



早稲田大学
WASEDA University

3段タンクモデルを用いた酸性坑廃水の 新規水質予測モデルの検討

早稲田大学大学院 創造理工学研究科 地球・環境資源理工学専攻
○門倉正和・淵田茂司・所千晴

研究背景



日本には5000～6000の休廃止鉱山が存在。

鉱山からは重金属を多く含む酸性坑廃水が発生するため、約80の鉱山では中和剤添加等の坑廃水処理を実施。

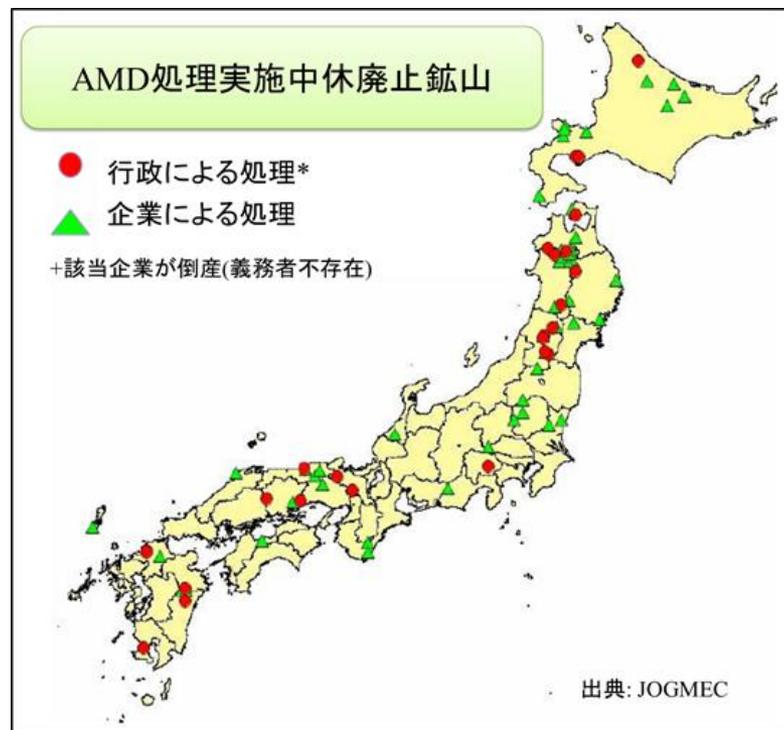
課題

半永久的に中和処理が必要となり、下記2点より国や自治体の負担が大きい。

- ✓ 継続的なコスト(中和剤・設備・人件費等)の発生
- ✓ 汚泥埋立のための十分な容量確保

処理の最適化を目指す上で

- ✓ 一律排水基準値以下となる年月
- ✓ 環境負荷量(発生する汚泥の量等)の評価が必要となる。



休廃止鉱山

Fe, Cu, Znなどの金属を生産し、現在は操業休止あるいは廃止している鉱山

坑廃水

鉱山廃止後、坑道や堆積場から発生する有害金属元素を含む廃水のこと

水質予測の既往研究と課題①



一律排水基準値以下となる年月や環境負荷量を定量化するために、既往研究では以下のような手法が用いられている。

- ① 発生源対策が適切に実施されている鉱山において、酸性坑廃水中の総溶出金属量(積算重量kg)は一次反応曲線に従うと仮定し溶出金属量(kg)を算出

$$C = C_0 \exp(-kt)$$

$$C_0(\text{ポテンシャル}) = \text{金属濃度}(\text{mg}/\text{dm}^3) \times \text{水量}(\text{dm}^3)$$

