

肥後熊本学

肥後の温泉科学

第2回 温泉の定義と基本的分類

熊本大学大学院先端科学研究部 横瀬久芳

目次

1. 療養泉の地域性（県北、中央部、人吉・球磨、県南）
2. 温泉とは何か？
（温泉法と鉱泉分析指針）
 1. 温泉の分類方法（療養泉）
 2. 温泉の起源（ δ ダイアグラム）
 3. 火山性温泉と非火山性温泉（地下増温率）

温泉とは何か？

- 温泉法(昭和二十三年法律第百二十五号)

第一章 総則

(目的)

第一条 この法律は、温泉を保護し、温泉の採取等に伴い発生する可燃性天然ガスによる災害を防止し、及び温泉の利用の適正を図り、もつて公共の福祉の増進に寄与することを目的とする。

(定義)

第二条 この法律で「温泉」とは、地中からゆう出する温水、鉱水及び水蒸気その他のガス(炭化水素を主成分とする天然ガスを除く。)で、別表に掲げる温度又は物質を有するものをいう。

2. この法律で「温泉源」とは、未だ採取されない温泉をいう。

<関連する情報>

☆逐次解説 温泉法 平成27年6月

(温泉法に関する解説)

☆鉱泉分析法指針(平成26年改訂)

細かな規定や分析法などが定められている
温泉法を運用する上でのガイドライン

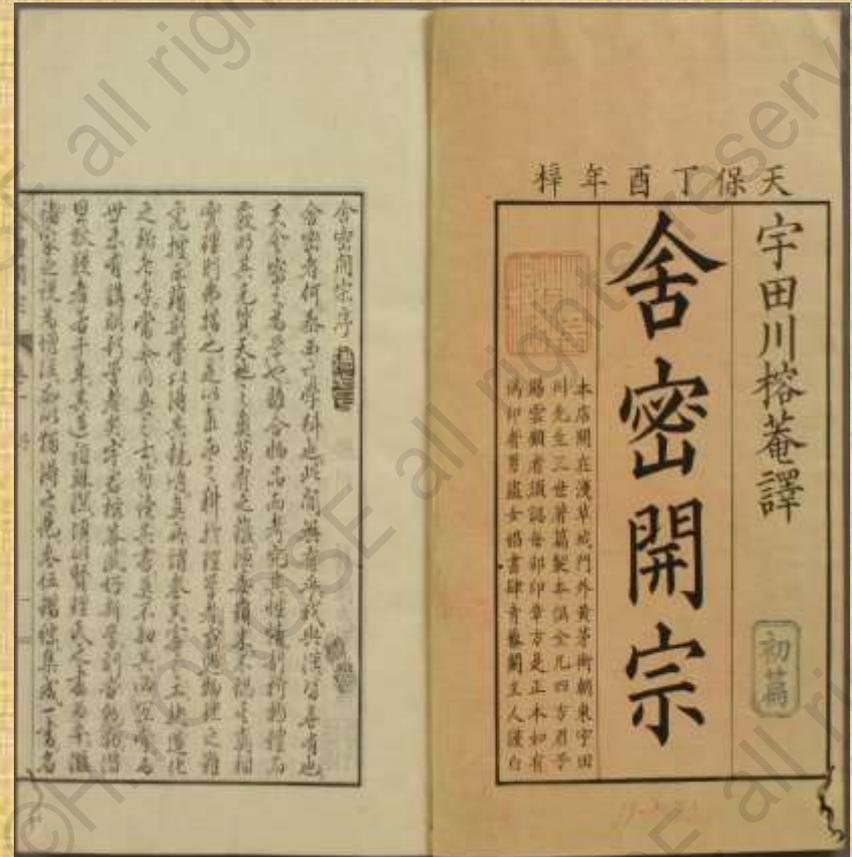
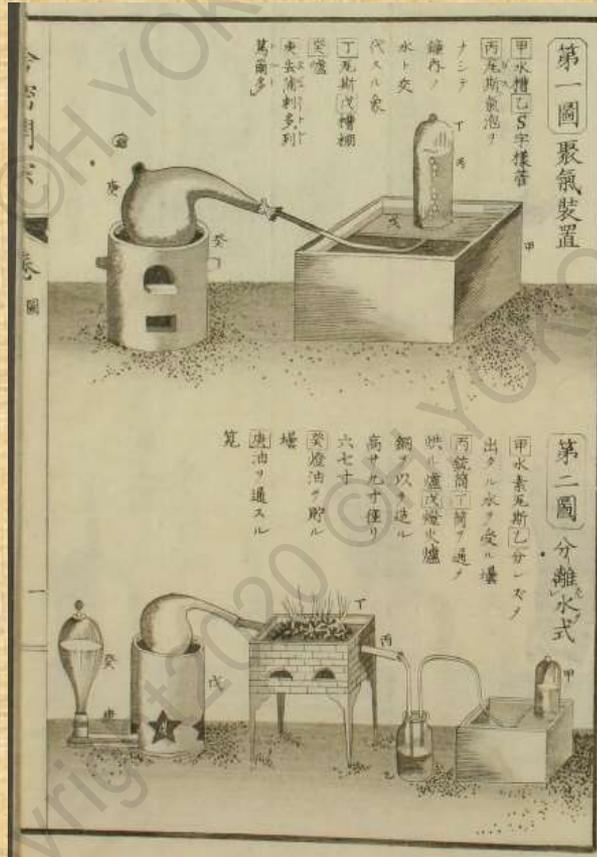
「温泉法」に至る歴史と閾値

