

肥後熊本学

肥後の温泉科学

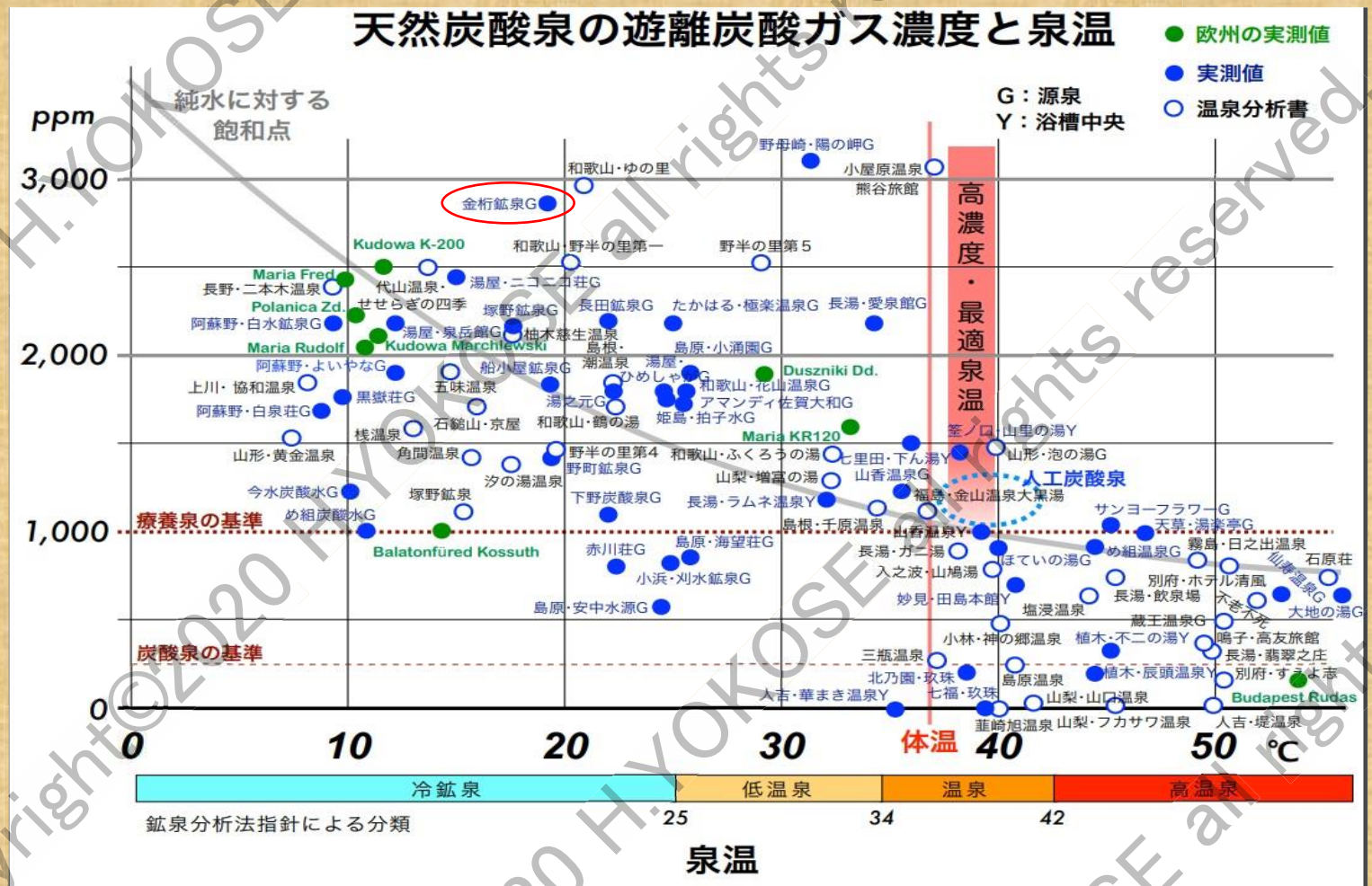
第5回 炭酸泉と炭酸水素塩泉に起源

熊本大学大学院先端科学研究部 横瀬久芳

目次

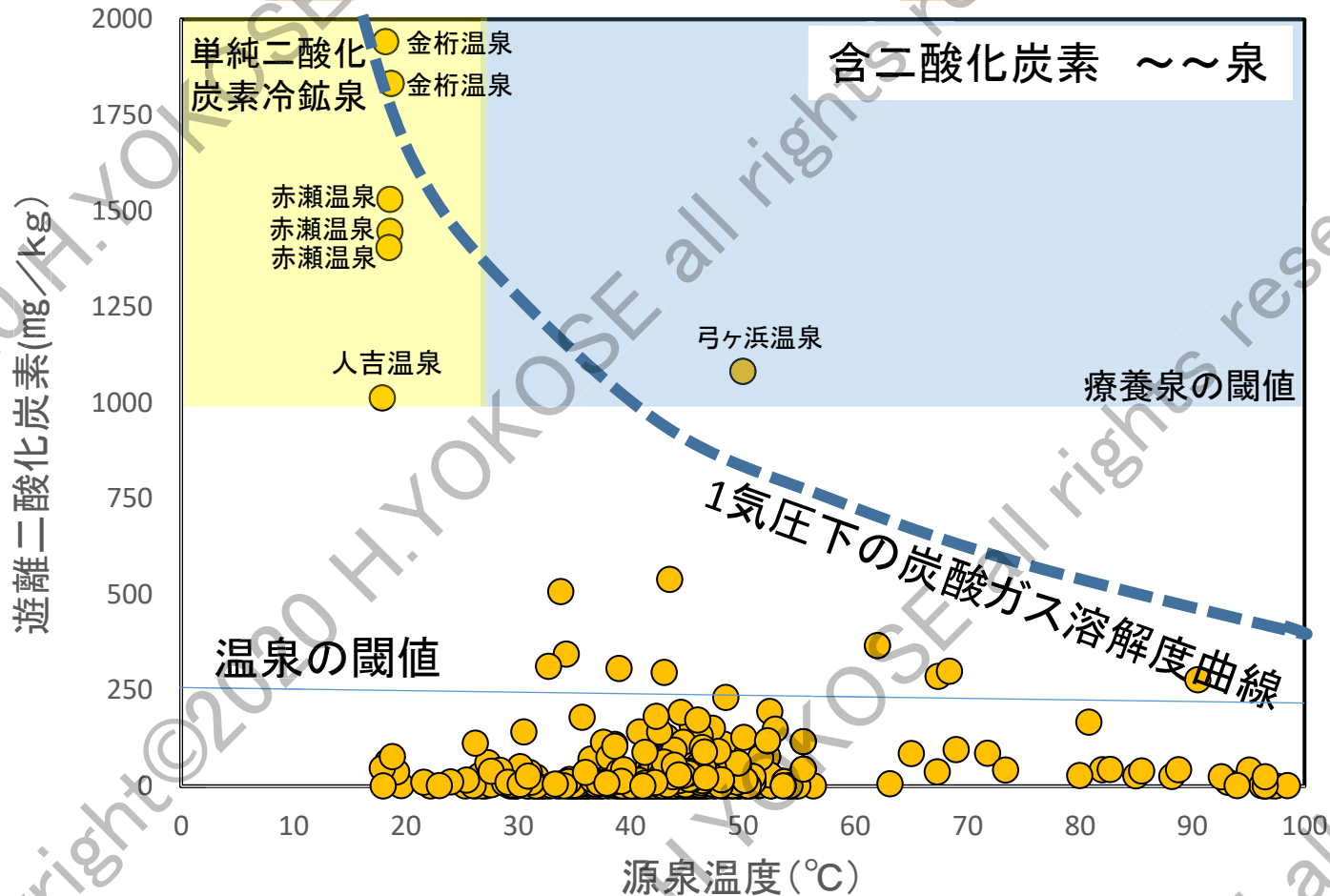
- 炭酸泉（炭酸ガスの溶解度）
- 炭酸水素塩泉と火山活動
- クエン酸を使った簡単な実験
- 温泉が作る造形美：石灰華
- 深部構造に由来した炭酸ガス
- 別府－島原地溝帯と炭酸水素塩泉
および炭酸泉

