

本講義資料のご利用にあたって

本講義資料内には、東京大学が第三者より許諾を得て利用している画像等や、各種ライセンスによって提供されている画像等が含まれています。個々の画像等の利用については、それぞれの権利者の定めるところに従ってください。

著作権が東京大学の教員等に帰属する著作物については、非営利かつ教育的な目的に限り再利用することができます。

ご利用にあたっては、以下のクレジットを明記してください。

クレジット:

UTokyo Online Education 人間環境システム学 2021 穴澤活郎



人間環境システム学



酸性河川中の溶存化学物質の挙動
穴澤活郎

- 専門

- 地球・分析化学

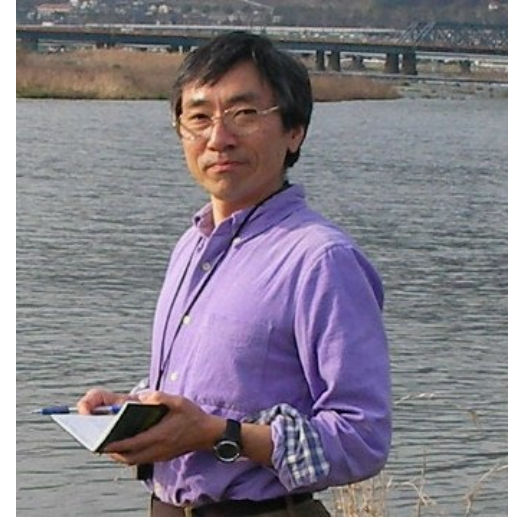
- 自然環境化学

- 本講義

- (7) 河川環境の化学的改変

- (8) 温泉による環境災害

- (9) 火山による化学災害



穴澤活郎

本日の講義内容

- 酸性河川中の溶存化学物質の挙動
 - 鉱山起源の酸性河川
 - 火山起源の酸性河川

出席

- チャットで「名前」か「学籍番号」のどちらかを送ってください。
- 「学籍番号」「名前」両方ならなお結構

日本の鉱物資源

奈良の大仏 (AD.752)

青銅製の仏像としては世界最大



15 メートル

動員数: 延べ260万人

当時の日本の人口600万人

延べ人数で人口の40%を動員

Cu: 500 ton

Sn: 8.5 ton

Mafue, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

Au: 440kg (146 kg)

Hg: 2500kg (820 kg)

金アマルガムを表面に塗布

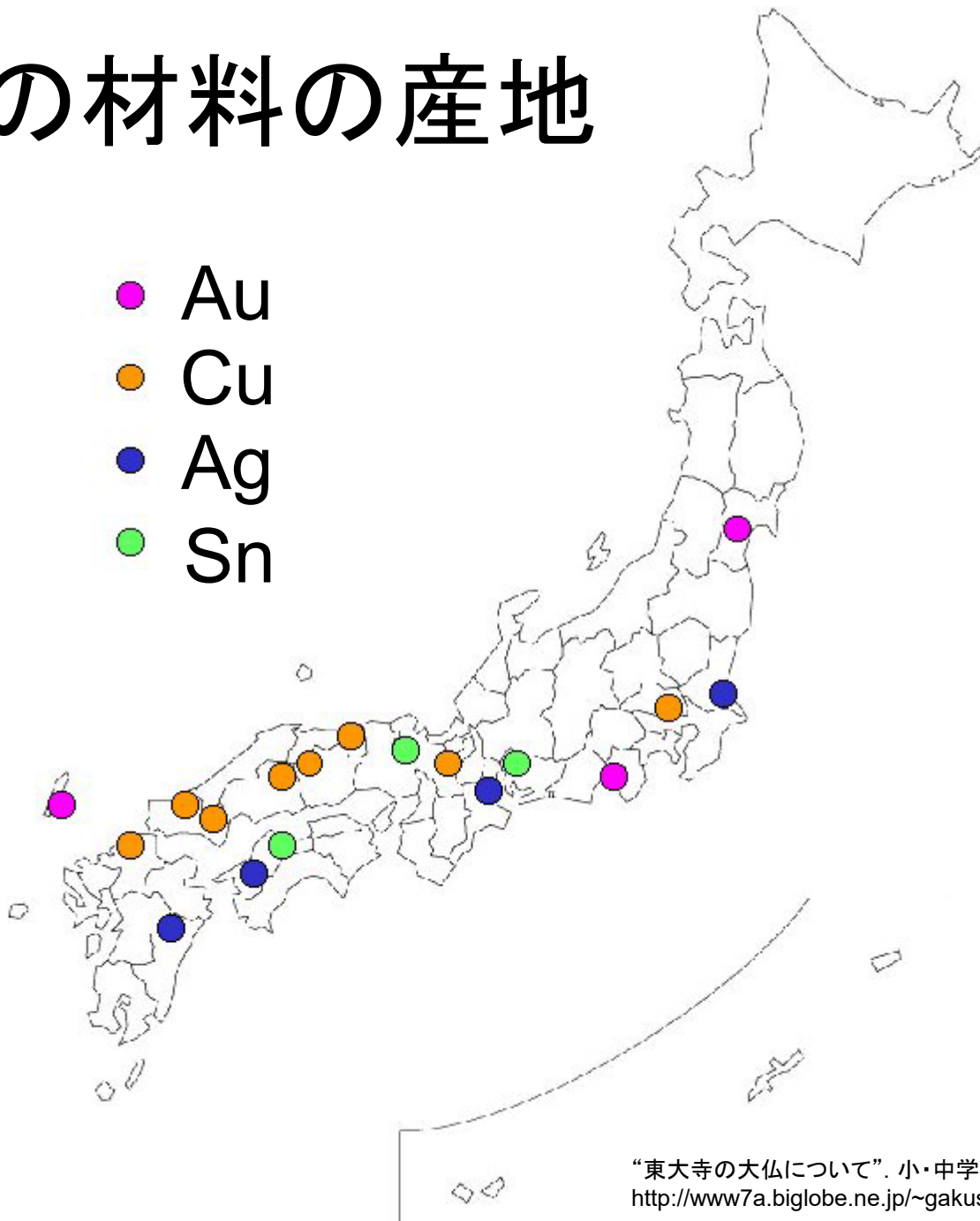
加熱

水銀を蒸発除去

(Konishi, 2002)

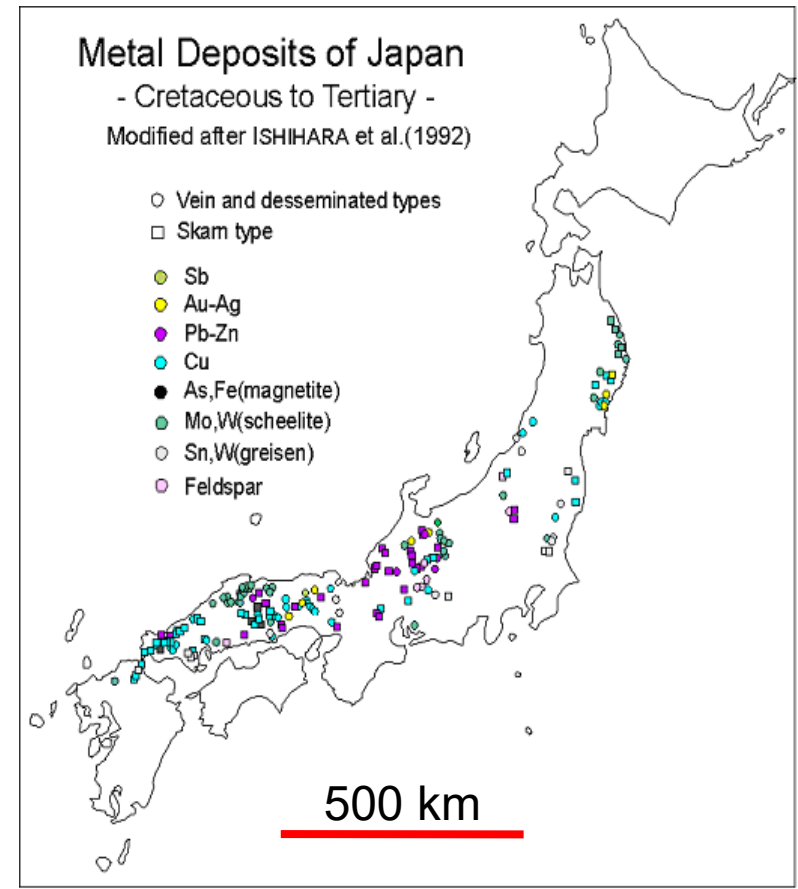
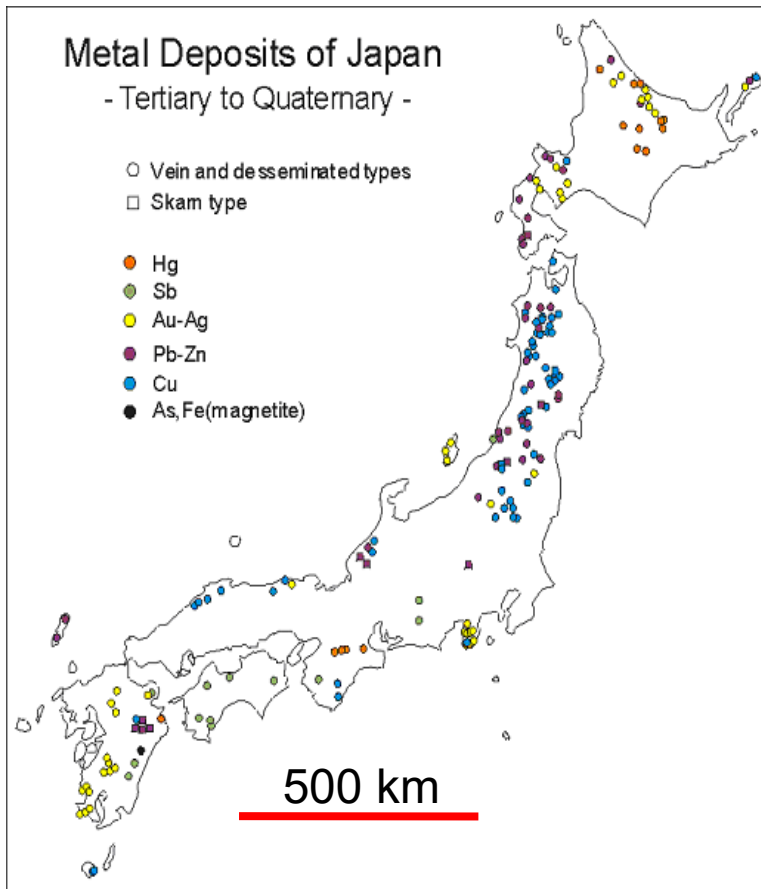
大仏の材料の産地

