

肥後熊本学

肥後の温泉科学

第3回 硫黄泉と硫酸塩泉の秘密

熊本大学大学院先端科学研究部 横瀬久芳



目次

1. 火山地帯と温泉
2. マグマの中の温泉成分
3. 硫黄の価数変化
4. 硫化水素型温泉の起源
5. 硫酸塩泉の起源
6. 硫化水素イオンと金鉱床
7. 火山ガス



火山地帯と温泉群

カルデラの外側に温泉が多く
硫黄泉が主体
わいた温泉郷
黒川温泉 など

猪牟田カルデラ
九重火山群

阿蘇カルデラ
阿蘇中央火口丘群

カルデラの内側に
温泉が多く

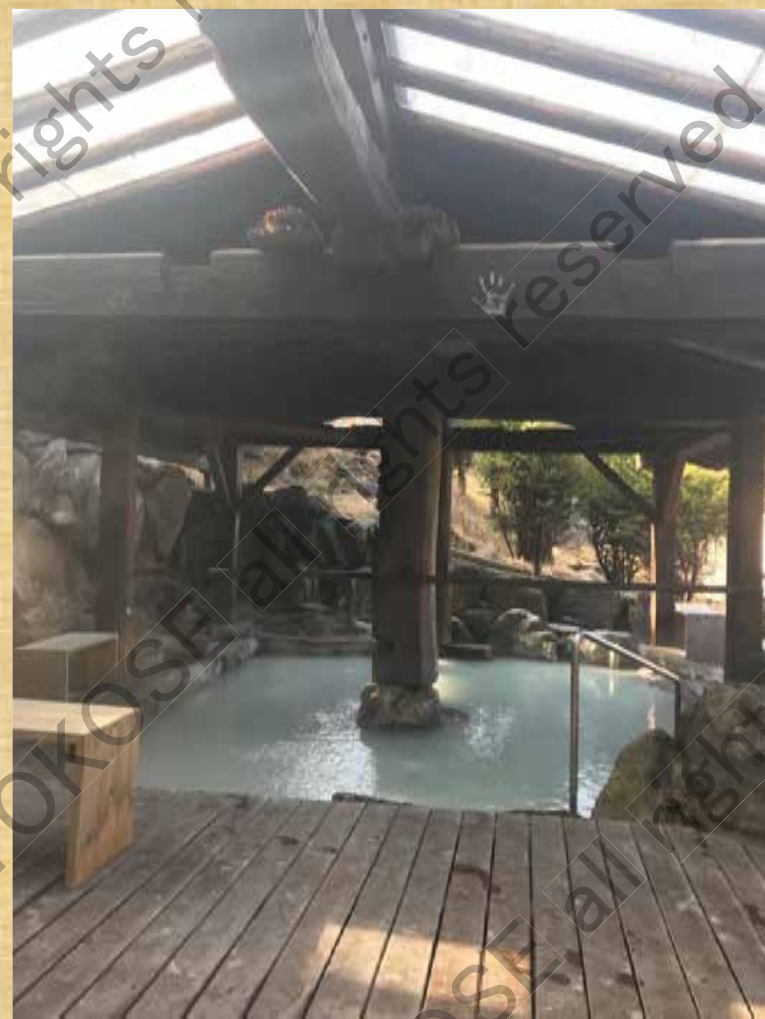
硫酸塩泉を主体
乙姫温泉
内牧温泉



阿蘇中央火口丘群周辺の温泉



内牧温泉(硫酸塩を多く含む温泉)



地獄温泉(硫酸塩を多く含む温泉)



