

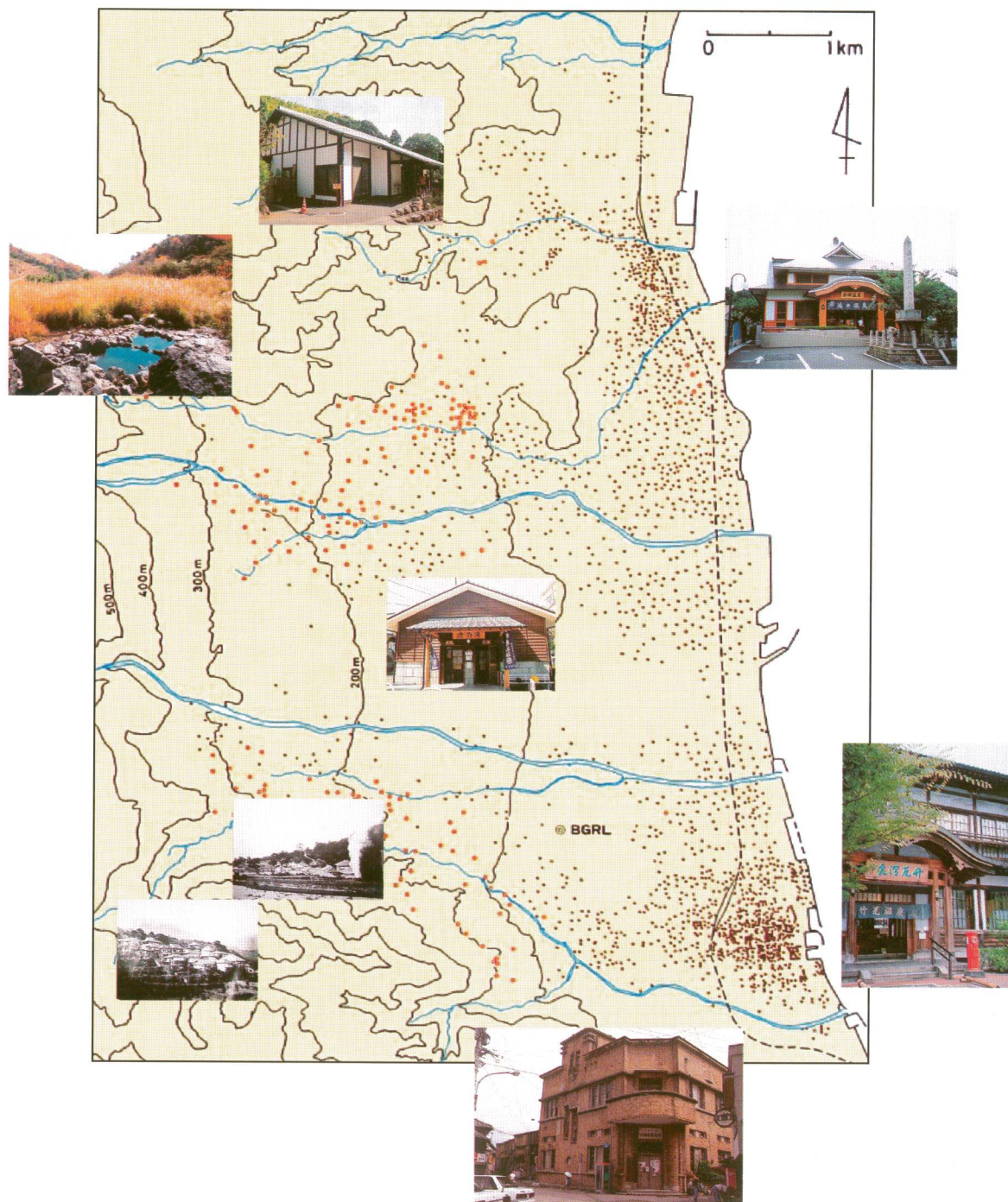
べっふの文化財

No. 39

平成20年3月

別府市の温泉

－開発の歩みと自然科学



別府市教育委員会
別府市文化財調査員

目 次

1. 開発のあゆみ	1
2. 地下温度分布と熱水の主な流動経路	6
3. 泉質の分布とでき方	7
4. 温泉水の起源と入れ替わる時間	9
5. 鶴見火山群の地下にある食塩型熱水	10
6. 別府温泉の生成モデル	10

※表紙の図について

赤点は沸騰泉・噴気

黒点は一般温泉です

別府市の温泉－開発の歩みと自然科学

1. 開発のあゆみ

【源泉数の変遷】

別府温泉は古来の自然湧出温泉や地獄などを核にして発展し、数多くの温泉井戸（源泉）が掘削された。最初の掘削は、明治12(1879)年とも明治22(1889)年とも伝えられるが（安部，1987）、ともかく、19世紀の終わりである。

これにより、能動的な温泉開発が始まった。明治30年代には、海岸に近い低地部（当時の浜脇町および別府町）を中心に多数の井戸が掘削され、温泉資源への影響が憂慮されるまでになって、大分県知事・大久保利武の依頼による温泉調査が行われた（松田，1905）。その報告書（P12～14に掲載）には、別府町に掘湯21、穿湯145、浜脇町に掘湯4、穿湯28、合計198ヶ所の源泉が挙げられている。