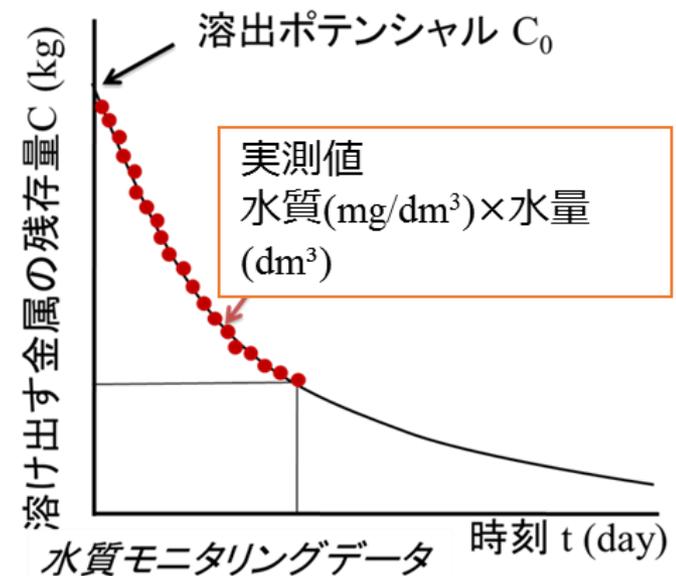
- ② 坑廃水生成に関与する鉱物種を推定
- ③ 水量は一定、気候変動はないものと仮定し溶出金属量(kg)を平均水量(dm^3)で割り、溶出金属濃度(mg/dm^3)を推定

課題



大まかな**中長期的な**推定は可能だが、

- ✓ 融雪・積雪、多雨などによる水量変動を考慮できない
- ✓ 地球温暖化等による降水量の変動を考慮できない



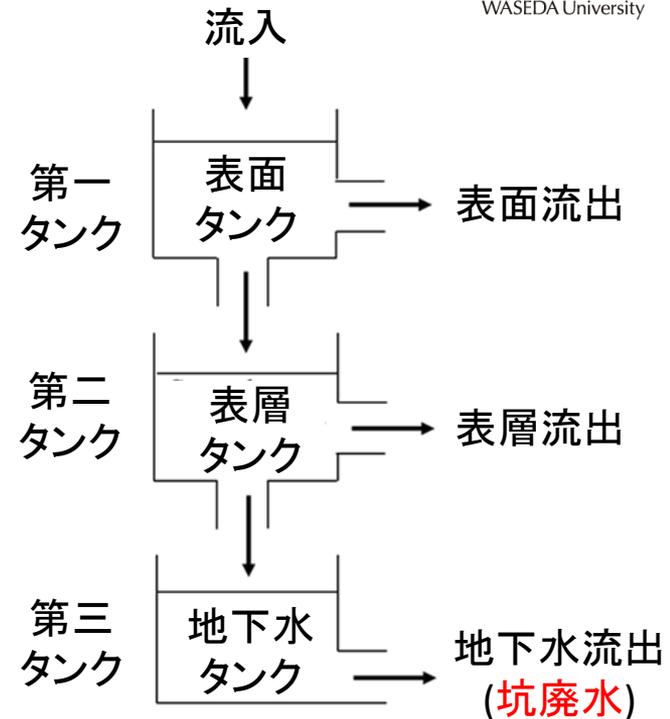
短期的な水質変動を考慮できるモデルが必要となる

水質予測の既往研究と課題②



気象現象等による水量の日変化を考慮した、**短期的な**坑廃水質変動を推定するために、既往研究では以下のような手法が用いられている。

- ① 鉱山付近の降水量・融雪量を算出することを目的とした融雪流出解析を実施
- ② 右図のような3段タンクモデルを用いて坑廃水の水量(dm^3)予測
- ③ 前スライドの手法で算出した溶出金属量(kg)を水量予測結果(dm^3)で割ることにより坑廃水の水質予測(mg/dm^3)