猪牟田カルデラ周辺の温泉



カルデラの位置は、Kamata (1997) より



青白い硫黄泉

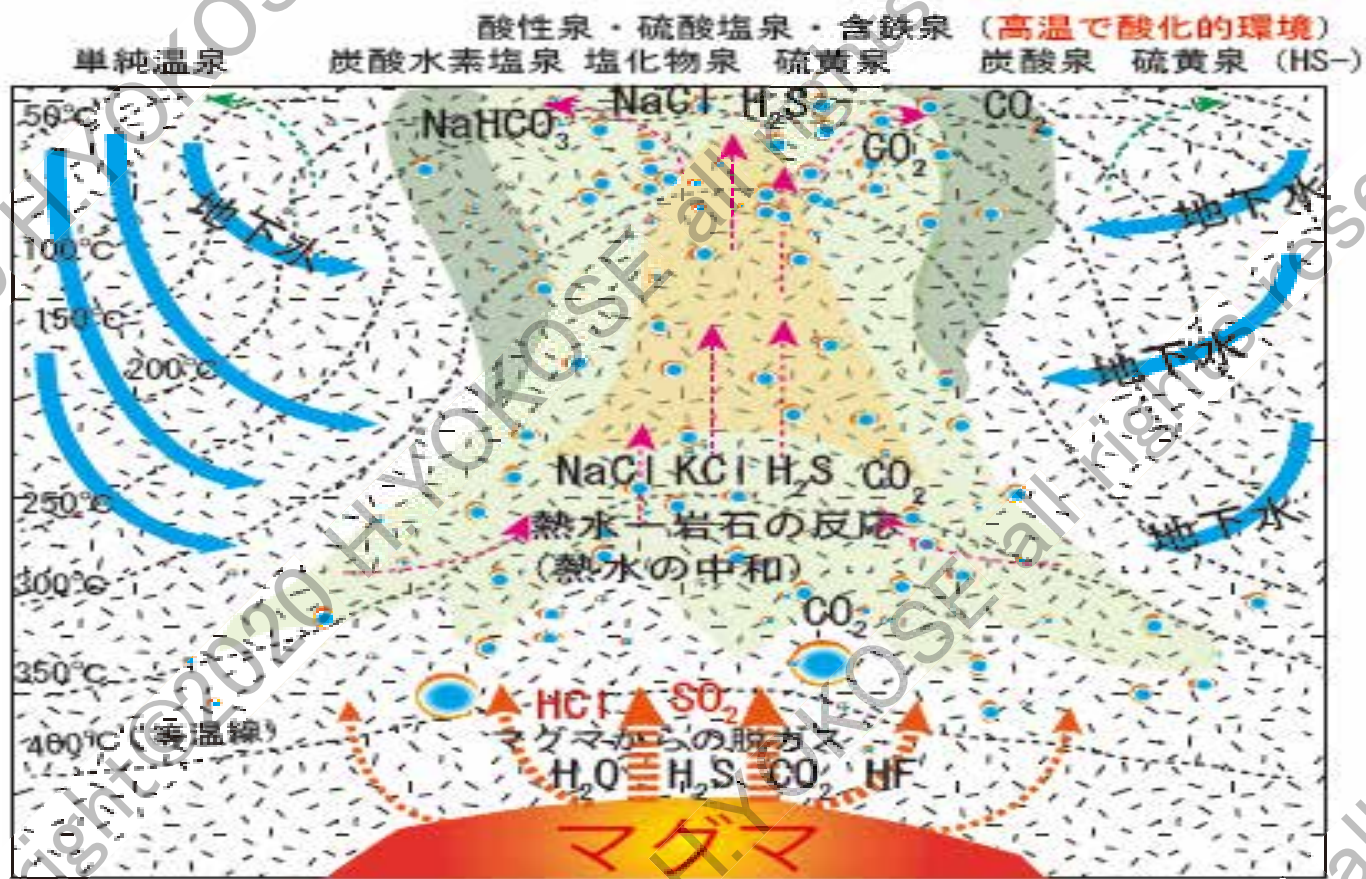


わいた温泉郷山川温泉

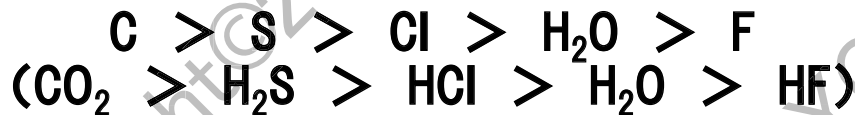


わいた温泉郷山川温泉

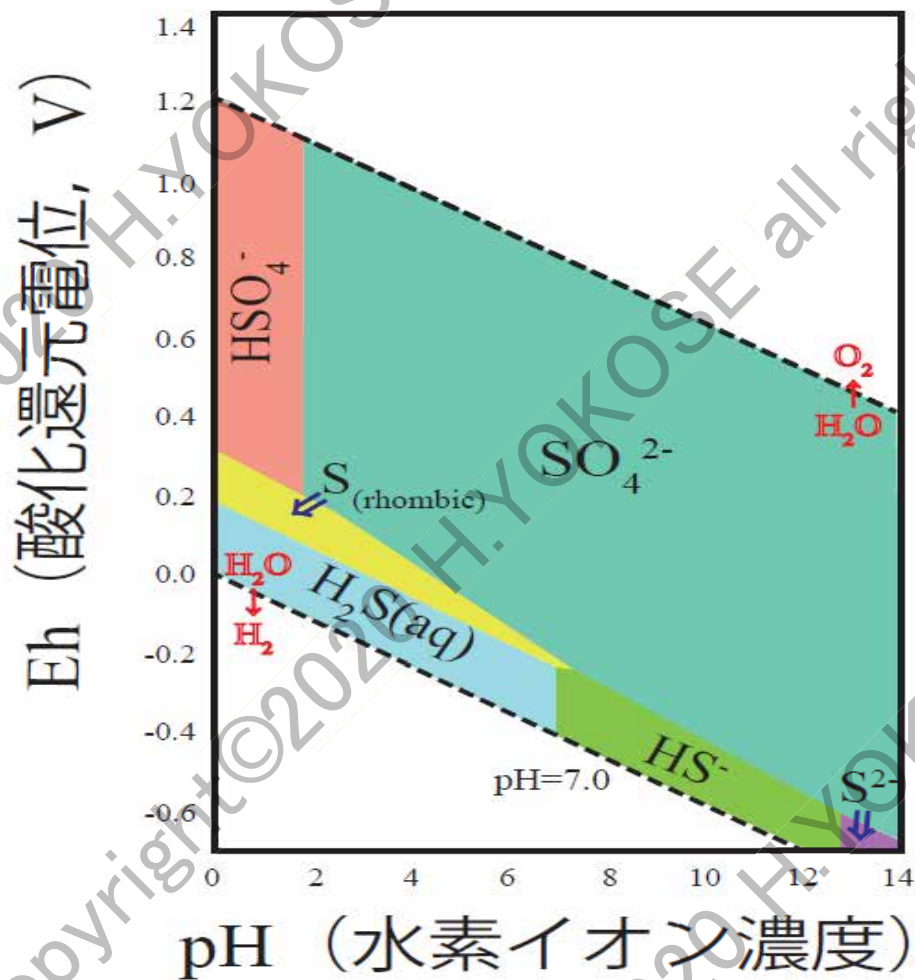
火山地域の硫化水素や硫酸の起源



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)。

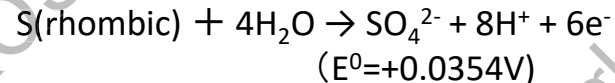
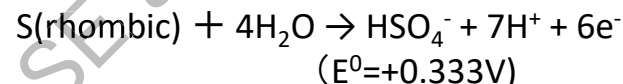
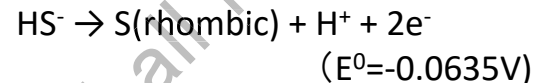
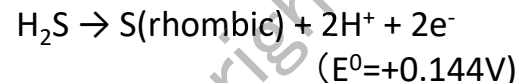
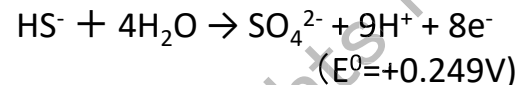
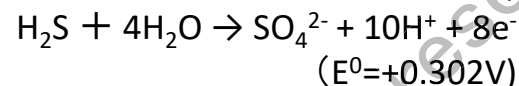
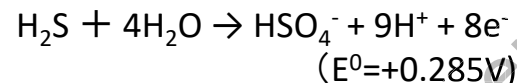