なお、掘湯とは、地面を掘り下げて湯槽を設け、その底から湯を湧き出させるものである。すなわち、当時の低地部では、地表すれすれまで「温かい不圧地下水」が流動していたのである。他方、穿湯とは、現在の掘削（ボーリング）井に当たるもので、同報告には「明治25年頃に別府町内に始まり」と記されている。

その後も掘削による温泉開発が進んだが、第一次および第二次世界大戦を始めとする多くの国際紛争や世界的な恐慌の影響を大きく受けて沈滞し、本格的な開発が行われだしたのは、第二次世界大戦終結後である。特に1960年代の経済高度成長期には、毎年100本前後の新規掘削が、およそ10年間継続して行われた。

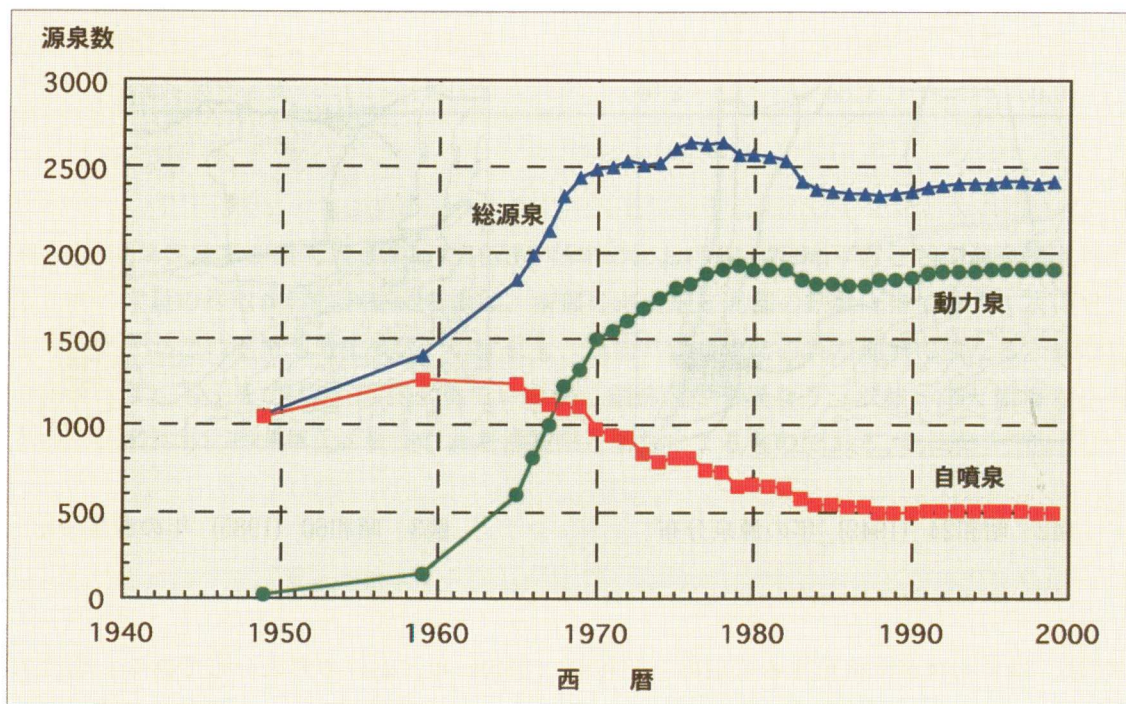


図1 利用源泉数の変遷

こうして、現在の別府市域で明治期以降に掘削された源泉数は3000を超えるにいたったが、廃棄されたものもあり、現在の源泉数は2800余、そのうち約2400が利用されている。図1には1949年から1999年までの利用源泉数の変遷を、その後2006年までの変遷は表1に掲げた。見られるように、別府における温泉開発は、1970年代に飽和状態近くまで達したようで、源泉数は、1980年代にやや減少した後、ほぼ一定である。なお、1965年以降の利用源泉数は別府市統計書によるものであり、それ以前のは京都大学地球物理学研究施設（現在、地球熱学研究施設）の資料による。

表1 近年の利用源泉数の変遷

西 暦	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
自 噴	500	501	501	500	500	498	498
動 力	1,914	1,917	1,914	1,913	1,912	1,914	1,913
計	2,414	2,418	2,415	2,413	2,413	2,413	2,418

