

令和 6 年度産業保安等技術基準策定
調査研究等事業
(休廃止鉱山における坑廃水処理に係る新たな
安全性評価手法の開発に係る調査事業)

調査報告書

令和 7 年 3 月

独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構

1. 業務概要

1.1. 件名

令和 6 年度産業保安等技術基準策定調査研究等事業（休廃止鉱山における坑廃水処理に係る新たな安全性評価手法の開発に係る調査事業）

1.2. 背景及び目的

金属鉱業等における鉱害は、他の一般産業公害と異なり、事業活動の終了後も坑口からの排水、集積場からの浸透水等の坑廃水に含まれる Cd や As といった重金属等が水質の汚濁、農用地の汚染をもたらすことが少なくなく、放置すれば、人の健康被害、農作物被害等の深刻な影響を引き起こすこととなる。

国は、休廃止鉱山の坑口及び集積場からの鉱害を防止するため、昭和 48 年に金属鉱業等鉱害対策特別措置法（以下、「特措法」という。）を制定し、本法に基づき、経済産業大臣による「特定施設に係る鉱害防止事業の実施に関する基本方針（以下、「基本方針」という。）」の制定等の措置を講じてきた。

基本方針では、鉱害防止事業の実施時期及び事業量その他鉱害防止事業の計画的な実施を図るために必要な事項を定めており、これまで昭和 48 年度から 5 次に亘り制定され、同基本方針に基づき計画的に鉱害防止事業を実施してきた。

第 5 次基本方針（平成 25～令和 4 年度）の実施時期が終了することに伴い、令和 4 年 8 月 1 日付けで経済産業大臣から中央鉱山保安協議会に対して次期基本方針の策定について諮問があり、これを受け、中央鉱山保安協議会の下に金属鉱業等鉱害防止部会を設置し、審議の結果、「特定施設に係る鉱害防止事業の実施時期及び事業量その他特定施設に係る鉱害防止事業の計画的な実施を図るために必要な事項」について答申がなされ、令和 5 年 3 月 31 日に国は第 6 次基本方針（令和 5～14 年度）の告示を行った。

従前の基本方針では、坑廃水中に含まれる重金属の処理量を坑廃水処理における評価基準として使用してきた。第 6 次基本方針の策定に向けた金属鉱業等鉱害防止部会では、坑廃水処理に係る事業量の計画値と実績値の乖離について指摘があったため、第 6 次基本方針の鉱害防止事業の計画的な実施を図るための必要な事項（以下、「必要な事項」という。）において、「排水基準等を満たしつつ継続的に坑水又は廃水の処理を実施していることを適切に評価するための手法を検討すること。」と記載し、従前の「事業量」の比較による評価に代わる新たな評価手法の検討を行うこととした。これを受け、排水基準等を満足しつつ継続的に坑廃水処理を行っていることを適切に評価できる手法の検討を行うこととする。

また、今般、我が国では豪雨等の自然災害が激甚化・頻発化する傾向にある。坑廃水は適切な処理を行ったうえで放流することが基本であるが、こうした災害が発生し、処理原水量が坑廃水処理場の処理能力を超過した場合、やむを得ず未処理の坑廃水を河川等に放流する対応が取られる可能性がある。第 6 次基本方針の必要な事項において、「大雨等により処理前の坑水又は廃水の放流を要する場合を想定して環境への影響の評価を事前に実施する等の

対策を検討し、自然災害へのレジリエンスの強化を図ること。」としており、大雨等で未処理放流等を行わなければいけなくなった時等を想定し、事前に環境への影響を評価する等のソフト面の対策も検討することとしている。豪雨災害時に放流した未処理原水は、増量した河川水量により希釈されるものの、その安全性については客観的に説明できる手法が確立していないことから、未処理坑廃水を放流した場合の安全性評価手法について検討・開発を行う。

