

沈み込んだ海水が 火山を作る

静岡大学理学部地球科学科

川本竜彦

生まれは焼津

焼津市ホームページ



2/48



静大の居室から

2/48



3/48

©JAXA/NHK

住民票所在地

1964 静岡県焼津市

1972 高知県高知市

1982 京都市左京区

1992 東京都文京区

1994 合衆国アリゾナ州テンピ市

1997 ドイツ国バイエルン州バイロイト市

1997 大分県別府市

2003 フランス国パリ市15区

2005 フランス国クレルモンフェラン市

2005 大分県別府市

2011 京都市左京区

2014 大分県別府市

2018 静岡市駿河区



3/48

©JAXA/NHK

M1の時、大島噴火

赤い → 温度が高い

泡がある → 水があった

見てみたい

4/48

伊豆大島1986年噴火(白尾元理)

ピナツボ火山
カンラン石中に

塩水包有物！

5/48



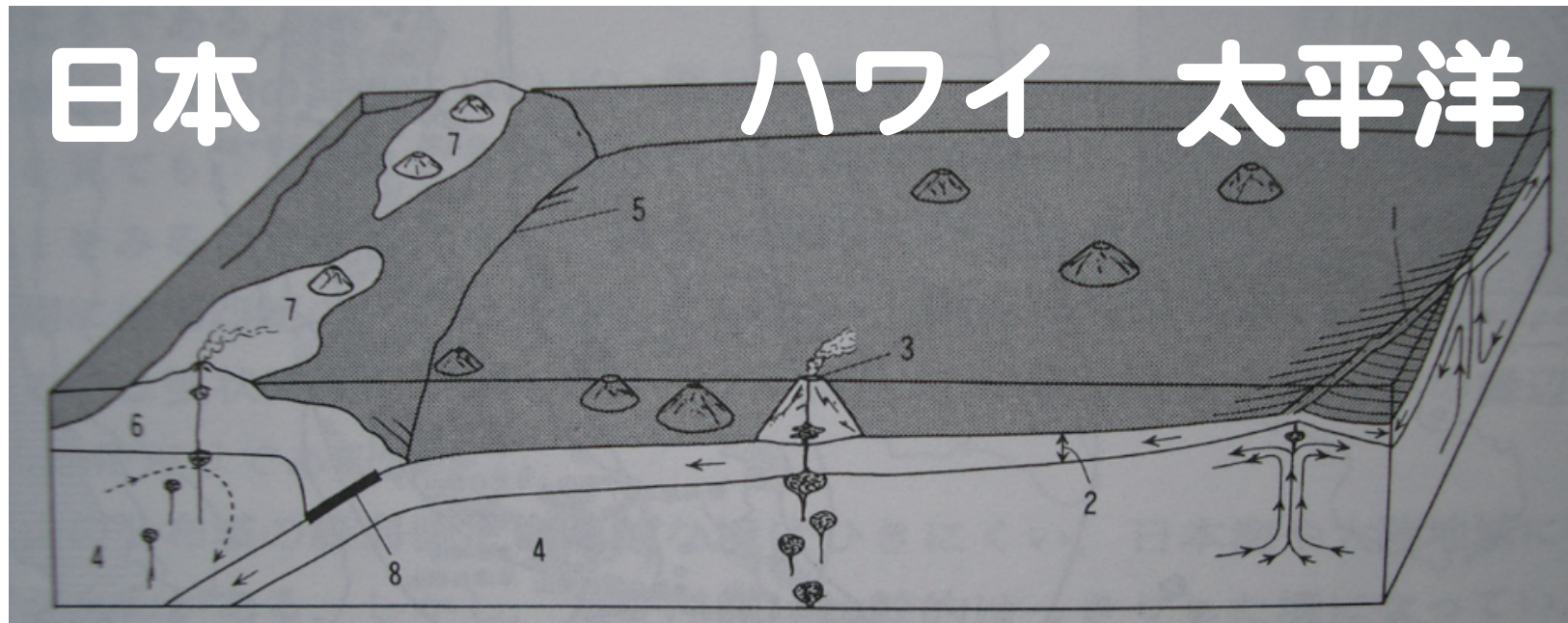
50ミクロン

0.05mm

2009年3月19日

芳川さん宛メール

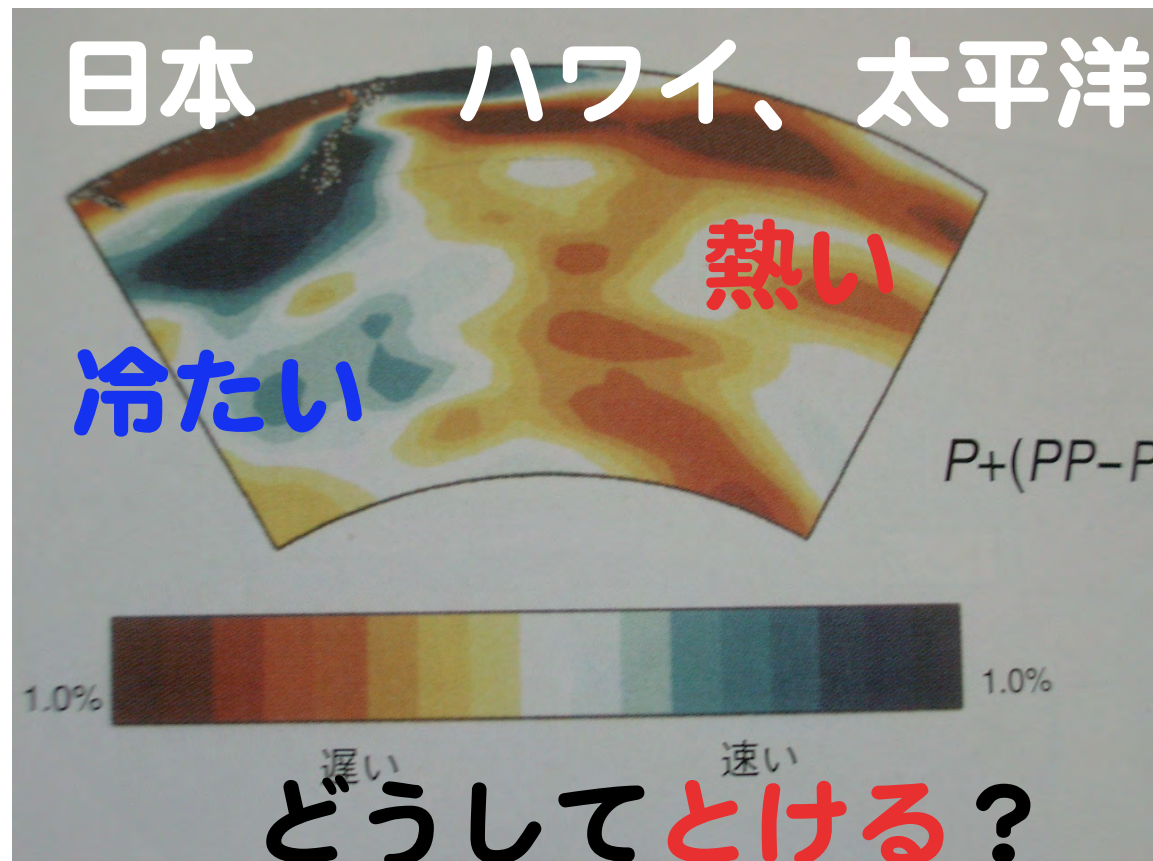