- Au
- Cu
- Ag
- Sn



黄金の国ジパング

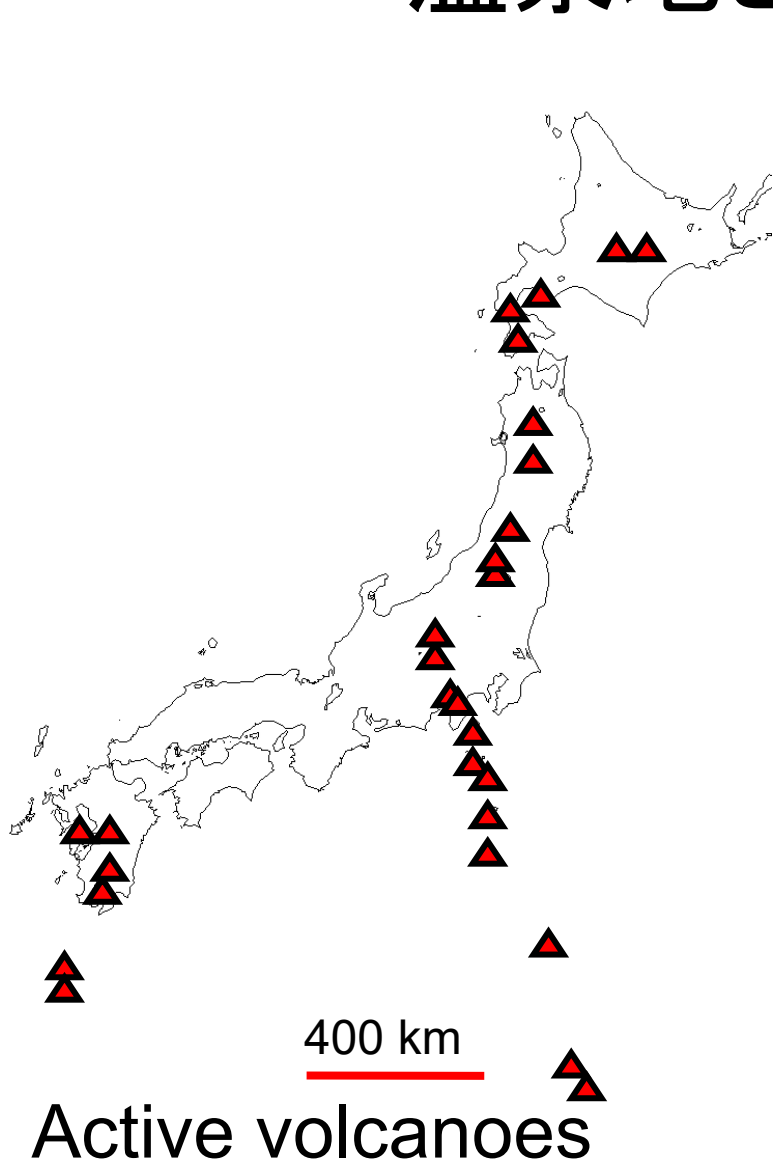
- 多数の鉱床の存在
- 百年ほど前は世界有数の鉱山国



別の地下資源

地熱

温泉地と活火山の分布



地図: CraftMAP

Distribution map of hot springs
>80°C and >100L/min

This map shows the distribution of hot springs in Japan that meet the criteria of >80°C and >100L/min, indicated by yellow and orange circles. The hot springs are widely distributed across all islands, with a high density in the Kanto and Tohoku regions.

“平成25年度地熱発電に係る導入ポテンシャル精密調査・分析委託業務報告書”. 環境省.
<https://www.env.go.jp/content/900449265.pdf>. 図10.

火山の恵み

- 土壌
- 地熱
- 温泉
- 鉱物資源



松尾硫黄鉱山 (1952)

岩手県・JOGMEC『旧松尾鉱山抗廃水処理
施設事業の概要』2010年10月. p.2.

火山や鉱山による環境問題

水環境の酸性化

酸性河川の例



北上川支流・赤川(1974頃)

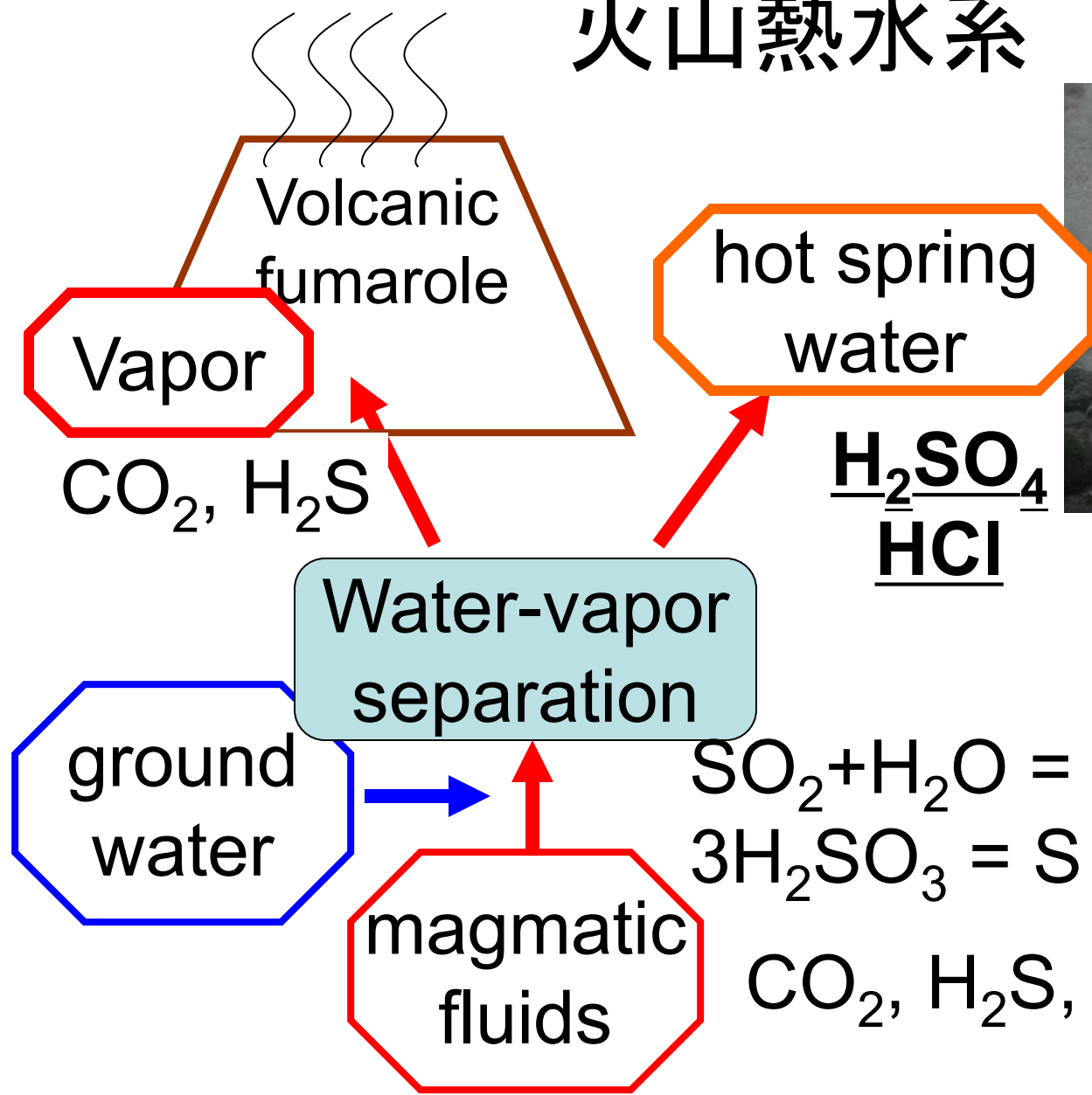
酸性水の生成機構

火山熱水系

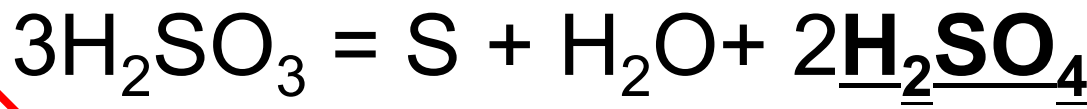
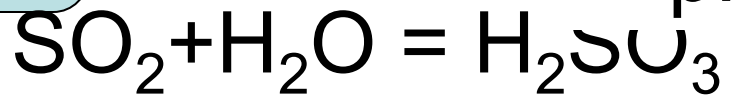
硫化鉱物

酸性水の生成機構

火山熱水系

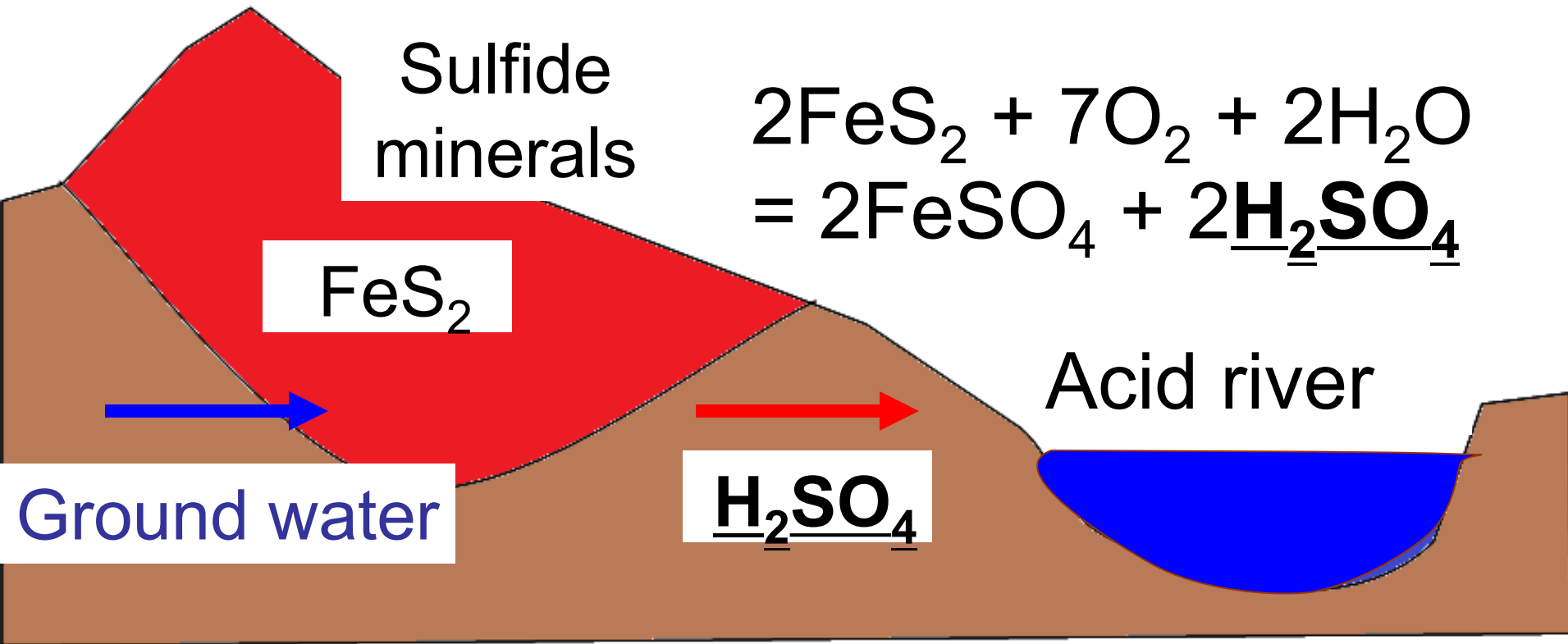
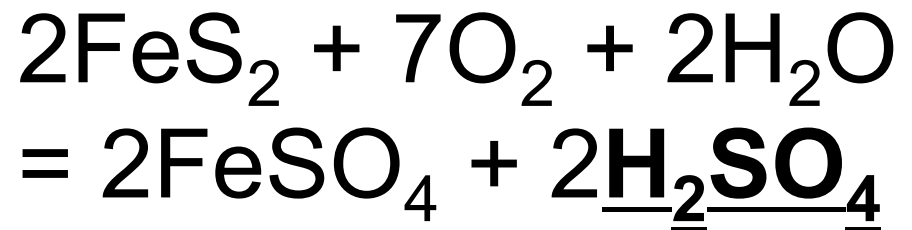


Tamagawa hot spring
pH 1.2



酸性水の生成機構 硫化物鉱床

Oxidization of sulfide



硫化鉱物からの酸性水の生成

酸性水が及ぼす環境への影響

- コンクリートの劣化

“吾妻川流域の砂防”. 関東地方整備局.
https://www.ktr.mlit.go.jp/tonesui/tonesui_index014.html.