課題



既往研究では融雪期や多雨期の水量増加時は希釈作用、積雪期等の水量減少時には濃縮作用を再現。

✓ 実鉱山では水量増加に伴う洗い出し作用や希釈作用が確認

第二・第三タンクから流出する水を坑廃水と定義し、それらのタンクに各鉱物の**溶出速度**を定義することで希釈や洗い出し作用を再現

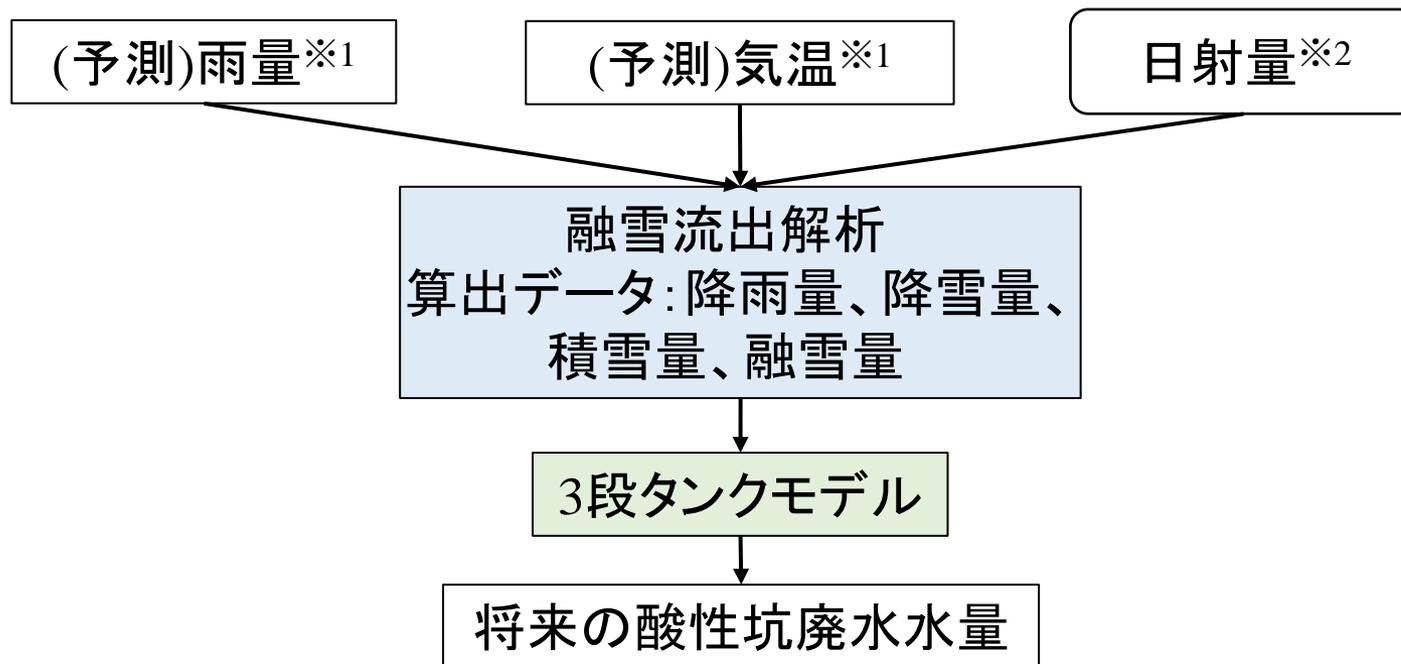


水量予測モデルの構築

水量予測モデルの流れ



水量予測モデルの大まかな流れを以下に示す。