【源泉分布の変遷】

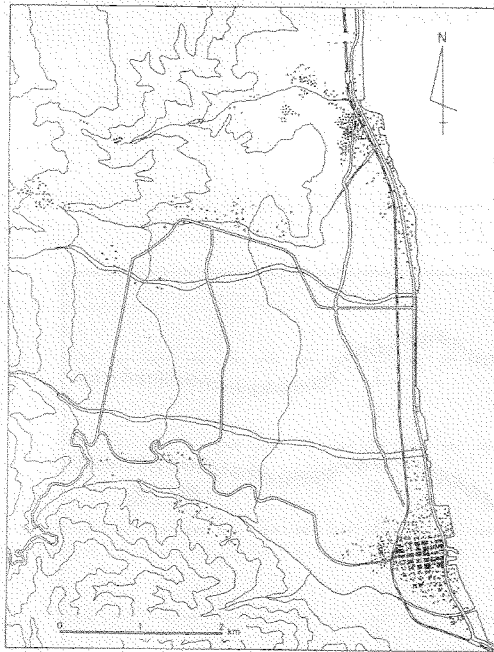


図2 昭和24 (1949) 年の源泉分布

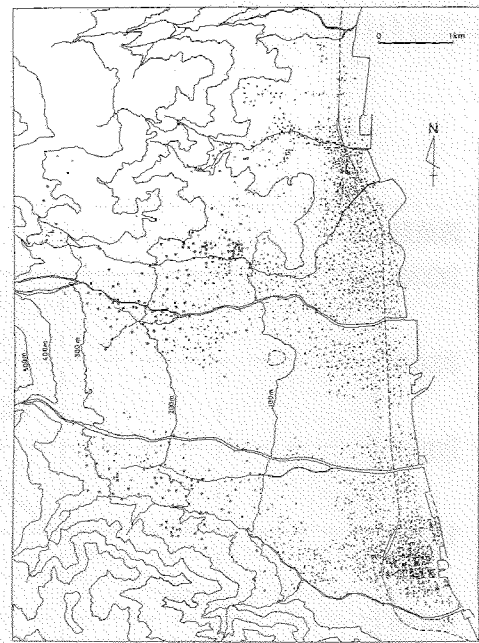


図3 昭和60 (1985) 年の源泉分布

図2は、温泉開発が本格化する直前の、昭和24 (1949) 年における源泉分布である。明治末期の分布と大きく違わないと考えられるが、当時の源泉分布は別府八湯それぞれの範囲と近傍に限られていた。この後、温泉開発が本格化し、それ以前には源泉の無かった地域でも掘削が行われて、源泉の分布範囲が広がった。昭和60 (1985) 年の分布 (図3) では、別府市の中央部を除いたほぼ全域に源泉が分布し、別府八湯の地理的区別がつきにくくなっている。特に堀田・観海寺・鶴見・鉄輪などの高

地部で源泉が増えたが、それらの多くは高温の沸騰泉や噴気である。

先に述べたように、1970年代以降の源泉数に大きな変動はなく、現在（2008年）源泉分布は、昭和60（1985）年のそれとあまり変わっていない。

【温泉採取水量の変遷と資源保護対策】

図1に明らかなように、1949年には、源泉のほとんど全てが自噴泉数であった。ところが、開発が進むにつれて、動力泉が出現し、その数は年を追うごとに増加した。他方、自噴泉数は1960年頃ピークに達した後、減少した。その結果、動力泉数は、源泉総数の約80%になっている。なお、動力装置はエアリフトが多い。

自噴泉については、1分間当たりの自噴量を一日当たりに換算し、動力泉については、1分間当たりの揚湯量と動力稼働時間（揚湯時間）を用いて一日当たりの揚湯量を求め、それらを総計して採取水量とし、その変遷を表2に掲げた。温泉開発が大きく進んだ1973-75年頃、採取水量はピークに達し、その後やや減じて、1985-87年頃には、1日当たり5万キロリットル程度となった。源泉総数および自噴泉・動力泉の割合からみて、現在（2008年）も、ほぼ同量と思われる。この量は、別府市の上水道の給水量に匹敵する。

なお、統計に用いた動力泉の揚湯時間は1975年頃に推定されたもので、自家用が約3時間、公共用が約8時間である。

表2 温泉採取量の変遷（単位：1000キロリットル／日）

時期：西暦	1924	1949	1959-61	1973-75	1985-87
境川以南	16.3	18.8	18.4	23.0	19.5
境川以北	?	18.4	21.8	33.7	30.5
全 域	?	37.2	40.2	56.7	50.0

図4は、温泉採取量が最も大きかった1973～75年頃における、250m平方ごとの温泉採取量の分布である。特に大量の採取が行われているのは、南部の市街地と北部の鉄輪一帯であり、次いで、南部の観海寺一帯と北部の亀川地域が多い。いずれも、別府八湯に数えられた地域に当たる。採取熱量の分布（掲載せず）も、その大略は図3に似ているが、細部はやや異なり、鉄輪一帯と観海寺一帯が特に大きい。いずれも、1960年代に開発された沸騰泉・噴気によるものである。