日本および世界の化学史 — 発明・発見と初事業化および主要企業の創業を中心として —

年 元号	時代の 大きな流れ	日本の化学関連の動き	世界の化学関連の動き	社会一般
<江戸時代>				
1774 天明3		<h3>宇田川</h3>   <p>宇田川権庵 舎密開宗</p>	<ul style="list-style-type: none"> (仏)ラヴォアジエ、質量保存の法則を発見。近代化学の父と称される ⇒ 錬金術から産業としての「化学」へ 	<ul style="list-style-type: none"> 杉田玄白ら「解体新書」刊行
1791 享和3			<ul style="list-style-type: none"> (仏)ルブラン、炭酸ナトリウムの工業的製法を開発 (ルブラン法) 	<ul style="list-style-type: none"> A.L.ラヴォアジエ アメリカ独立宣言 (1776)
1802 享和2			<ul style="list-style-type: none"> (米)デュボン社、黒色火薬の製造で創業 	
1828 文政11			<ul style="list-style-type: none"> (独)ヴェーラー、尿素合成に成功 ⇒ 世界初の有機物の合成 	 <ul style="list-style-type: none"> 大塩平八郎の乱
1837 天保8	海外の化学情報の流入	<ul style="list-style-type: none"> 宇田川権庵著「舎密開宗」(せいみかいそう) 刊行はじまる (~ 1847)。日本最初の化学書 	<ul style="list-style-type: none"> (英)パーキン、石炭から世界初の合成染料モープ (アニリン系) を合成 ⇒ 石炭化学の工業化 	<ul style="list-style-type: none"> ロンドンで第1回万国博覧会 (1851)
1856 安政3			<ul style="list-style-type: none"> (英)ウィリアムス、天然ゴムの主成分を単離し、「イソプレン」と命名 	<ul style="list-style-type: none"> 横浜開港
1859 安政6		<ul style="list-style-type: none"> 松本良順編「朋百舎密書」(ほんへせいみしょ) 刊行。オランダ人軍医ボンベの講義を筆記した最初の化学講義録 		
1860 万延元		<ul style="list-style-type: none"> 川本幸民の翻訳本「化学新書」刊行 ⇒ 化学を冠した初の書籍 		<ul style="list-style-type: none"> アメリカ南北戦争 (1861 ~ 1865)
1861 文久元		<ul style="list-style-type: none"> 番書調所内に精錬方発足 (東京大学化学科の発祥)。1865年精錬方を化学所と改称 		
1863 文久3			<ul style="list-style-type: none"> (独)バイエル社およびヘキスト社、染料の製造で設立。65年BASF社、染料等の製造で設立 	
1866 慶応2			<ul style="list-style-type: none"> (ベルギー)ソルベー、アンモニアソーダ法を工業化 (ソルベー法) (スウェーデン)ノーベル、ダイナマイトを発明 	 <ul style="list-style-type: none"> エルクスト・ソルベー
<明治時代>				
1868 明治元			<ul style="list-style-type: none"> (米)ハイアット兄弟、セルロイドを発明 	<ul style="list-style-type: none"> 明治維新

(日本化学工業協会) https://www.nikkakyo.org/sites/default/files/documentDownload_8.pdf

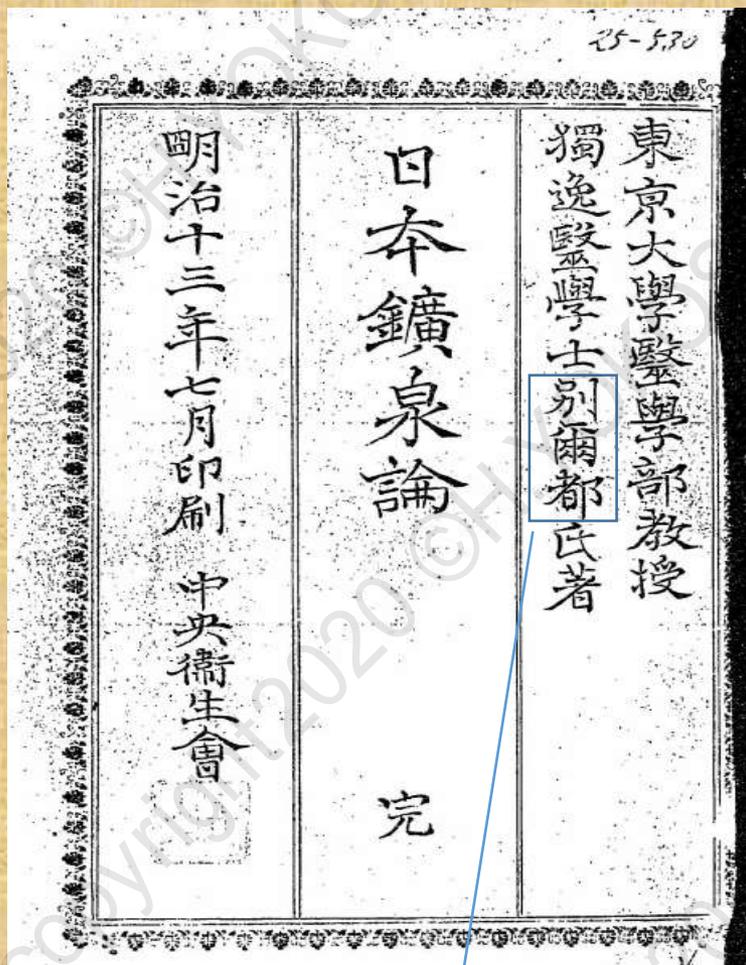
宇田川榕菴 (Udagawa Yoan) 翻訳: 「舎密開宗」



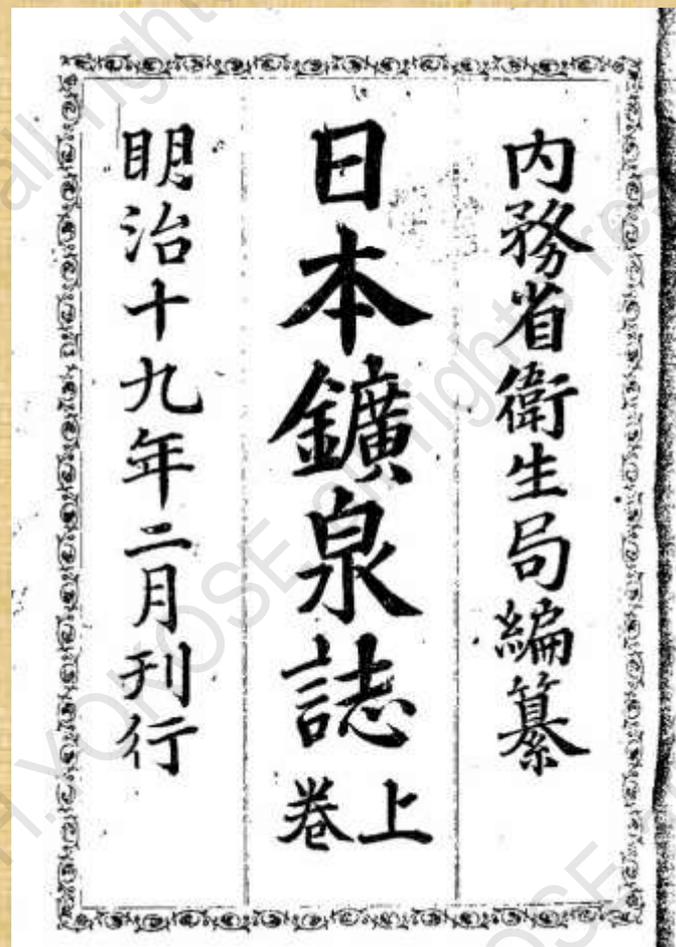
早稲田大学図書館 (Waseda University Library)