草津・湯畑



elapsed days ^経 0 1 7 14 21 30

草津温泉水によるコンクリートの腐食実験

酸性河川が引き起こす問題

- 建材劣化
 - 工業用水
 - 水力発電
- 水生生物への悪影響
 - 漁業
- 土壌の劣化
 - 農業
- 有害な重金属類の可溶化

工業・農業用水のpH

- 土木構造物に影響が発生しないpH基準
 - pH4以上
- 工業用水道の供給標準水質
 - pH6.5～8.0
- 農業用水基準
 - pH6.0～7.5

酸性河川の中和事業

1955-1973

- 大規模な中和事業の実施
 - 産業用水の確保
 - 電力の確保
 - 農地開発



草津温泉



玉川温泉



松尾鉱山

JOGMEC. “旧松尾鉱山新中和処理施設の運営管理”.
https://www.jogmec.go.jp/mp_control/matsuo_mine_001.html.

酸性河川の中和

大規模な中和処理施設

中和施設



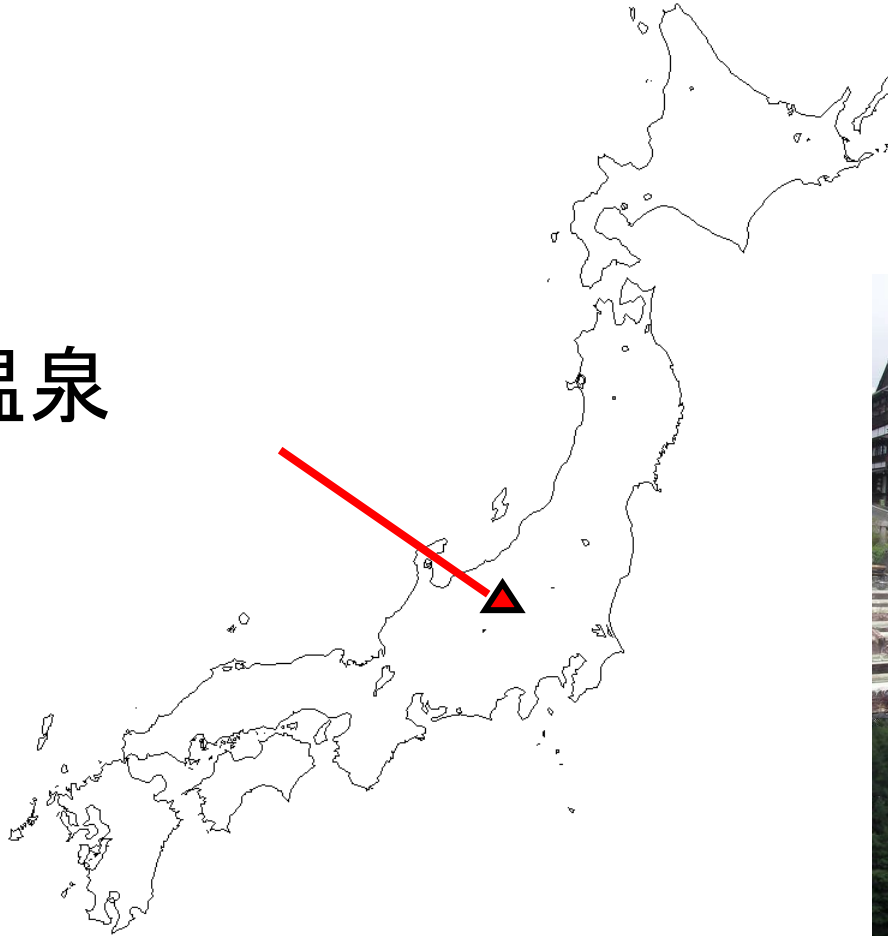
地図: CraftMAP

400 km



中和施設

草津温泉



400 km

地図: CraftMAP



中和施設

草津温泉

玉川温泉



中和施設

旧松尾硫黄鉱山
(廃鉱)

玉川温泉

草津温泉



岩手県・JOGMEC
『旧松尾鉱山抗廃水処理施設事業の概要』2010年10月. p.2.



JOGMEC. “旧松尾鉱山新中和処理施設の運営管理”.
https://www.jogmec.go.jp/mp_control/mat_suo_mine_001.html.

400 km

地図: CraftMAP

Matsuo Sulfur Mine (1952)

(1) 草津温泉

草津温泉



湯畑



公共温泉施設

- 年間訪問者数
 - 300万人 / 年 (2020年 コロナ禍で200万人)
- 温泉の湧出量: $> 30,000 \text{ dm}^3 / \text{分}$
- pH 2 人体はこの程度の酸には耐える

人体のpH

	pH
胃液	1~2
皮膚	4.5~6
汗	4~8
尿	6~7
唾液	6.8~7.6
血液	7.36~7.44
涙	7~8
髪の毛	4.5~6

石鹼・化粧品のパH

	pH
石鹼水	9~10
シャンプー	6~6.5
コンディショナー	3~4
化粧水	4~5
クリーム	6~8

草津温泉



湯畑

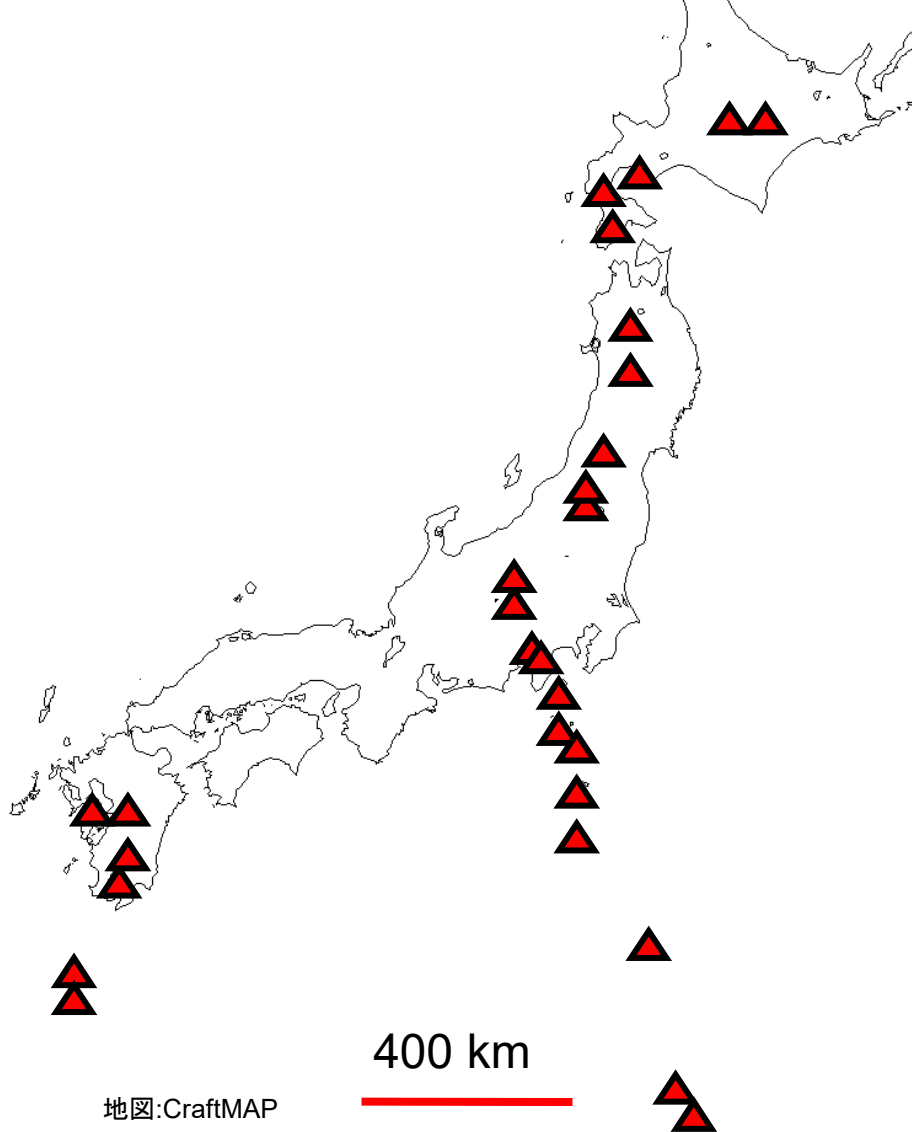


公共温泉施設

- 訪問者数: 3,000,000 人 / 年
- 温泉の湧出量: $> 30,000 \text{ dm}^3 / \text{分}$
- pH 2 人体はこの程度の酸には耐える

草津白根火山

草津温泉の熱源



草津白根火山

草津温泉の熱源

標高2160m
活火山



400 km

地図: CraftMAP



Crater Lake

草津白根火山

草津温泉の熱源

標高2160m
活火山



噴火 (1982)

“活火山における退避壕等の充実にに向けた手引き(平成27年12月)”.内閣府. 図2-4.
https://www.bousai.go.jp/kazan/shiryo/pdf/201512_hinan_tebiki3.pdf.