マグマは 地球の中のどこでうまれているか？



沈み込み帯 ホットスポット 海れい

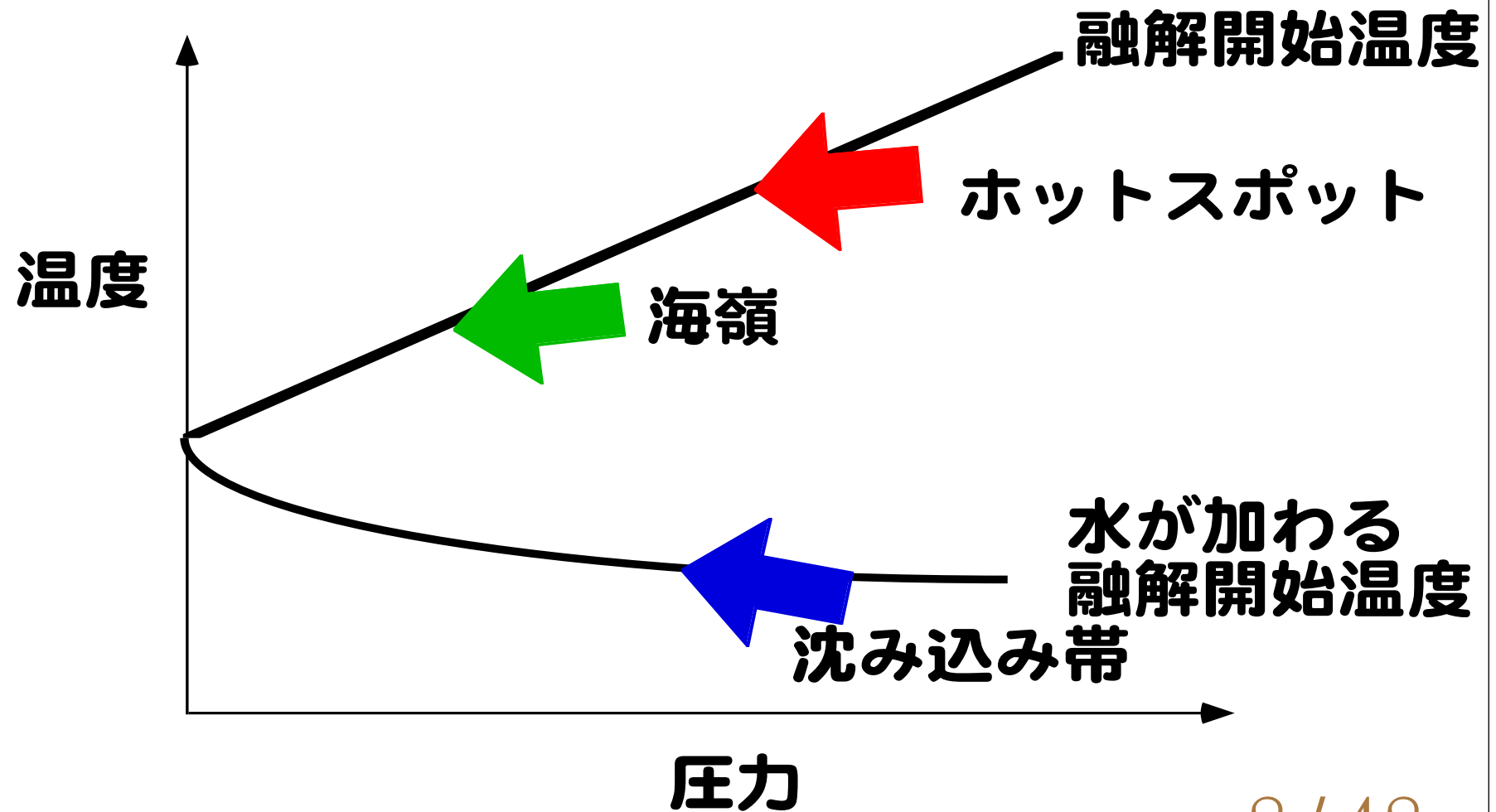
地震で見た地球の中のヨウス

地震波トモグラフィー：地震波速度を色で表現



- 1 熱いからとける
- 2 水があるからとける

どうして溶ける？



水がマントルの 溶ける温度を下げる

例えば、ジュースが凍る温度や
凍ったジュースが溶ける時を考える

水がマントルの
溶ける温度を下げる

例えば、ジュースが凍る温度や
凍ったジュースが溶ける時を考える

凝固点降下

冷凍庫から出し、しばらく経った
部分的に溶けている



水

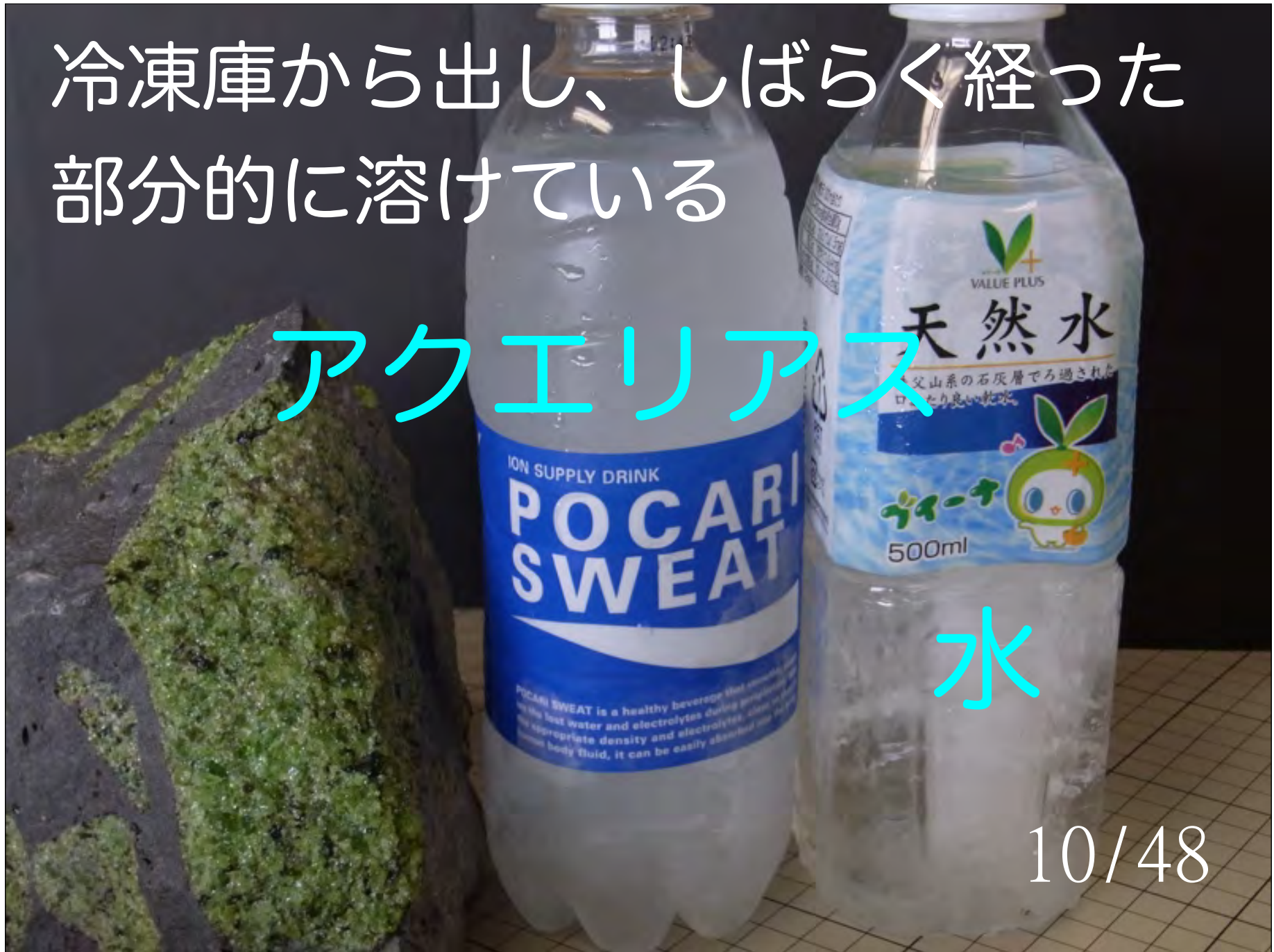
10/48

冷凍庫から出し、しばらく経った
部分的に溶けている

アクエリアス

水

10/48



冷凍庫から出し、しばらく経った
部分的に溶けている

アクエリアス

水

凝固点降下

10/48

フィリピン ピナツボ
角閃石ハルツバージャイト

アメリカ合衆国アリゾナ州
サンカルロス
ほぼ水無し

Kawamoto+
2013 合衆国科学
アカデミー紀要