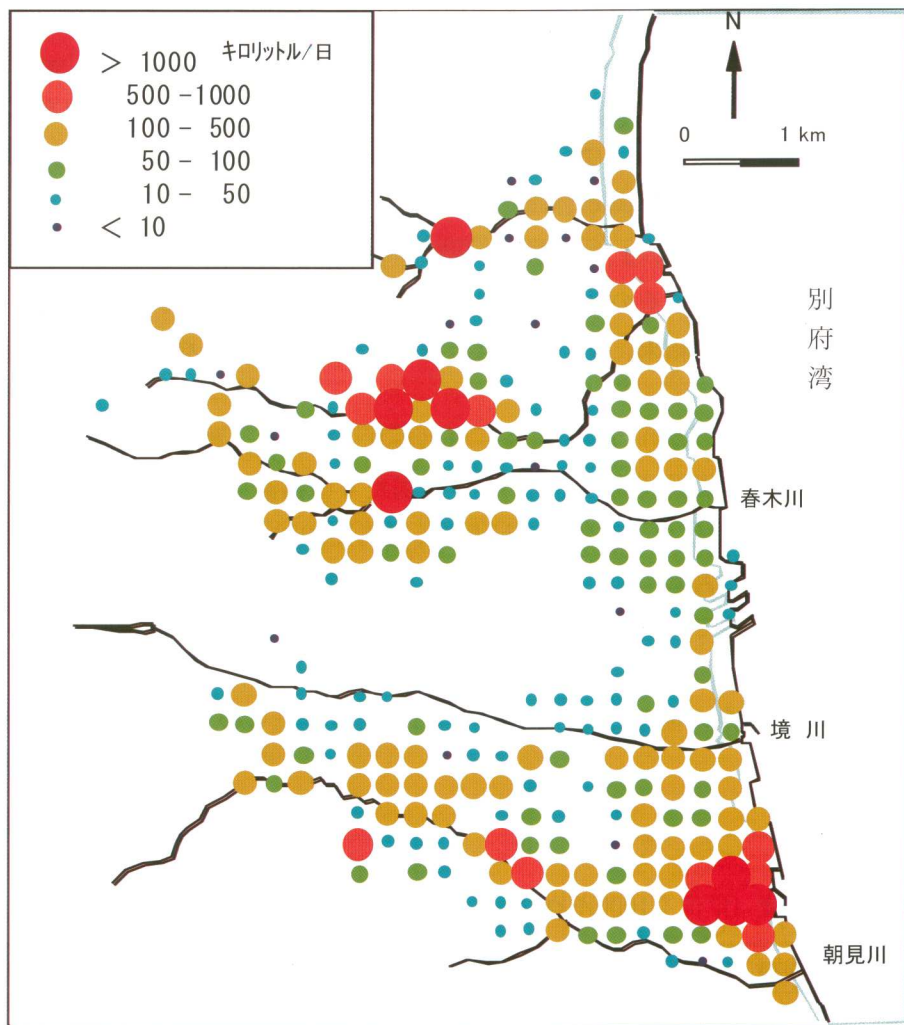


図4 250m平方毎の温泉採取量の分布

自噴泉の減少は、地下における温泉水圧が、源泉開発の影響を受けて、低下したことを意味する。この減少傾向は、1980年頃まで進んだが、その後は目立たなくなり、表1にも見られるように、自噴泉数はほとんど不変の状態が続いている。すなわち、温泉水圧低下の傾向に歯止めがかかっている。

大分県では、大分県環境審議会（温泉部会）の内規により、源泉掘削や揚湯量などに規制を設けて、温泉資源の保護に努めているが、その効果が現れているものと思われる。表3には、内規の概要を掲げた（地域指定は別府市のみ）。

表3 大分県温泉掘削等許可審議基準一覧 (抜粋)

地域指定

地域区分	保護基準の内容	保護地域名等	制定年
特別保護地域	原則として新規の掘削を認めない (代替掘削を除く)	別府市南部特別保護地域 別府市亀川特別保護地域 別府市鉄輪特別保護地域	昭和43年
保護地域	既存泉から100m以内の新規掘削を認めない (代替掘削を除く)	別府市南部保護地域 別府市北部保護地域	昭和47年 昭和48年
一般地域	既存泉から60m以内の新規掘削を認めない (代替掘削を除く)	上記以外の全域	昭和43年

※上記のうち、既存泉が噴気・沸騰泉の場合は、150m以内の新規掘削を認めない。

埋設管の口径基準

温泉口の区分	使用目的	埋設管の口径	制定年
温泉	公共浴用の場合	50mm以内	昭和43年
	自家浴用の場合	40mm以内	昭和43年
噴気・沸騰泉		80mm以内	昭和47年

動力装置設置における揚湯量基準

温泉ゆう出量	1分間50リットル以内(50リットルを超えるものは個別に審議)	昭和43年
--------	---------------------------------	-------

【別府温泉の諸元】

以上のような経過をたどって、別府温泉は全国一の大規模な温泉地となった。表4には、全国の温泉と比較して、諸元を掲げた。東西約5km、南北約8km%の狭い範囲に、全国の約10%の源泉が存在し、大量の温泉水が採取されている(自噴量2.7%、動力揚湯量4.1%)。加えて、泉温が42℃以上の高温源泉は全国の16%、特に高温の沸騰泉・噴気にいたっては30%を占めており、温度が高いことが特筆される。

ところで、一源泉当たりの採取量であるが、別府を除く全国平均値は、自噴泉が109リットル/分、動力泉が約105リットル/分である。これに対し、別府では、自噴泉が約34リットル/分、動力泉では約37リットル/分と、いずれも半分以下である。すなわち、個々の源泉の規模は小さい。この注目すべき特徴は、自家用源泉を主体とした温泉の開発・利用の方式を反映している。同様の特徴は大分県全体についても認められる。