イギリスの化学者ウィリアム・ヘンリー (1799): *Elements of Experimental Chemistry*

西洋文化を取り入れた温泉療養



ドイツの研究者ベルツを招聘



国内における温泉データの集約

温泉の分類における基準値の由来

Table 1 ナウハイム決議・温泉法別表・療養泉(1kg水中).

A 通用しているナウハイム決議のMWの限界値(1911年)		温泉法第2条別表に示されている限界値(1948年法律第125号)			
成分	限界値	B 鉱泉 (常水と区別する限界値)		C 療養泉	
温度	+20℃	温度	25℃以上	温度	25℃
全ミネラル成分	1g	溶存物質(ガス性のものを除く)総量	1,000mg以上	溶存物質(ガス性のものを除く)総量	1000mg以上
リチウム(Li ⁺)	1mg	遊離二酸化炭素(CO ₂), 遊離炭酸	250	銅イオン(Cu ²⁺)	1
ストロンチウム(Sr ²⁺)	10	リチウム(Li ⁺)	1	総鉄イオン(Fe ²⁺ +Fe ³⁺)	20
バリウム(Ba ²⁺)	5	ストロンチウム(Sr ²⁺)	10	アルミニウムイオン(Al ³⁺)	100
鉄(Fe ²⁺ またはFe ³⁺)	10	バリウム(Ba ²⁺)	5	水素イオン(H ⁺)	1
臭化物(Br ⁻)	5	総鉄イオン(Fe ²⁺ +Fe ³⁺)	10	ヨウ素イオン(I ⁻)	10
ヨウ化物(I ⁻)	1	マンガン(II)イオン(Mn ²⁺)	10	総ヒ素(Asとして)	0.7
フッ化物(F ⁻)	2	第一マンガンイオン		総硫黄(S) [HS ⁻ +S ₂ O ₃ ²⁻ +H ₂ Siに相当するもの]	2
ヒ酸水素(HAsO ₄ ⁻) または メタ亜ヒ酸(HAsO ₃ ⁻)	1.3	水素イオン(H ⁺)	1	ラドン(Rn)	30 × 10 ⁻¹⁰
全硫黄S(水素硫黄HS ⁻ +チオ硫酸+硫化水素)	1	臭素イオン(Br ⁻)	5		キュリー単位以上 (8.25マッヘ単位以上)
ホウ酸(メタ)(HBO ₂)	5	ヨウ素イオン(I ⁻)	1		
二酸化炭素(CO ₂)	250	フッ素イオン(F ⁻)	2		
アルカリ度(狭義) 4mval NaHCO ₃ に相当	340	ヒ酸水素イオン(HAsO ₃ ⁻)	1.3		
ラジウムエマナチオン	3.5 マッヘ単位	ヒドロヒ酸イオン ₄ メタ亜ヒ酸イオン(HAsO ₃ ⁻)	1		
		総硫黄 [HS ⁻ +S ₂ O ₃ ²⁻ +H ₂ Siに 対応するもの]	1		
		メタホウ酸(HBO ₂)	5		
		メタケイ酸(H ₂ SiO ₃)	50		
		炭酸水素ナトリウム (重炭酸ソーダ: NaHCO ₃)	340		
		ラドン(Rn)	20 × 10 ⁻¹⁰ キュリー単位以上		
		ラジウム塩(Raとして)	1 × 10 ⁻⁵ mg以上		

25℃の由来は年平均気温が高い(台湾の南端部の値; 戦前日本の領土)ためである。

堀内 (2000)

化学組成に基づく温泉の分類は、明治時代から受け継がれている。

鉱泉の定義

第1-1表 鉱泉の定義(常水と区別する限界値)

1. 温度(源泉から採取されるとき温度)摂氏 25 度以上
2. 物質(下記に掲げるもののうち、いずれかひとつ)

物質名	含有量(1 kg 中) mg 以上
溶存物質(ガス性のものを除く)*1	総量 1 000
遊離二酸化炭素(CO ₂)(遊離炭酸)	250
リチウムイオン(Li ⁺)	1
ストロンチウムイオン(Sr ²⁺)	10
バリウムイオン(Ba ²⁺)	5
総鉄イオン(Fe ²⁺ +Fe ³⁺)*2	10
マンガン(II)イオン(Mn ²⁺) (第一マンガンイオン)	10
水素イオン(H ⁺)	1
臭化物イオン(Br ⁻)	5
ヨウ化物イオン(I ⁻)	1
フッ化物イオン(F ⁻)	2
ヒ酸水素イオン(HAsO ₄ ²⁻)*3 (ヒドロヒ酸イオン)	1.3
メタ亜ヒ酸(HAsO ₂)*3	1
総硫黄(S)[HS ⁻ +S ₂ O ₃ ²⁻ +H ₂ S に対応するもの]*4	1
メタほう酸(HBO ₂)*5	5
メタけい酸(H ₂ SiO ₃)*6	50
炭酸水素ナトリウム(NaHCO ₃)*7 (重炭酸そうだ)	340
ラドン(Rn)*8	20×10 ⁻¹⁰ Ci=74 Bq 以上 (5.5 マッヘ単位以上)
ラジウム塩(Ra として)	1×10 ⁻⁸ mg 以上

温泉法にいう「温泉」は、鉱泉の他、地中より湧出する水蒸気およびその他のガス(炭化水素を主成分とする天然ガスを除く)を包含する定義である。鉱泉は、温泉法第2条別表に従い、常水と区別する(第1-1表)。鉱泉のうち、特に治療の目的に供し得るものを療養泉とし、第1-2表により定義する。

鉱泉分析表指針(平成26年改訂)

第1-2表 療養泉の定義

1. 温度(源泉から採取されるときの温度)摂氏25度以上
2. 物質(下記に掲げるもののうち、いずれかひとつ)