Crater Lake

草津温泉

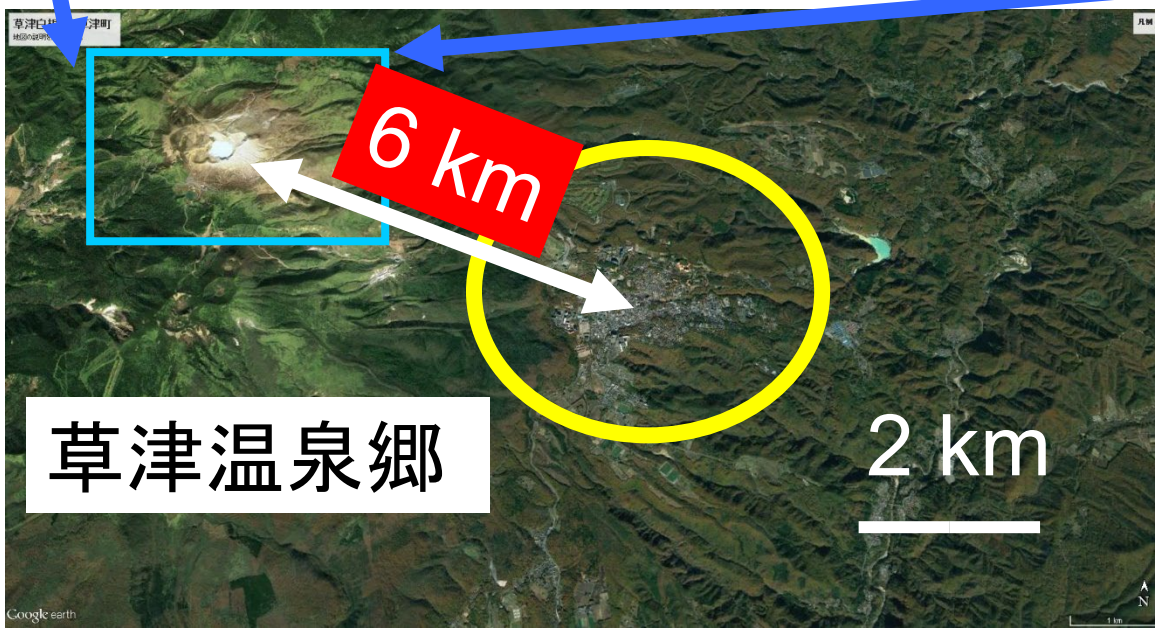
Map data ©2015 Google

標高2160m
活火山



400 km

地図: CraftMAP

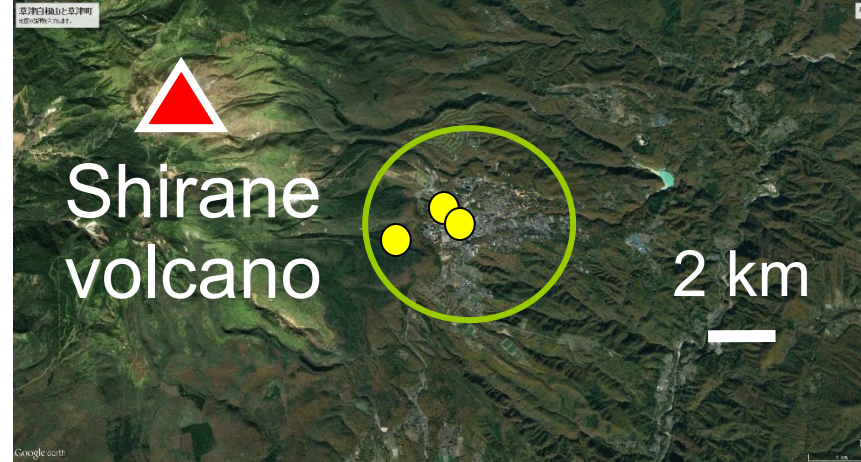


6 km

草津温泉郷

2 km

草津温泉



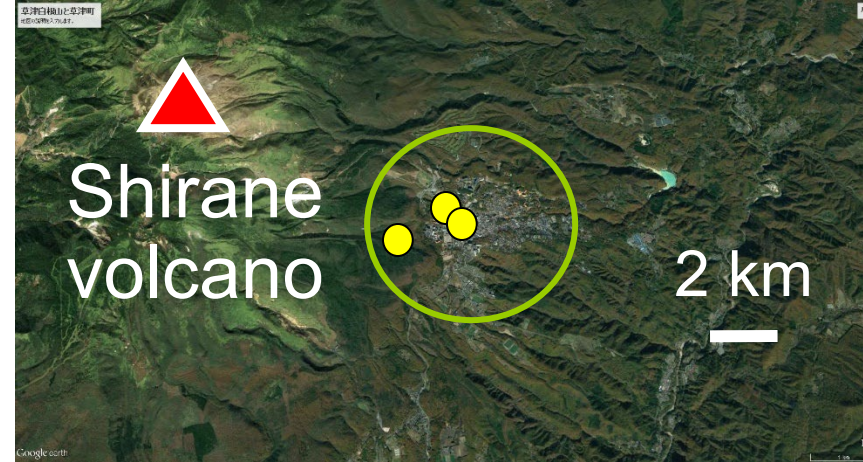
Map data ©2015 Google



湯畑
水温: 53.9 C
pH 2.0

湯畑

草津温泉



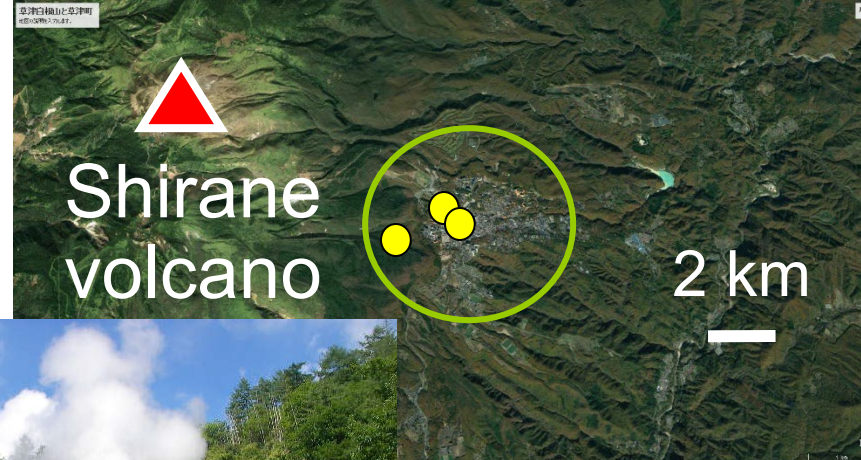
Map data ©2015 Google



西の河原
水温: 51.0 C
pH 2.0

西の河原公園

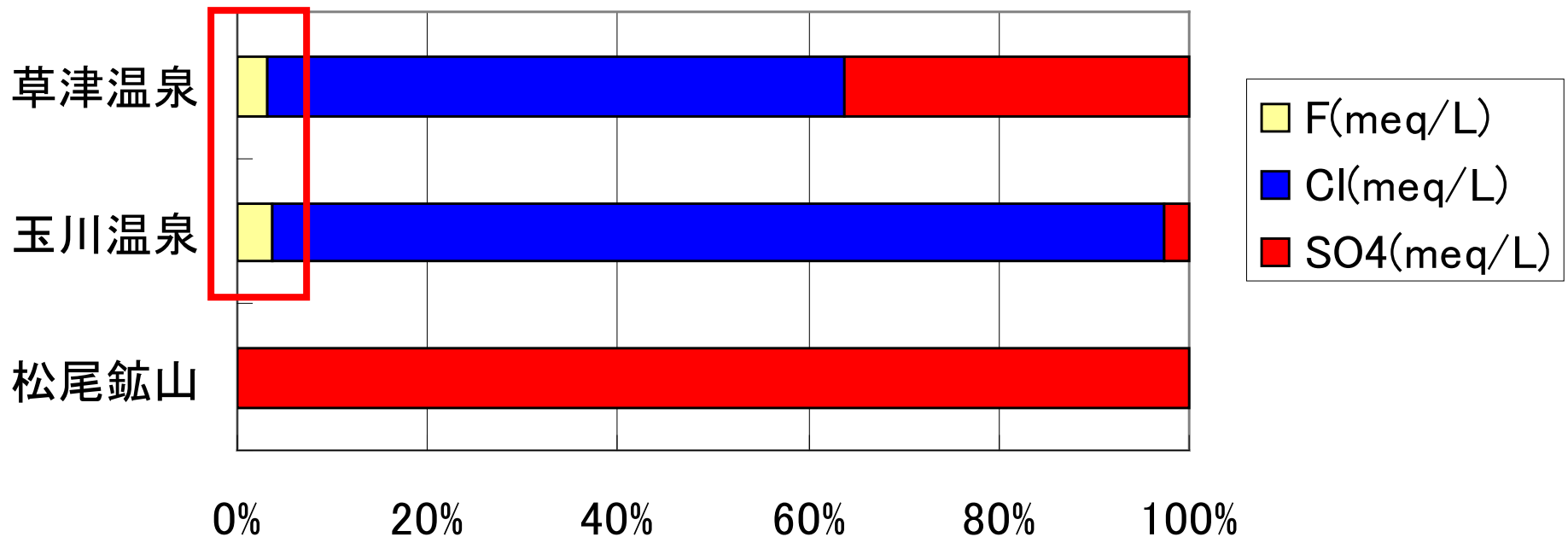
草津温泉



万代鉾
水温: 96.5 C
pH 1.66

万代鉾泉

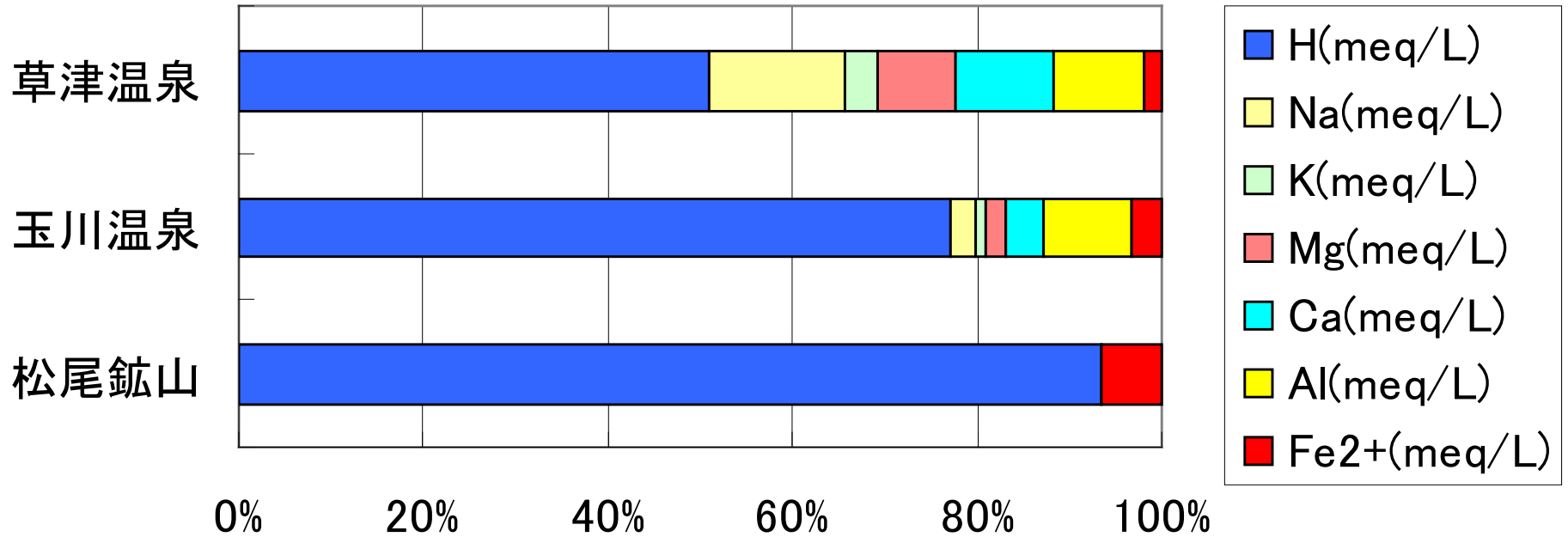
溶存化学成分(陰イオン)



火山性の酸性泉

陰イオンの相対比でFが%オーダー

溶存化学成分(陽イオン)



中和事業

草津温泉

酸性水対策の歴史

草津温泉

- 1960年以前 草津温泉から流出する強酸性水により、付近の河川には魚類が生息せず「死の川」と呼ばれていた
- 1957年 中和事業開始
- 1964年 世界初の酸性河川中和工場運開



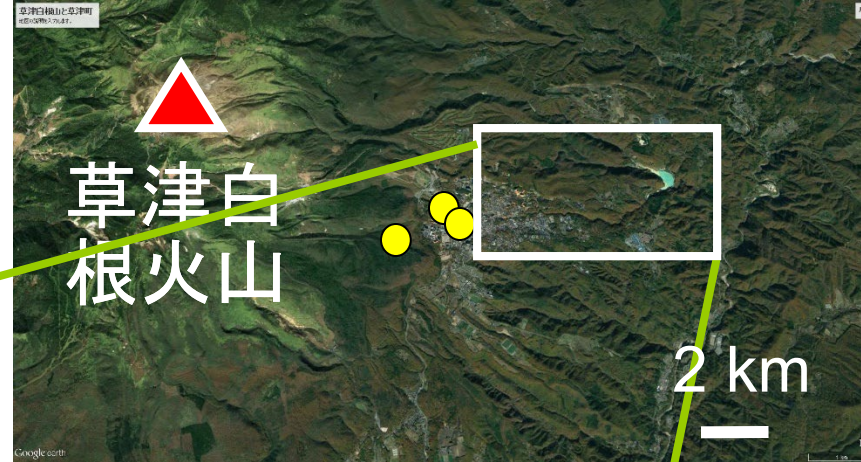
酸性水対策の歴史

草津温泉

- 1960年以前 草津温泉から流出する強酸性水により、付近の河川には魚類が生息せず「死の川」と呼ばれていた
- 1957年 中和事業開始
- 1964年 世界初の酸性河川中和工場運開
- 1965年 中和物沈殿ダム(品木ダム)完成



