもマグマが発生できないと考えられている。であるならば、平潟港温泉高温地帯は、熱源となるマグマが発生しているのではなく、深い割れ目を通して熱水だけが上昇し、天水起源の地下水と混合して高温の地下水が蓄えられているという熱水上昇説による説明も可能である。

3.2 奥久慈温泉高温地帯

奥久慈地方には、田毎の湯鉱泉付近で掘削に成功した茨城県第 1 号温泉である袋田温泉をはじめ、御免沢源泉、湯沢温泉、月居温泉など多くの温泉がある。これらはまとめて奥久慈温泉郷と呼ばれている。

溝上 (1985) のモデルに従えば、奥久慈地方での太平洋沈み込みの上限面深度は約 70 km 程度であり (Fig. 5), ソレイイト質マグマの発生深度には達していない。しかしながらこの地域に分布する火山岩が形成された第三紀中新世の火山前線は奥久慈男体山から城里町塩子を経て、栃木県益子町の芳賀富士付近にかけたところであり、現在的那須火山系より約 80 km も東側にあったと推定されている。また近年、大子町栃原や福島県矢祭町内川などの茨城、栃木、福島県境付近に第三紀

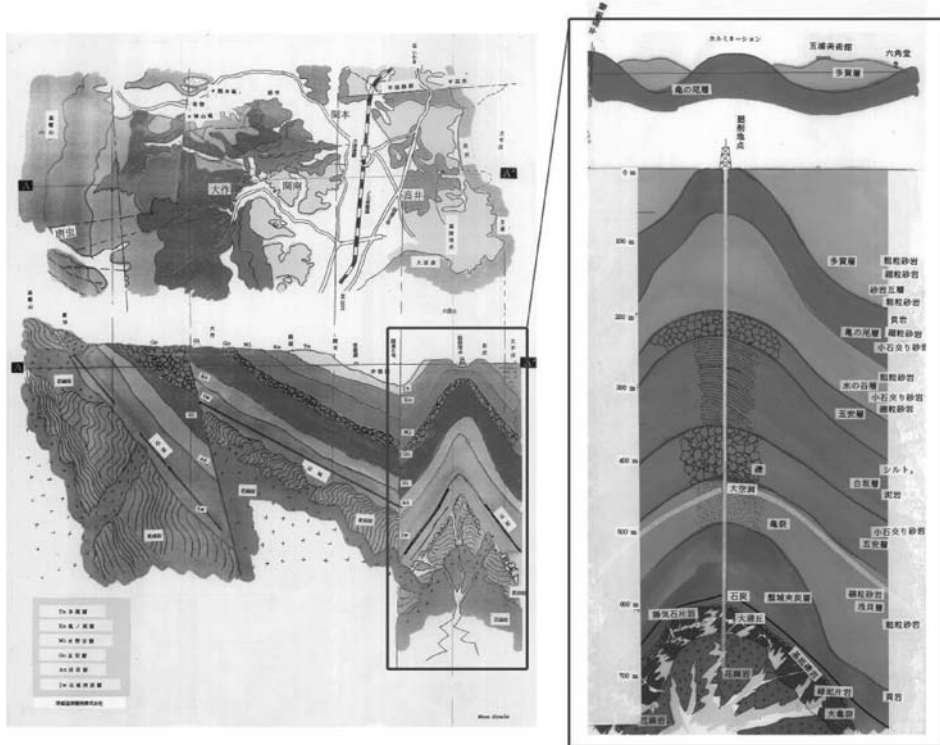


Fig. 4 Geological profile and estimated geothermal resources of Hirakata-kou hot spring (Horikawa, 2002)
 図 4 平潟港温泉の熱源調査結果 (堀川, 2002)

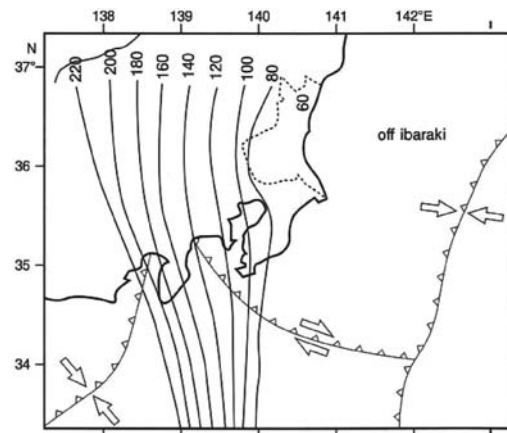


Fig. 5 Distribution of the upper depth (km) for the Pacific plate (Mizoue, 1985).
 図 5 太平洋プレートの上層深度 (km, 溝上, 1985)