九州の高濃度炭酸泉群



http://cidre-kyushu.com/shidoru_jiu_zhou/toppupeji_files/炭酸泉の泉温とCO2ガス濃度.pdf より (20200206参照)

遊離二酸化炭素含有量



二酸化炭素の溶解度曲線より40°C以上の温泉が二酸化炭素の療養泉になる事は難しい。冷鉱泉や低温泉は基準値を上回れるが、入浴に適した温度に加温すると容易に二酸化炭素が散逸する事がわかる。

熊本の炭酸水(金桁温泉)



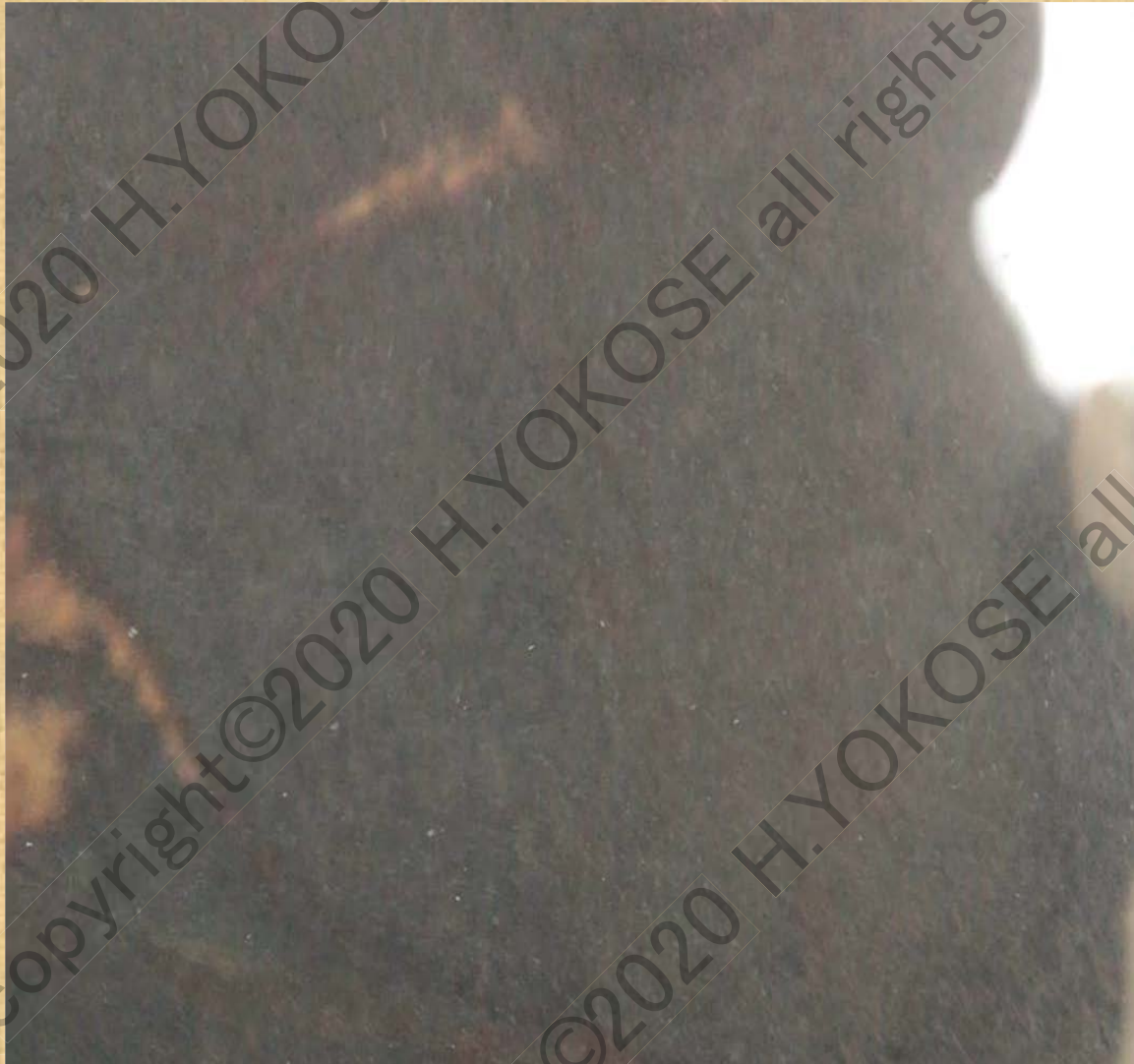
過飽和の二酸化炭素ガスが離溶して泡となって表れる
金桁温泉の他に、人吉の権現谷ラムネ水も炭酸水がある。