Eh-pH 図における硫黄の化学種



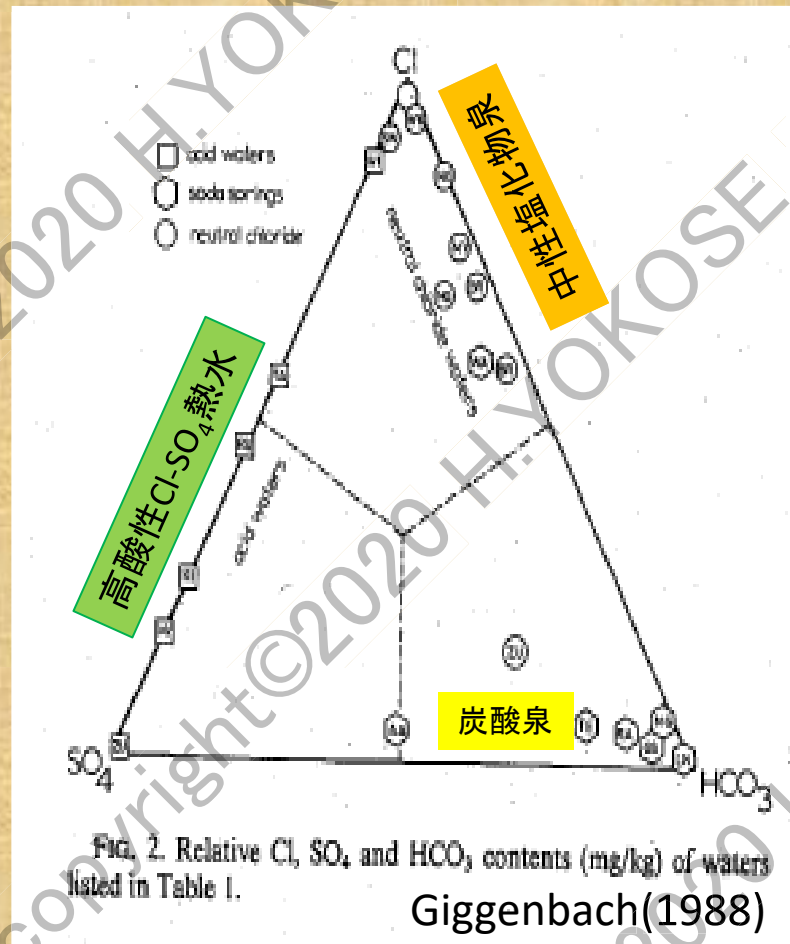
0.1 mol/L の硫黄の安定領域。硫黄が過飽和に存在する場合は、自然硫黄が析出する。

硫黄(S)は、様々な条件で +6, +4, 0 そして -2 の価数を取り得る。



Eh-pH条件から、酸化的環境下の表層水は、硫酸イオンが主体的であり、酸素分圧の低い還元的地下水では、 H_2S や HS^- が主体となる。

熱水系の化学組成の特徴



地熱水の化学組成

1. 高酸性Cl-SO₄熱水

地下水がマグマ性ガスを吸収し、周辺地殻との初期中和反応ゾーンを反映

2. 炭酸泉

熱水活動周辺地域のCO₂の大量放出と地下水の反応

3. 中性塩化物泉

深部地熱地帯において地殻との化学反応が平衡状態に達している地域からもたらされた熱水

阿蘇中岳の「湯溜り」の組成

採集日	2000.08.0 ₄	2003.04.22	2003.08.04	2007.03.28	2007.07.26	2008.07.08
表面温度	55	71	90	56	65	71.6
pH	0.81	-0.72	-0.56	0.3	0.39	0.43
Na ⁺ (mg/L)	1740	5810	6820	1700	1700	2410
K ⁺ (mg/L)	700	2460	3370	494	557	903
Ca ²⁺ (mg/L)	2190	1360	1130	1250	1400	1810
Mg ²⁺ (mg/L)	1760	7720	8460	1790	2310	3010
Al ³⁺ (mg/L)	5510	19300	17500	2600	2600	6880
Fe* (mg/L)	4050	16000	17800	3010	3160	4920
Cl ⁻ (mg/L)	28600	112000	120000	20000	21400	38000
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	43700	103000	108000	24600	28000	59700
F (mg/L)	2350	12000	12100	2400	2700	5790
SiO ₂ (mg/L)	430	774	954	292	318	363
Cl/(Cl + SO ₄ +HCO ₃)	0.395	0.520	0.526	0.448	0.443	0.389