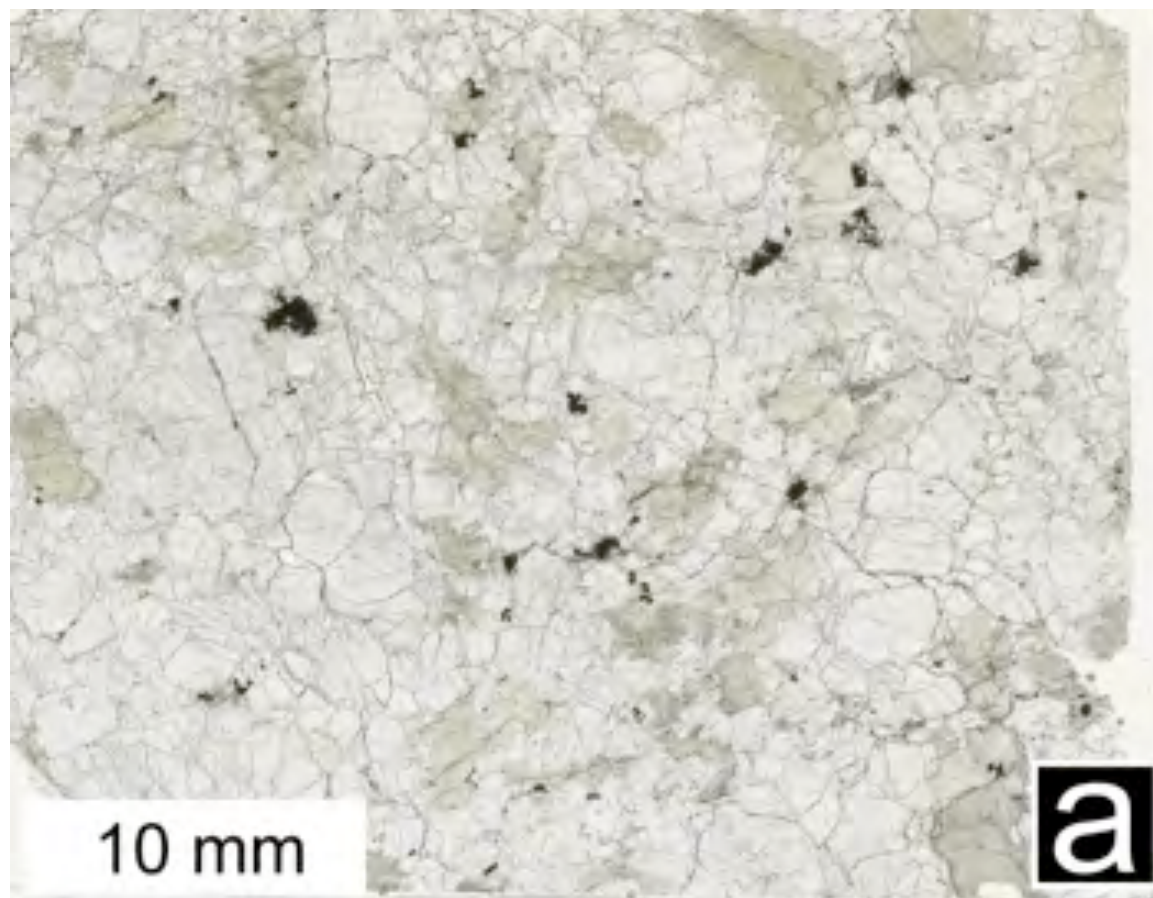
Cl

SO_4^{2-}

Na/K

11/48

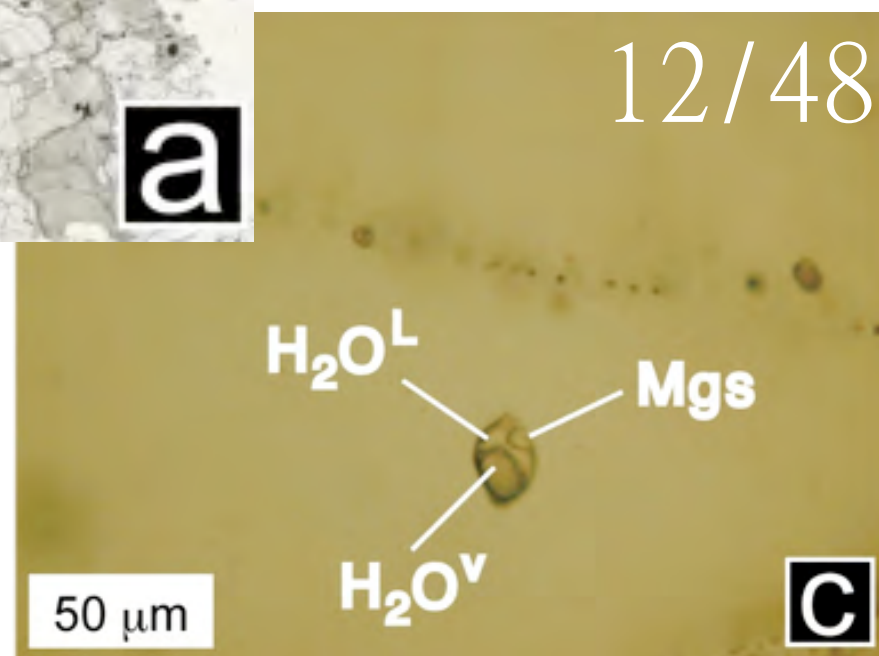




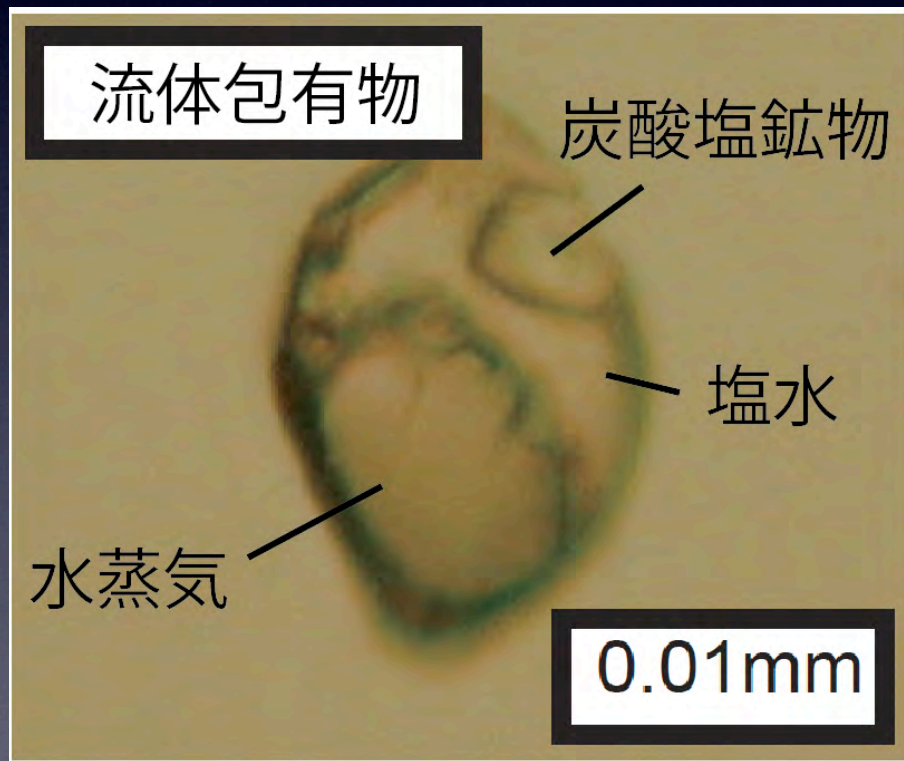
かんらん石
斜方輝石
スピネル
角閃石

12/48

かんらん石の中に
流体包有物



マントル捕獲岩中の流体包有物 H_2O - CO_2 - NaCl

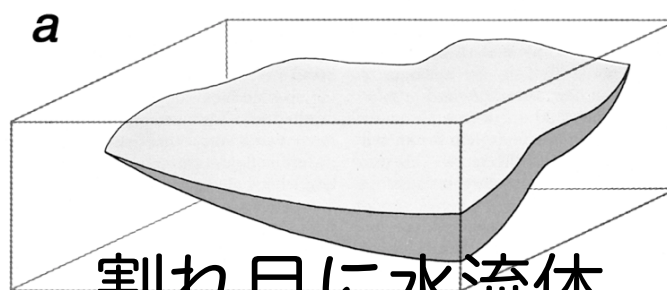


ピナツボ1991噴火の
捕獲岩中のかんらん石

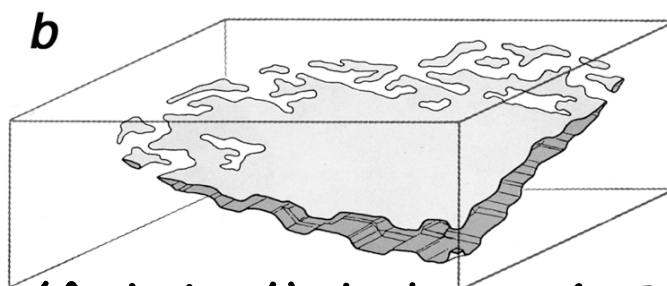
Kawamoto+
2013 PNAS

流体包有物

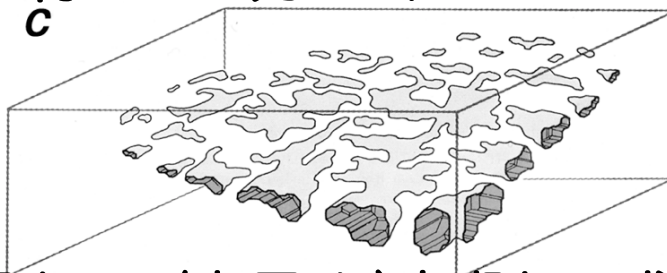
Mineral Association of
Canada, short course
2003



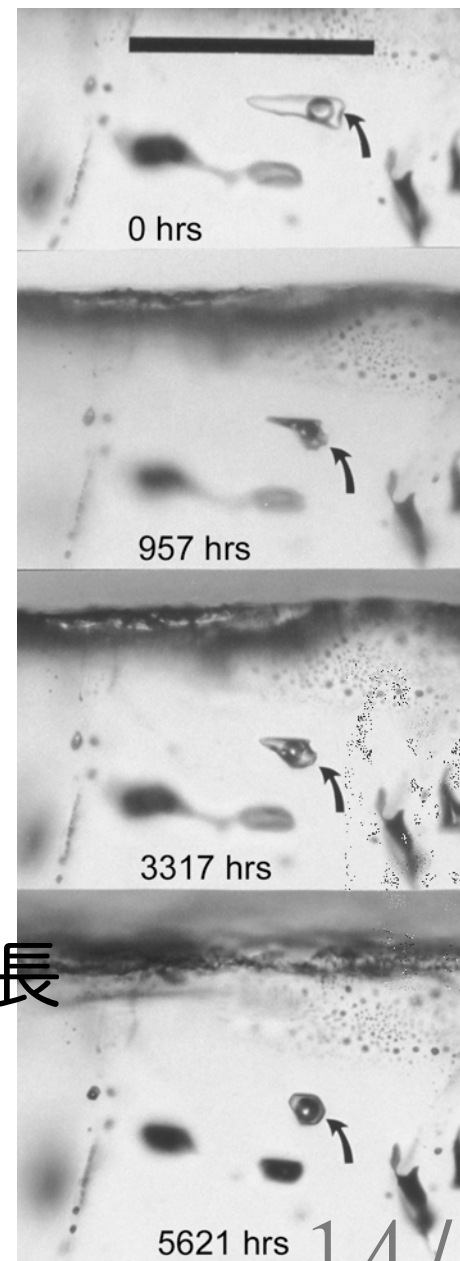
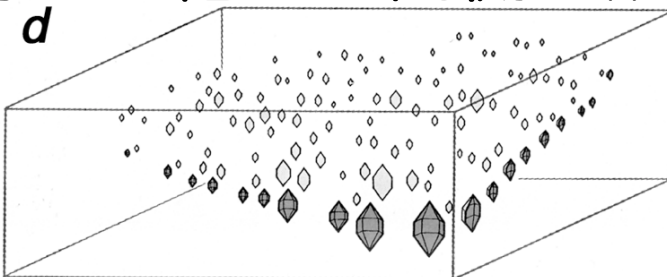
割れ目に水流体