物質名	含有量(1 kg中)
	mg以上
溶存物質(ガス性のものを除く)	総量 1 000
遊離二酸化炭素(CO ₂)	1 000
総鉄イオン(Fe ²⁺ +Fe ³⁺)	20
水素イオン(H ⁺)	1
よう化物イオン(I ⁻)	10
総硫黄(S)[HS ⁻ +S ₂ O ₃ ²⁻ +H ₂ Sに対応するもの]	2
ラドン(Rn)	30×10 ⁻¹⁰ Ci=111 Bq以上 (8.25 マッヘ単位以上)

その他の温泉区分

泉 *温		例えば			
温泉 {	冷鉱泉	25 °C未満	等張性	中性	高温泉
	低温泉	25 °C以上 34 °C未満			
	温泉	34 °C以上 42 °C未満	液性	泉	
	高温泉	42 °C以上			
			浸透圧		温
	液性				
酸性	pH 3 未満				
弱酸性	pH 3 以上 6 未満				
中性	pH 6 以上 7.5 未満				
弱アルカリ性	pH 7.5 以上 8.5 未満				
アルカリ性	pH 8.5 以上				

	溶存物質 (ガス性のものを除く) mg/kg	凝固点
低張性	8 000 未満	-0.55 °C以上
等張性	8 000 以上 10 000 未満	-0.55 °C未満 -0.58 °C以上
高張性	1 000 0 以上	-0.58 °C未満

*: ちなみに海外では、120°C未満をhot water(温泉)と呼び、120°C以上をgeothermal water(地熱水)と呼んでいるようだ。

温泉の成分表の読み方

成分表 (浴用その1)							
1 温泉山名:	菊池市酒木町田島640-2						
2 泉質:	ナトリウム-炭酸水素塩温泉(低強性中性高温泉)						
3 泉温:	43.9℃						
4 温泉の成分:	下記のとおり						
溶解成分計				2224.6 mg/kg			
陽イオン	mg/kg	m. Val	m. Val%	陰イオン	mg/kg	m. Val	m. Val%
ナトリウムイオン(Na ⁺)	581.1	25.28	92.61%	炭酸水素イオン(HCO ₃ ⁻)	1306.0	22.9	80.10%
カルシウムイオン(Ca ²⁺)	27.3	0.70	2.56%	塩素イオン(Cl ⁻)	139.0	5.33	18.64%
カルシウムイオン(Ca ²⁺)	14.0	0.70	2.56%	硫酸イオン(SO ₄ ²⁻)	6.4	0.34	1.18%
マグネシウムイオン(Mg ²⁺)	4.6	0.98	1.86%	臭素イオン(Br ⁻)	0.6	0.01	0.03%
リチウムイオン(Li ⁺)	1.1	0.18	0.58%	硫酸水素イオン(HS ⁻)	0.3	0.01	0.03%
アンモニウムイオン(NH ₄ ⁺)	1.3	0.07	0.28%	硫酸イオン(SO ₄ ²⁻)	0.3	0.01	0.02%
ストロンチウムイオン(Sr ²⁺)	0.4	0.01	0.03%				
鉄(II)イオン(Fe ²⁺)	0.2	0.01	0.03%				
陽イオン計	830.0	27.31	100.00%	陰イオン計	1594.6	28.61	100.00%
遊離成分							
非溶解成分	mg/kg	m. Mol	濃度換算	mg/kg	m. Mol	イオン含有量	
メタホウ酸(H ₂ BO ₃)	88.0	1.51	遊離メタホウ酸	93.1	2.12	0.90 × 10 ⁻¹⁰ Gi/Kg	
メタケイ酸(H ₂ SiO ₃)	85.5	0.84	遊離メタケイ酸	0.2	0.01	イオン濃度 2.72 M-E/Kg	
非溶解成分計	173.5	2.35	遊離成分計	93.3	2.13	pH7.3	
溶解成分計	2356	mg/kg	成分総計	2449	mg/kg	電気伝導率 0.271 S/m(25℃)	
その他微量成分	銅イオン:0.01mg/Kg未満 鉛:0.01mg/Kg未満 亜鉛:0.01mg/Kg未満 銀:0.01mg/Kg未満 総水銀:0.0005mg/Kg未満						

高温泉: 25℃以上なので温泉の定義をクリアー

溶存成分が1000mg/kgなので温泉の定義をクリアー

主要な陽イオン
ナトリウムイオン

主要な陰イオン
炭酸水素イオン

ミリバル: ミリグラム等量
14mg ÷ 40.08(原子量) ÷ 2(価数)
= 0.7mEq(ミリグラム等量)

ミリバル%:
0.7 ÷ 27.31 * 100 = 2.56% mEq%

遊離成分: 気体などとして存在
非溶解成分: イオン化していない成分

水素イオン濃度指数

療養泉の分類方法(抜粋)

(1) 塩類泉

溶存物質(ガス性のものを除く)が1000mg/kg以上のものを陰イオンの主成分に従い次のとおり分類する。

- 1) 塩化物泉(Cl^-)
- 2) 炭酸水素塩泉(HCO_3^-)
- 3) 硫酸塩泉(SO_4^{2-})

(2) 単純温泉

溶存物質(ガス性のものを除く)が1000mg/kgに満たないもので、泉温が 25°C 以上のものを単純温泉という。

(3) 特殊成分を含む療養泉(表参照)