表4 別府温泉の諸元：平成18(2006)年3月末現在 (全国の温泉地数：3,162)

	全 国	別 府	利用源泉のみ (別府)
源泉総数	27,866	2,843	2,418
自噴泉数	8,115	664	498
動力泉数	19,751	2,179	1920
自噴量 (リットル/分)	831,640	22,741	15,520
動力揚湯量 (リットル/分)	1,929,660	80,124	80,014
高温源泉数	13,294	2,128	
噴気・沸騰泉数	1,162	347	

2. 地下温度分布と熱水的主要流動経路

3000本を超える源泉掘削によって、地下温度に関するデータが蓄積された。図5の曲線群は、それらのデータに基づいて描かれた、海面下100メートルでの等温線である。北部の明礬から海岸に至る地帯と南部の堀田から海岸に至る地帯に、それぞれ高温部が認められる。古くからの温泉徴候地であった別府八湯（北部の明礬・鉄輪・柴石・亀川、南部の堀田・観海寺・別府・浜脇）は、これらの高温部に沿って分布している。

これら二筋の高温部は、別府地域の代表的な断層でもあり、別府温泉を涵養する高温の食塩型温泉水の流路となっている。北の高温部は、西（伽藍岳）から東（海岸）へと、ほぼ直線的である（亀川断層）。他方、南の高温部は、堀田・観海寺辺りまでは北西から南東向きであるが（朝見川断層）、乙原辺りでは向きを北東方向に転じ、さらに天満町付近で南東方向に転じている。熱水の流動方向を変えるような未知の断層が、地下に埋没しているものと考えられる。

別府市の中央部には、もともと温泉の自然徴候は存在しなかった。これは、図5に明らかなように、南北の高温部（熱水の流路）から離れているためである。現在は、海岸域に掘削された源泉が存在するが、他地域より深く掘削する必要があり、また、比較的低温である。