の火山岩が多く発見されている (Fig. 6) ことから, 当時の奥久慈大子地方の地下深部では活発なマグマ活動があったことが示唆される。

このような火山活動により, 奥久慈地方では第三紀中新世に火山活動が発生し, 火砕流起源の厚

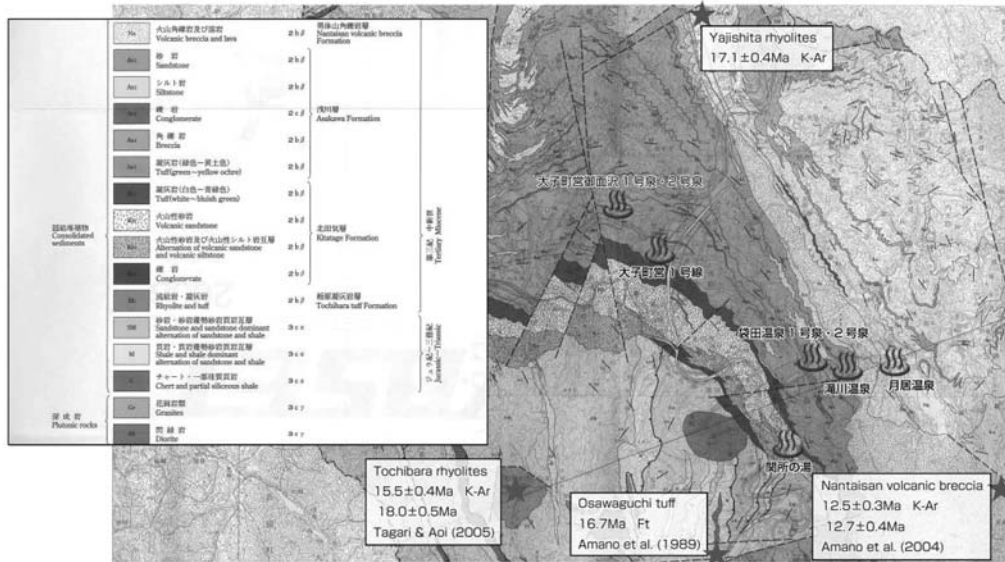


Fig. 6 Geological map and estimated geothermal resources of Okukuji hot spring (Amano *et al.*, 1989, 2004 ; Saito *et al.*, 1995 ; Tagari and Aoi, 2005).

図 6 奥久慈温泉の熱源 (天野ら, 1989, 2004 ; 斎藤ら, 1995 ; 田切・青井, 2005)

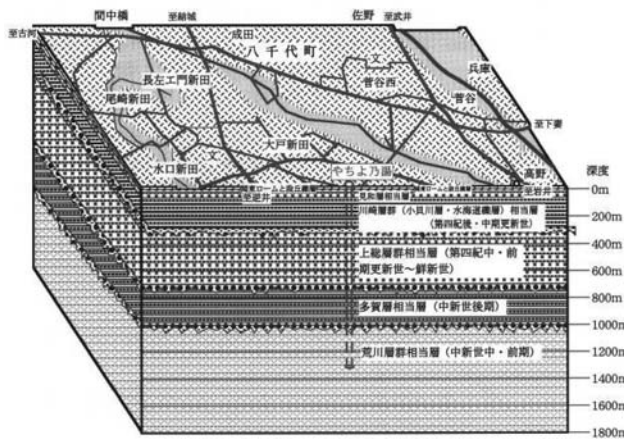


Fig. 7 Schematic geologic structure nearby Yachiyonoyu hot spring (Kasai, 2008).

図 7 「やちよ乃湯」温泉付近の地質構造概念図 (笠井, 2008)

い凝灰岩層が堆積しており、それによって地下の温度が高く保たれ、多くの奥久慈温泉郷の熱源になった可能性がある。また、地温勾配の大きい奥久慈温泉高温地帯は男体火山の分布とほぼ一致する (Fig. 7) ので、奥久慈男体火山マグマの残留余熱が熱源となって、天水起源の地下水を温め高温泉にした可能性も考えられる。ただし、マグマの残留余熱は数万年程度しか維持されないため、そのような熱源が長期間にわたって保持されるためには、別の要因を想定する必要がある。例えばこの地域ではマグマがくり返し発生した、というようなことがあったのかもしれない。

4. 茨城県の温泉水源

県内の温泉水源を地質学的に考察してみると、筑波山周辺やひたちなか市以北を除くと、平野部には新第三系中新統より新しい地層が厚く堆積しており、これが帯水層となっている。平野部の大部分では掘削によりこの種の帯水層に当てることができる。Fig. 7には、その例として「やちよ乃湯」温泉付近の地質構造を示している。

一方、筑波山周辺やひたちなか市以北の県北地域では硬い岩盤（花崗岩類や変成岩類等）が地表面まで露出しており、帯水層を形成しにくい地質構造となっている。これらの地層から温泉水を得るためには岩盤中の亀裂や断層破碎帯などの局所的に発達する温泉水脈から採取することになる。Fig. 8に示したのは、その一例である手綱温泉と大高寺温泉の地質構造である。