単純(特殊成分)温泉 二種類以上の場合は表の順

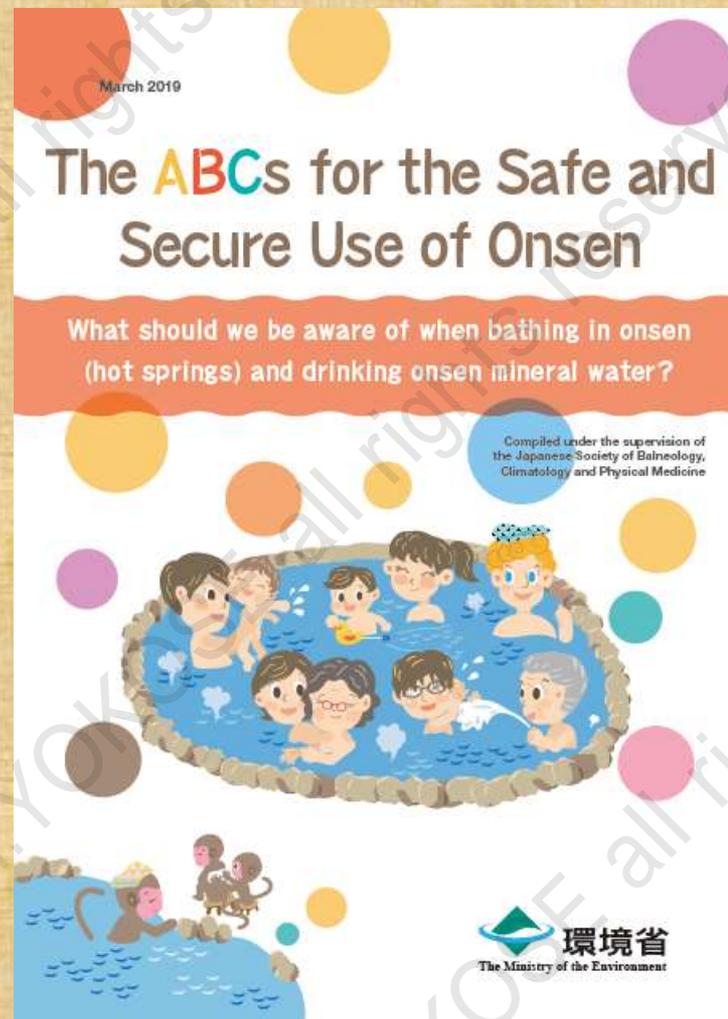
mval%が20.00以上の成分を、多い順に列記して塩類泉を細分類する。

〈例示〉

	ナトリウム・カルシウム	—	塩化物・硫酸塩泉	
酸性	—	ナトリウム・鉄(Ⅱ, Ⅲ)	—	硫酸塩・塩化物泉 ^{*8}
酸性・含鉄(Ⅱ, Ⅲ)	—	ナトリウム・マグネシウム	—	塩化物・硫酸塩泉
⏟		—	⏟	
(特殊成分)		(陽イオン)		(陰イオン)

副成分による細分

療養泉とは何か？



日本語・英語・韓国語・中国語などに翻訳されている療養泉の利用法

適応症の根拠

温泉法第18条第1項の規定に基づく禁忌症及び入浴又は飲用上の注意に掲示等に関する新旧対照表

②泉質別適応症

掲示用泉質	浴用	飲用
単純温泉	自律神経不安定症、不眠症、うつ状態	-
塩化物泉	きりきず、末梢循環障害、冷え性、うつ状態、皮膚乾燥症	萎縮性胃炎、便秘
炭酸水素塩泉	きりきず、末梢循環障害、冷え性、皮膚乾燥症	胃十二指腸潰瘍、逆流性食道炎、耐糖能異常（糖尿病）、高尿酸血症（痛風）
硫酸塩泉	塩化物泉に同じ	粗大系機能障害、高コレステロール血症、便秘
二酸化炭素泉	きりきず、末梢循環障害、冷え性、自律神経不安定症	胃腸機能低下
含鉄泉	-	鉄欠乏性貧血
酸性泉	アトピー性皮膚炎、尋常性乾癬、耐糖能異常（糖尿病）、表皮化膿症	-
含よう素泉	-	高コレステロール血症
硫酸黄泉	アトピー性皮膚炎、尋常性乾癬、慢性湿疹、表皮化膿症（硫酸水素型については、末梢循環障害を加える）	耐糖能異常（糖尿病）、高コレステロール血症
放射能泉	高尿酸血症（痛風）、関節リウマチ、強直性脊椎炎など	-
上記のうち二つ以上に該当する場合	該当するすべての適応症	該当するすべての適応症



一般社団法人日本温泉気候物理学会
[\(https://www.onki.jp/\)](https://www.onki.jp/)

より詳しい情報：日本温泉気候物理医学会 医学用解説

(<https://www.onki.jp/upload/glossary.pdf>)

一般適応症



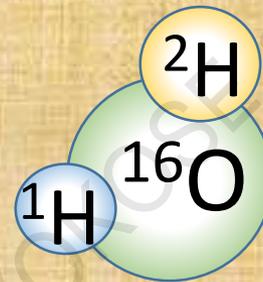
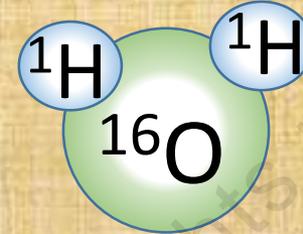
温泉の起源

- 温泉は、基本的に水溶液であり、溶媒である水の起源とそれに溶けている溶質の起源を検討する事になる。
- 溶媒 (H_2O) の起源: δ ダイアグラム
- 溶質の起源: マグマ性熱水、地殻、マントル、ETC
- 異なる性質の温泉(地下水)の混合:
地熱水+地下水、マグマ水+地下水、
マグマ性蒸気+海水 など
- これらを検討する事で温泉形成に至るメカニズムが理解できる。

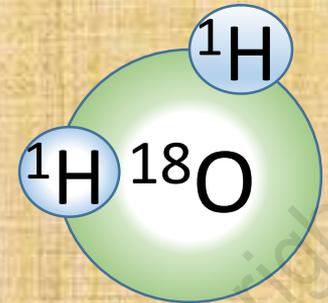
重たい水と軽い水

	同位体	存在度	半減期
酸素	^{13}O	-	9×10^{-3} 秒
	^{14}O	-	72 秒
	^{15}O	-	-
	^{16}O	0.9976	-
	^{17}O	0.0004	-
	^{18}O	0.0020	-
	^{19}O	-	29 秒
	^{20}O	-	14 秒
水素	^1H	0.99985	-
	$^2\text{H(D)}$	0.00015	-
	$^3\text{H(Tr)}$	-	12.3 年