融雪流出解析: 各種気象データを標高による補正をした後、積雪水量(SWE)モデル、熱収支法により降雨量、降雪量、積雪量、融雪量を算出する解析

※1AMeDAS気象観測所のデータ及びMPI-SEMのRCP2.6シナリオに基づいたデータを使用

※2AMeDAS気象観測所の日射量データを使用

融雪流出解析について



本解析では、鉢山付近の気象に合わせて降水量を補正し、降水量や融雪量を算出した。

①降水量の補正

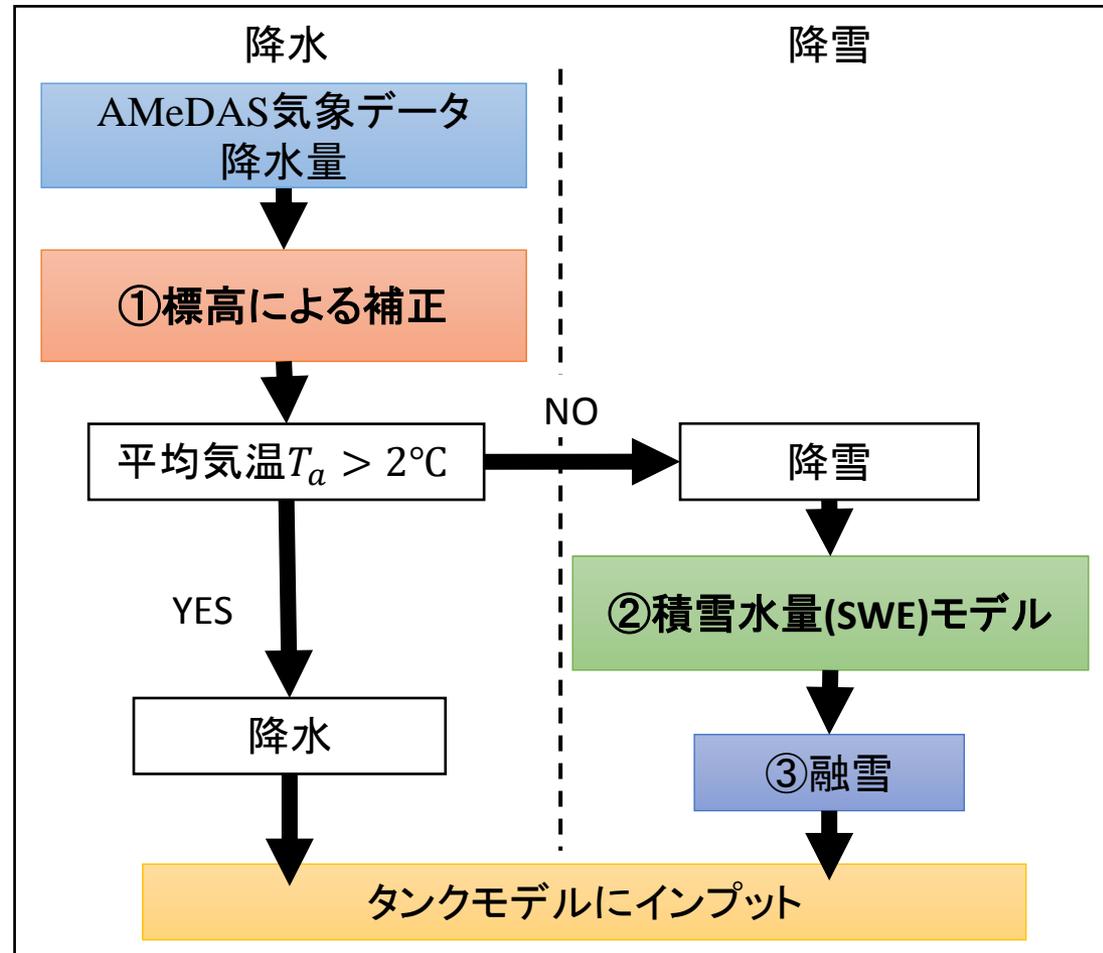
標高が高くなるにつれ、風速増加によって降水量の捕捉率が低くなる。

②積雪水量の算出

積雪水量(SWE)モデルにより、冬季の積雪の変化を再現

③融雪量の算出

熱収支法により、平均気温・降水量・日照時間から算出



タンクモデルについて

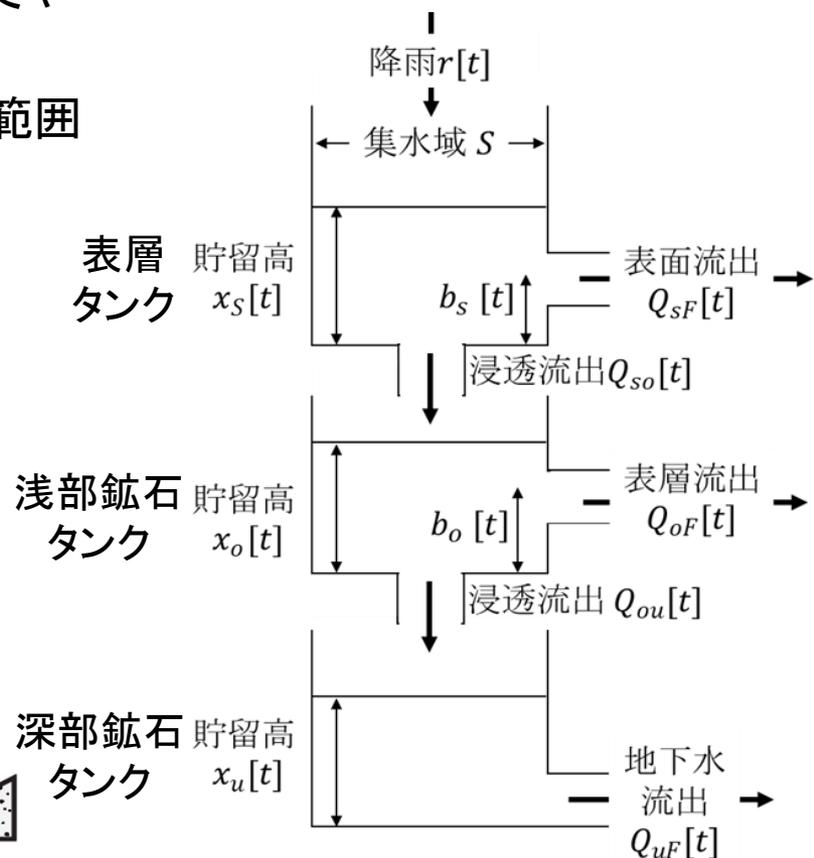
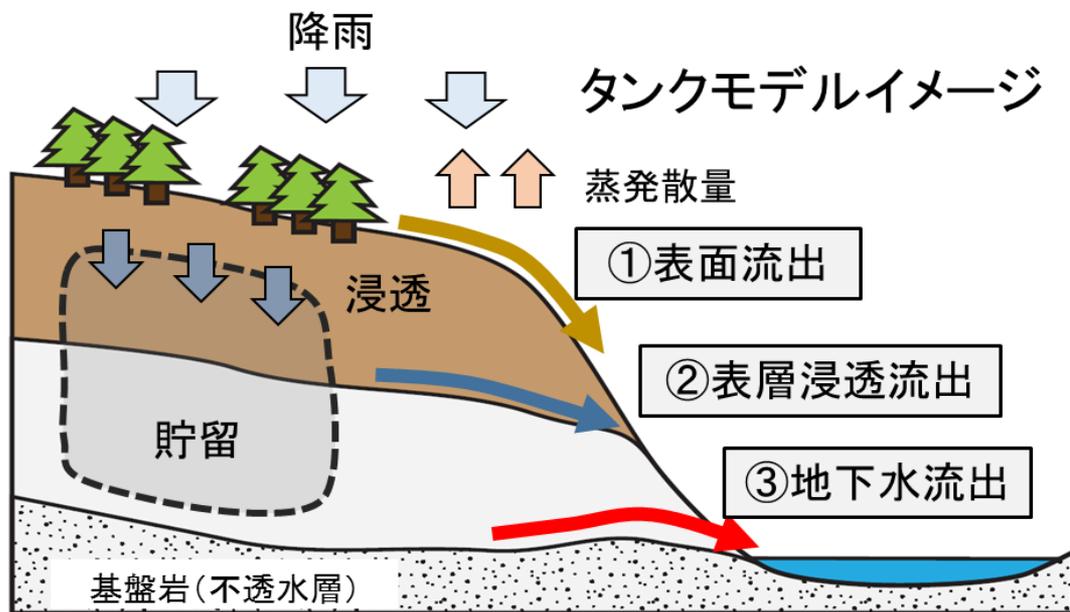