草津の河川流路

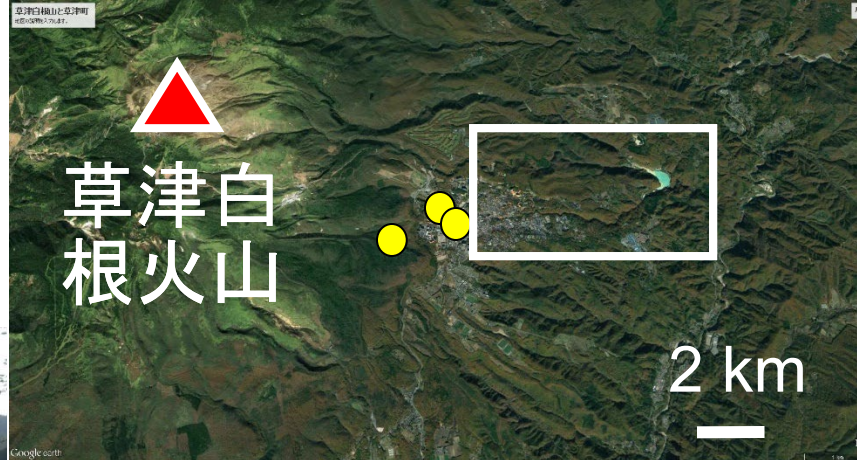


Map data ©2015 Google



地理院地図(電子国土Web)
淡色地図を使用して作成

草津の河川流路



Map data ©2015 Google



沈殿ダム

中和工場

pH 2

pH 5

中和された水

pH 5.5

湯畑

湯川 (温泉排水)

東京: 200 km

地理院地図(電子国土Web) 淡色地図を使用して作成



中和システムの詳細

草津温泉

中和工場 (草津温泉)

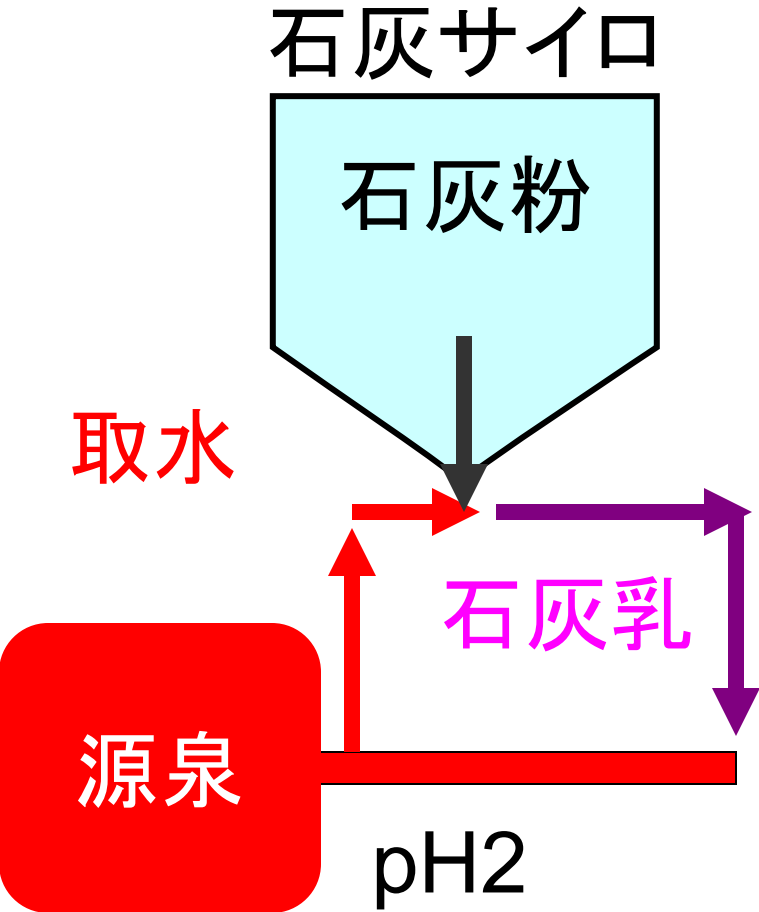


源泉

pH2

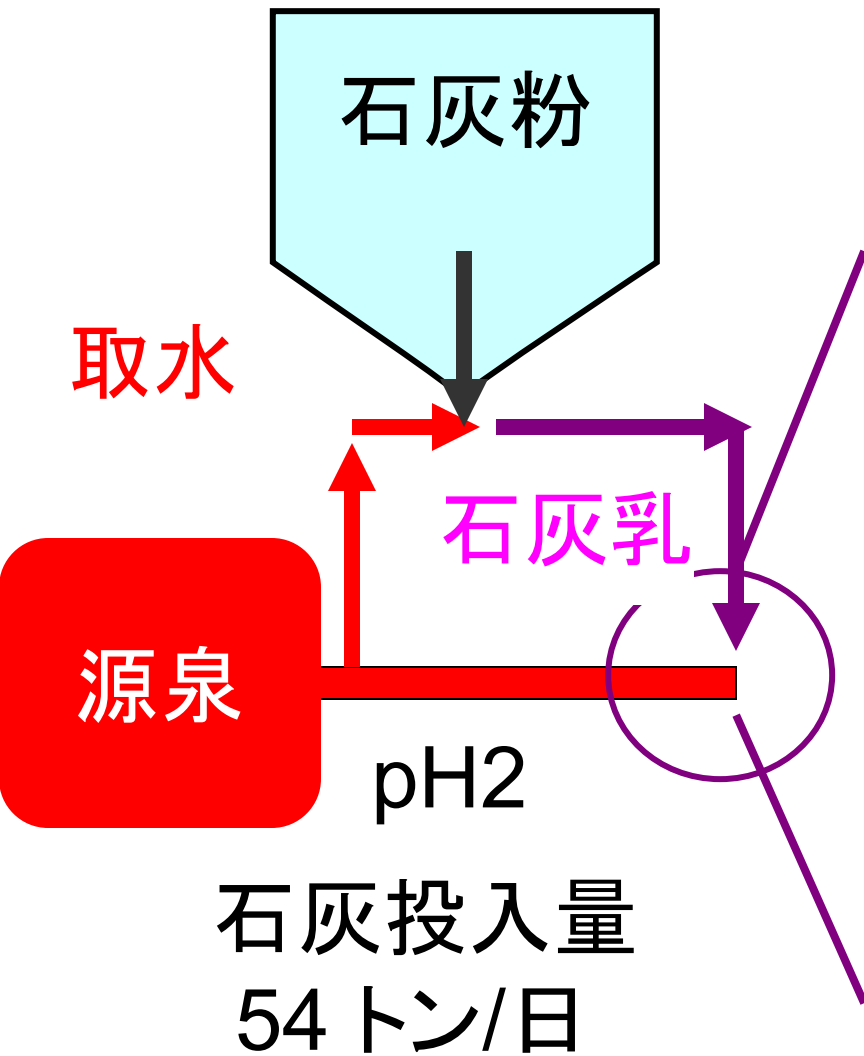


中和工場 (草津温泉)



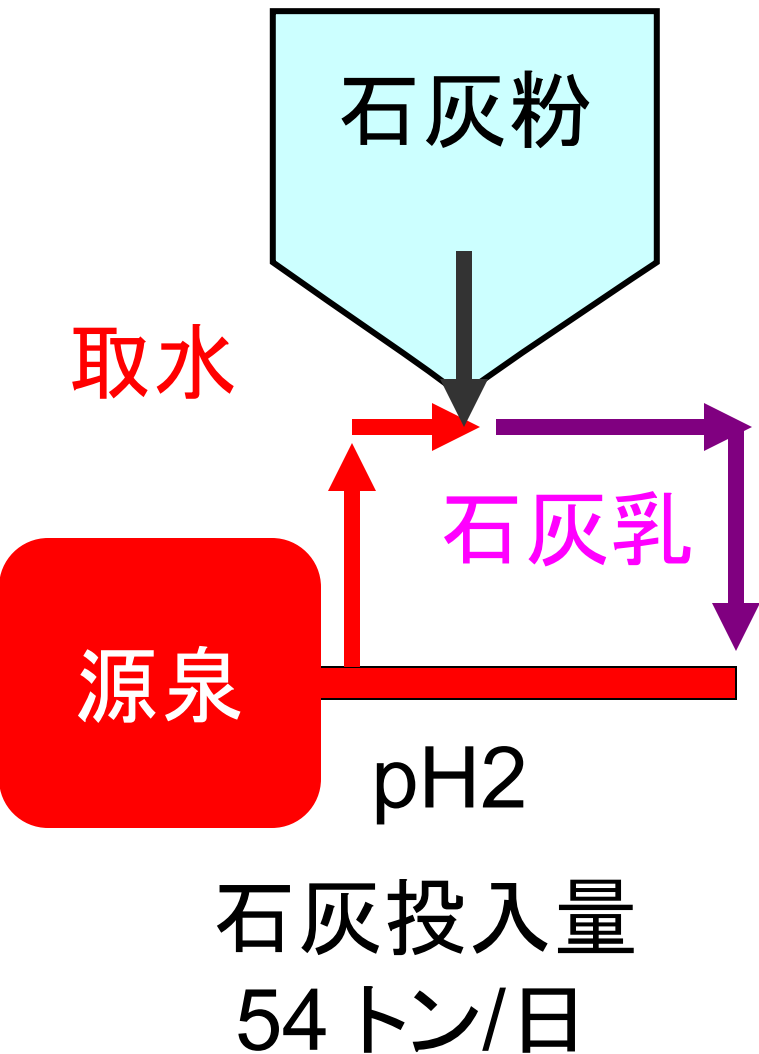
中和工場 (草津温泉)