大多数の水分子



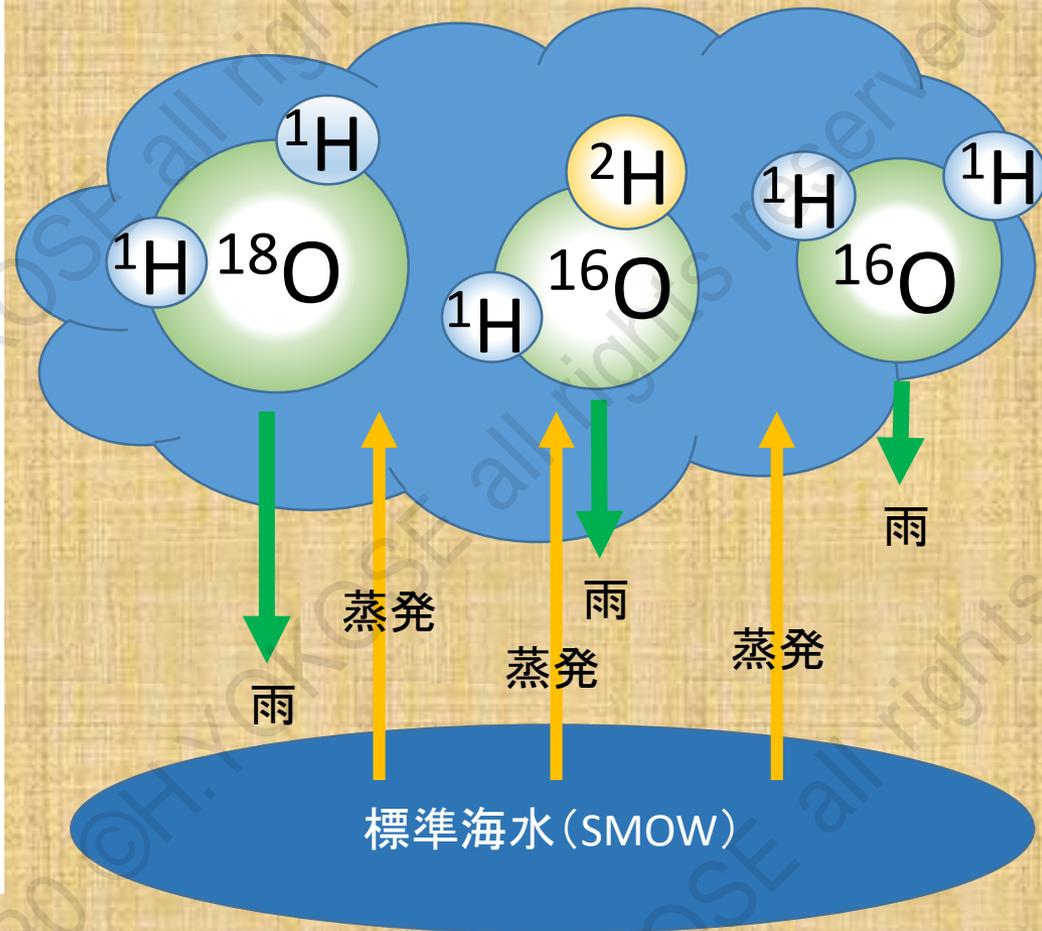
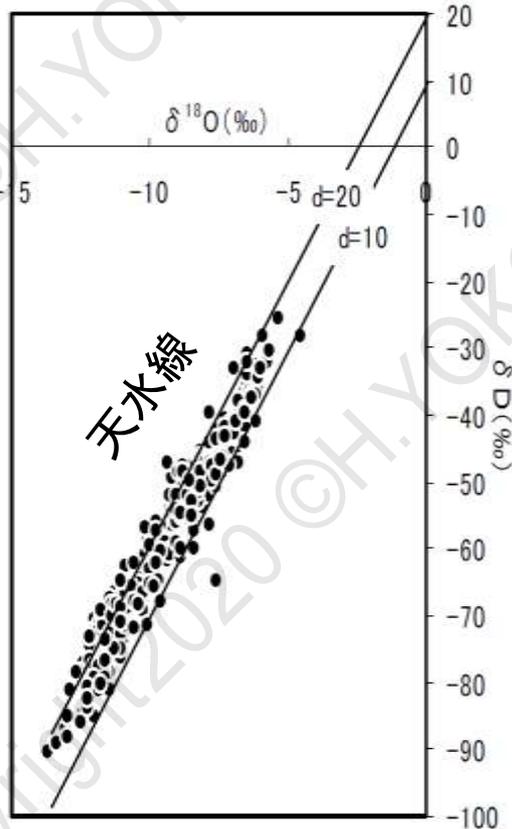
0.2%の水分子