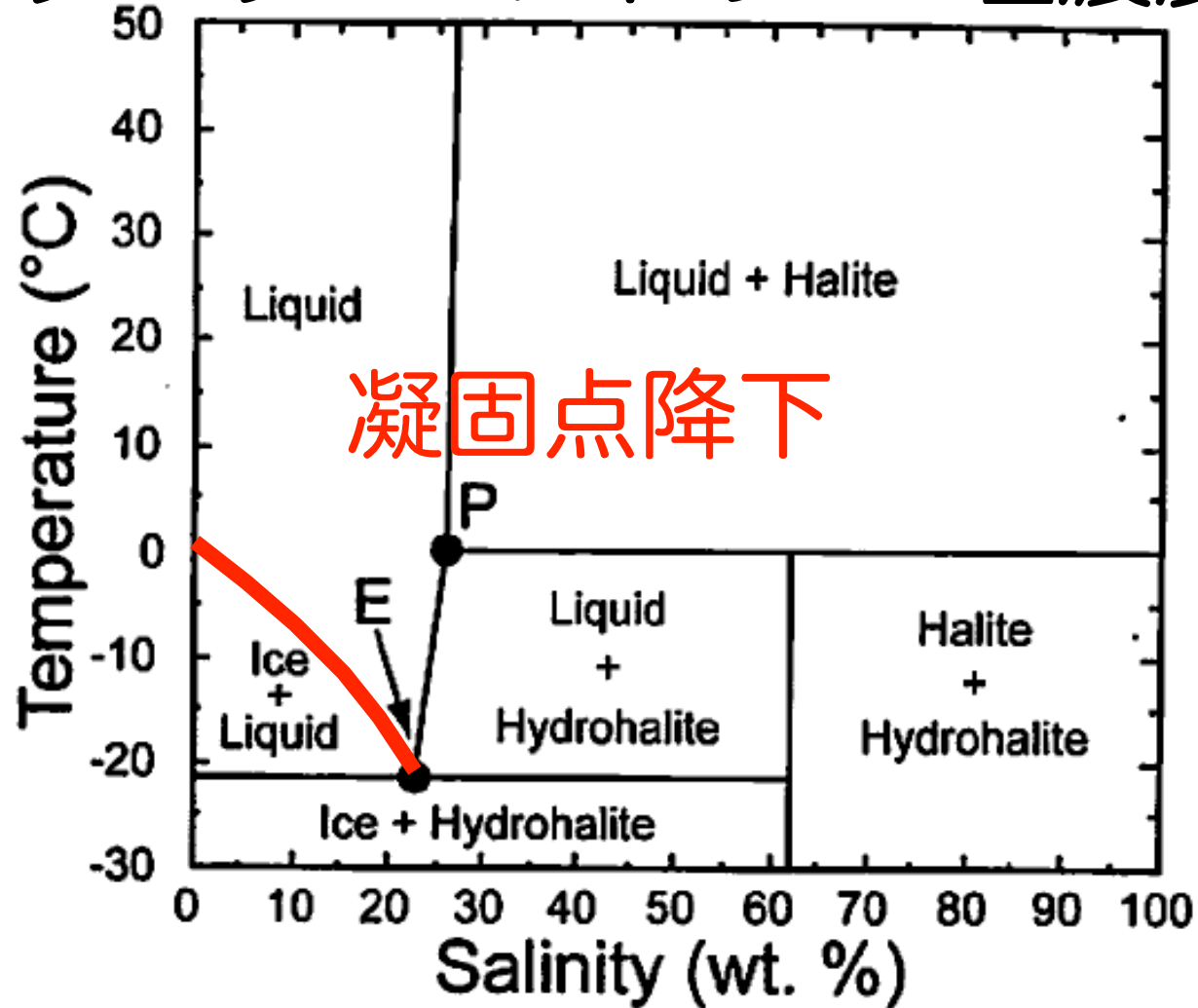
徐々に分かれてくる



周りの結晶が内側に成長



マイクロサーモメトリー 塩濃度測定



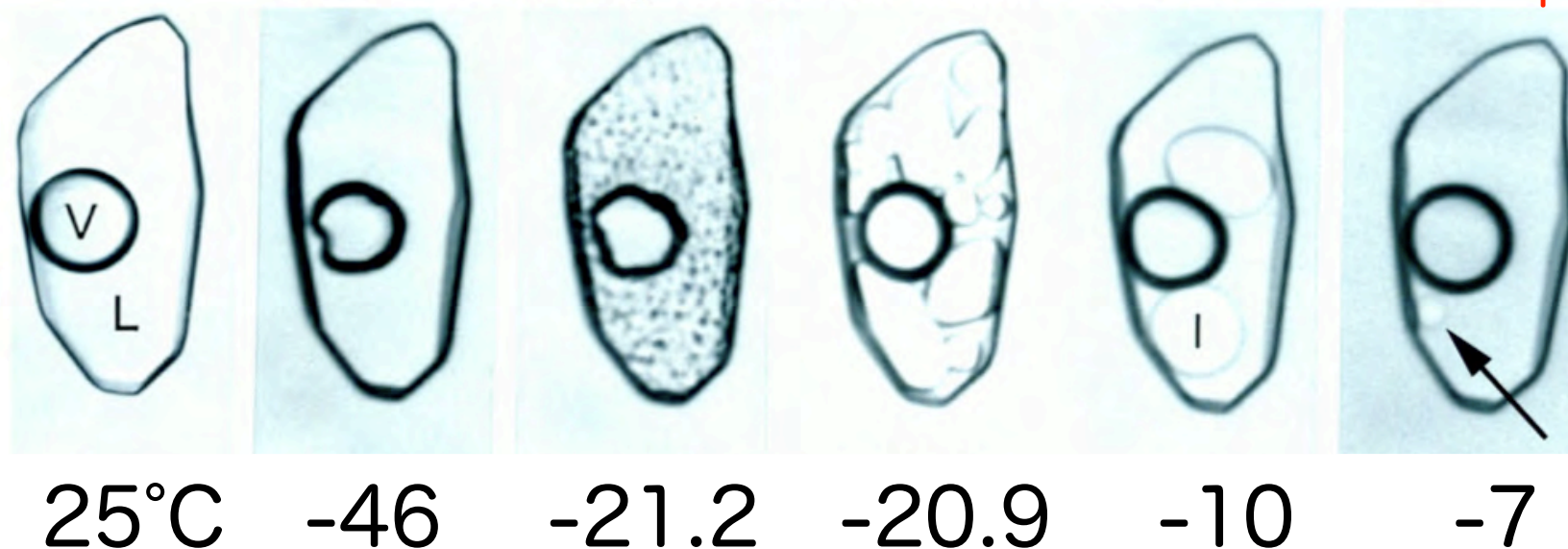
15/48

H₂O

NaCl

Behavior of Synthetic fluid inclusion

10.5 wt%
NaCl equiv



凝固点降下の度合い→塩濃度の推定

Bodnar (2003) In Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation.