1.3. 事業実施期間

令和 6 年 7 月 31 日 ～ 令和 7 年 3 月 31 日

1.4. 実施体制

本事業の実施体制について、図 1-1 実施体制に示す。

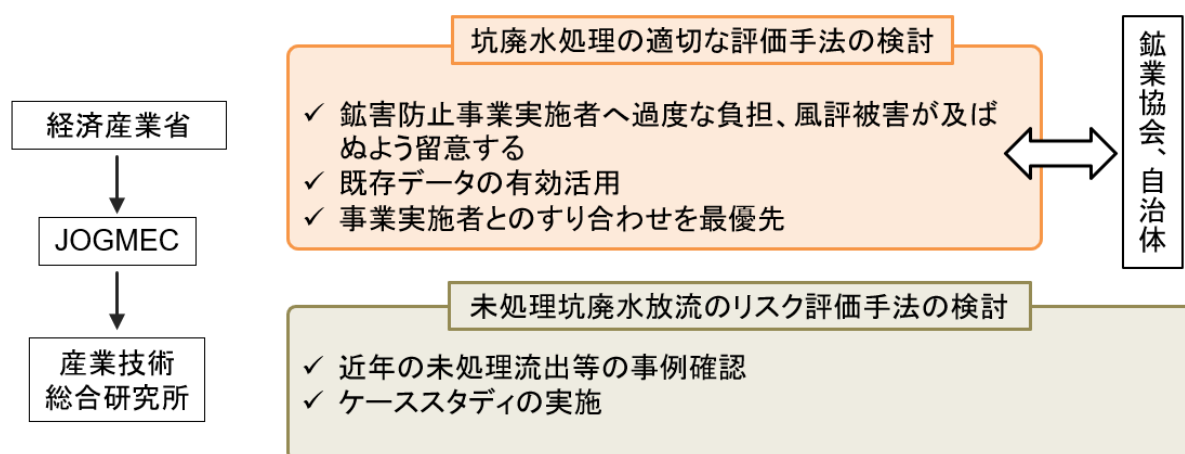


図 1-1 実施体制図

1.5. 実施内容

1.5.1. 排水基準等を満足しつつ継続的に坑廃水処理が行われていることを適切に評価できる手法の検討

第 5 次基本方針の評価では、当該期間中に処理する坑廃水中に含まれる重金属の計画処理量と実際に処理した処理量を比較しているが、その指標では本来の事業目的である排水基準を超過せず継続的に坑廃水処理を実施できているかどうかの適切な評価ができない。そのため、令和 5 年度事業の成果も踏まえ、下記に示す事項により、新たな指標を用いた評価手法の導入を検討した。

・休廃止鉱山の管理状況の確認と新たな評価手法の実効性に関する検討

令和 5 年度事業では、休廃止鉱山における処理水の採水頻度、管理基準値の超過状況等の確認を行ったところ、多くの休廃止鉱山では年 12 回（月 1 回）程度の採水を行っており、概ね管理基準値を超過していないことが推定できた。

そのため、令和 6 年度は、引き続き休廃止鉱山管理者と意見交換を行いつつ、より正確に、

かつ低負荷で評価を行うことを可能にする新たな調査様式案の策定やその調査様式の試行的利用等を行うほか、各休廃止鉱山での採水頻度など坑廃水処理の実施状況を確認することなどにより、新たな評価手法について実際に評価に必要なデータの収集が可能か、評価手法として適切かについて、各休廃止鉱山の実態を踏まえて検討を行った。

1.5.2. 豪雨等災害時にやむを得ず放流した未処理坑廃水のリスク評価手法の検討・開発

豪雨災害時に放流した未処理原水は、増量した河川水量により希釈されるものの、その安全性については事前に評価し説明できる手法が確立していない。そのため、令和 5 年度事業の成果も踏まえ、下記に示す事項により、豪雨等災害時にやむを得ず放流した未処理坑廃水の定量的リスク評価手法の検討・開発を行った。

- ・大雨時の坑廃水未処理流出に関する評価手法に関する検討等

令和 5 年度事業では、渇水状態の河川に未処理坑廃水が流出した場合（Tier 0）及び大雨 7 日後の河川に未処理坑廃水が流出した場合（Tier 1）の環境影響評価を行い、いくつかの休廃止鉱山ではこうした状況下においても、環境への影響は限定的であることが確認できた。

令和 6 年度は、令和 5 年度事業で考慮されていなかったバックグラウンドの影響に対する考え方等を整理するとともに、本事業の成果についての今後の活用方法等の検討も行った。

1.5.3. 委員会の設置・報告書の作成等

本調査事業について評価、助言等を行う委員会（委員 5 名）を設置し、2 回実施した。構成員は、鉱害防止関連の分野の学識経験者、研究者、業界関係者等により構成した（詳細は 4 章に記載）。

また、本調査の実施に当たり、委員会構成員の選定、開催時期、進め方、報告書の作成等については、あらかじめ産業保安・安全グループ鉱山・火薬類監理官付担当者に十分に連絡・相談を行い、進捗を報告した。