0.015の水分子

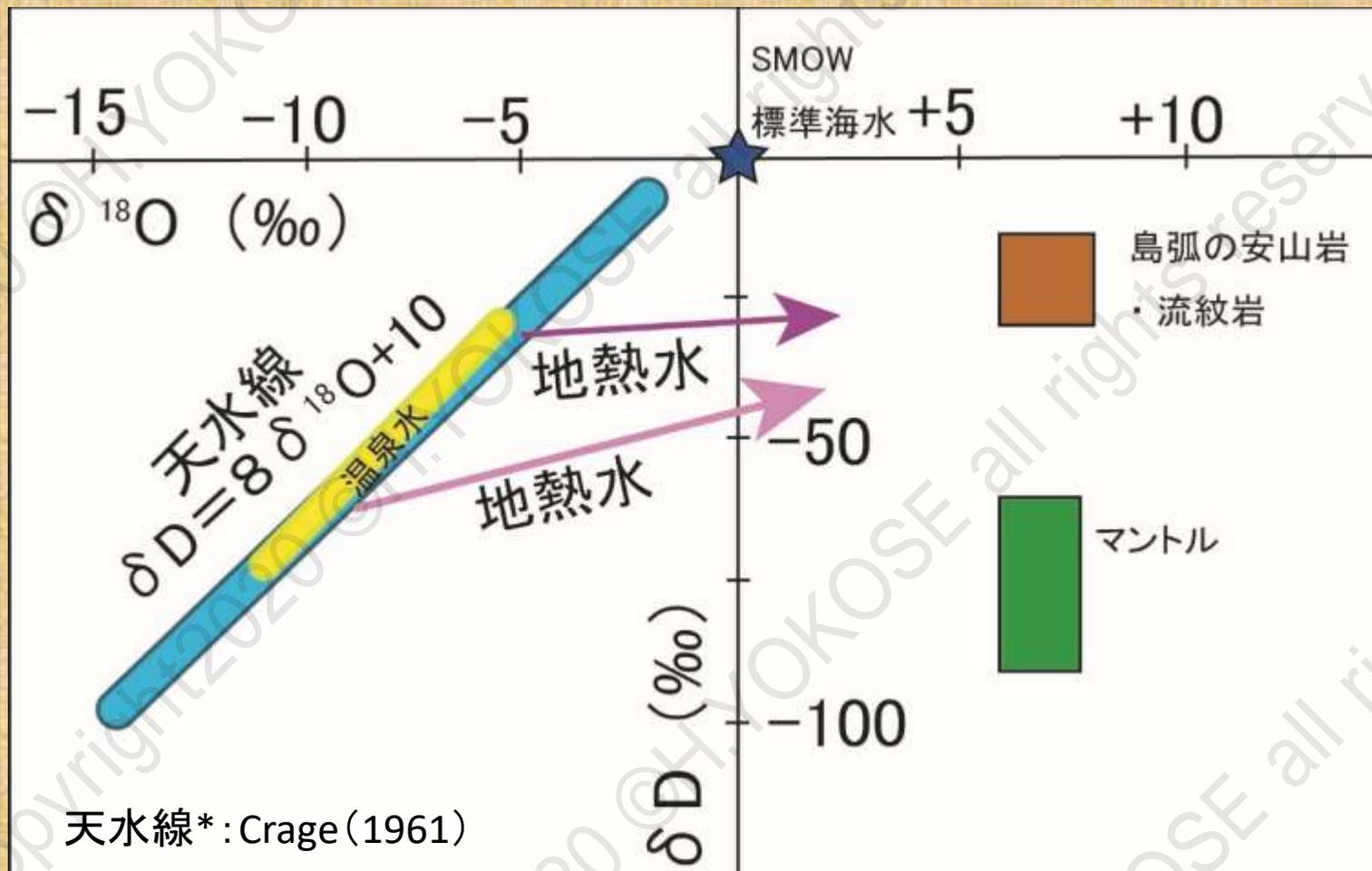
水には重たい水と軽い水があって、蒸発や凝縮過程で様々な割合で別れる。

水素・酸素同位体比と天水



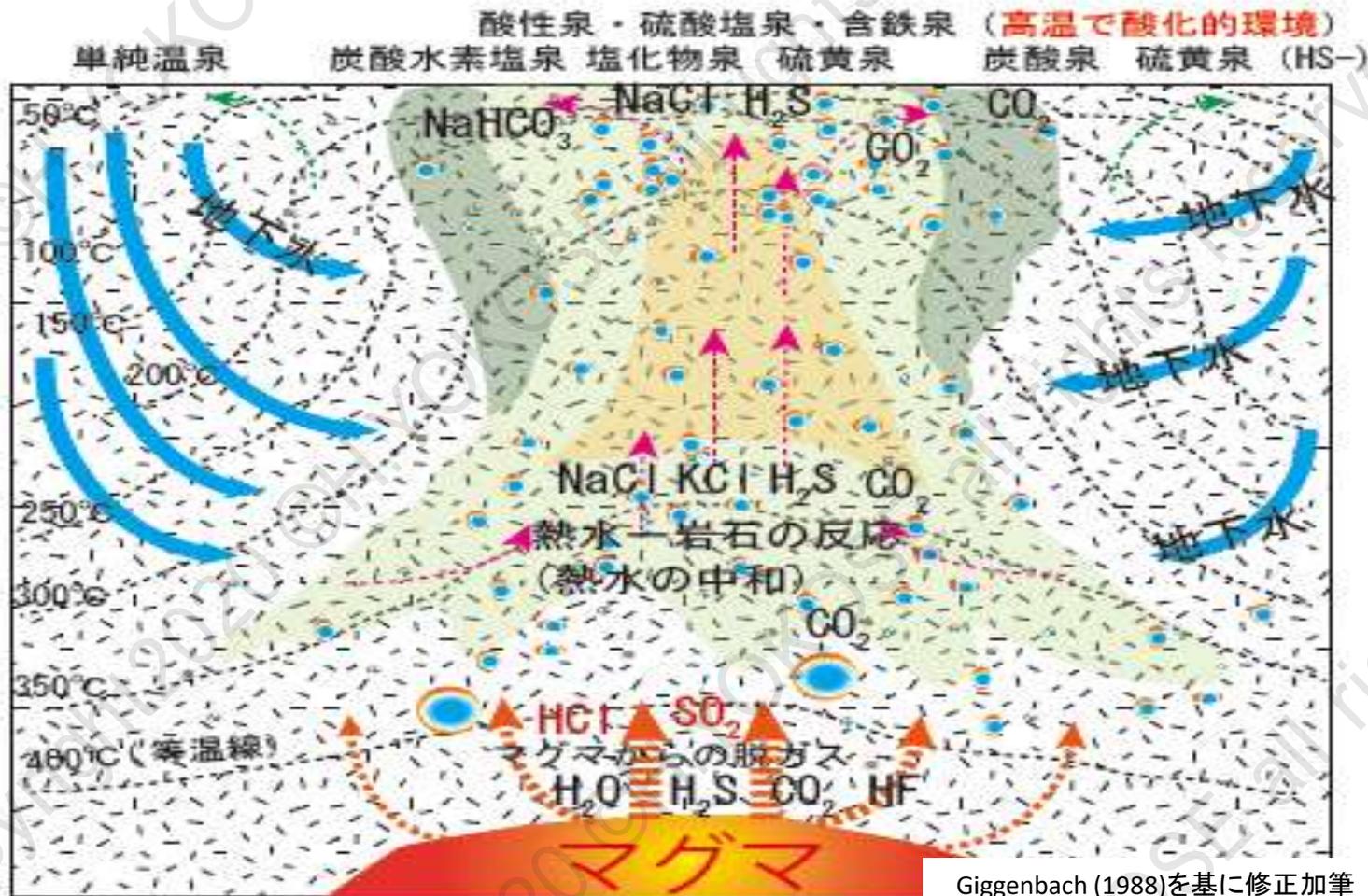
海から蒸発した水は、雨となって重たい水が優先的に取り除かれる(同位体分別)。

温泉水と δ ダイアグラム



$d\text{-parameter (‰)} = \delta\text{D} - 8\delta^{18}\text{O}$: Dansgaard (1964)

温泉の多様性を生み出す火山



実験的データに基づく下記のような順番でマグマから揮発性成分が散逸する (Martini, 1996)。



火山性温泉(天水の加熱方法)