「湯溜り」の化学組成の特徴

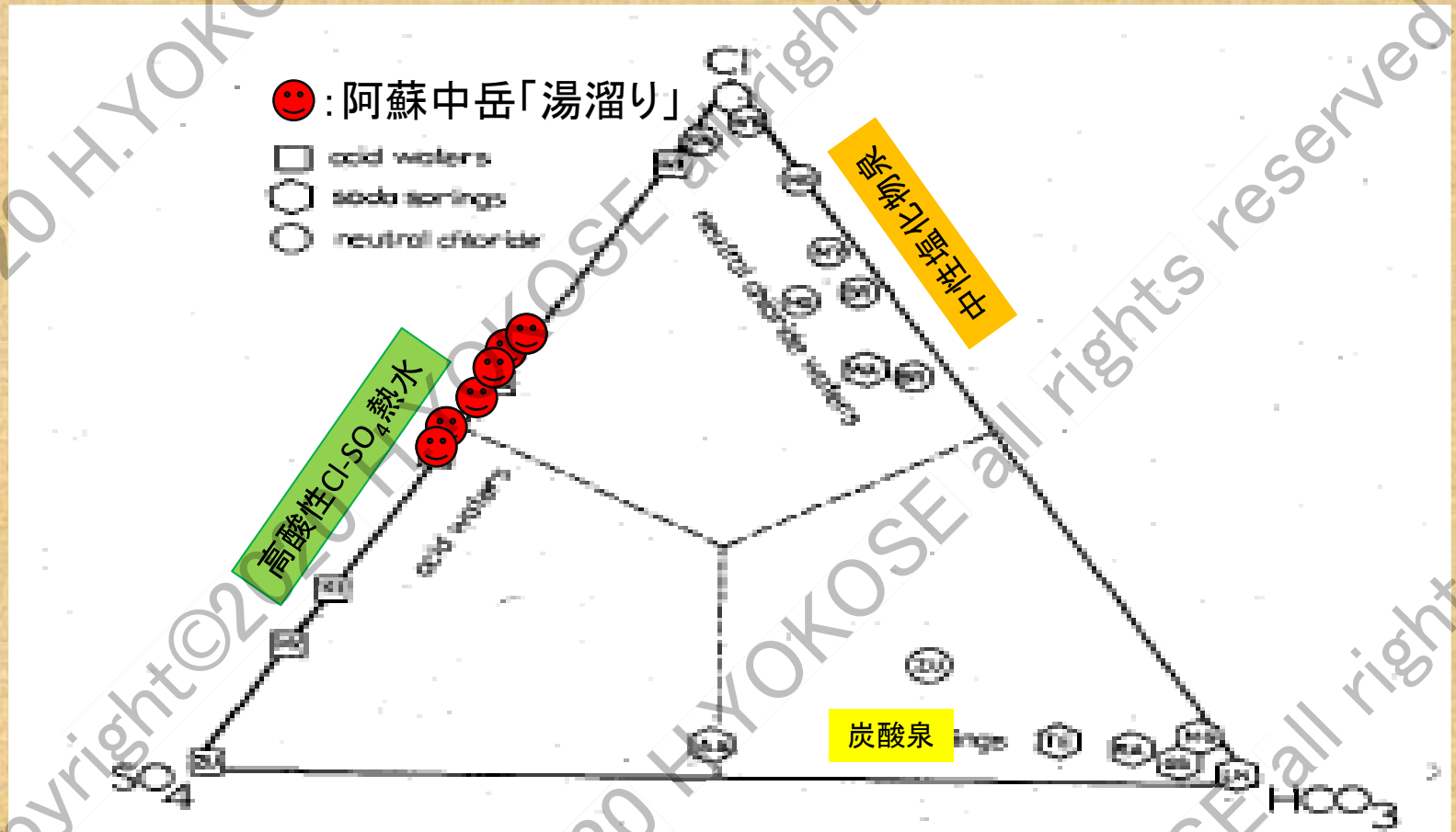
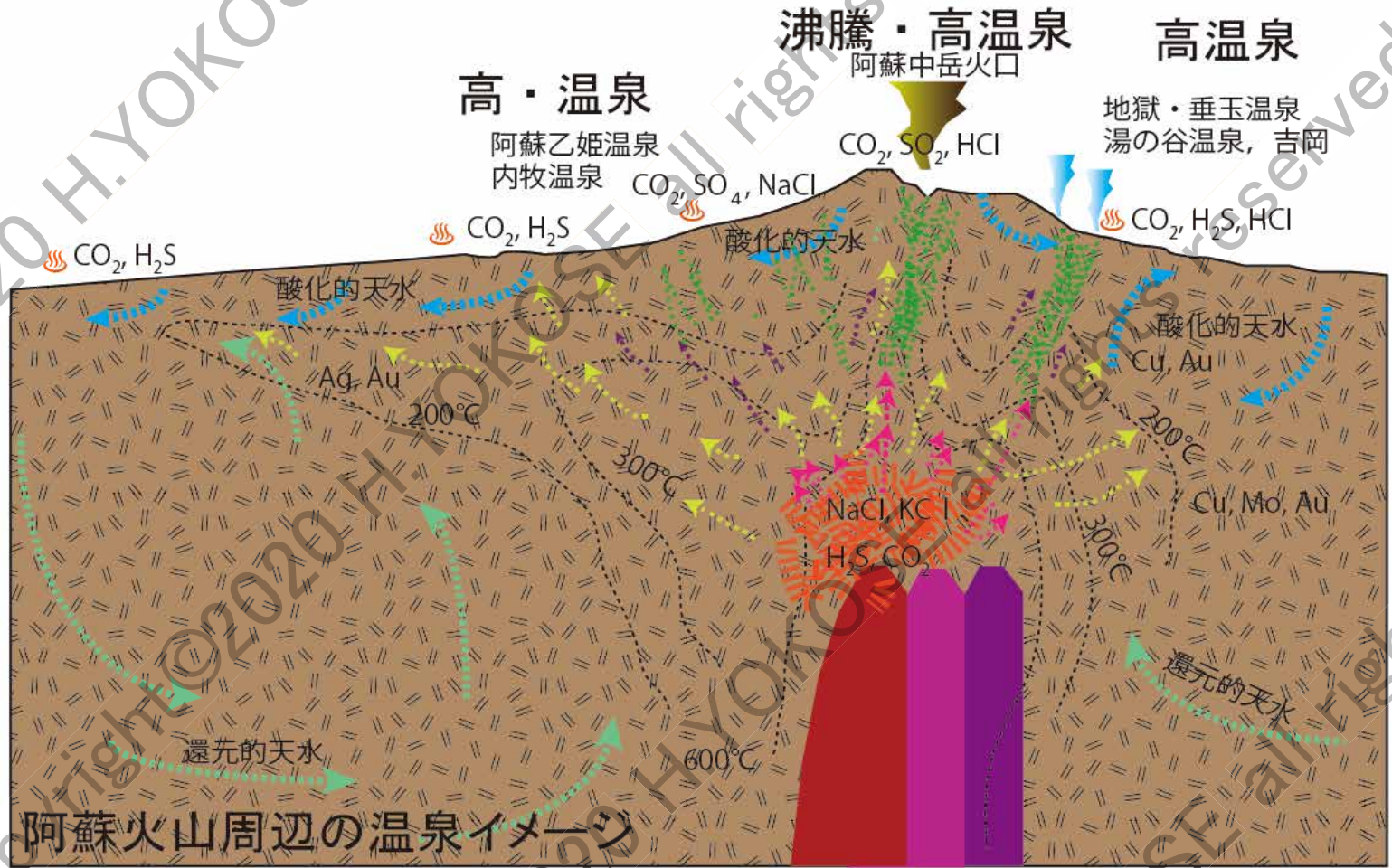