河川への石灰乳の投入



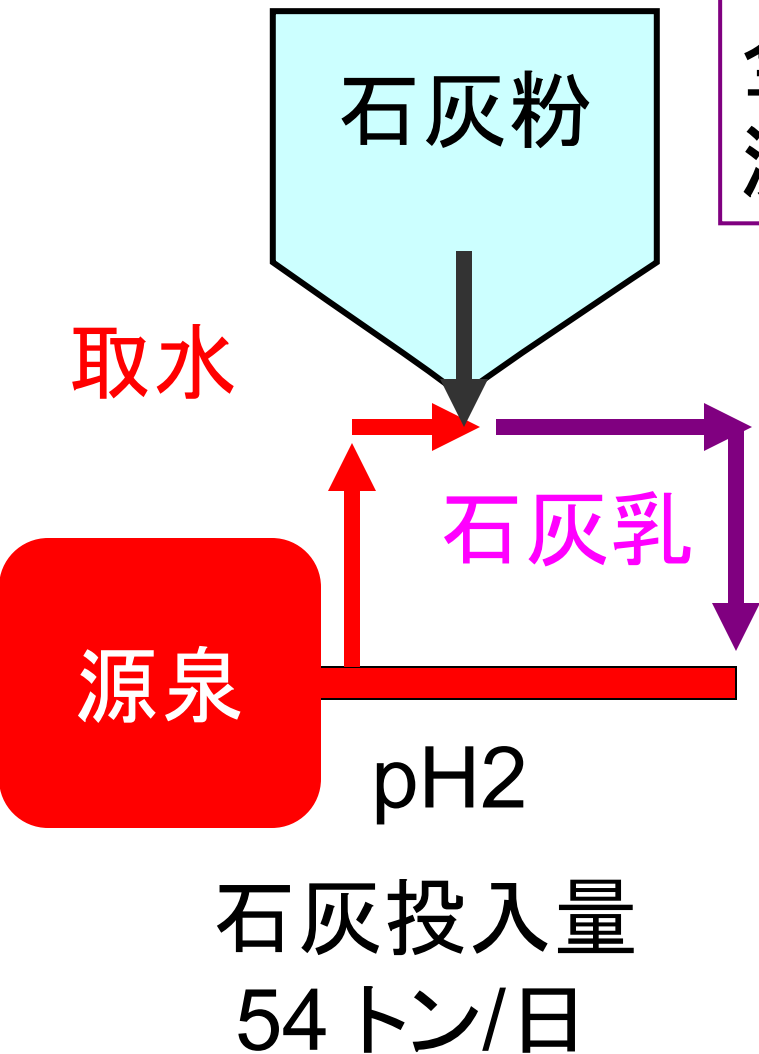
中和工場 (草津温泉)

- ・中和槽 無し
- ・凝集槽 無し
- ・沈殿槽 無し

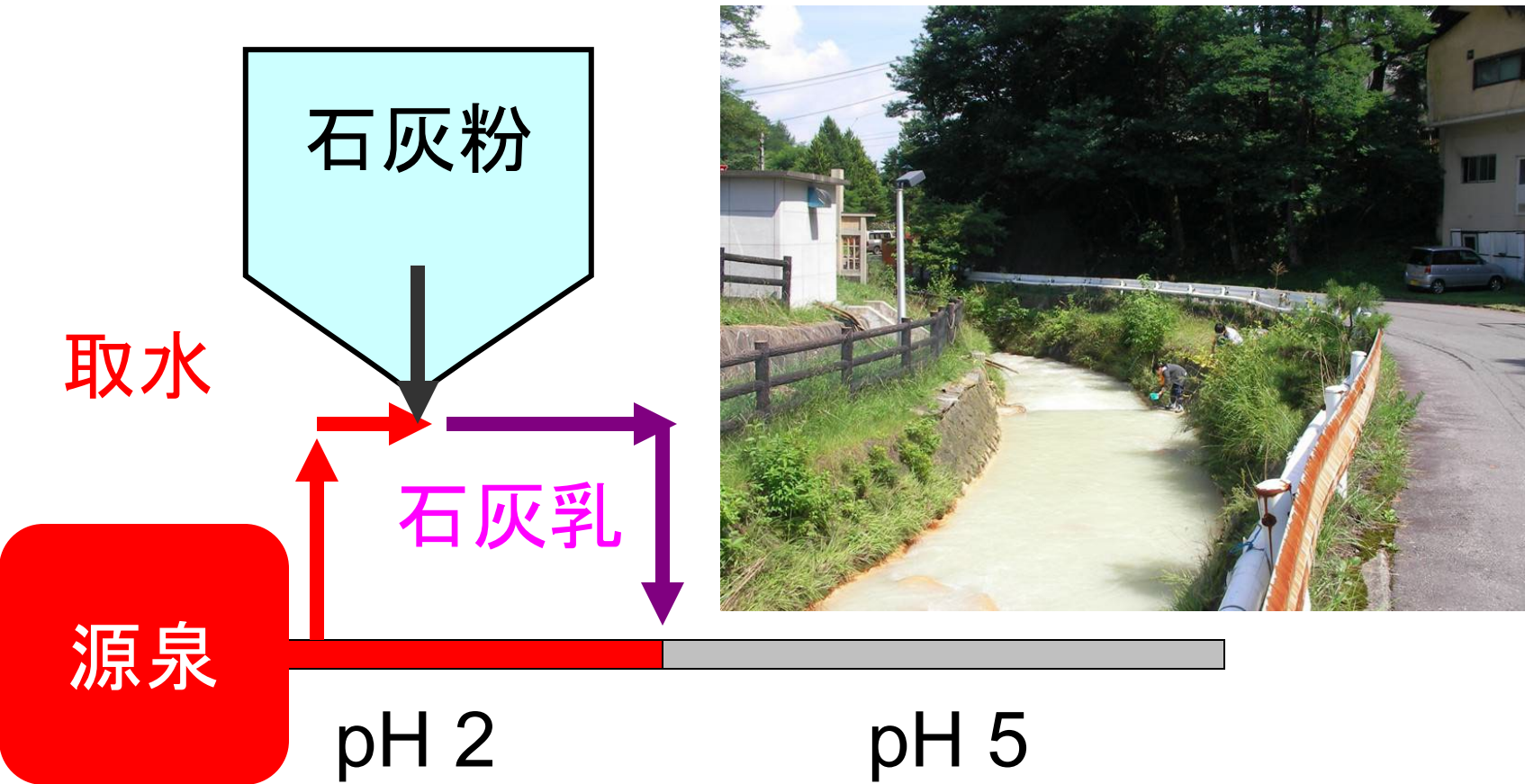


中和工場 (草津温泉)

全ての沈殿物が下流のダムへ
流れ落ちていく



中和工場 (草津温泉)



石灰乳の投入により河川は白濁

中和工場 (草津温泉)



取水

源泉

pH 2

pH 5

品木ダム

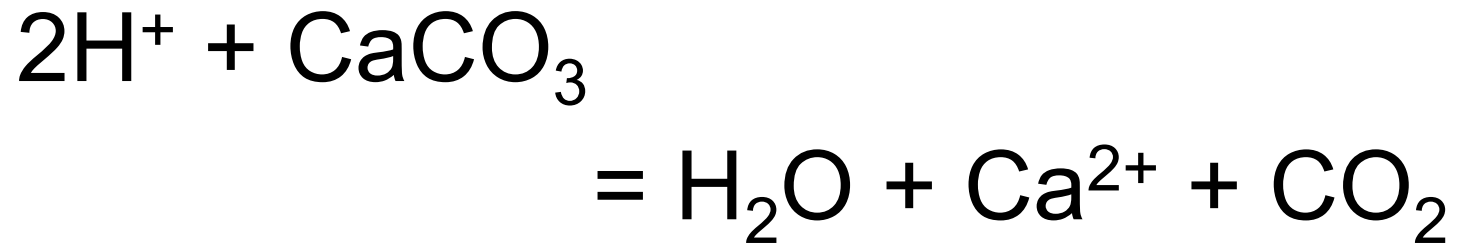
沈殿用のダム

pH 5.5

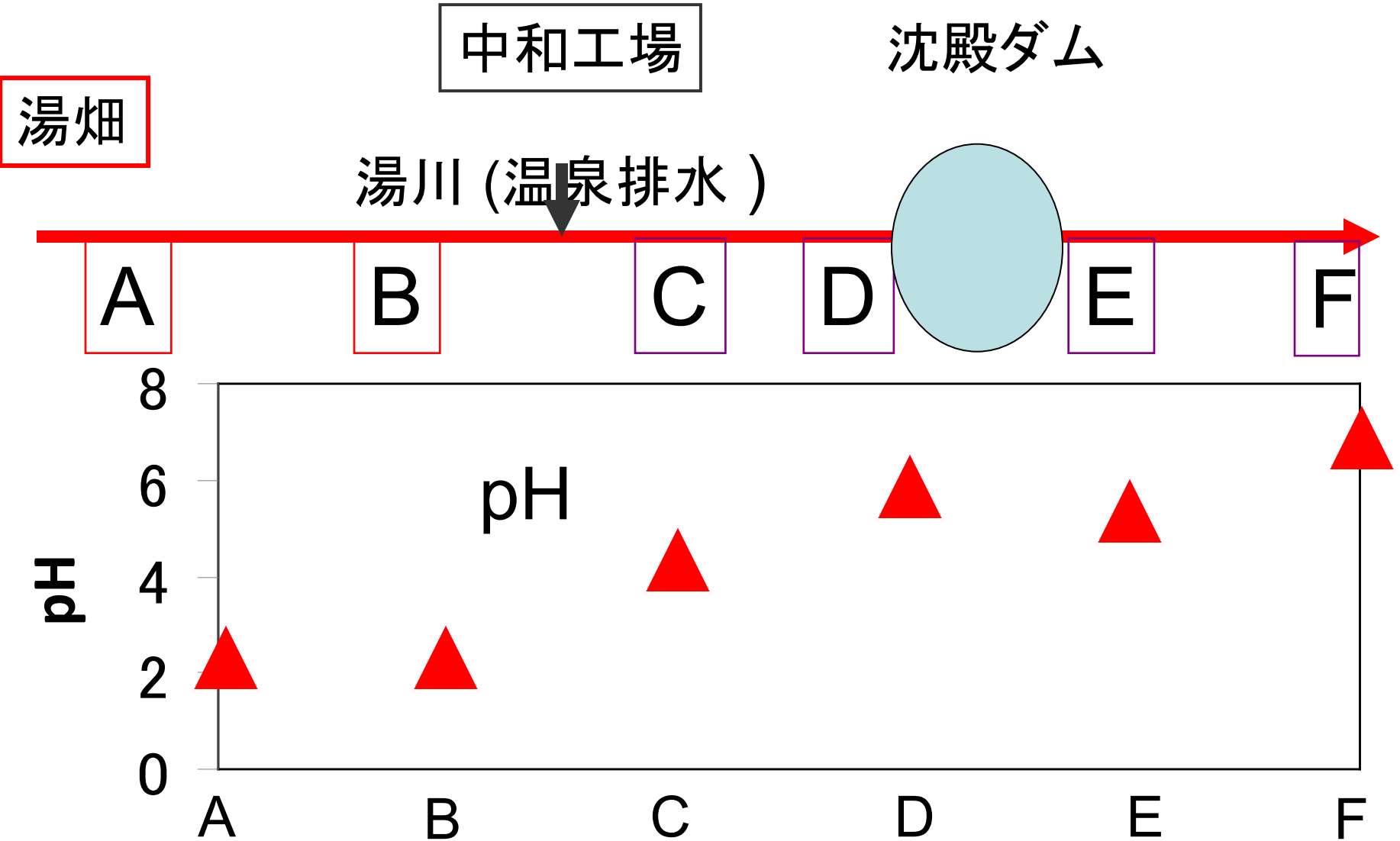
200 km Tokyo

化学

中和



結果 (pH)



湯畑

中和工場

沈殿ダム

湯川 (温泉排水)