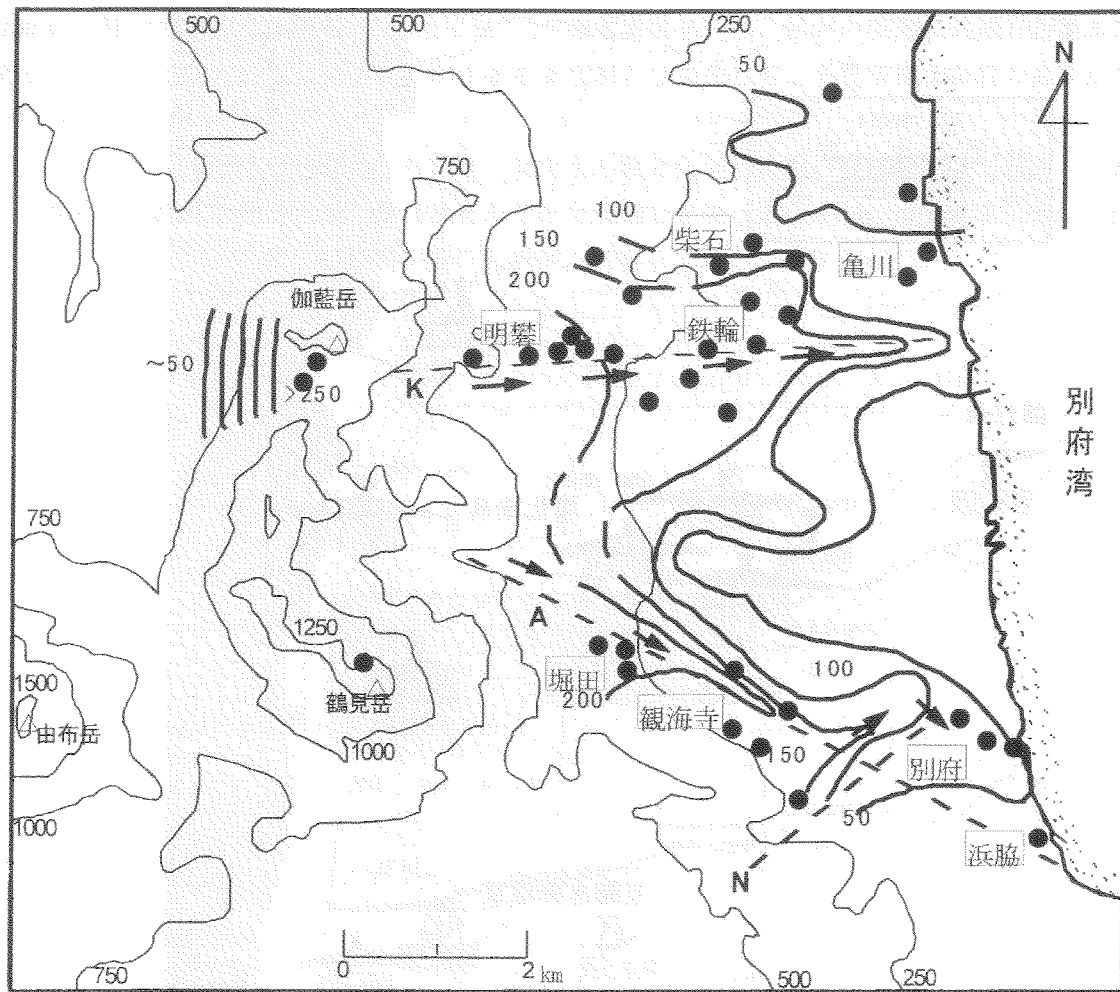


図5 海面下100mでの地温分布と自然温泉徴候地 (●) および別府八湯
 → は、高温の食塩型温泉水の流動方向を示す。
 破線Nは推定される埋没断層である。

3. 泉質の分布とでき方

図6には、主要成分の濃度を図形で表したヘキサダイアグラム (六角形の図) によって、1970年頃の泉質分布の大要を示した。大きい図形ほど成分濃度が高い。ヘキサダイアグラムの型が似ているものは、互いに泉質が似ている。図には、代表的なヘキサダイアグラムの傍に、その泉質の型「塩化物泉」「炭酸水素塩泉」「酸性泉」を記入した。

北の高温部 (鉄輪・小倉から照波園) と南の高温部 (観海寺から天満町) に分布している「塩化物泉」は、いわゆる食塩泉である。同様の化学組成の高温熱水 (食塩型熱水) が鶴見岳-伽藍岳の地下深部に存在し、それが断層に沿って流動して、別府温泉を涵養している。

なお、南東隅 (浜脇) に見られる、ひときわ濃度の高い「塩化物泉」は、地下温泉水圧の低下に伴って、海水が混入したものである。

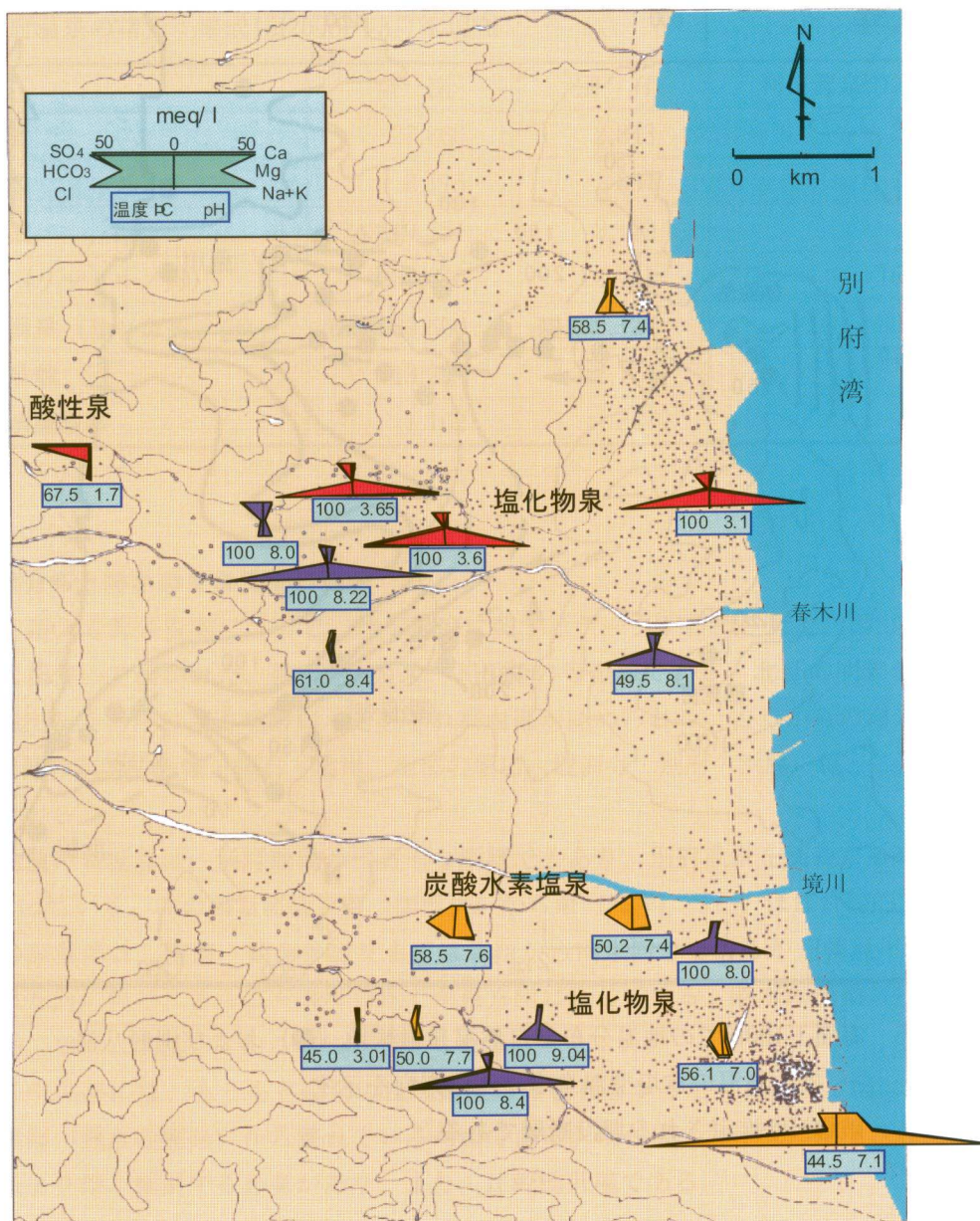


図6 昭和45 (1970) 年頃の泉質分布の概要

高温の食塩型熱水からは、その流動途中に、蒸気が分離して地表に向かって上昇する。蒸気中には、硫化水素や二酸化炭素（炭酸ガス）が含まれている。鍋山や明礬の蒸気が、これに当たる。