降雨や融雪と坑廃水の水量との関係をタンクモデルを用いて導出した。

○タンクモデル

タンクと孔を組み合わせることにより、流出機構をモデル化

- ✓ 簡易なシステムにも関わらず、流域における水収支や水循環を十分に説明することが可能
- ✓ 組み合わせるタンクと孔を変化させることで、適用範囲が広がる



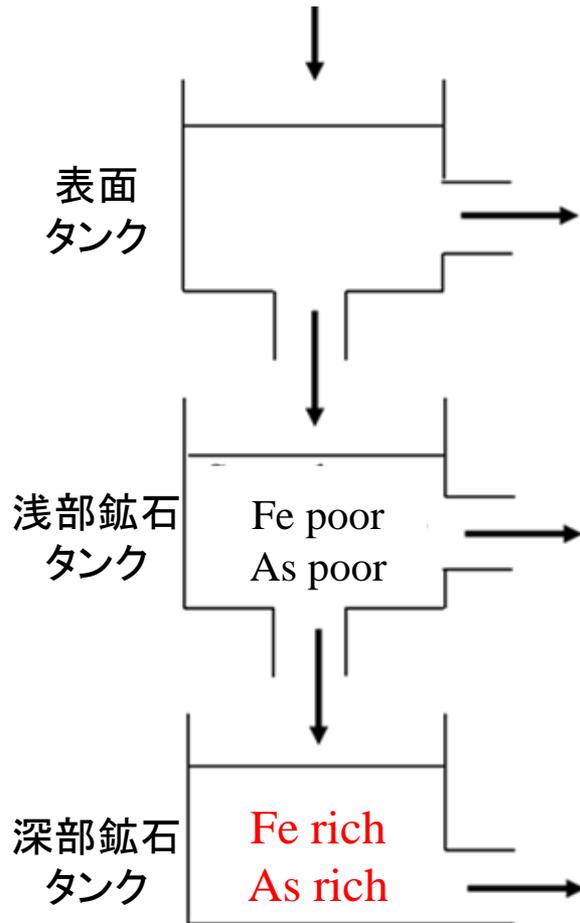


気候変動を考慮した 水量・水質変動予測

A 鉱山水質解析結果の考察



A 鉱山における各タンクの模式図を以下に示す。

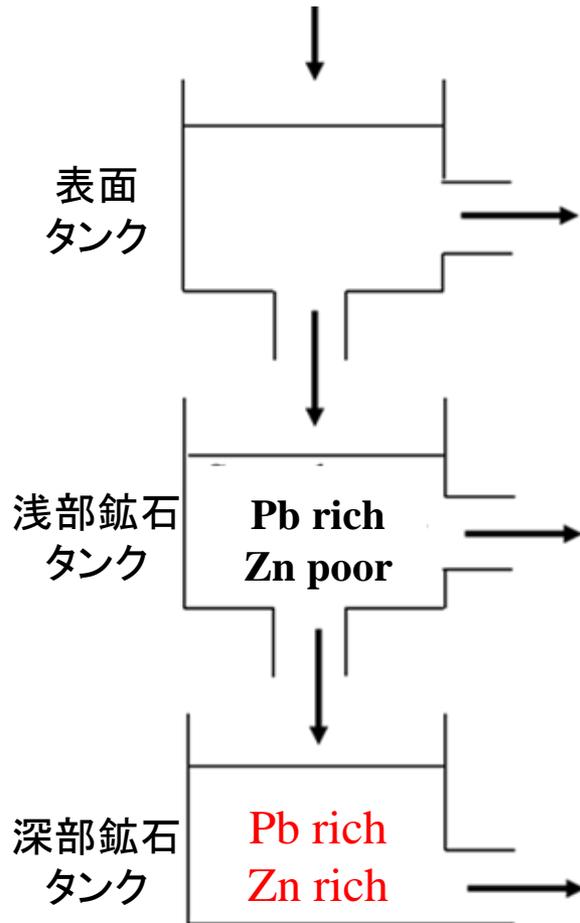


- ✓ A 鉱山では99.6%とほとんどの坑廃水が深部鉱石タンク由来だったため、将来の坑廃水水質を先行研究と同様に一次反応曲線で再現することができた。
- ✓ 将来的な水量増加により鉱石ポテンシャルの消費が促進され、既往モデルよりも早く一律排水基準値を下回る
- ◆ A 鉱山では今後も洗い出しや希釈作用による濃度変化は少なく、安定した水質が排出される