A

B

C

D

E

F

pH

pH

8

6

4

2

0

A

B

C

D

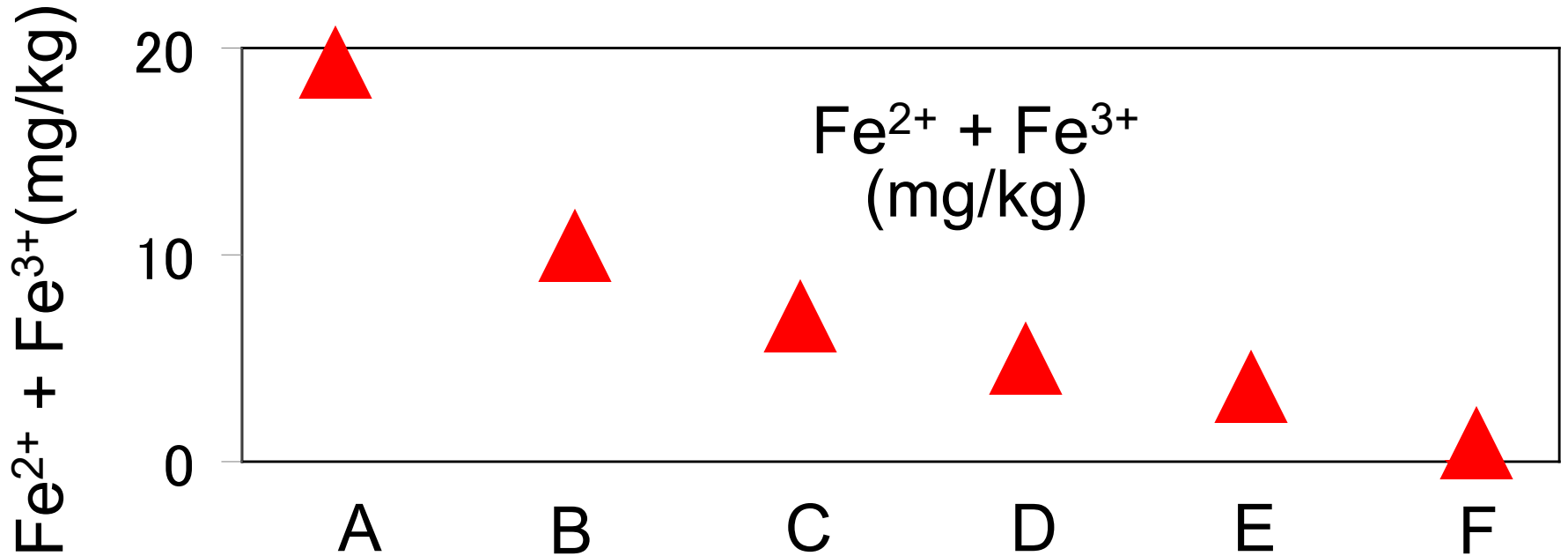
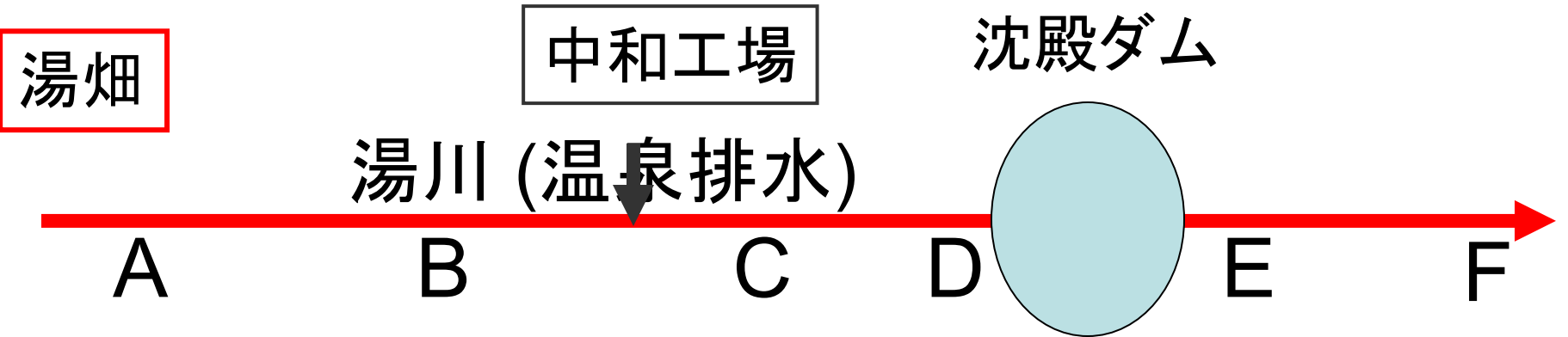
E

F

中和に伴う化学反応

溶存態重金屬

分析結果 ($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$)



溶存態重金属の化学動態

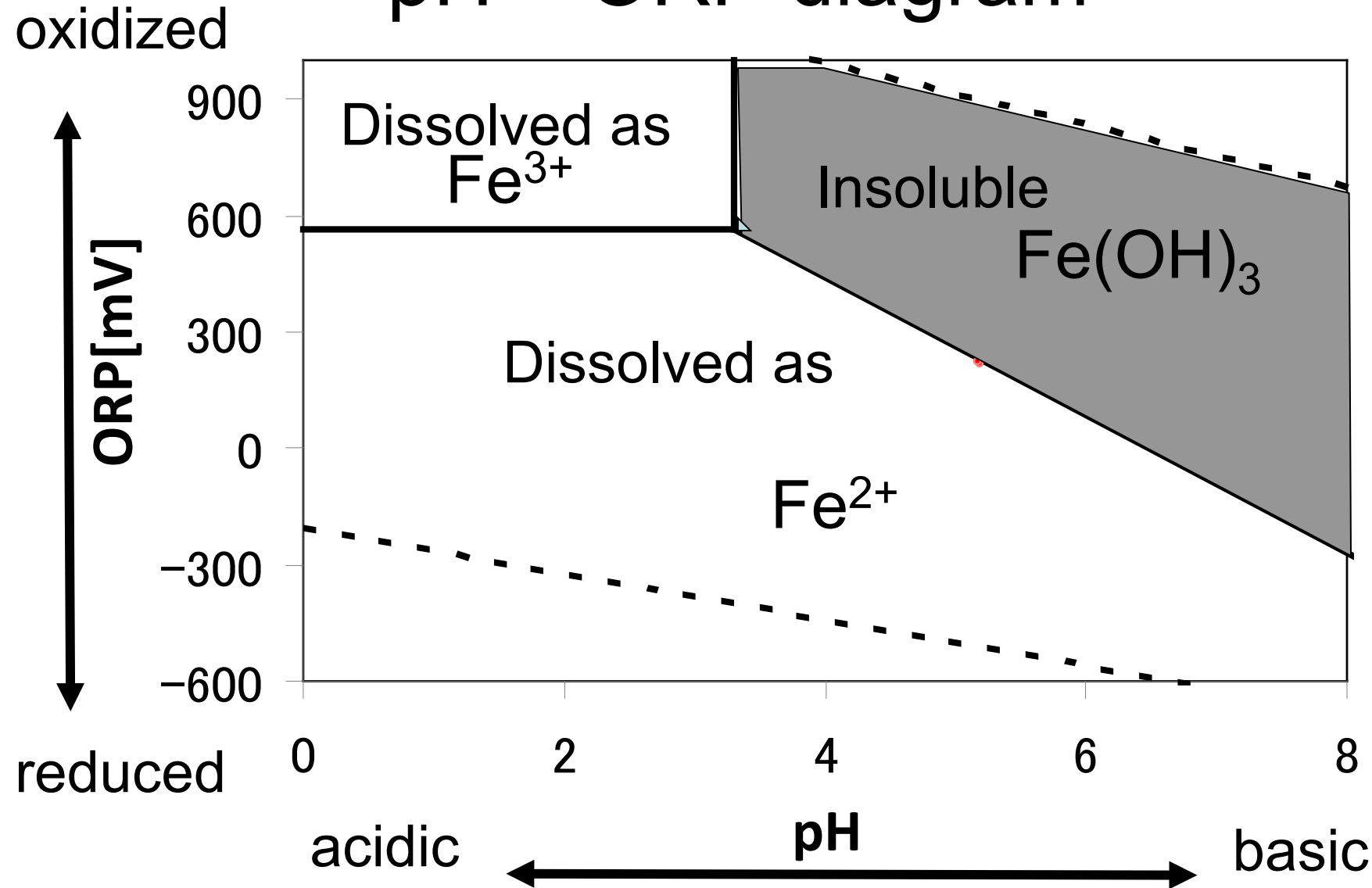
溶存態鉄 (Fe^{2+} , Fe^{3+})の化学動態

pH – ORP

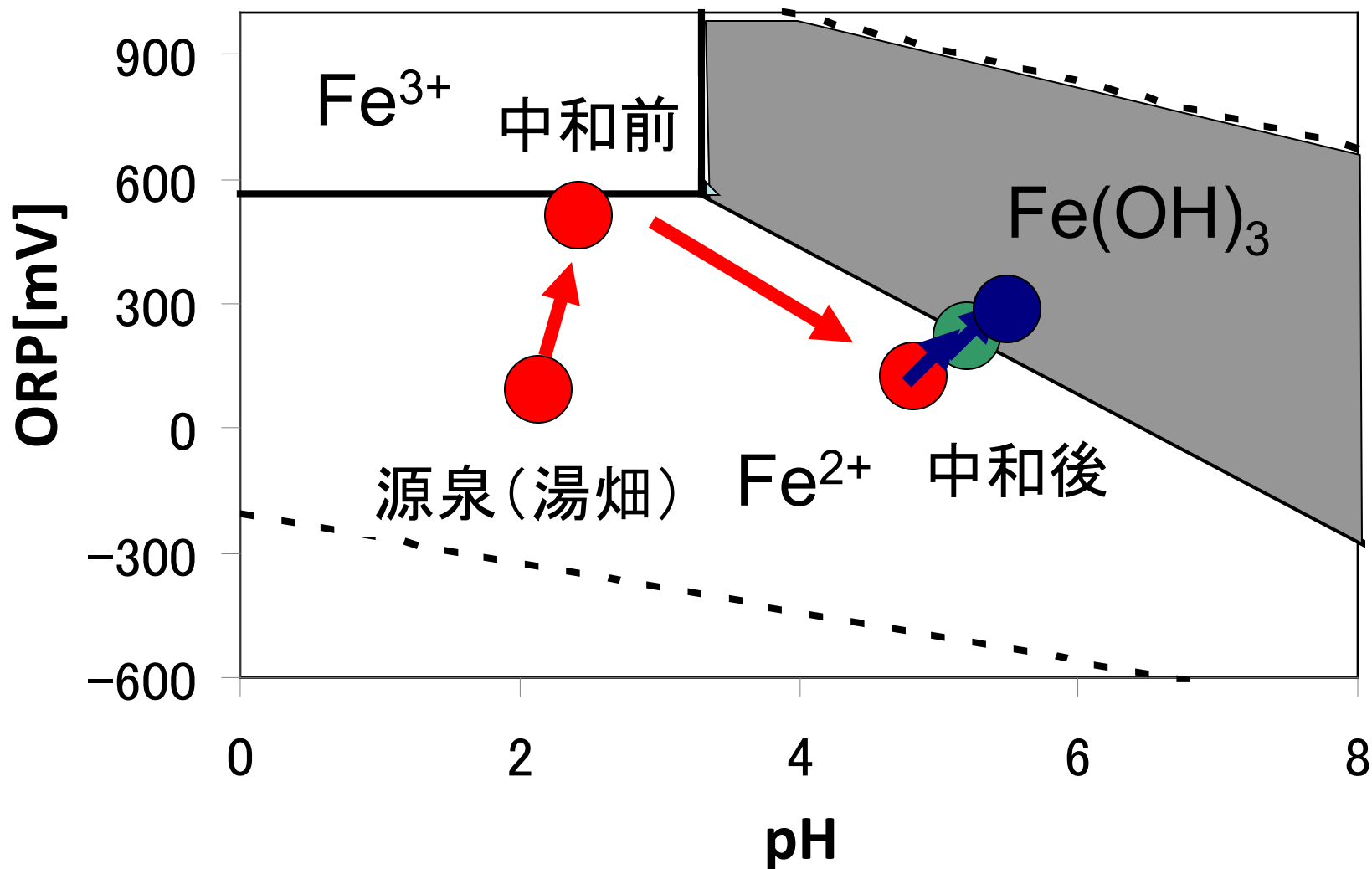
(水素イオン濃度 – 酸化還元電位)