Mineral Association of Canada, short course 2003

8umの流体包有物の冷却加熱観察
対物レンズ x100



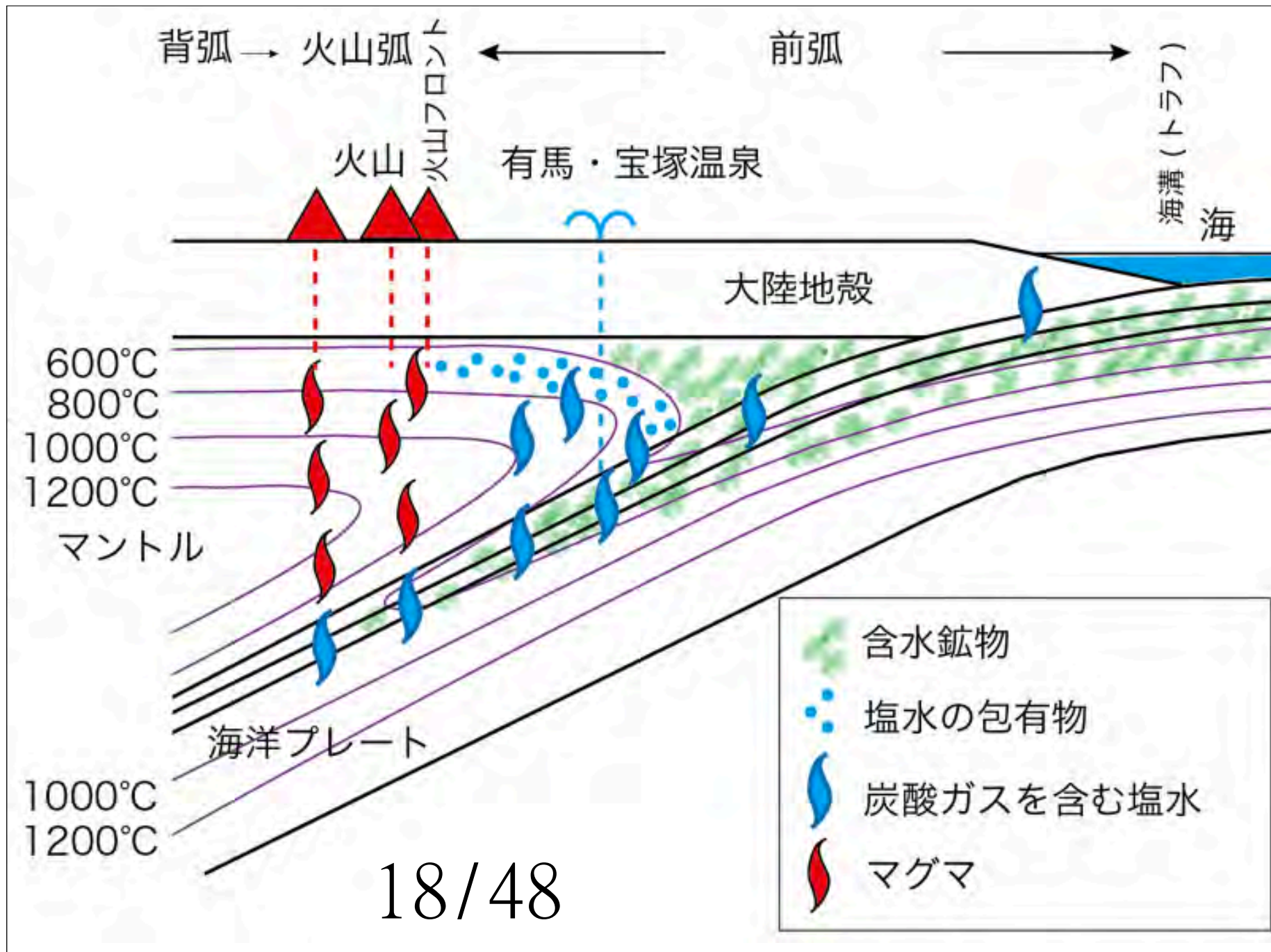
ローソン石中の流体包有物 3.7 % NaCl

Gt-Jd-Law-bearing Quartzite
ドミニカ共和国

17/48

Kawamoto + 2018 Lithos

20um



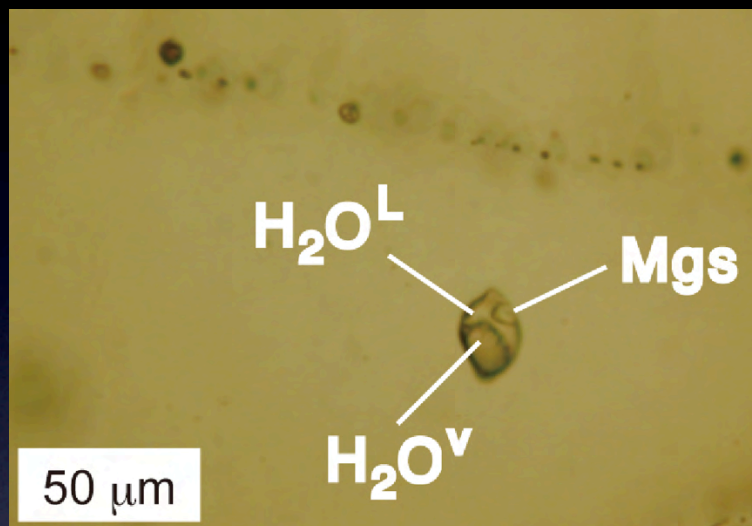
沈み込み帯流体

どれだけ塩素が？

Fluid inclusions in subarc mantle

H₂O-CO₂-NaCl

20/48



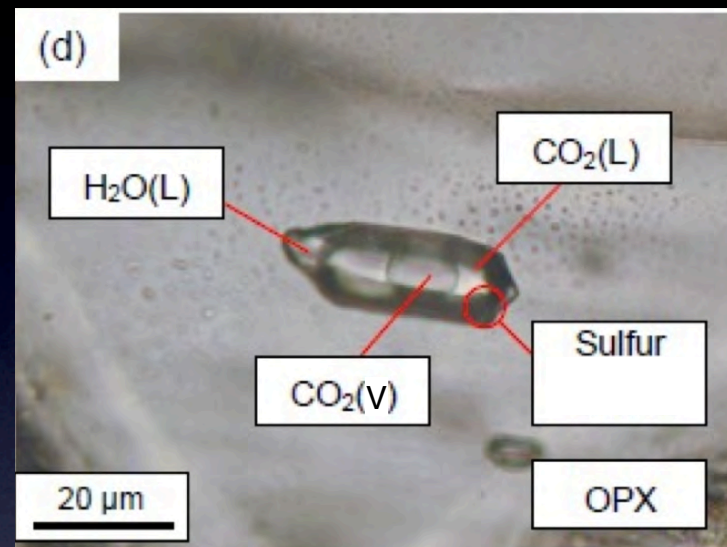
Harzburgite

1991 Pinatubo

5.1 ± 1 wt% NaCl eq

火山フロント

Kawamoto et al. 2013 PNAS



Lherzolite

Ichinomegata, NE Japan

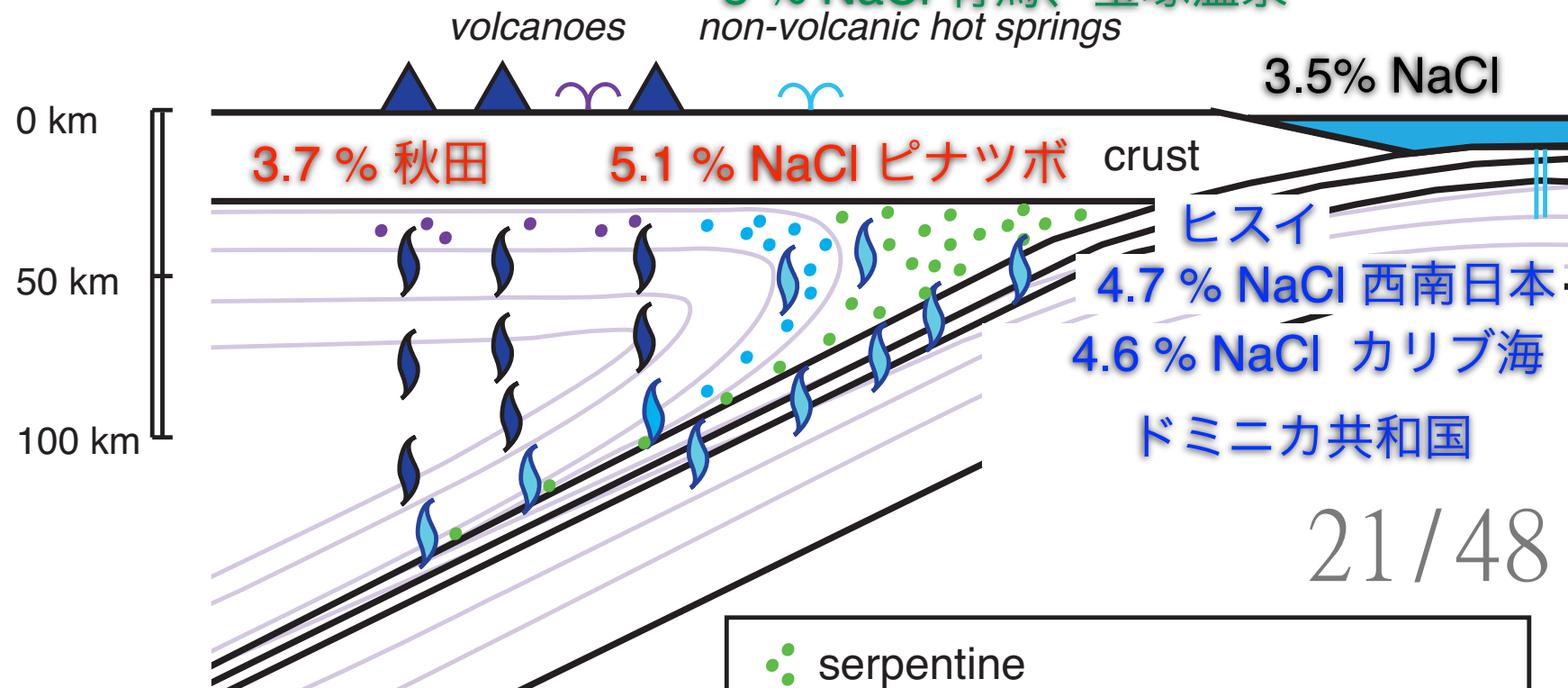
3.7 ± 0.8 wt% NaCl eq

背弧側

Kumagai et al. 2014 CMP

塩濃度マップ(作成中)

5 % NaCl 有馬、宝塚温泉
non-volcanic hot springs



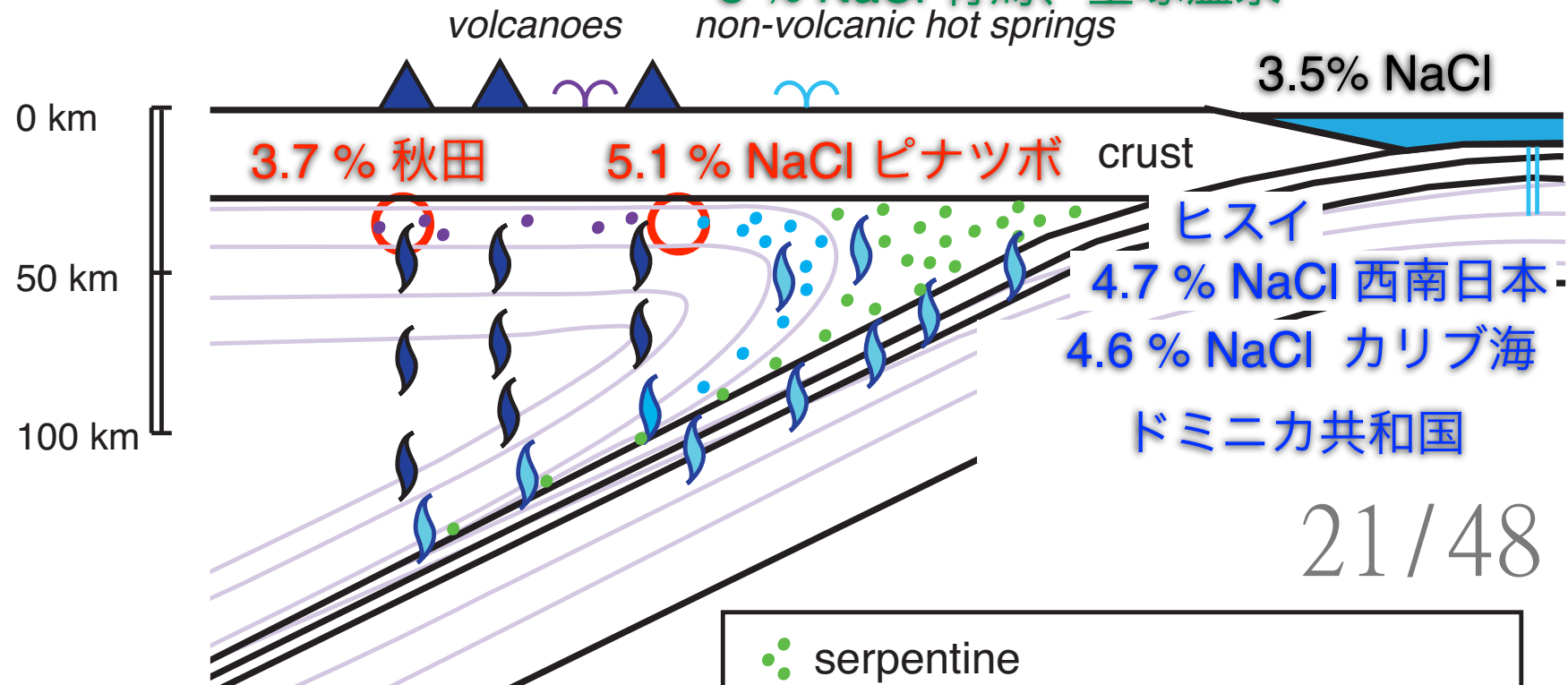
21/48

Kawamoto+ 2013 PNAS
Kumagai+ 2014 CMP
Kusuda+ 2014 EPS
Fukuyama+ 2017 JMPS
Kawamoto+ 2018 Lithos

- serpentine
- CO₂ saline fluids
- S bearing CO₂ saline fluids
- infiltrating CO₂ saline fluids
- fluid-induced basalt melt

塩濃度マップ(作成中)

5 % NaCl 有馬、宝塚温泉
non-volcanic hot springs



21/48

Kawamoto+ 2013 PNAS
Kumagai+ 2014 CMP
Kusuda+ 2014 EPS
Fukuyama+ 2017 JMPS
Kawamoto+ 2018 Lithos

- serpentine
- CO₂ saline fluids
- S bearing CO₂ saline fluids
- infiltrating CO₂ saline fluids
- fluid-induced basalt melt

沈み込み流体

海水より塩辛い塩水

SO_4^{2-} 硫酸イオンは
海水で2番目に
多く溶存

ラマン イメージング (分光法)