2. 排水基準等を満たしつつ継続的に坑廃水処理が行われていることを適切に評価できる手法の検討

要旨

金属鉱業等における鉱害は、事業活動の終了後も坑口からの排出水、集積場からの浸透水等の坑廃水に含まれる Cd や As といった重金属等が水質の汚濁、農用地の汚染をもたらすことが少なくなく、放置すれば人の健康被害、農作物被害等の深刻な影響を引き起こすこととなるため、これまでも坑廃水処理を始めとする適切な鉱害防止対策が講じられてきた。従前の基本方針では、坑廃水中に含まれる重金属の処理量を坑廃水処理における評価基準として使用してきたが、第 6 次基本方針の鉱害防止事業の計画的な実施を図るための必要な事項において、「排水基準等を満たしつつ継続的に坑水又は廃水の処理を実施していることを適切に評価するための手法を検討すること。」と記載し、従前の「事業量」の比較による評価に代わる新たな評価手法の検討を行うこととした。

この評価に関しては、補助金の実績報告書等により、各鉱山の目標水質とそれに対する達成率が把握可能であることが確認され、新たな作業負荷を事業者を求めることなく対応可能ということが示唆された。

また、補助金の実績報告書等に記載の達成率は「自然災害等、事業者の過失によらない流出事案」は含まれていないことを背景に、本検討では、補助金の実績報告書等に記載される達成率を、坑廃水処理がどれだけ適切に行われたかどうかを示す指標として活用可能であると結論づけた。ただし、原因が自然災害等を含む全ての坑廃水等の流出事案は国への報告義務があり、それらを上述の達成率の算出に含める場合でも正確に算出が可能であることも確認された。

目次

2. 排水基準等を満足しつつ継続的に坑廃水処理が行われていることを適切に評価できる手法の検討.....	2-1
2.1. 事業概要	2-4
2.2. 休廃止鉱山の管理状況の確認と新たな評価手法の実効性に関する検討	2-4
2.2.1. 休廃止鉱山の管理状況の確認	2-4
2.2.2. 新たな評価手法案及びその実効性の検討	2-4
2.3. まとめ	2-6

図目次

図 2-1	坑廃水処理が適切に行われているかどうかを説明する際の資料案.....	2-6
-------	------------------------------------	-----

2.1. 事業概要

第 5 次基本方針の評価では、当該期間中に処理する坑廃水中に含まれる重金属の計画処理量と実際に処理した処理量を比較しているが、その指標では本来の事業目的である排水基準を超過せず継続的に坑廃水処理を実施できているかどうかの適切な評価ができない。そのため、昨年度事業の成果も踏まえ、新たな指標を用いた評価手法の導入を検討する。

昨年度事業では、休廃止鉱山における処理水の採水頻度、管理基準値の超過状況等の確認を行ったところ、多くの休廃止鉱山では年 12 回（月 1 回）程度の採水を行っており、概ね管理基準値を超過していないことが推定できた。そのため、本年度は、引き続き、休廃止鉱山管理者と意見交換を行いつつ、より正確に、かつ低負荷で評価を行うことを可能にする新たな調査様式案の策定やその調査様式の試行的利用を行うほか、各休廃止鉱山での採水頻度など坑廃水処理の実施状況を確認することなどにより、新たな評価手法について実際に評価に必要なデータの収集が可能か、評価手法として適切かについて、各休廃止鉱山の実態を踏まえて検討を行う。

2.2. 休廃止鉱山の管理状況の確認と新たな評価手法の実効性に関する検討

2.2.1. 休廃止鉱山の管理状況の確認

休廃止鉱山の管理状況を把握するため、坑廃水処理を実施する企業、自治体（2 者）に加え産業保安監督部にヒアリングを実施した。その結果、以下のような状況が確認された。

- ・ 補助金を受けて実施する坑廃水処理に対しては、毎年度末に坑廃水処理及び補助金の使用実績を整理して、坑廃水処理に関する補助金利用の実績報告書（以下、実績報告書）を提出している。
- ・ 実績報告書について、近年は電子提出が認められているため、pdf ファイルで提出している現場もあれば、紙媒体で提出している場合もある。
- ・ 処理水は定期的に採水し、分析所で分析を実施しており、多くの休廃止鉱山で月 1 回の頻度で分析されている。分析結果の正確性は計量証明書により担保されている。
- ・ 鉱山により、元素毎に定期採水・分析の頻度が異なる場合がある。例えば Zn 濃度は月 1 回測定するが、Fe 濃度は月 3 回測定するなど。過去数十年間そのようにしてきた場合、なぜ元素毎に頻度が異なるのか不明な場合もある。