熊本の過飽和炭酸泉（弓ヶ浜温泉）



地下1000mから汲み上げられる温泉は、地表に到達すると減圧されて過飽和な二酸化炭素ガスが離溶して沢山の泡を発生する。

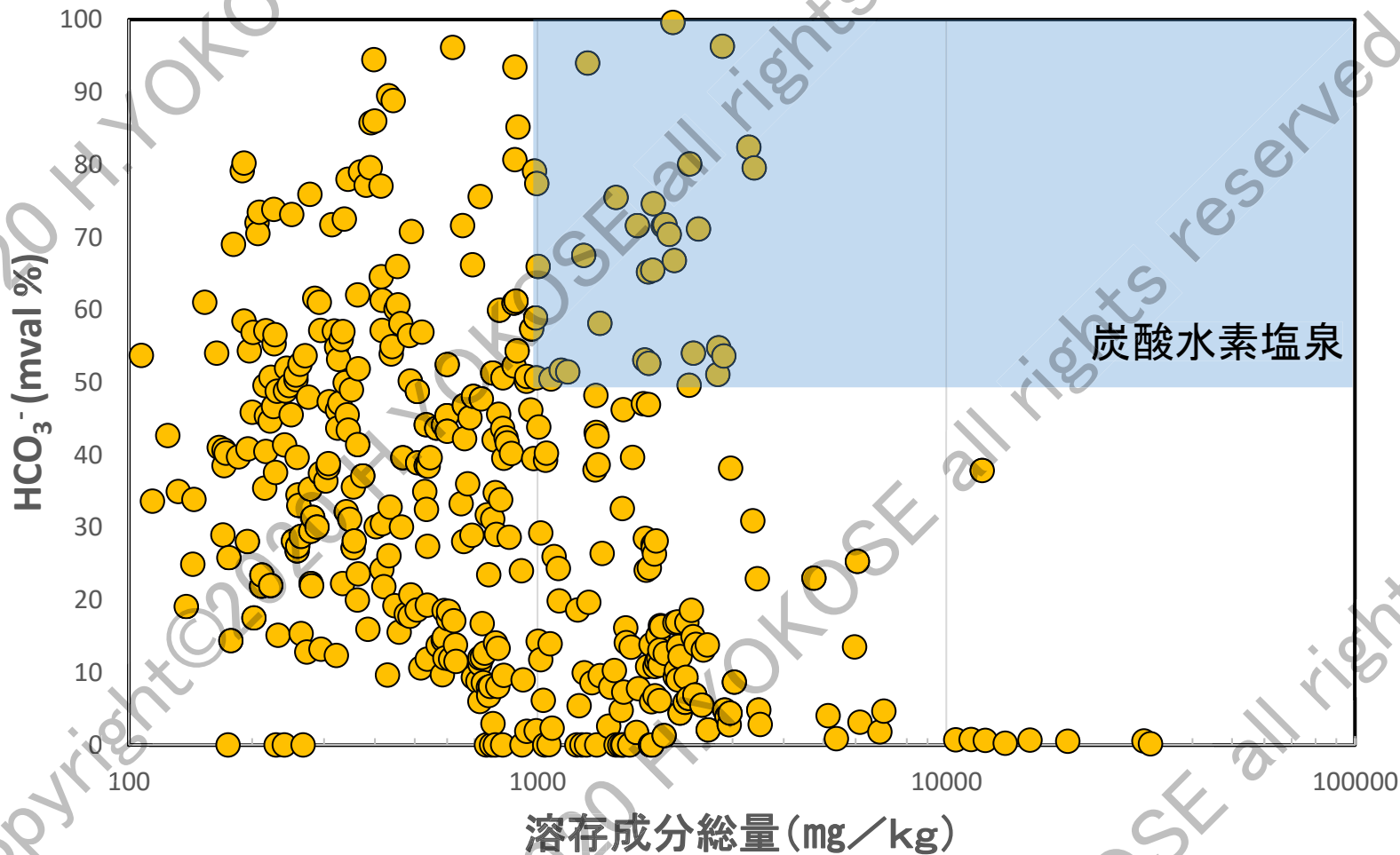
泡付の良い温泉とは？



体毛や皮膚
の表面に沢
山の泡が付
きます。

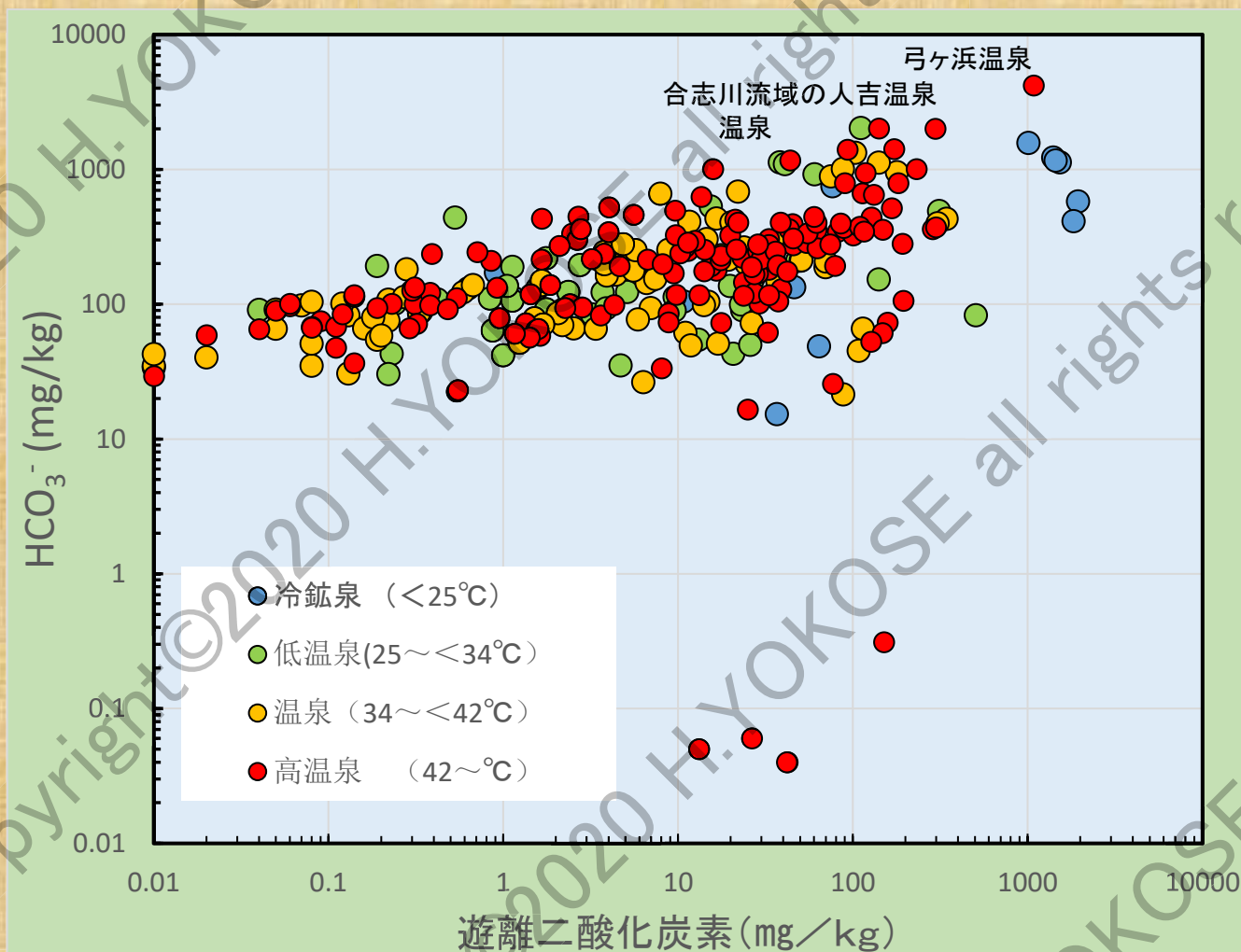


熊本県の炭酸水素塩泉



炭酸水素イオン含有量だけで1000ppmを超す温泉は、三角・上天草市周辺、合志川沿いの温泉地そして人吉盆地に集中している。

泉温に関わりなく炭酸水素イオンと遊離二酸化炭素には弱い正の相関がある



泡付の良い炭酸水素塩泉



合志川:辰頭温泉

泉温:43.9°C

pH: 7.3

HCO₃⁻: 1398 mg/kg

遊離CO₂: 93 mg/kg

泉質:Na-炭酸水素塩泉

湯口から出たとたん小さな泡が多量に発生し、体中に纏わりつく全国区の温泉



人吉:華まき温泉

泉温:34.1°C

pH: 8.36

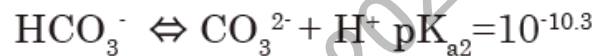
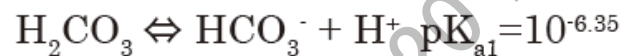
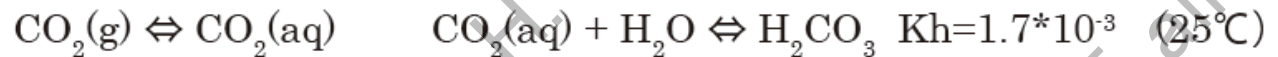
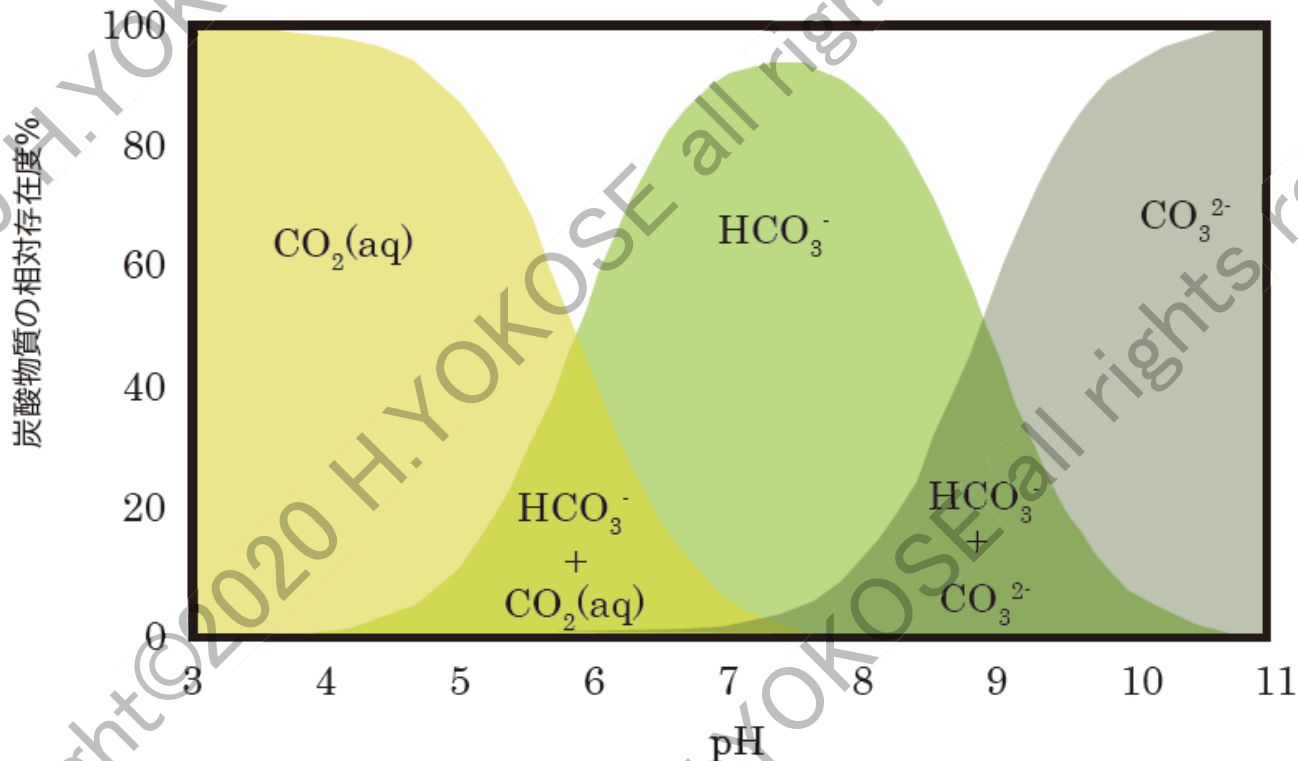
HCO₃⁻: 886 mg/kg