顕微鏡

分光器

コンピューター

レーザー

488nm

石の中のH₂O, CO₂ を識別できる

24/48

2016/12/19



ピナツボの流体包有物のラマンマップ

H₂O 3000 to 3643 cm⁻¹

Ol 823 ± 10cm⁻¹

anhydrite 1015 ± 2.5 cm⁻¹

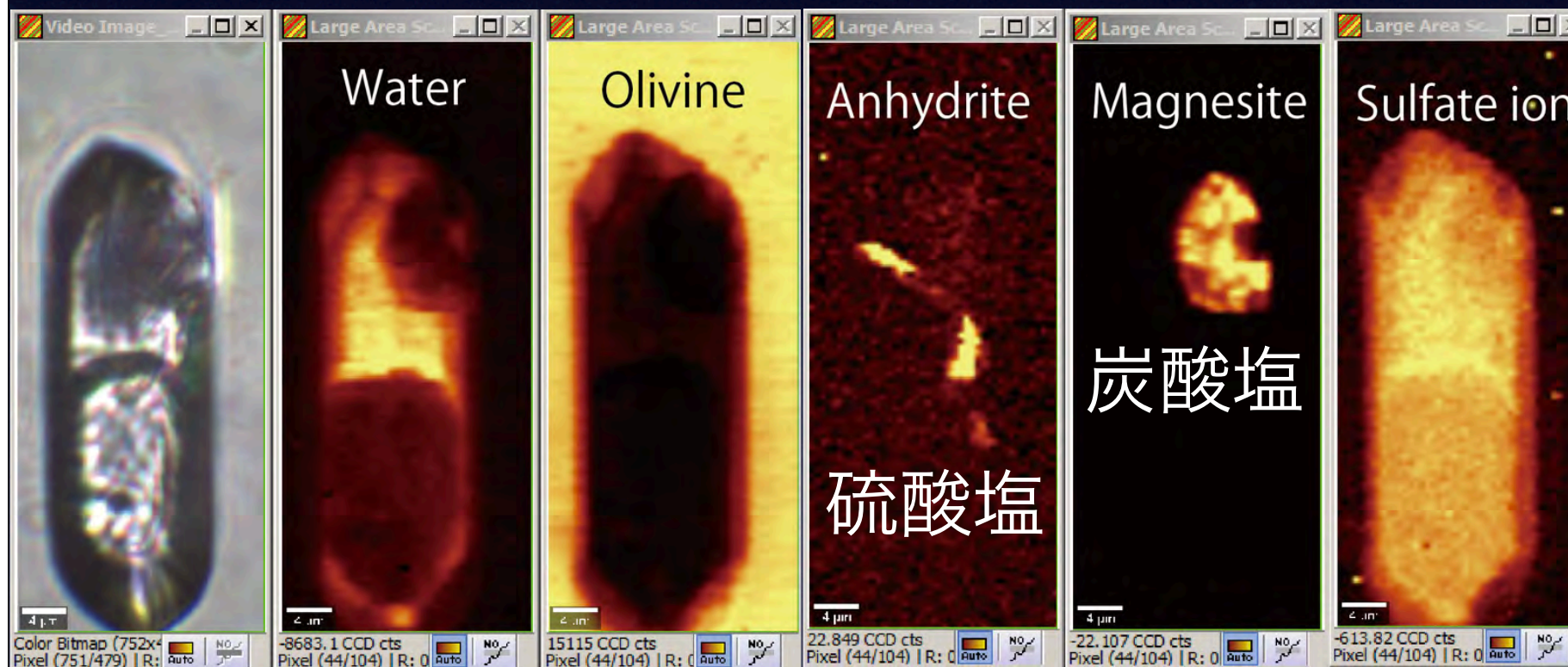
magnesite 1096 ± 10cm⁻¹

SO₄²⁻ ion 983 ± 7.5 cm⁻¹

SO₄²⁻ is second largest
after NaCl in seawater

31/54

22 x 55 μm area for 18 hours

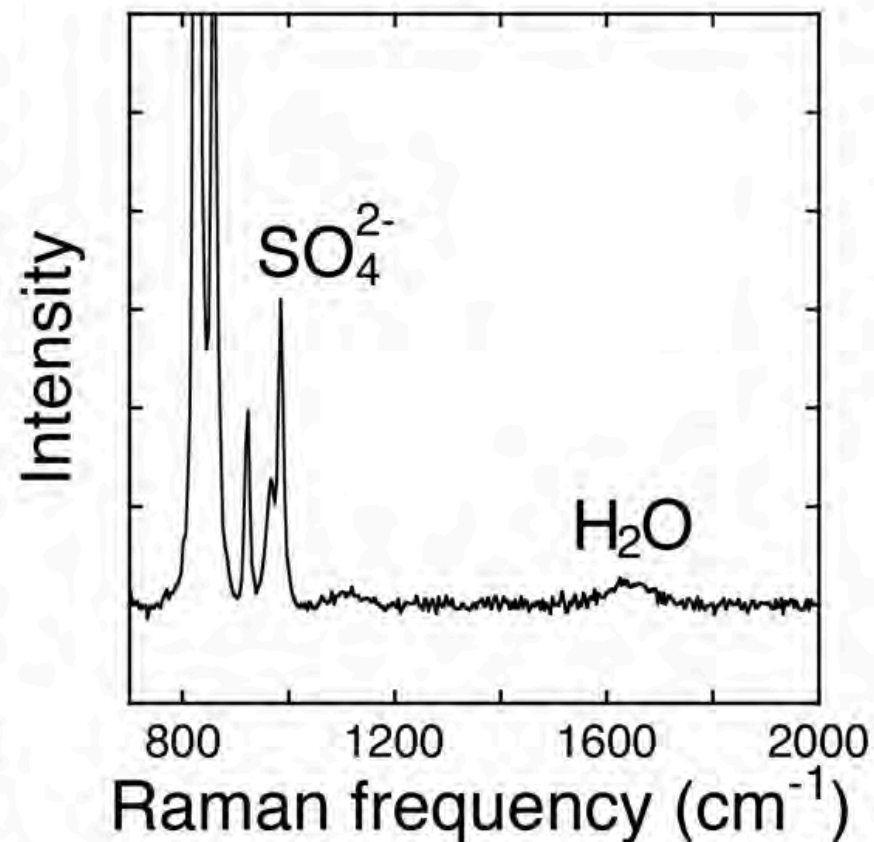
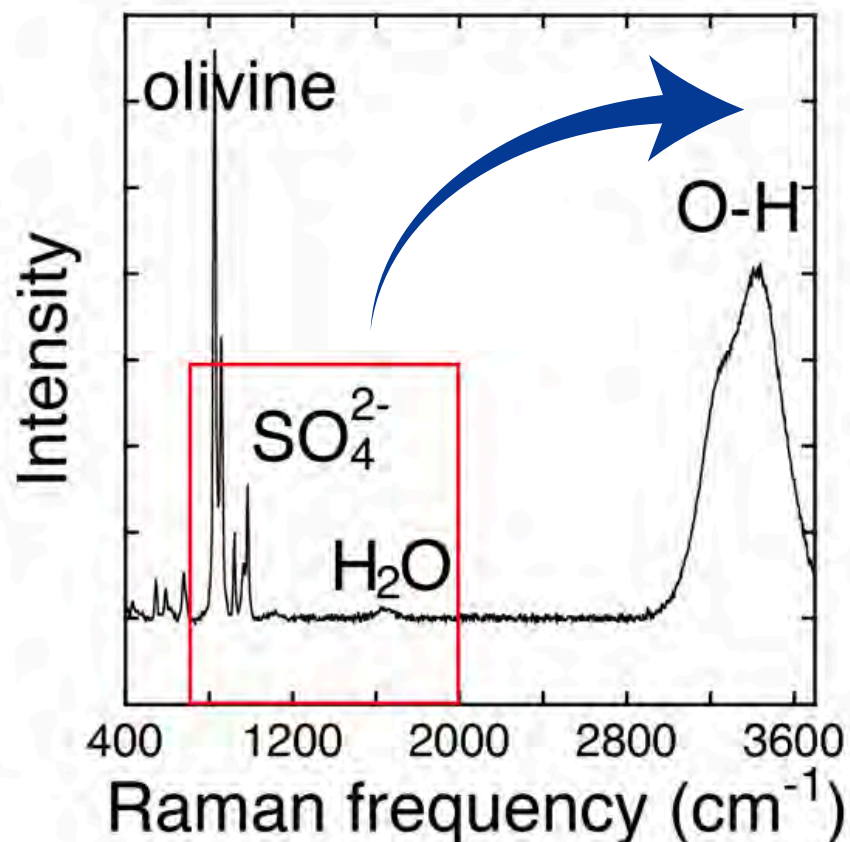


ラマン分光法

26/48

$\text{SO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{O}$ 2.5 g S/ 1kg water

Following Binder and Keppler (2011 EPSL)



ピナツボの流体包有物

$$\text{H}_2\text{O} : \text{Cl} : \text{S} = \\ 100 : 3 : 0.25$$

海水の組成

$$\text{H}_2\text{O} : \text{Cl} : \text{S} = \\ 100 : 2 : 0.1$$

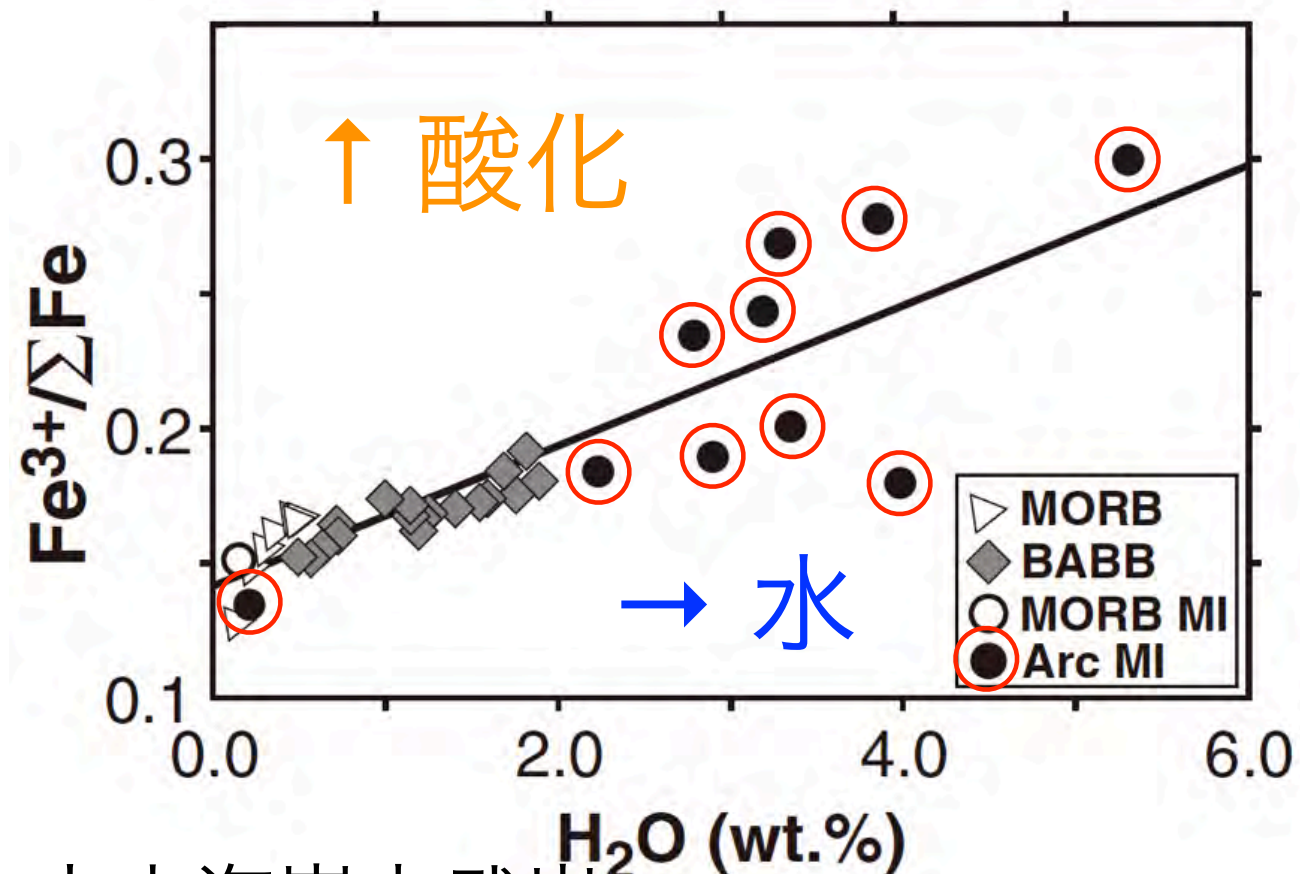
蛇紋岩 マントルの含水鉱物

0.1-1.1 wt% S/H₂O
(Alt et al. 2012 EPSL)