FIG. 2. Relative Cl, SO₄, and HCO₃ contents (mg/kg) of waters listed in Table 1.

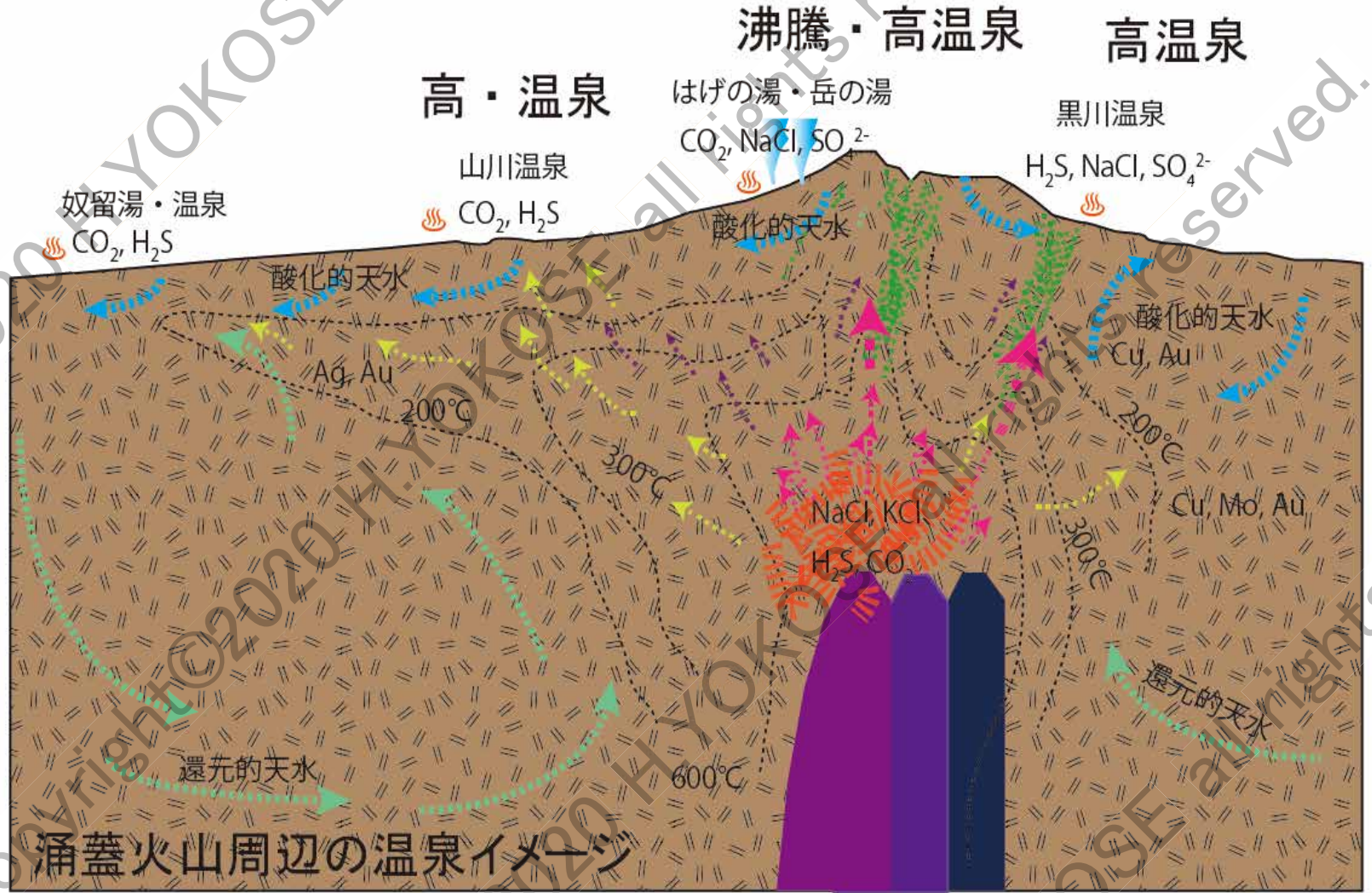
Giggenbach(1988)の加筆

阿蘇中央火口丘群周辺の温泉形成(横瀬モデル)