泉質:Na-炭酸水素塩泉

遊離CO₂: 0 mg/kg

お湯を刺激すると小さな泡が瞬く間に発生する全国区の温泉

炭酸ガスと炭酸水素イオンの関係



温泉水とクエン酸の化学反応

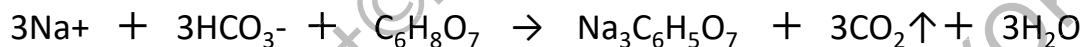


弓ヶ浜温泉の温泉水



ちゃんと出来るとここまで膨らむ

炭酸水素塩泉は、 Na^+ と HCO_3^- が沢山入っていて、解離して弱アルカリ性を示します。この溶液に、酸を加えることで中和反応が起きます。これは、重曹(炭酸水素ナトリウム)を水に溶かして、クエン酸を加えるようなものです。なので、炭酸水素塩泉(H_2O , Na^+ HCO_3^-)にクエン酸($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$)を加えると下記の反応が起きてクエン酸ナトリウム($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$)と二酸化炭素(CO_2)が出来ます。この反応は、重曹とクエン酸で炭酸水を作る実験と同じ原理です。



時間が経つと湯の華が出来て“にごり湯” に変わる



地中にいる時は、高温・高圧・還元的であった温泉水も地表の浴槽に注がれると減圧・温度低下とともに空気による酸化過程が進行する。これらの変化によって析出する溶解度の低い微粒子(S:硫黄華, CaSO_4 :硫酸塩化, CaCO_3 :石灰華, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$:鉄華, SiO_2 :珪華 など)は湯の華となって析出する。泉質によって異なり、炭酸水素塩泉は、石灰華(CaCO_3)が多く、しばしば FeCO_3 と CaCO_3 が共沈する。

温泉沈殿物による造形美



鱗状の沈殿物
SCALEとは”鱗“の事だが
何か関係があるかもしれない。



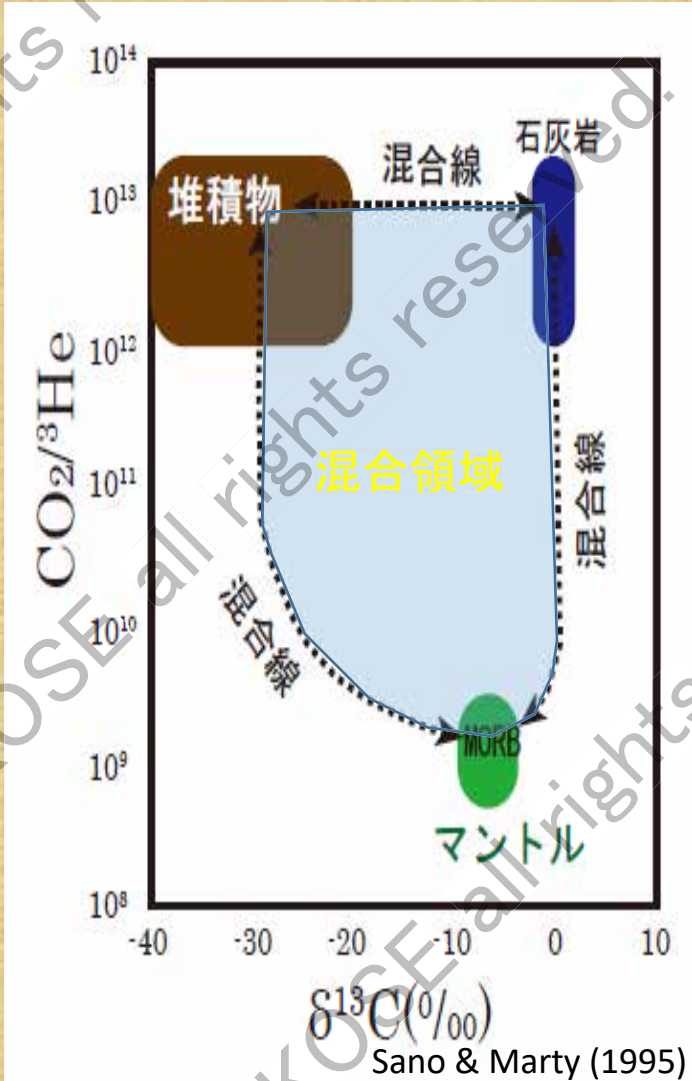
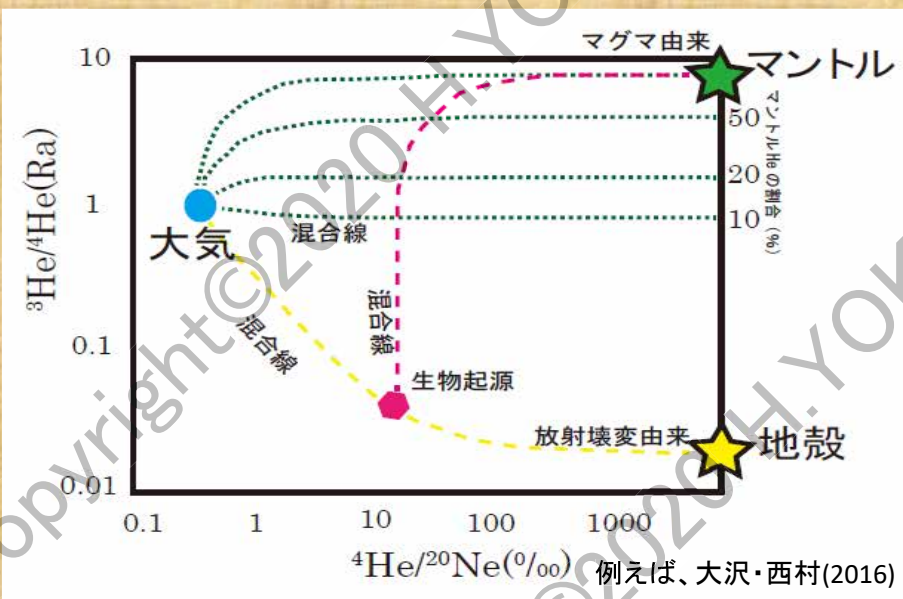
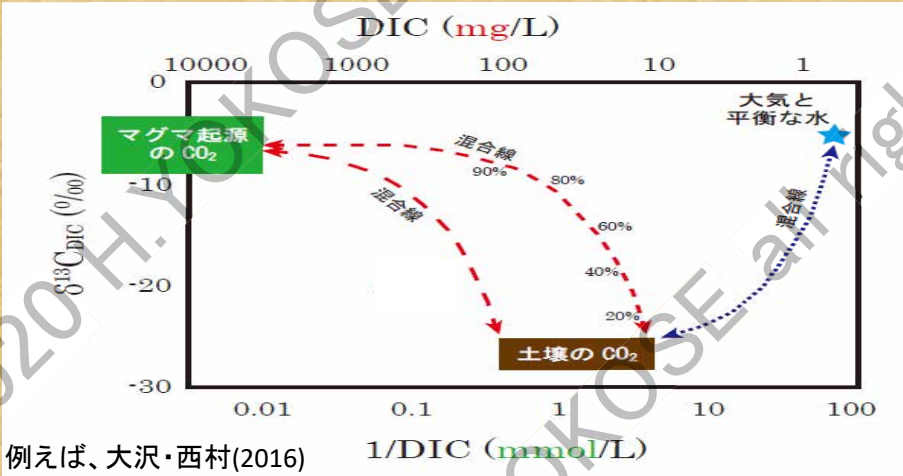
湯の華は、析出の仕方に応じて様々な形態を示す。鍾乳洞でよく見かける皿状の段を形成する石灰華段丘(写真右)や石灰華ドームなどがある。熊本県には存在しないが、全国には石灰華が作り出す石灰華ドームや噴泉塔が天然記念物や特別天然記念物に指定されている。