水量的にみると、平野部では毎分100*l*前後、その他の地域で岩盤中の亀裂から採取した場合は毎分30*l*前後であるが、断層破碎帯や亀裂等の浸透性の高い場所から採取した場合には毎分1,000*l*を超える場合もある。Fig. 9に示したのは手綱温泉の例であるが、ここでは毎分3,000*l*の温泉が自噴

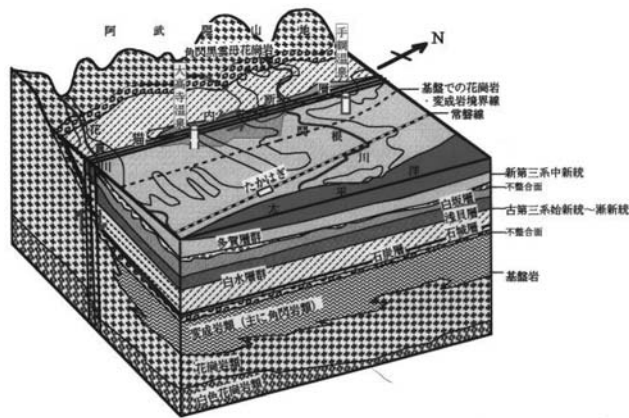


Fig. 8 Schematic geologic structure nearby Tezuna and Ohtakaji hot springs (Kasai, 2008).

図 8 手綱温泉と大高寺温泉付近での地質構造概念図 (笠井, 2008)



Fig. 9 Drilling well of Tezuna hot spring source. 3,000*l*/min.

図 9 手綱温泉の源泉 毎分 3,000*l* (自噴)

している。

5. おわりに

茨城県の地下増温率は全国平均 (約 $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) に比べ全体的に低い。平野部では約 $2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ で $1,000\text{m}$ 掘削すれば 30°C 台の温泉が見込まれる。だが筑波山から八溝山にかけては $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以下となり、あまり増温は期待できない。しかし平潟港地区や奥久慈地区には $5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以上にも達するところがあり、かなり高温の熱源がある。

水源に関しては、平野部に新第三系中新統より新しい地層が深く堆積しており、約 $100\text{l}/\text{分}$ 前後の水量が見込まれる。一方筑波山や県北山間部には火成岩や中・古生層からなる硬質な岩盤が分布しており、あまり水量は期待できない。とはいえ、このような岩盤でも断層破碎帯からならば $1,000\text{l}/\text{分}$ を超える温泉が湧出しており、優勢な温泉水脈を見出せば相当量の水源が見込まれる。こうしたデータがそろい、掘削技術が進歩してきたおかげで、これまで無理だと思われていた地域でも温泉を活用し、楽しめるようになった。それと同時にこうした人工的な温泉開発には否定的な意見もある。

しかし、私たちは次のように考えている。

温泉は私たちに癒しや療養といった様々な恩恵をもたらしてくれる、言わば天から授かった天然資源である。大切なのは温泉を自然が育んだ感情ある生きものと捉え、どのように活用すれば喜んでくれるのかを想像し、感謝の気持ちを忘れないことにある。適切な源泉の維持管理を怠ったり、闇雲な乱開発をしてしまったりする人間の傲慢さを自制し、温泉といかに共生していくか、その工夫と実践こそがこれからの温泉開発には不可欠になってくるだろう。

謝 辞

本稿を作成するにあたり、ご指導頂きました産業技術総合研究所の野田徹郎顧問を始め、親身になって査読して頂いた方々に深く御礼申し上げます。

引用文献

- 天野一男, 越谷 信, 高橋治之, 野田浩司, 八木下晃司 (1989): 棚倉破碎帯構造運動と堆積作用, 日本地質学会第 96 年学術大会見学旅行案内書, 55-86.
- 天野一男, 橋本 淳, 松原典孝 (2004): 棚倉破碎帯周辺の新第三系層序の再検討—男体山火山角礫岩の K-Ar 年代—, 日本地質学会第 111 年学術大会講演要旨, 66 p.
- 堀川亀雄 (2002): 平潟港温泉の熱源調査報告書, 茨城温泉開発株式会社, 水戸.
- 笠井勝美 (2008): 茨城の温泉と地質, 茨城温泉開発株式会社, 85 p., 水戸.
- 溝上 恵 (1985): 茨城県沖地震と広域地震活動との関連性について, 月刊 地球, 7, 85-92.
- 斎藤登志雄・笠井勝美・大森信義 (1995): 表層地質図, 大子・喜連川 5 万分の 1 地質図, 国土庁.
- 田切美智雄・青井亜紀子 (2005): 茨城県大子町栃原地域の第三系栃原流紋岩類の産状, 岩相と K-Ar 年代, 8, 1-11, 茨城県自然博物館研究報告, 板東.

(2008 年 9 月 26 日, 日本温泉科学会第 61 回大会にて発表)