脱水してピナツボの流体包有物に

0.25 wt% S/H₂O

沈み込み帯のマグマは水が多く、酸化している



MORB: 中央海嶺玄武岩

BABB: 背弧玄武岩

○ Arc MI: 沈み込み帯の玄武岩

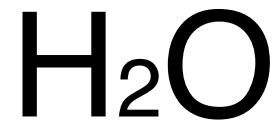
Kelley and Cottrell 2009 Science

水が多く、酸化になるための仮説

Kelley and Cottrell 2009 Science



with



or



Melt inclusion study by
Wallace 2005 JVGR

マントル岩中の流体包有物に硫酸塩

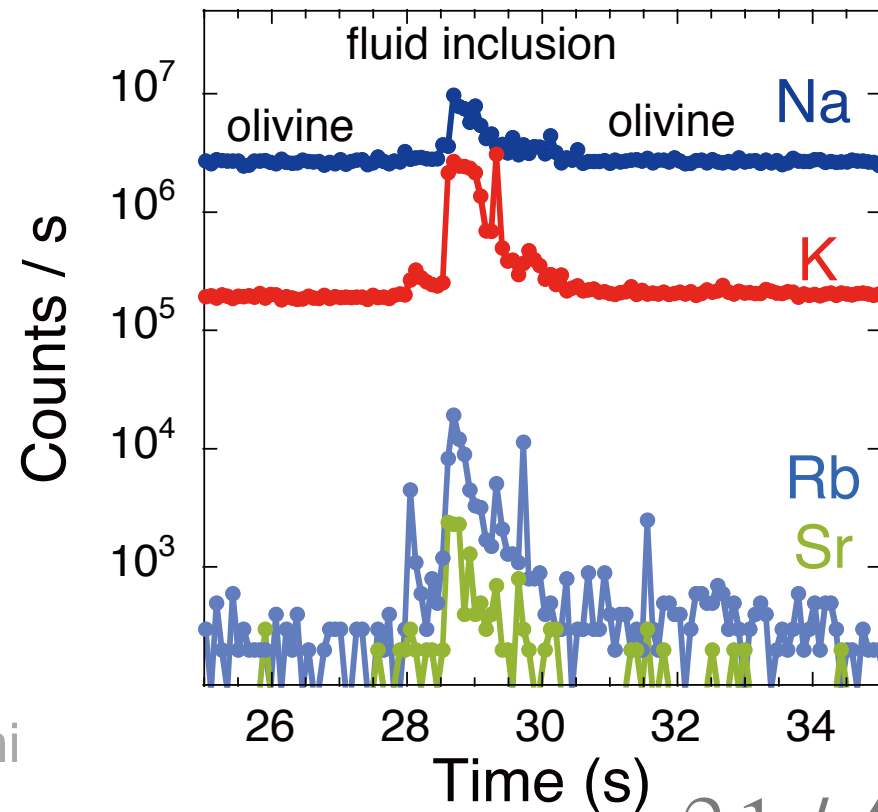
② こっちが良さそう

レーザーICP局所分析

誘導結合プラズマ質量分析計

@ 海洋研究開発機構

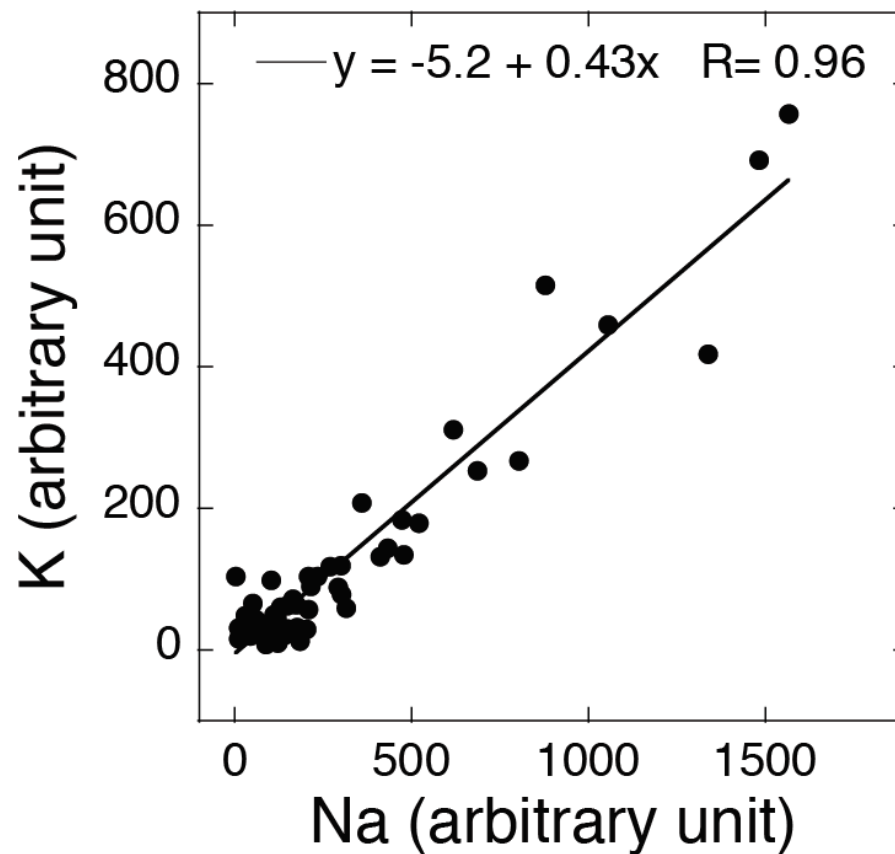
(横須賀)



Kawamoto, Kimura, Chang,
Yoshikawa, Okuno, Kobayashi
rejected

Na73 K27 質量比

海水(Na96 K4)とは全く違う



Kawamoto, Kimura, Chang,
Yoshikawa, Okuno, Kobayashi
rejected

Na₇₃K₂₇ 海水とまったく違う (Na₉₆ K₄)

従来のマグマの化学組成モデルでの水流体組成

H₂O-rich components in マリアナ弧 trough back-arc magmas

Na₈₂K₁₈ (Stolper and Newman, 1995 EPSL)

H₂O-rich components in Mt. Shasta カスケード弧

Na₇₇K₂₃ (Grove+, 2002 CMP)

Two H₂O-rich components in Mt. Shasta カスケード弧

Na₇₀K₃₀ of melt or supercritical fluids components

Na₈₇K₁₃ of aqueous fluids components

(Le Voyer+, 2010 J Petrol)

Na₇₃K₂₇ 海水そのものじゃない(Na₉₆ K₄)

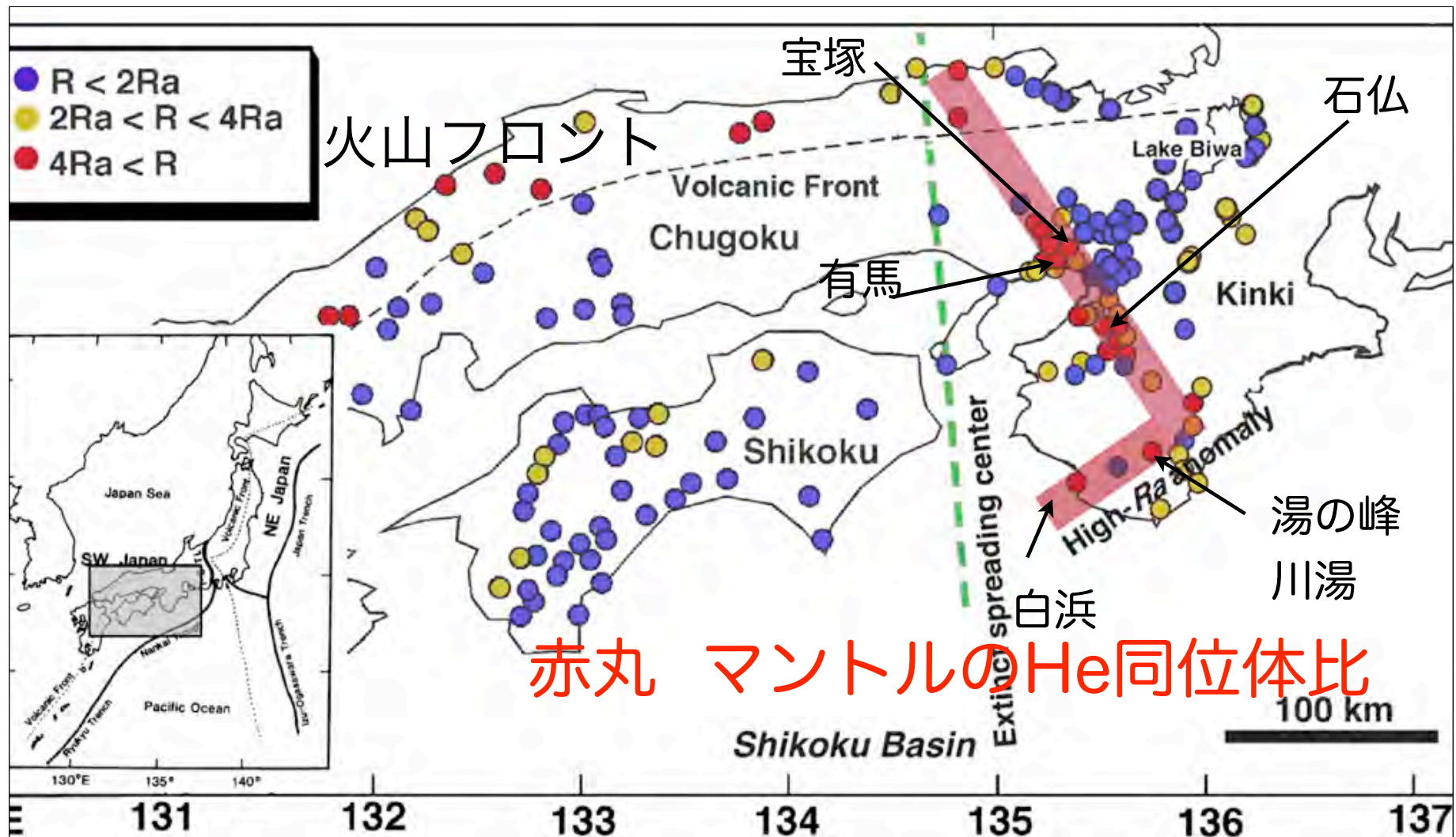
海水じゃなく、なに？

蛇紋岩

Na₇₆K₂₄ (Ryan+, 1997 Clay and clay minerals)

有馬・宝塚温泉の水、 高ヘリウム同位体比

Na₈₀₋₈₇K₂₀₋₁₃ (Masuda+, 1985 Geochem J
Kusuda+, 2014 Earth Planet Space)



近畿地方に高塩濃度＋炭酸ガス温泉

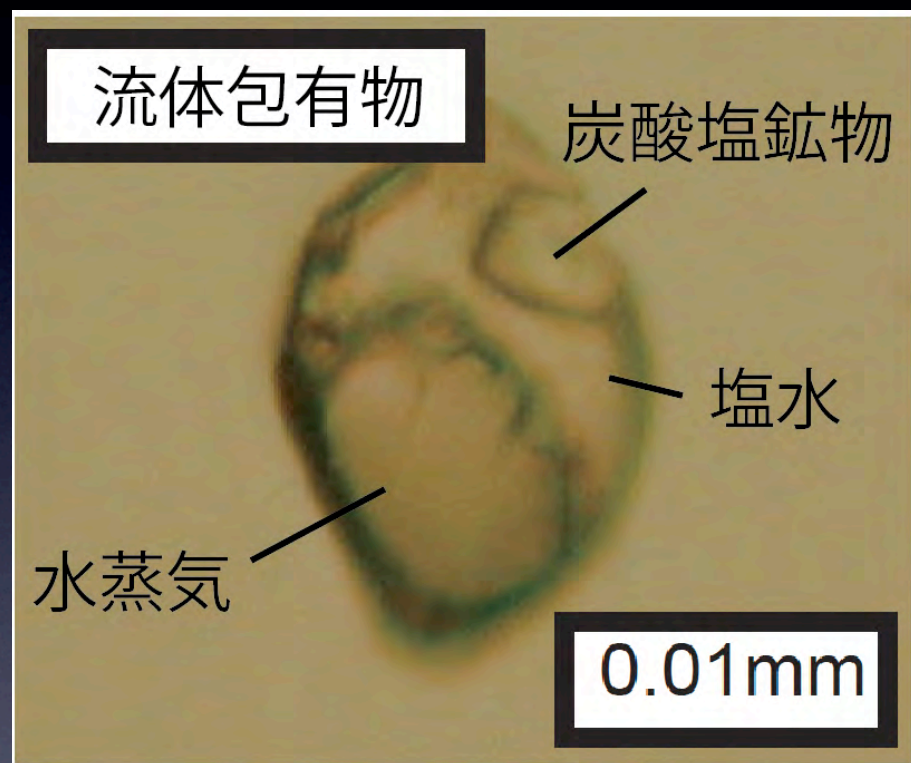
Sanoほか、2009、Chemical Geology

35/48

炭酸ガスを含み

36/48

マントルのHe同位体比



(兵庫県)
有馬温泉・宝塚温泉
(大阪府)
石仏鉱泉
(和歌山県)
白浜温泉 (湯の峰温泉、川湯温泉 低塩濃度)