炭酸カルシウムの溶解と析出

温泉の中で、炭酸水素イオンとCaイオンに解離していたものが、減圧によって二酸化炭素が抜けると反応は右辺に進み、炭酸カルシウムの沈殿が進む

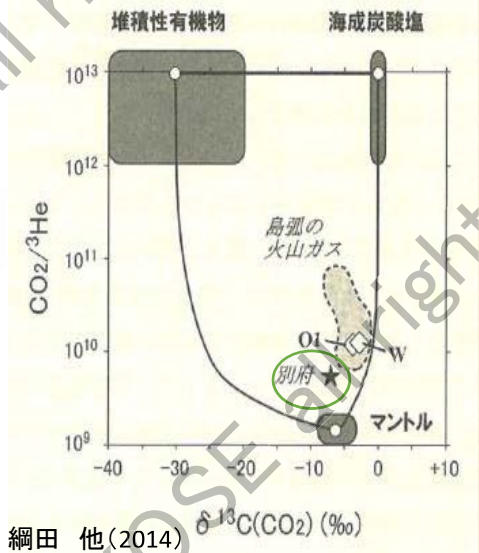
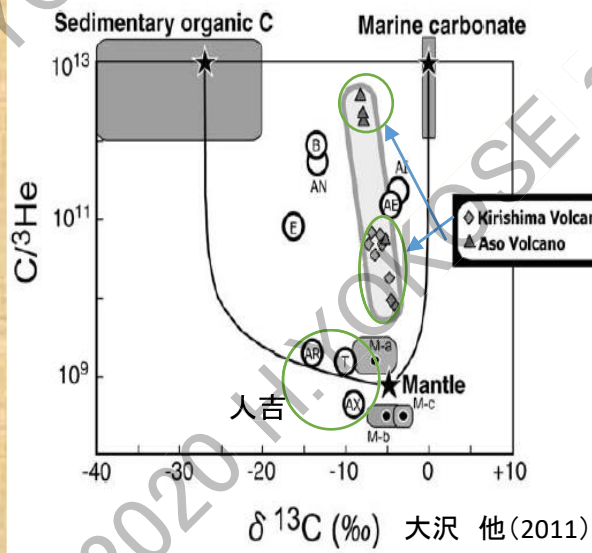
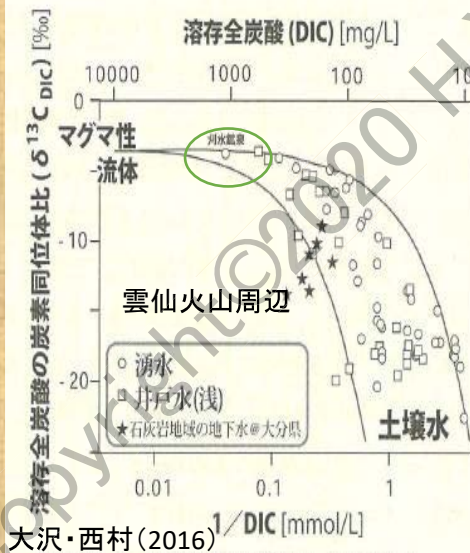
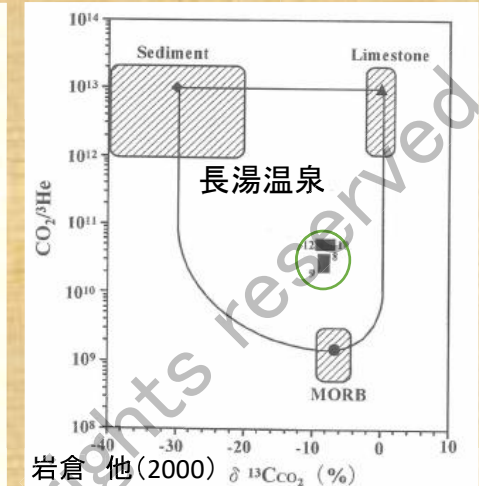
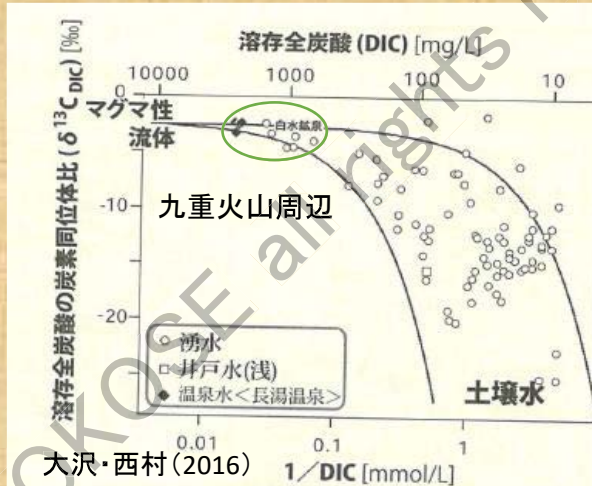
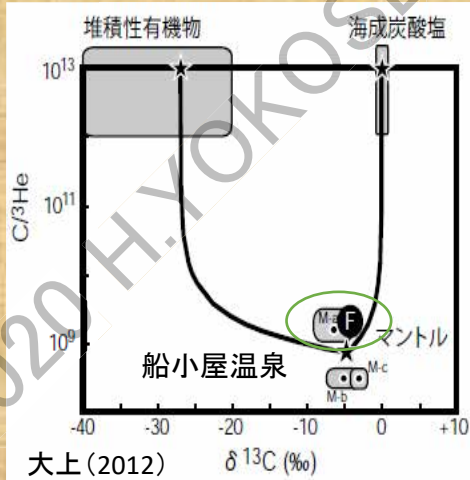