明礬で湧出する酸性泉は、蒸気中の硫化水素が酸化されて硫酸が生じたことによる。この温泉水は、地下を流動するとき岩石類からナトリウムなどの金属成分を溶かしだし、「硫酸塩泉」になる。

境川沿いには、「炭酸水素塩泉」が分布している。これは、蒸気中の炭酸ガスから生じた炭酸水が、岩石類からナトリウムなどの金属成分を溶かしだして、できたものである。

上記の三種の泉質「塩化物泉」「硫酸塩泉」「炭酸水素塩泉」は、世界の温泉に共通した基本的な泉質である。別府では、これらと地下水とがさまざまな割合で混合して、多種多様な泉質の温泉が生じた。図7は、その模式図である。

他方、温泉水が流動する地層の岩石類は、温泉水の熱と化学的性質の作用を受けて変質し、粘土化する。温泉水が強酸性の場合、岩石類はほとんどの金属成分を失って、オパール化する。かつて伽藍岳では、オパール成分（ケイ酸）の純度が高いものが、別府白土として採掘されていた。

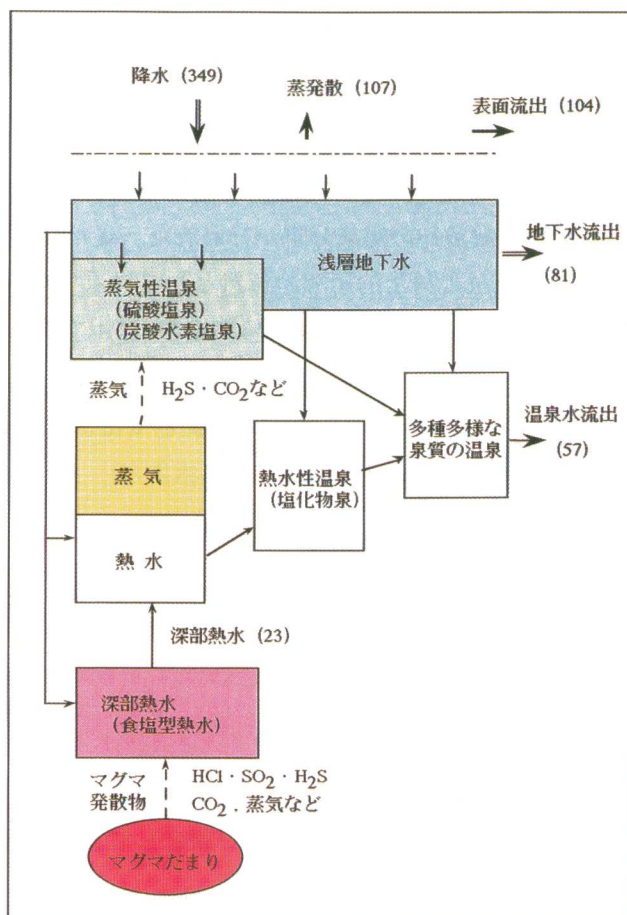


図7 泉質形成の概念

数字は、別府における、それぞれの水の流量 (1000キロリットル/日)

4. 温泉水の起源と入れ替わる時間

温泉の水そのものは、近年の研究によって、降水（天水）起源であることが明らかになった。表5および図7中の数値は、別府流域における降水のゆくえ（水収支）である。温泉水としての流出量（生成量）は降水量の約16%に当たり、別府地域では非常に効率よく温泉が生成されていると言える。また、別府流域の地下に存在する温泉水が入れ替わる時間は、平均して約50年である。

表5 別府流域の水収支 (単位：1000キロリットル/日)

入 力		出 力	
降 水	349	蒸発散	107
		表面流出	104
		地下水流出	138
		浅層地下水	81
		温泉水	57
合 計	349	合 計	349

5. 鶴見火山群の地下にある食塩型熱水

公共用の温泉では、化学分析結果を始めとする源泉の情報を、施設の見やすいところに掲示することが義務づけられており、そのために数多くの温泉分析が行われた。長年にわたって蓄積されたデータは、別府温泉の財産であるとともに、温泉の科学的研究の資料として貴重である。膨大なデータを用いて推定された、鶴見火山群の地下に存在する食塩型熱水の特性を表6に示す。この熱水によって、別府温泉は涵養されている。水そのものは、古い降水である。

表6 鶴見火山群の地下にある食塩型熱水の特性

温度	250~300℃
塩化物イオン濃度	1400~1600 ppm

6. 別府温泉の生成モデル

これまでに述べてきたことをまとめて、温泉生成のモデルを図8に示す。この図は、地熱・温泉活動がとくに活発で、硫酸酸性の温泉水が分布する北部域を対象としており、蒸気中の主要なガスは硫化水素である。