分類	① 深部熱水混入型温泉	② 蒸気加熱型温泉	③ 伝導加熱型温泉	④ 高温(マグマ)蒸気型温泉	⑤ 海水混入型温泉
温泉と地熱貯留層の関係	地熱貯留層の深部熱水を起源とし、直接つながっている場合	地熱貯留層から蒸気のみ供給を受けている場合	温泉と地熱貯留層につながりはなく、地熱貯留層から熱伝導により加熱されている場合	温泉と地熱貯留層に開閉はなく、マグマから派生した高温蒸気の供給を受けている場合	温泉に地下水、深部熱水だけでなく、海水も開閉しているケース
概念図					
温泉生成機構とその特徴	<p>【生成機構】 地下水と深部から混入する熱水によって形成された温泉帯水層を指す。温泉帯水層と地熱貯留層を隔てる不透水層等の地質構造が十分に発達していない、もしくは、断層等による構造が熱水が流動し直結つながっているケース等が考えられる。</p> <p>【特徴】 温泉水は深部熱水に類似した水質を示すことが多い。温泉の温度は、深部熱水の温度や地下水との混合割合でかなり幅がある。深部熱水の割合が多い場合は、高温を示す。</p>	<p>【生成機構】 地熱貯留層からの蒸気混入によって加熱された形成された温泉帯水層を指す。</p> <p>【特徴】 温泉水の形成に関する蒸気量や地下水との混合割合によって温度にはかなりの幅がある。地熱貯留層からの蒸気混入量の割合が多い場合は、高温を示す。</p>	<p>【生成機構】 温泉帯水層と地熱貯留層は、不透水層により隔てられているが、地熱によって加熱(伝導加熱)されて形成された温泉帯水層を指す。</p> <p>【特徴】 日本の地熱開発地域にはこのタイプに属するものが多い。地下水が伝導熱で加熱された温泉のため温度は一般に高くないことが多い。</p>	<p>【生成機構】 マグマから、高温蒸気により直接加熱されているタイプである。マグマから派生した高温の蒸気やガスによって地下水が加熱されて形成された温泉帯水層を指す。火山性高温ガスには、SO₂やH₂S等を含むため、酸性のCl-SO₂型の水質の温泉が多い。</p> <p>【特徴】 高温を示す特徴があるが、地下水の混合割合によってかなり幅がある。</p>	<p>【生成機構】 前述の温泉分類①、②、③のケースにおいて地下水に加えて海水も混入しているケースを指す。温泉の水質における影響の現れ方が異なる。</p> <p>【特徴】 海水が混入していることから元々存在成分濃度が高い。</p>

非火山性温泉

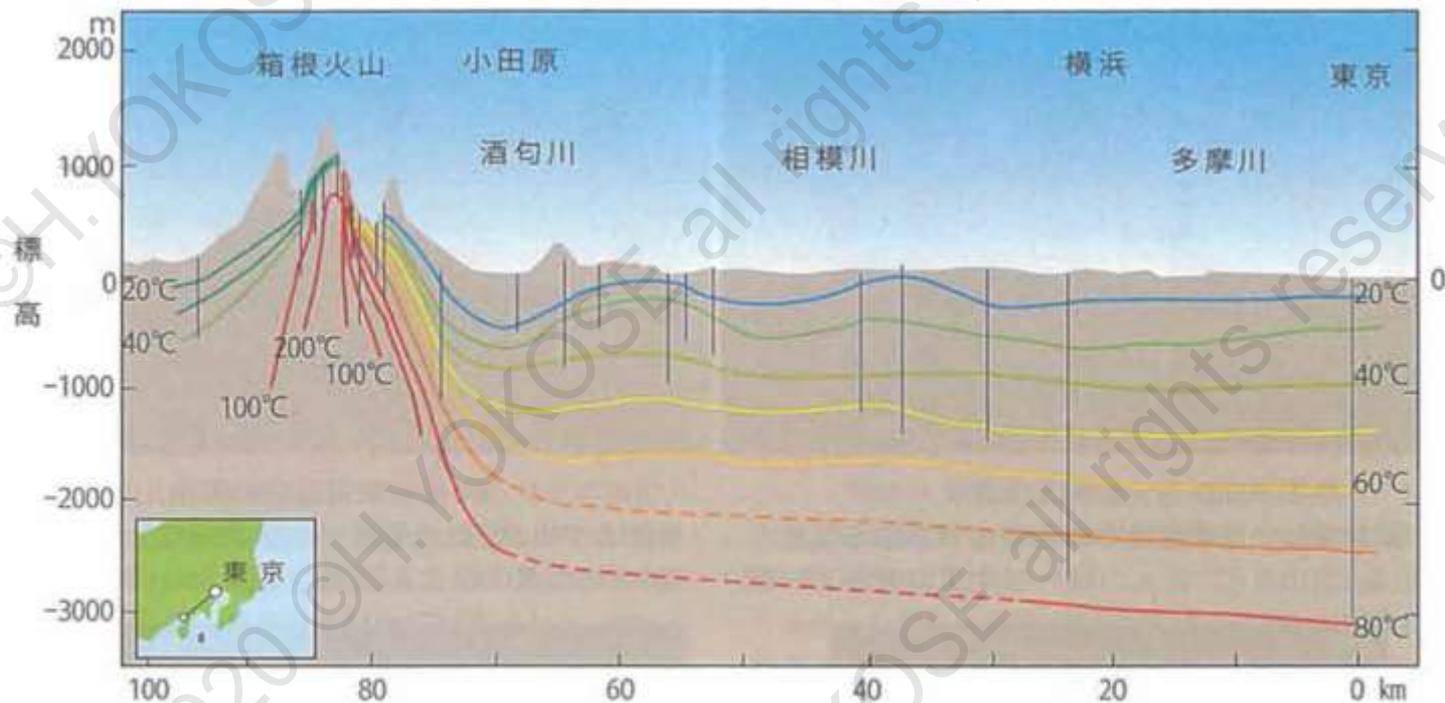


図3-9：関東南西部の火山地域（左）と非火山地域（右）の地下の温度構造（大山、1997）

温泉検定実行委員会（編）（2019）より

地球の深部に向かって温度が上昇するので、1000m程度掘削して、そこに十分な水が存在していれば、25°C以上の温泉が得られる。この他に、深部に達する断裂（断層）が存在すると流路となって温泉が上昇できる。

まとめ