ガス成分の起源に関する識別図



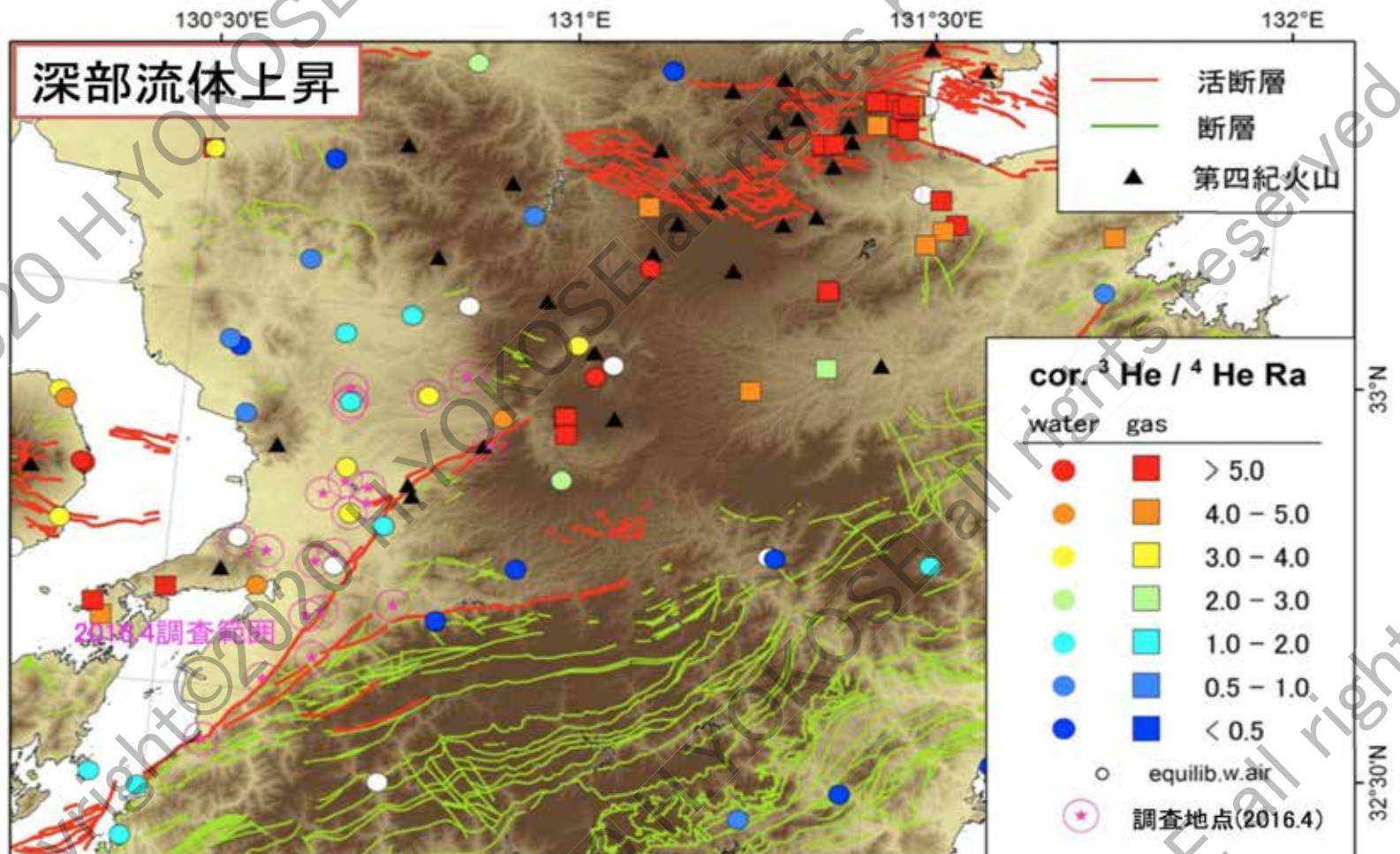
ここでは、ガス成分である(二酸化炭素の炭素やHe、Neといった希ガスの同位体比を使って物質の識別を試みている。
 DIC(溶存無機炭素) = [CO₂*] + [HCO₃⁻] + [CO₃²⁻] (mmol/L)

炭酸の起源に関する研究



炭酸成分に富む九州の温泉は、概ね端成分であるマンテルの近傍に示される。

温泉に伴うガス成分に見られるマントル起源の希ガス



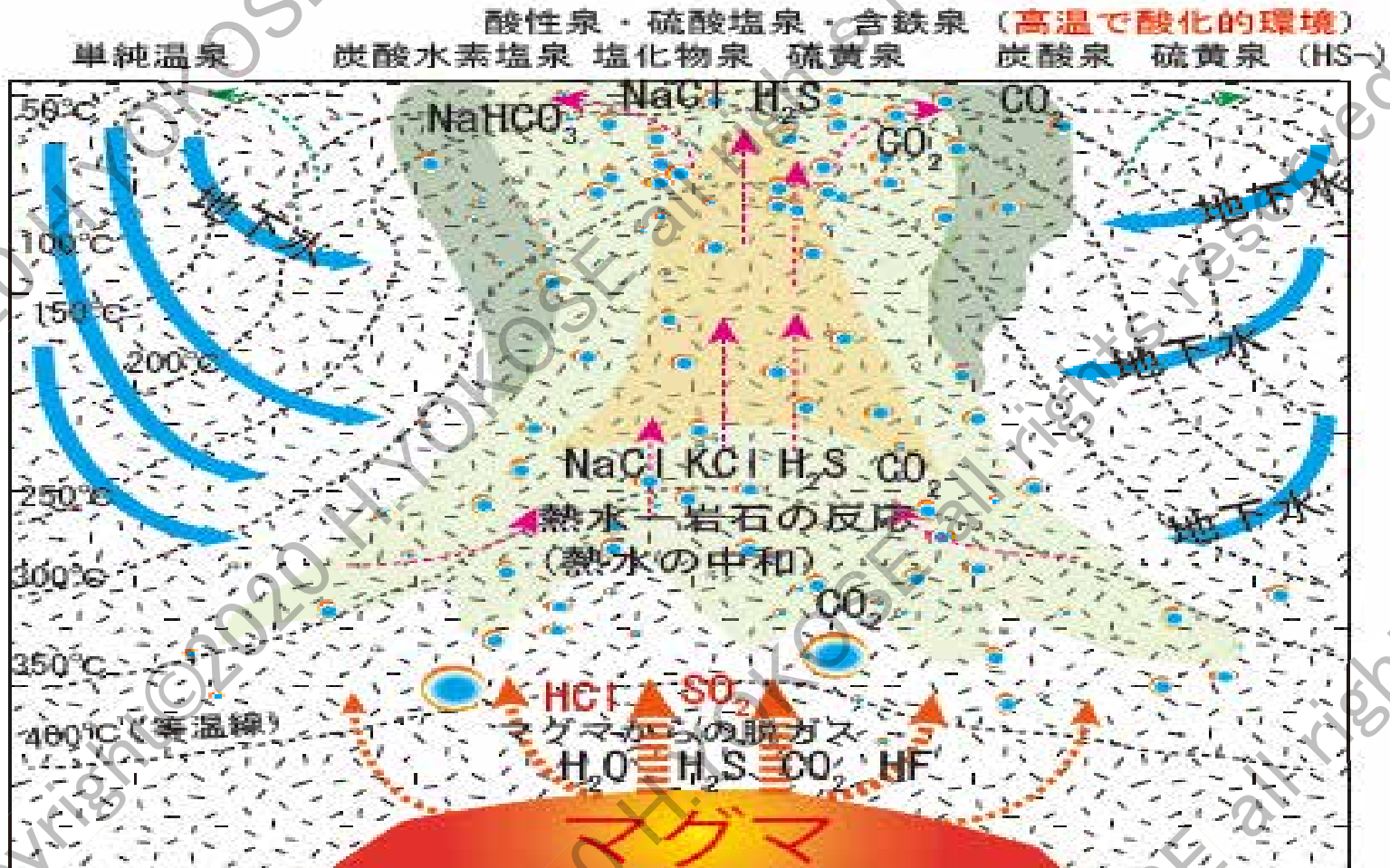
<https://unit.aist.go.jp/ievg/crufluid-rg1/kumamoto/kumamoto.html> (20200221参照)