阿蘇火山の熱水系想像図 (Hedenquist et al., 2000の熱水系イメージからの類推)

わいた火山周辺の温泉形成(横瀬モデル)



わいた火山の熱水系想像図(Hedenquist et al., 2000の熱水系イメージからの類推)



エメラルドグリーンンの硫黄泉



鹿児島県紫尾温泉

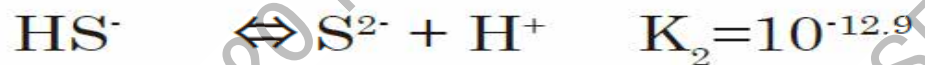
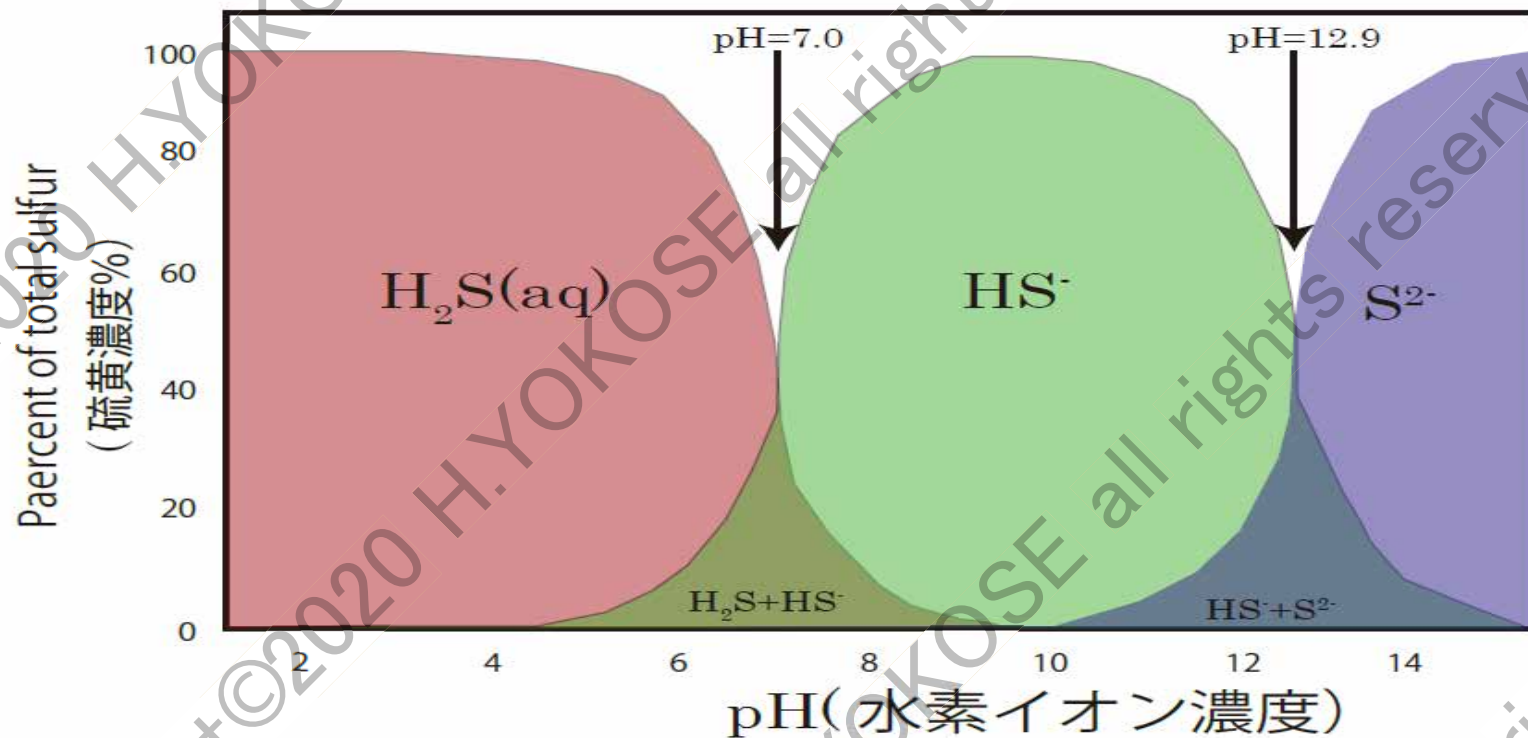
pH 9.4 HS^- = 13.1mg/kg
 HCO_3^- = 123.1mg/kg
 CO_3^{2-} = 46.8mg/kg



新潟県月岡温泉

pH 8.1 HS^- = 71.5mg/kg
 H_2S = 8.1mg/kg

温泉の液性と硫黄の化学種



中性から酸性の温泉 ⇒ 硫化水素(H_2S)

中性からアルカリ性の温泉 ⇒ 硫化水素イオン(HS^-)