Iron (Fe^{2+} , Fe^{3+}) case

pH – ORP diagram

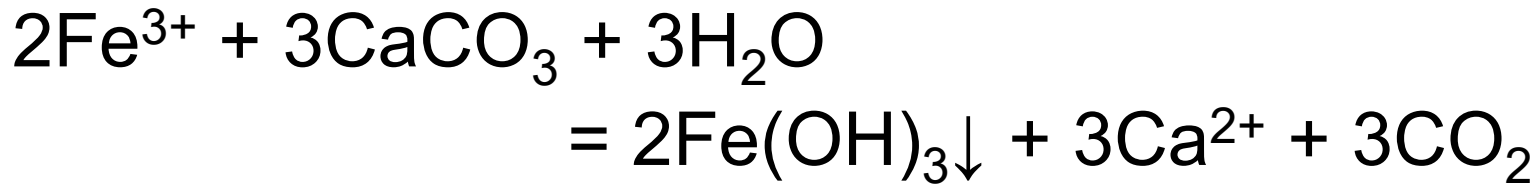


草津・湯川 pH – ORP diagram

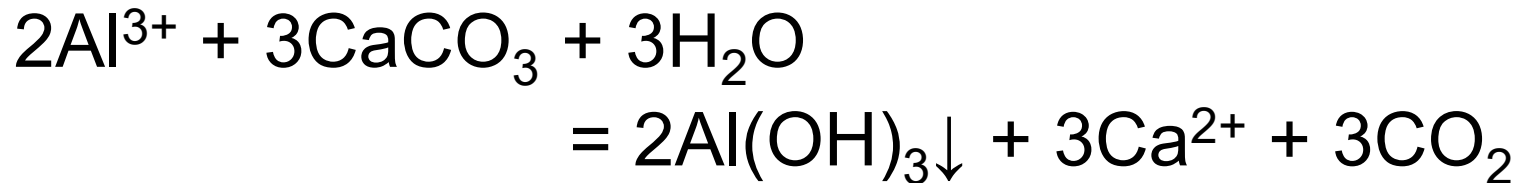


中和効率(草津温泉)

- 酸化鉄の沈殿反応



- 酸化アルミニウムの沈殿反応



石灰乳は水素イオン(H⁺)の中和のみならず、溶存態陽イオンの沈殿反応に消費される

中和工場 (草津温泉)



取水

源泉

pH 2

pH 5

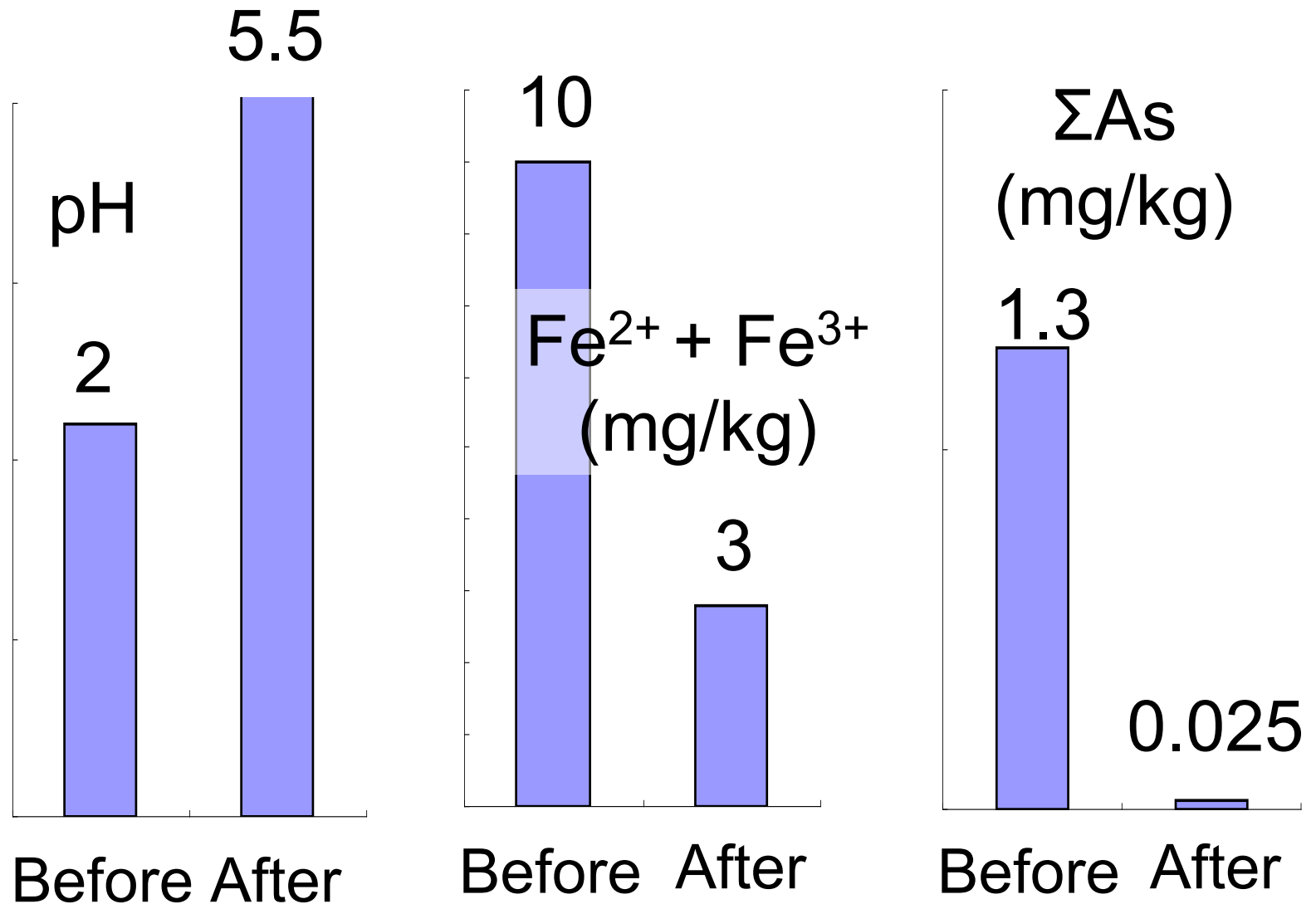
品木ダム

沈殿用のダム

pH 5.5

200 km Tokyo

中和処理の効果



中和効率(草津温泉)

石灰投入量
反応の内訳

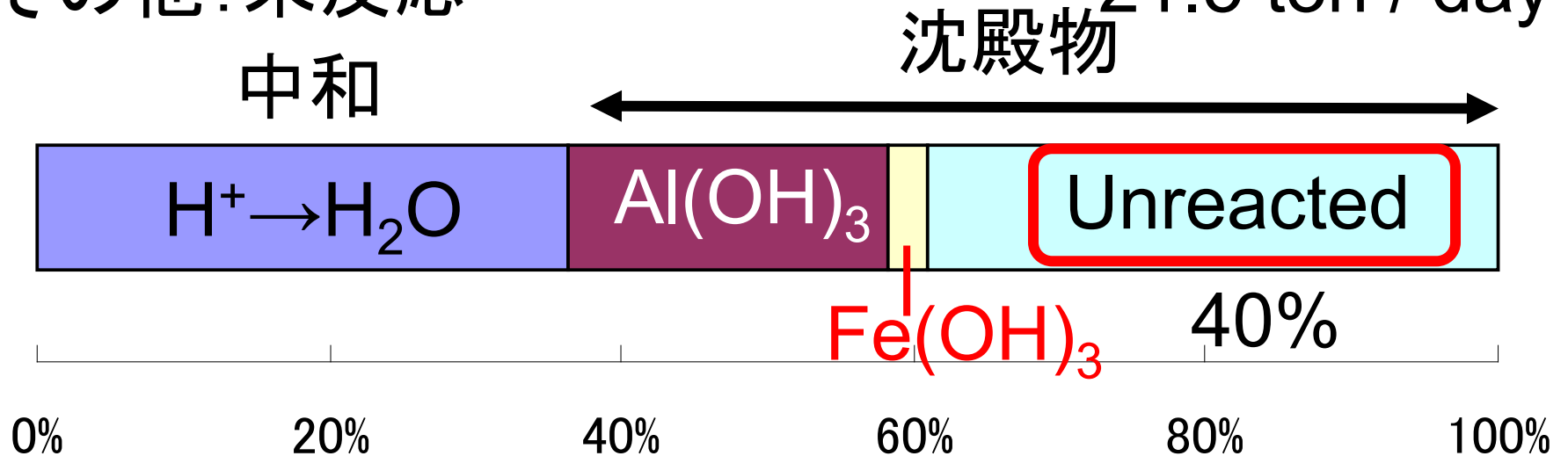
54 ton / day

酸中和: 20 ton / day

アルミニウムとの反応 $\text{Al(OH)}_3 \downarrow$: 11 ton / day

溶存鉄との反応 $\text{Fe(OH)}_3 \downarrow$: 1.5 ton / day

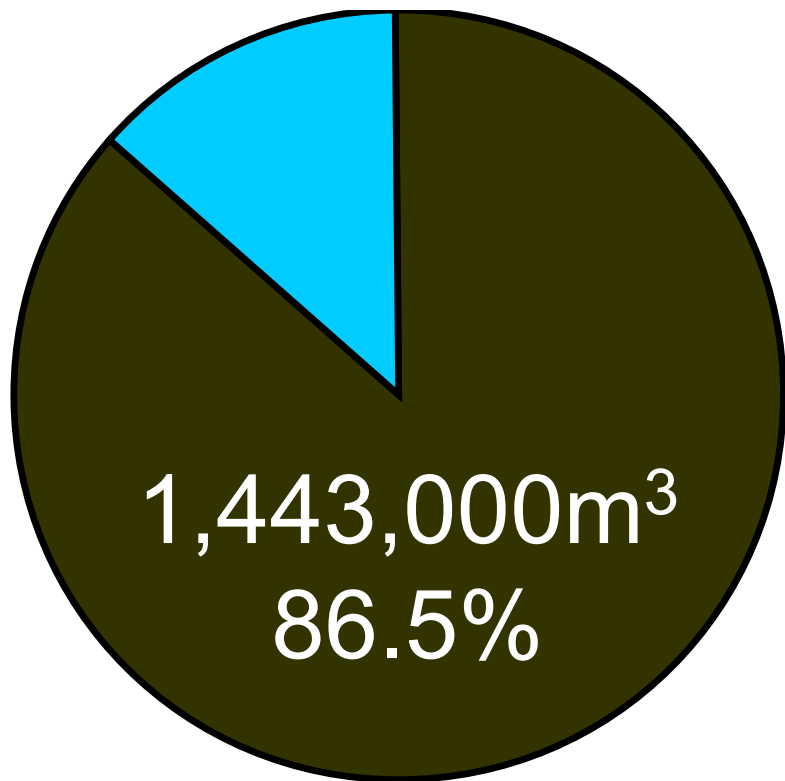
その他: 未反応 21.5 ton / day



中和プロセスでは余剰石灰の投入を要する

Problems

ダムの沈殿物の貯留および堆砂量



大規模な浚渫を行わないと
あと数年で容量限界に

総貯水容量
1,668,000 m³



品木ダム

費用



- 中和処理 2億円 / 年
- 人件費と浚渫 10億円/年 (2019)
- 現行の浚渫では元のダム容量に戻せない

90分講義

ここまで