人吉盆地が火山と隣り合わせだと知っている人が少ない

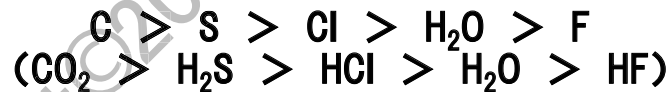


国見山地は、第四紀(260万年以降)に活動した火山によって構成されている。

火山活動と二酸化炭素の関係

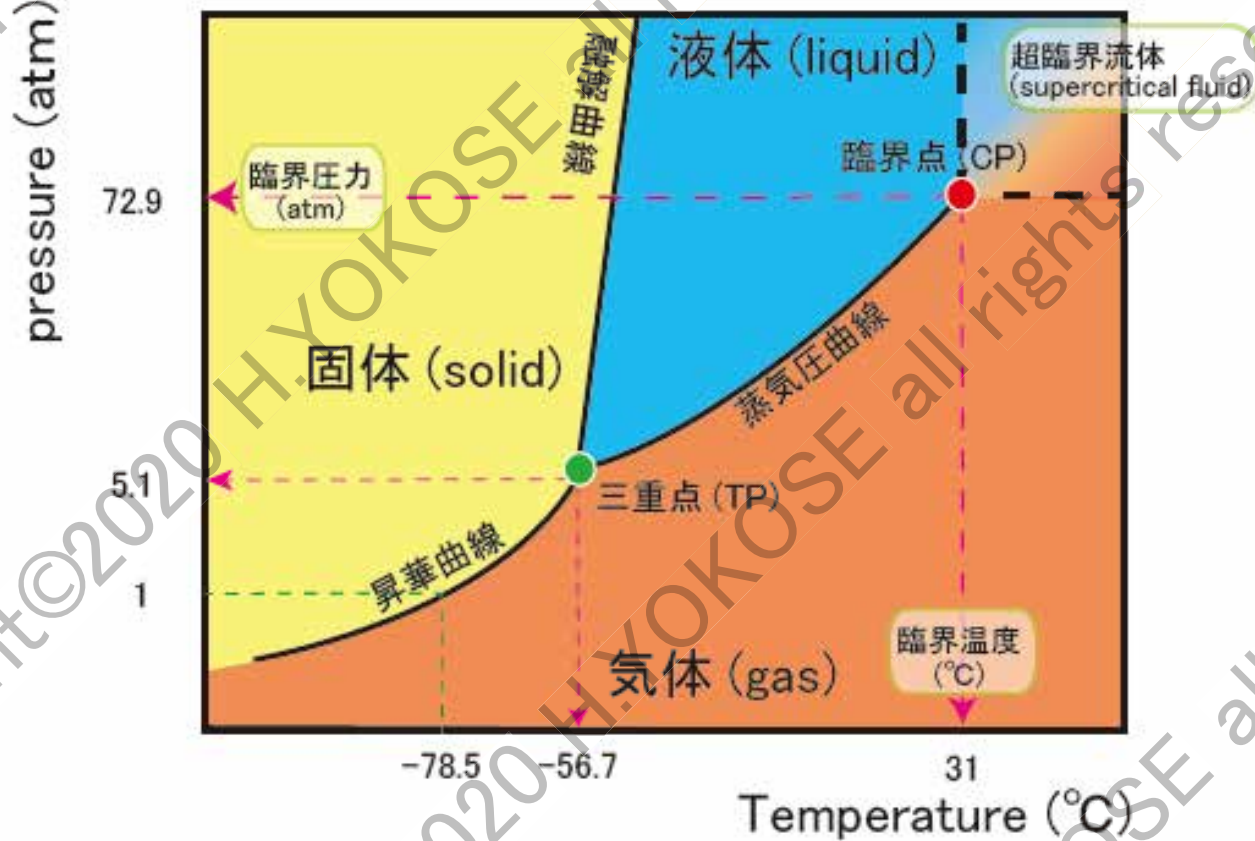


実験的データに基づく下記のような順番でマグマから揮発性成分が散逸する (Martini, 1996)。

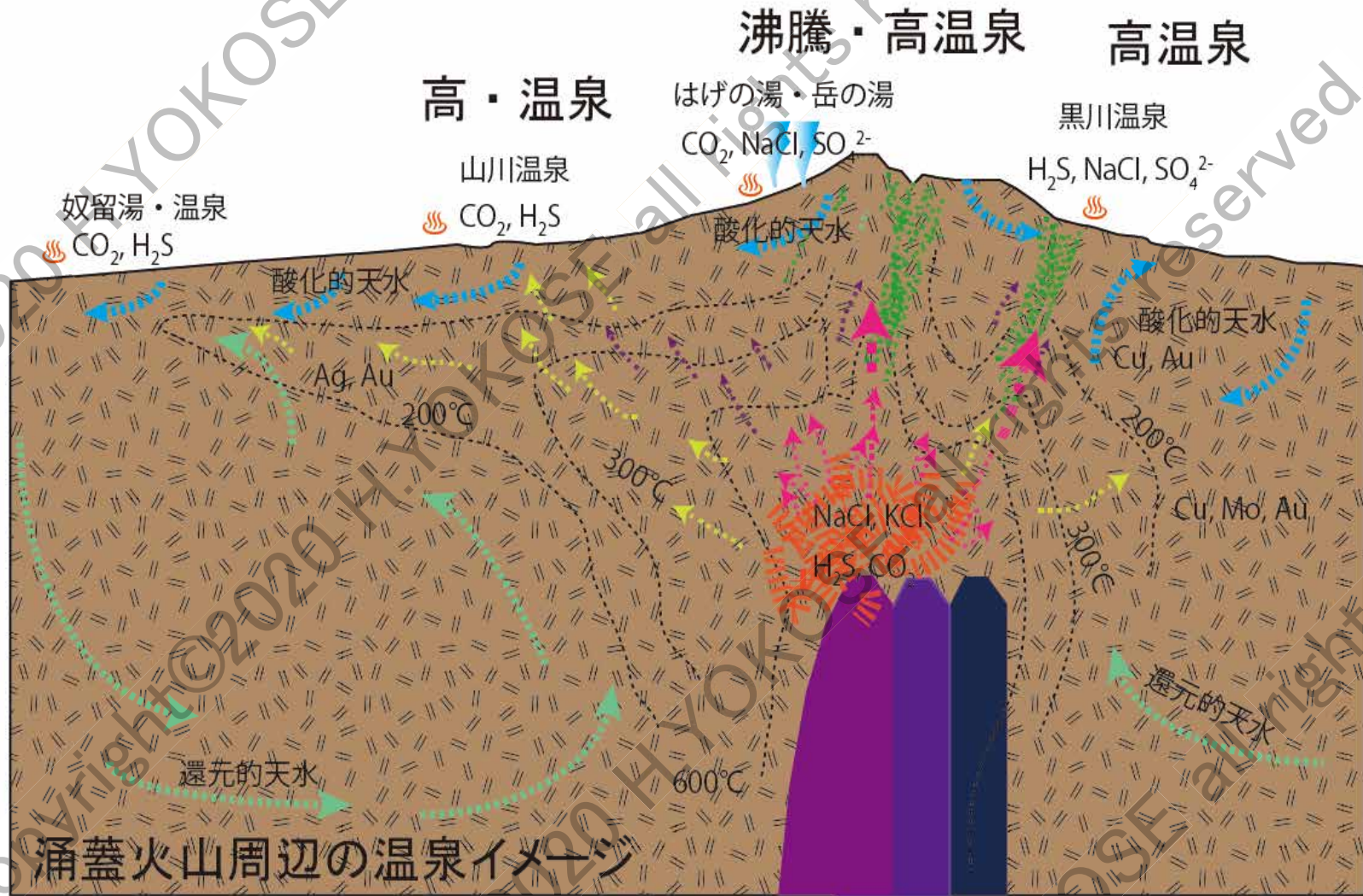


二酸化炭素の超臨界状態

二酸化炭素の状態図



わいた火山周辺の温泉形成(横瀬モデル)