硫黄の水溶液中での変化

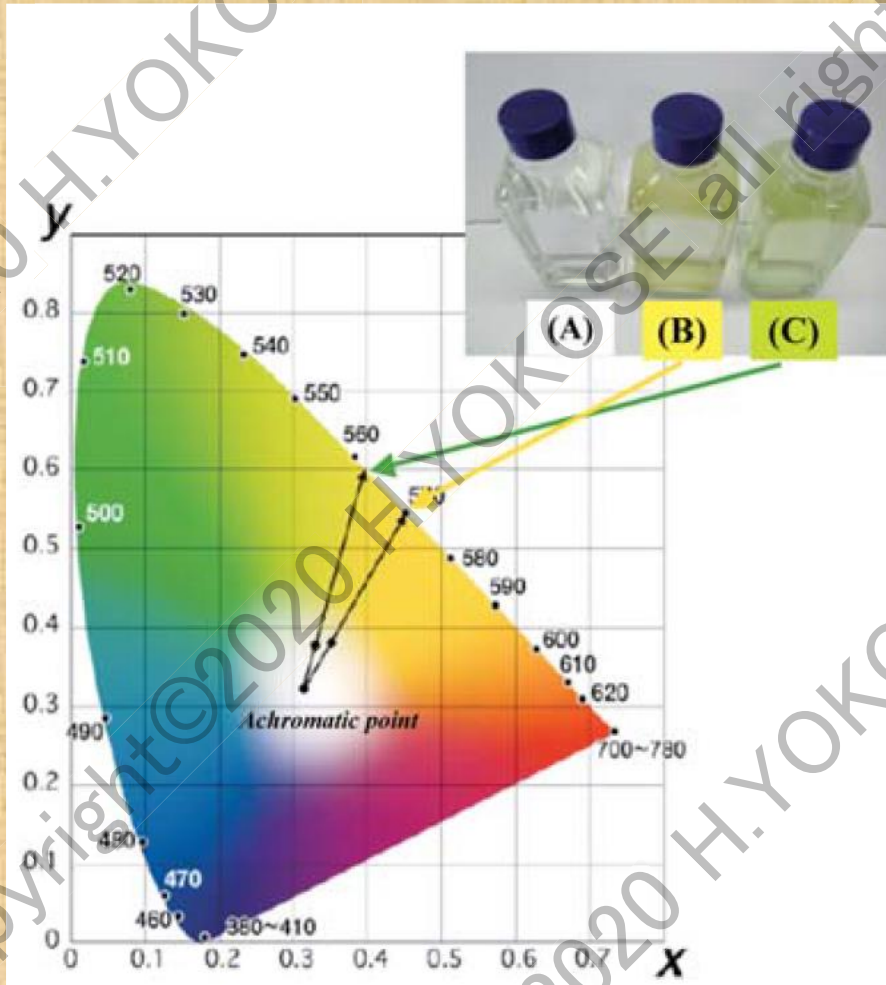


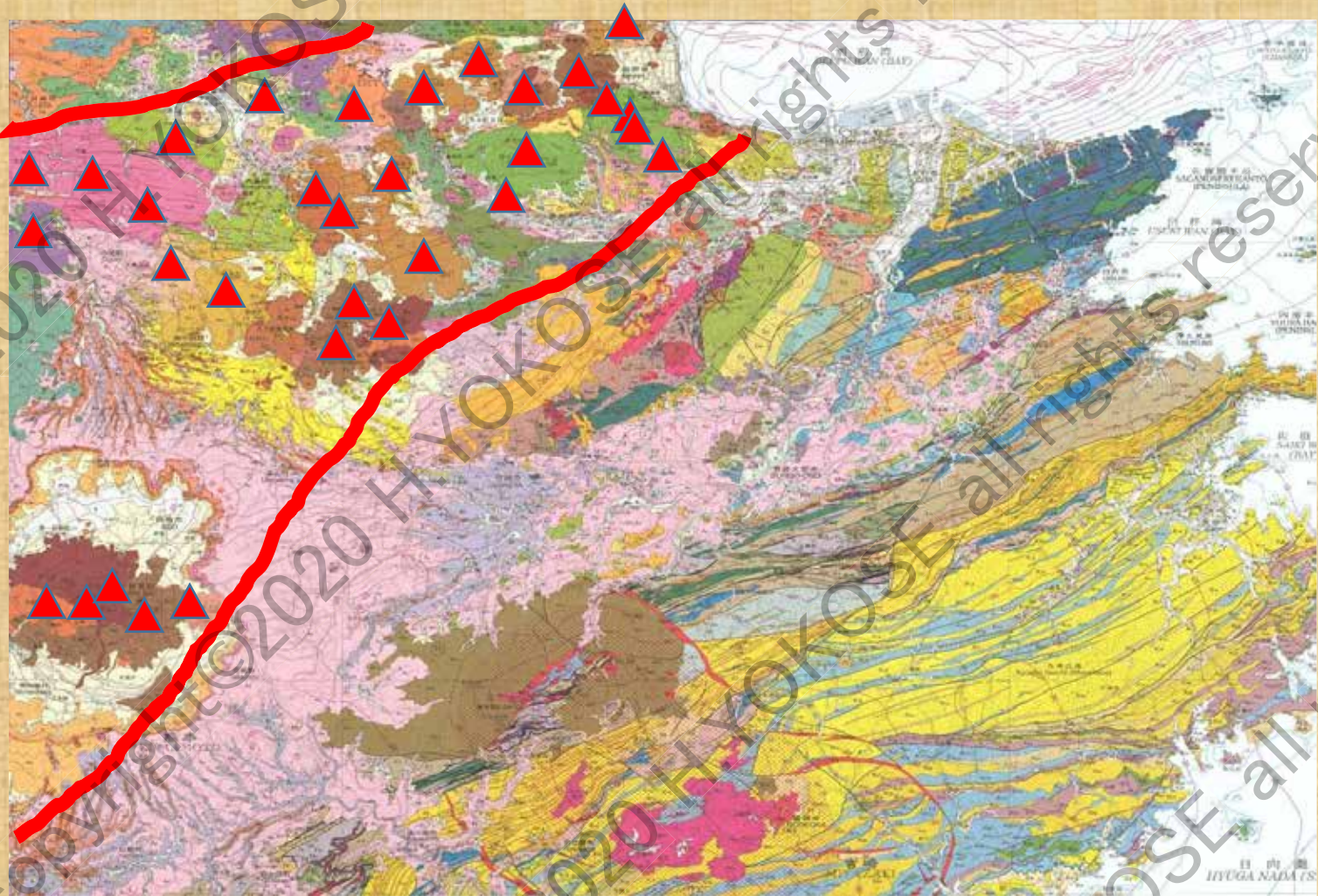
Fig. 14 Calorimetric data shown on the xy-chromaticity diagram established by Commission Internationale d'Eclairage (CIE) in 1931. Photographs are (A) : distilled water, (B) : the water containing polysulfide ion and (C) : the water added CaCO₃ (average particle size \pm 80 nm) into (B).