B 鉱山水質解析結果の考察



B 鉱山における各タンクの模式図を以下に示す。

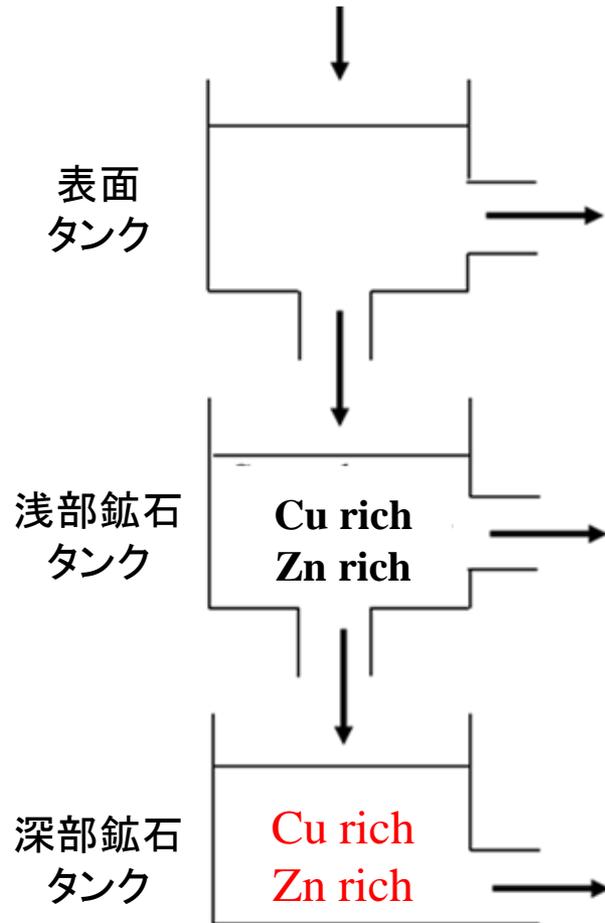


- ✓ B 鉱山では平均**90.6%**との坑廃水が深部鉱石タンク由来で時期によっては浅部タンク由来の坑廃水も存在する。
- ✓ Pbの解析では**洗い出し作用**が確認された
⇒浅部鉱石タンクから高濃度のPbが排出
⇒浅部タンクにはPbのポテンシャルとなる**鉱石が豊富**に存在すると示唆。
- ✓ Znの解析では**希釈作用**が確認された
⇒浅部鉱石タンクから低濃度のZnが排出
⇒浅部タンクにはZnのポテンシャルとなる**鉱石の存在量が少ない**と示唆。
- ◆ 本解析の結果からB 鉱山では**積雪期**(1-3月)に**高い濃度のZn**が、**融雪期・多雨期**に**高い濃度のPb**が排出されると示唆される。

C鉱山水質解析結果の考察



C鉱山における各タンクの模式図を以下に示す。



- ✓ C鉱山では平均**85.7%**との坑廃水が深部鉱石タンク由来で時期によっては浅部タンク由来の坑廃水も存在する。
- ✓ CuとZnの解析で**洗い出し作用**が確認された
⇒浅部鉱石タンクから高濃度のCuとZnが排出
⇒浅部タンクにはCuとZnのポテンシャルとなる**鉱石が豊富**に存在すると示唆。
- ◆ 既往モデルでは**収束しなかったCu**も洗い出しを考慮することで**収束する**ことが確認
- ◆ 両モデルで基準値を既に下回っていることが確認されたZnにおいて、今後水量増加に伴う洗い出し作用が発生しても**基準値を超えない**と計算された

○研究目的

気候変動を考慮した水量・水質予測モデルの構築

○3段タンクモデルを用いた水質・水質変動予測

➤ 本モデルの構築により洗い出し・希釈作用等の再現が可能となった。

◆ 水量変動の小さい鉱山(A鉱山)

⇒将来的な水量増加に伴い、鉱石ポテンシャルの消費が促進され、予測期間が短くなった。

◆ 水量変動の大きい鉱山(B・C鉱山)

⇒浅部鉱石タンクに存在する鉱石ポテンシャルに応じて洗い出しや希釈作用が確認された。

□ 本モデルによって坑廃水の発生減となる鉱石の空間分布を把握することができ、より高い精度で**短期・長期的な**坑廃水の水量と水質両方の変動予測が可能となる



ご清聴ありがとうございました