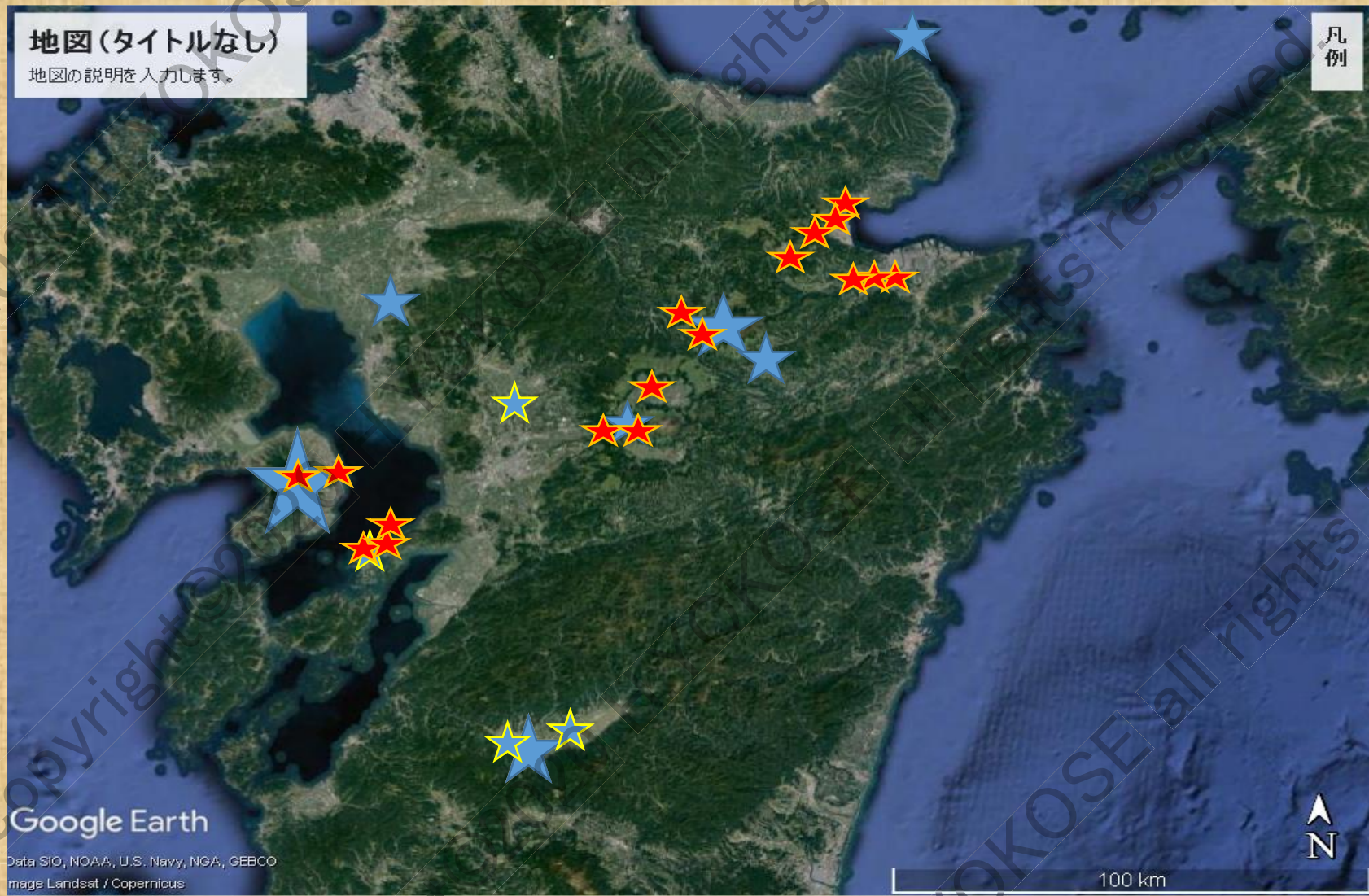
わいた火山の熱水系想像図(Hedenquist et al., 2000の熱水系イメージからの類推)

深部起源説

地図(タイトルなし)

地図の説明を入力します。

凡例



Google Earth

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image Landsat / Copernicus

100 km

N

別府-島原地溝帯の柔らかい地下深部(20km)と マントル由来の ^3He の対応関係

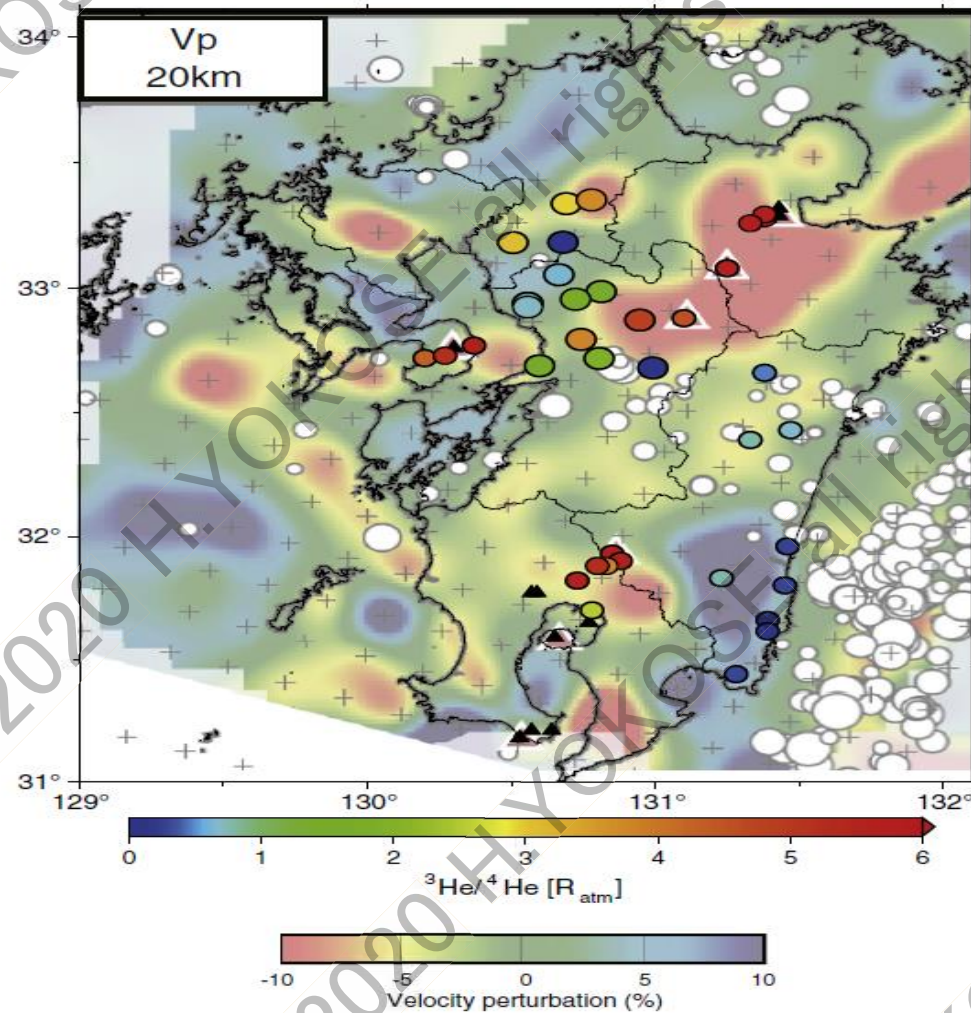


Fig. 6. Comparison of the observed $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios and velocity perturbation for V_p (P-wave velocity; Saiga et al., 2010). White circles indicate epicenters of events used in seismic imaging (Saiga et al., 2010).

別府一島原地溝帯の構造と温泉



九州中央部を横断する地溝帯の断裂に沿って直接あるいはマグマ活動に関連して地下深部から二酸化炭素が供給されていると考えられる。つまり、熊本の炭酸水素泉や炭酸泉のみならず、九州のそれらの泉質はマントルに由来した二酸化炭素が温泉に反映されているのかもしれない。

まとめ

- 熊本県では、高炭酸ガスの温泉が、合志川沿いの温泉、三角・大矢島野界隈、そして人吉に多く存在する。
- 炭酸泉や高濃度炭酸水素塩泉の二酸化炭素は地球深部からもたらされた炭酸ガスを起源としている。
- 炭酸ガスの豊富な温泉は、火山の比較的外側に多い。
- 炭酸ガスは、別府島原地溝帯や人吉盆地と言った深部断裂帯と密接にかかわりあっている。