2.2.2. 新たな評価手法案及びその実効性の検討

令和 5 年度には、評価手法の案として、鉱害防止事業実施者が実施した坑廃水処理施設の処理水の定期分析の結果を入手し、「年平均値が一律排水基準値（上乘せ基準等の独自の管理目標値がある場合はそれらの管理目標値）を満足するかどうか」を提案した。これについては、実際に第 6 次基本計画策定時に使用したデータ等を利用し、処理水の水質の年平均値が一律排水基準値等に適合するか確認したところ、過去 10 年の範囲内において、全ての現場で適合していると推定された。また、処理水の水質の年平均値を一律排水基準値等と比較する場合、適切な頻度で採水を行っているかが重要であるが、ほとんどの現場で年 12 回程度の採水が行われていることが推定され、年平均値で議論するのに十分な頻度で採水が行われていると言えることが確認された。一方で、既存資料では各現場の水質管理目標値が一律

排水基準値なのかそれ以外の目標値としているのかが読み取りにくく、別資料を参照する必要があるという課題を見いだした。

本年度の検討では、先述のヒアリングにて、実績報告書では「処理後における目標水質の達成率及び緊急時にとった措置等」を記載することになっていることが確認され、記載の達成率がまさに坑廃水処理が適切に実施されたかどうか評価する指標になり得ると考えられた。実績報告書について関係各所からのヒアリングにより得られた詳細な情報は以下のとおりである。

- ・休廃止鉱山鉱害防止等工事費補助金（休廃止鉱山鉱害防止工事費）交付要綱により、補助事業者は所定の様式で実績報告をせねばならず、様式中に「処理後における目標水質の達成率及び緊急時にとった措置等」を記載することとなっている。
- ・達成率は〇%と表記し、年間通して処理後の目標水質（各処理施設で定められている）が達成された場合は 100 %となり、万が一坑廃水処理が不十分な場合は、不十分だった時間分を差し引いて記載される（例：99.72 %）。
- ・万が一、坑廃水処理が不十分な事例があった場合は、事業者が事故報告書を作成し、速やかに国に報告することとなっており、同報告書の中で、不十分となった原因や不十分であった時間が記載される。これにより、坑廃水処理が不十分であった時間が把握でき、同時間分を 100 %から差し引いて、達成率が算出されている。
- ・坑廃水処理が不十分であった場合において、その原因が自然災害等に起因すると特定できたものについては、達成率から不十分だった時間分は差し引かないこととしている。

ここで、令和 4 年度、令和 5 年度の実績報告書を確認したところ、令和 5 年度においては義務者存在 51 鉱山のうち、50 鉱山で処理後における目標水質の達成率は 100 %とされており、残りの 1 鉱山は 98.6 %、義務者不存在 23 鉱山では、全ての鉱山で達成率は 100 %とされていた。令和 5 年度については、義務者存在 51 鉱山全てで 100 %、義務者不存在 23 鉱山のうち 22 鉱山で 100 %、残りの 1 鉱山は 99.72 %とされていた。なお、上述の達成率は、坑廃水処理が不十分だった事例のうち、自然災害等事業者の過失によらない事例は除いたものである。これらの情報を整理し、国の審議会等、対外的に坑廃水処理が適切に行われているかどうかを説明する際の資料案としては図 2-1 のような表現が考えられた。

着目する点としては、達成率の数値に自然災害等事業者の過失によらない事例を含めるかどうかという点である。実績報告書等では、自然災害等によりやむを得ず処理不十分で坑廃水が流出した事案は含まれていないため、ここでは坑廃水処理が適切に行われたかどうかの達成率にも自然災害等は含まないことを一案とした。一方で、原因によらず、全ての流出事案は補助金交付要綱等により事業者から管轄の産業保安監督部への報告義務があり、事故報告書等により処理が不十分だった状況や時間を把握可能であり、仮に達成率の算出に自然災害等も含めるとしても既存の資料から正確に算出可能であると考えられる。