他方、現在の南部域には、硫酸酸性の温泉水は存在せず、代わりに炭酸水素塩泉が広く分布している。すなわち、二酸化炭素（炭酸ガス）が重要な役割を担っている。

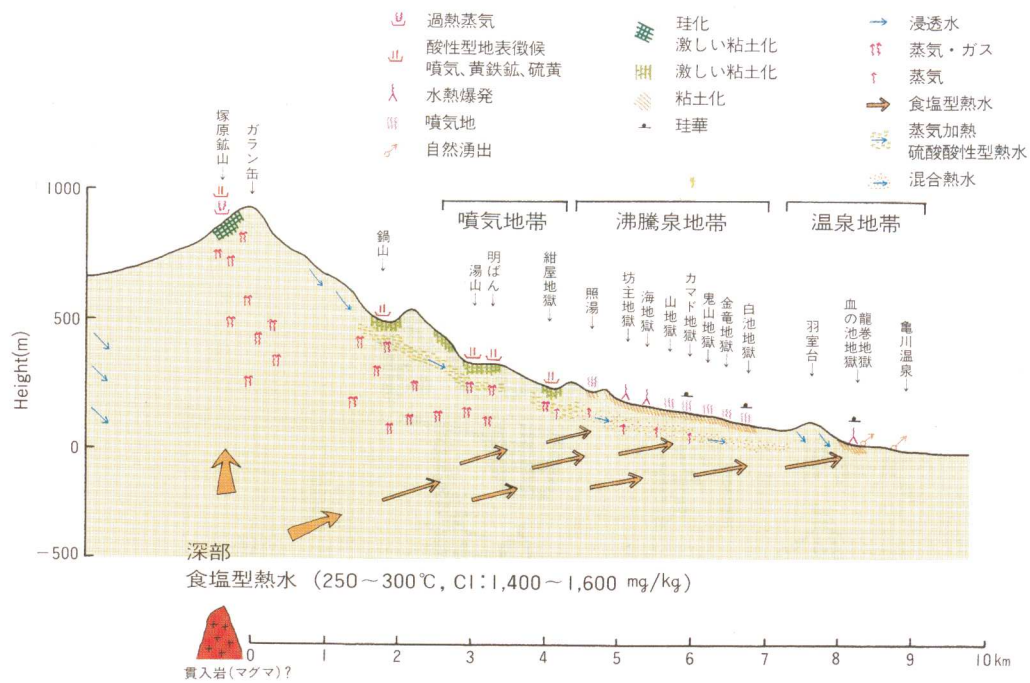


図8 伽藍岳から海岸にいたる温泉生成に関するモデル
(京大地球熱学研究施設要覧より)

別府
浜脇町
礦泉
ニ
關スル
取調
書類

付圖面袋入士旦

明治八年三月調、係合

大分縣速見郡別府濱坂兩地方ヲ初メ其附近ノ温泉
 地ニ於テ近來所々ニ穿井ヲ試ミ温泉ヲ湧出セシムルニ至リ
 テヨリ温泉ノ數ハ頓ニ増加シ來リ現時別府濱坂兩地
 内ノミニテモ温泉湧出ノ箇所百九十餘ノ多キニ達シ尚漸
 次其數ヲ増加スルノ傾向アルヨリシテ同地方ノ泉源ニ支障
 ヲ及ボシ或ハ白來ノ温泉ニ影響ヲ及ボサル哉ノ憂虞ヲ
 生セシムルニ至レリ過日此件ニ係ル調査ヲ措者ハ依托セラレ
 幸ニシテ貴縣技手姫野馳男全伊丹賢平兩氏ノ助勢
 ニ預リ客月十六日ヨリ踏査ヲ初メ今月末ニ調査ヲ終了セ
 リ素ヨリ此間題タルヤ至難ノ事ニシテ短日ノ調査ヲ以テ
 之ヲ解決スルハ容易ニアラスト虽モ調査中ニ得タル事實

ト粵見トヲ合セ大分縣別府四近温泉調査報告ト
シテ及報告候也

明治廿八年三月廿八日

鑛山監督官 松田 繁

大分縣知事 大久保利武殿

参考文献

- *安部 巖 (1987) : 別府温泉湯治場大辞典、創思社出版、330 P.
*松田 繁 (1905) : 大分県別府四近温泉調査報告、大分県知事
大久保利武宛の報告書「別府・浜脇町鉱泉に
関する取調書類」
- *大分県子厚生部 (1970) : 大分県鉱泉誌
*別府市 (1985) : 別府市誌
(2003) : 別府市誌
: 別府市統計書
- *大分県温泉調査研究会(1999) : 50年のあゆみ
(2006) : 大分県鉱泉誌 (第1集・第2集)

執筆者

別府市文化財調査員 (温泉地質部門) 由佐 悠紀

べっぶの文化財 No.39

発行・編集 平成20年3月31日
別府市教育庁生涯学習課

編 集 別府市文化財調査員

印 刷 株式会社プリメディア