高松 他 (2010) より

温泉水の緑色化は、硫黄の多価イオンによる吸収と析出した微結晶によるレリー散乱が原因と考えている。

硫化水素イオンの酸化反応だけではなく、温泉に生息する生物(藻類、シアバクテリア、紅藻類、珪藻類)が温泉に色を付ける事もあるから注意が必要。

東部九州と火山活動



20万分の1地質図幅「大分」(2015)より

九州中央部の火山活動は、阿蘇中岳、九重火山群、雲仙火山だけではない。

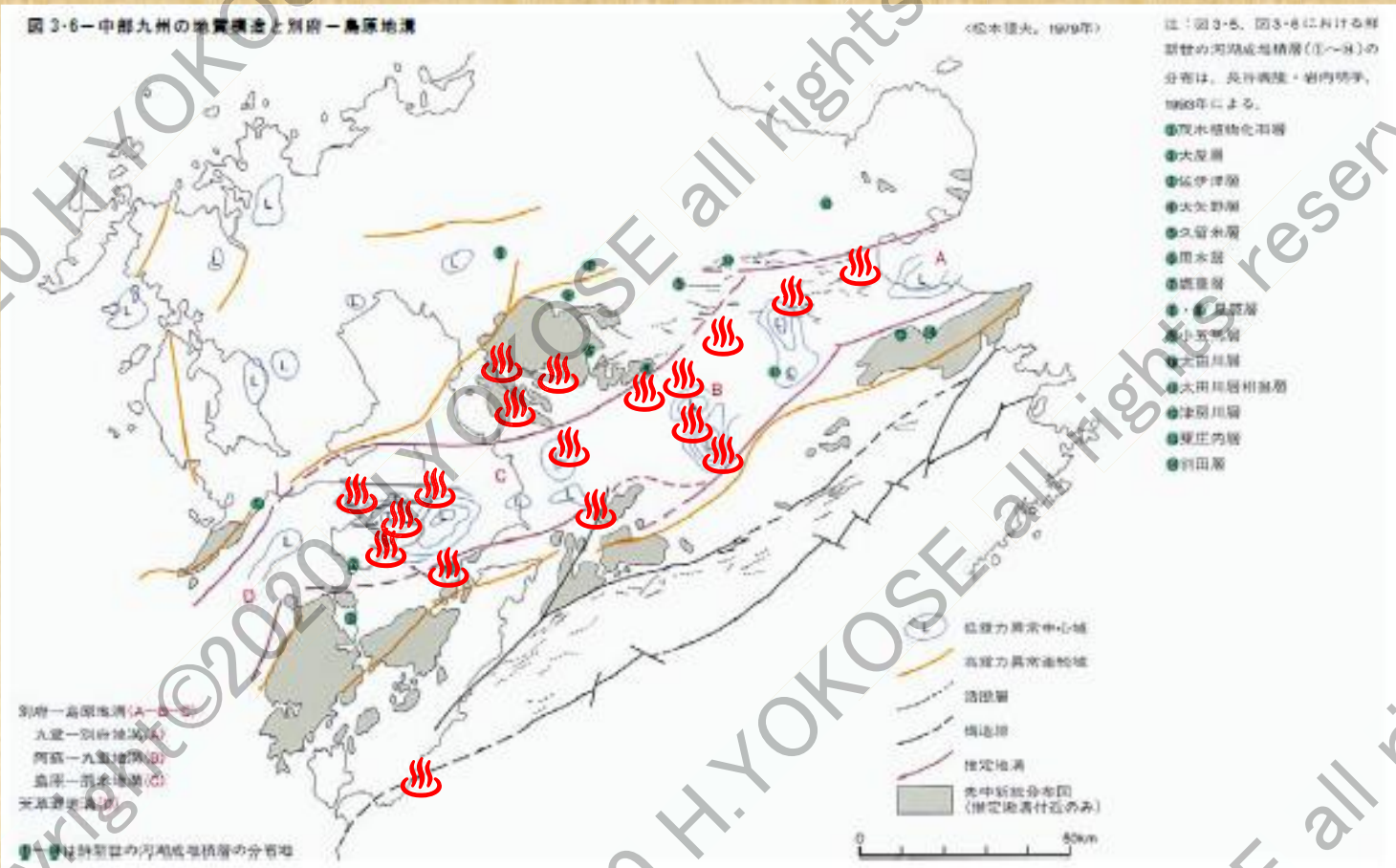
別府一島原地溝帯と火山活動



引き裂かれる九州中央部



別府一島原地溝帯の構造と温泉



🔥 主な温泉地



まとめ

- 硫黄を含む温泉として硫黄泉と硫酸塩泉がある。
- 多くの場合は、火山地帯や火成岩地帯に分布する。
- 硫黄泉は、比較的単純温泉に多い。
- 硫酸塩泉は、火山体内の酸化的環境（例えば火口周辺直下）で形成され、硫黄泉は還元的環境で出現することが多い。
- 熊本県の硫黄泉や硫酸塩泉は、ほぼ別府一島原地溝帯に関連した火山活動で作られている。