沈み込む海洋プレートから来る

沈み込み帯には、地震、温泉、火山

海洋プレートから出る水による

その水は海水

37/48

海が 地震、温泉、火山 を作る

海水とマントルの化学反応

Na

出る

CO_3

入る

Cl、K

入る

38/48



流体包有物によりわかったこと

$\text{NaCl-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O-CO}_2$ 流体

蛇紋岩の脱水流体

塩水は炭酸ガスを多く溶かす

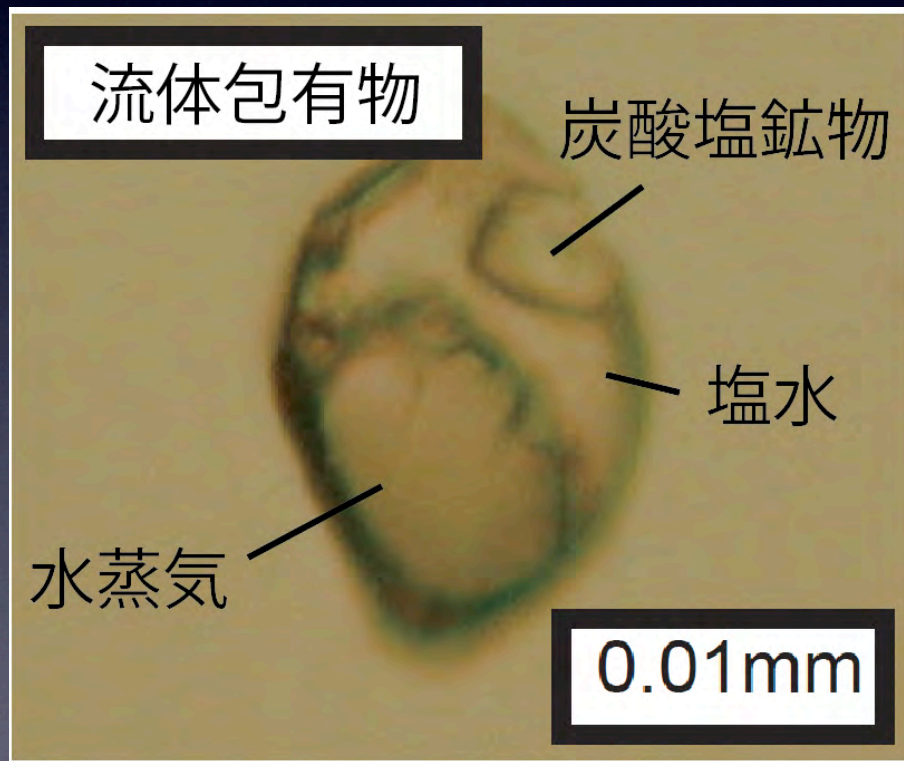
炭酸塩、硫酸塩イオン

いろいろな元素を運ぶ

39/48

海水ーマントルの相互作用

マントル捕獲岩中の流体包有物 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$



ピナツボ1991噴火の
捕獲岩中のかんらん石

Kawamoto+
2013 PNAS

40/48

炭酸塩鉱物

海底で生物の死骸として
 CaCO_3 が堆積する。

単体では、高温(1200°C)まで
安定。

しかし、高温の塩水に溶解。

オマーン（アラビア半島）
オフイオライト
1億年前
炭酸塩岩中の流体包有物

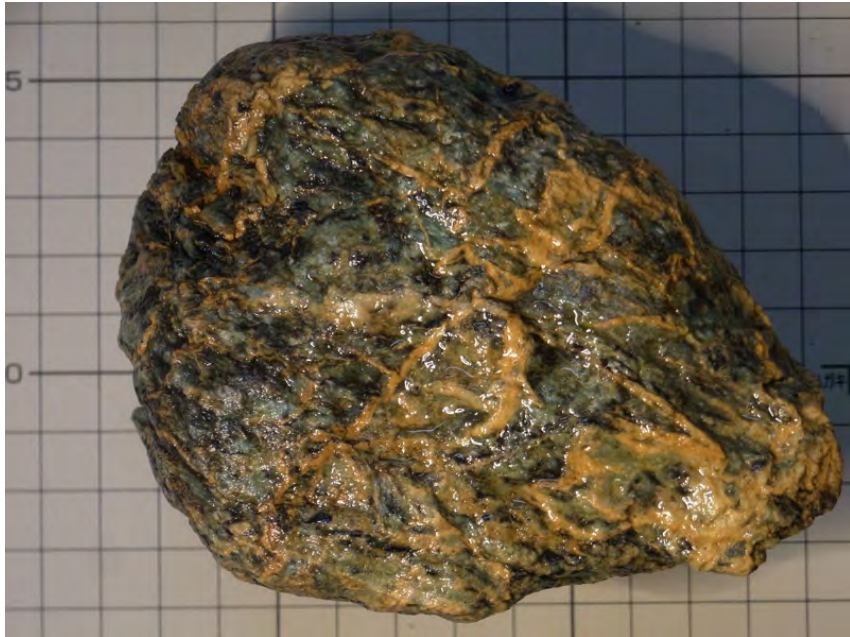
5 μ m

炭酸塩鉱物中に塩水包有物

海水が沈み込むことで、
海洋プレート of 炭酸塩鉱物を
溶かして地表に戻る。

マントルの蛇紋岩中と反応し
脈状の岩石になる。

蛇紋岩に炭酸塩の脈 静岡市大岳付近で採取



白いものが炭酸塩
緑はクロムを含む雲母

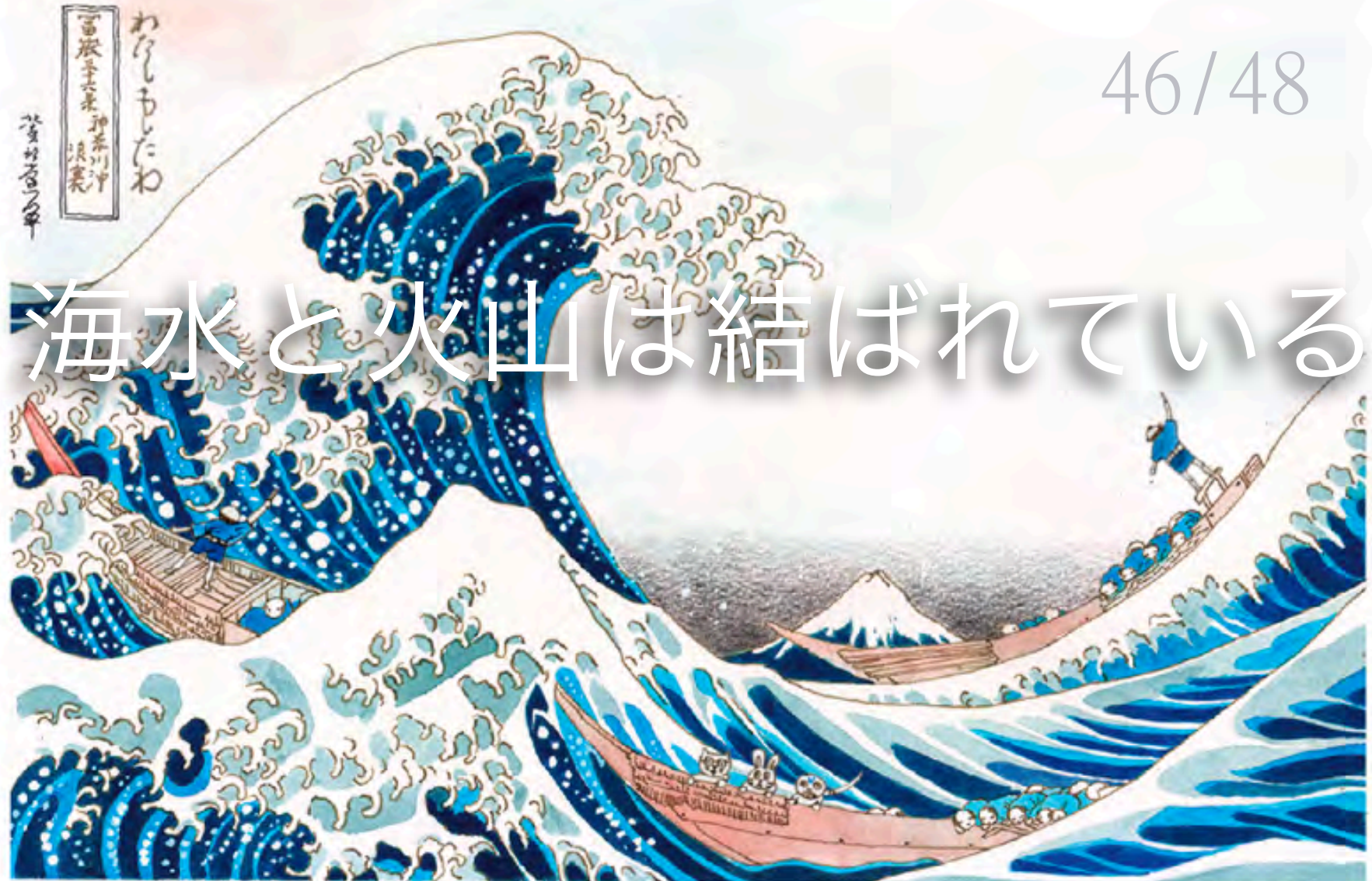
44/48

流体包有物は海水が マントルにいる物証



50ミクロン

45/48



Toshiko Nagao copied by the pen, "The big wave" (Hokusai 1832).
Note five new members on boats.

研究者になるためには

研究者になるためには

いろいろと工夫する習慣

家のお手伝いをしてください

理系は英語が大事

ラジオ講座がオススメ

自分の得意を考えて伸ばす

好きなこと一致する場合が多い

自分は、何が得意か？

自分は、何が得意か？

手先が器用で、実験がうまい

自分は、何が得意か？

~~手先が器用で、実験がうまい~~

自分は、何が得意か？

~~手先が器用で、実験がうまい~~

- 1 しつこいので あきらめない。
- 2 なんでも思いついたらやってみる。
- 3 失敗しても めげない。
- 4 よくしゃべる。