○坑廃水処理の実施状況		
坑廃水処理における目標水質の達成率(%)		
(自然災害等、事業者の過失によらない処理が不十分な流出事案を除く)		
	令和4年度	令和5年度
義務者存在(51鉱山)	99.97	100
義務者不存在(23鉱山)	100	99.99
METI提供資料を元にJOGMEC作成		
特記事項 ✓ 令和4年度、義務者存在鉱山は50鉱山が100 %達成、1鉱山が98.6 %。原因を分析し適切な対処(pH連続測定箇所の最適化等)を実施。 ✓ 令和5年度、義務者不存在鉱山は22鉱山が100 %達成、1鉱山が99.72 %。原因分析を試みたが特定に至らず引き続き状況を注視。 ✓ 自然災害等により、やむを得ず処理が不十分で流出した事案は令和4年度に6件、令和5年度に1件確認。原因分析の結果、特に豪雨の影響によるものが多く(導水配管の破損、処理施設水没等)、レジリエンス強化(ハード面、ソフト面ともに)を進める。		

図 2-1 坑廃水処理が適切に行われているかどうかを説明する際の資料案

2.3. まとめ

坑廃水処理が適切に行われたかどうかの評価に関しては、実績報告書等により、各鉱山の目標水質とそれに対する達成率が把握可能であることが確認され、新たな作業負荷を事業者を求めることなく対応可能ということが示唆された。

また、実績報告書等に記載の達成率は「自然災害等、事業者の過失によらない流出事案」は含まれていないことを背景に、本検討では、実績報告書等に記載される達成率を、坑廃水処理がどれだけ適切に行われたかどうかを示す指標として活用可能であると結論づけた。ただし、原因が自然災害等を含む全ての坑廃水等の流出事案は国への報告義務があり、それらを上述の達成率の算出に含める場合でも正確に算出が可能であることも確認された。

これらの検討を踏まえ、実際の対外的な説明ぶりに関しては今後関係者間での協議を踏まえ決定されるものである。他方で、将来的な坑廃水処理の管理の省力化や効率化を見据えると、国への報告等の様式の統一化(計量証明書様式の統一等)を始め、データ管理のデジタル化が重要であることも示唆された。

3. 豪雨等災害時にやむを得ず放流した未処理坑廃水のリスク評価手法の検討・開発

要旨

豪雨等災害時にやむを得ず未処理の坑廃水を放流せざるを得なくなった場合のリスク評価手法の検討・開発を行った。近年激甚化・頻発化する、豪雨により処理能力を超過した際、やむを得ず未処理坑廃水を河川へ放流するケースが想定される。本年度は、昨年度に作成した 3 つの段階 (Tier 0, 1, 2) で評価するフレームワーク (案) に基づき (特に、Tier 0、Tier 1)、大雨時の河川流量の変化を考慮しつつ、未処理坑廃水の放流が環境に与える影響の評価・検討を進めた。当該フレームワークでは、流域面積から計算できる渇水流量で保守的な条件下で簡易的な評価を行う Tier 0、河川流量シミュレーション (AIST-SHANEL 等) を実施して、豪雨後の流量を用いてより現実に近い条件で評価する Tier 1、詳細な地球化学解析や現地調査を組み合わるより詳細な評価となる Tier 2 の 3 段階で構成されている。本年度は、守るべき基準に関する整理 (3.1.3)、降雨増水時の全量濃度調査結果と測定方法の検討 (3.1.4)、pH を含めた Tier 0 評価方法の検討 (3.2)、Tier 1 に関する追加評価 (3.3) を中心に実施した。

守るべき基準については、休廃止鉱山において大雨時に未処理水が流出した場合、河川の水質調査における比較対象として環境基準または排水基準が用いられてきた。そこで本検討では、より保守的なリスク評価を行うため、水質環境基準が利用可能な物質については環境基準を参照値として評価に使用した。さらに、降雨増水時は河川中の浮遊物質 (SS) が増加することから、鉱山下流の河川における大雨時の元素濃度評価においては、SS を多く含む水試料と、平水時を想定して設定された環境基準とを直接比較することは適切ではない。したがって、溶存態濃度を基本に評価しつつ、懸濁物質を含む全濃度の計測も併せて実施することが望ましいと考えられる。

また、本年度は、未処理水坑廃水が河川に放流された後の pH の推定方法について詳細に検討した。その結果、単純希釈による pH の計算は基本的に保守的な評価になるが、重炭酸イオン等の溶存イオンを考慮した地球化学モデルを用いた計算のほうが、現実の pH を反映していると考えられた。

降雨後の河川流量をシミュレーションにより現実に近い条件で評価した Tier 1 ケーススタディでは、渇水流量では基準超過のリスクが懸念される鉱山でも、ピーク流量が観測された日から 1 日後までであれば、放流点で環境基準等を超過しない可能性が示された。今後は、Tier 1 におけるケーススタディで共通して超過が確認された Zn の環境基準についての扱いや、放流点よりも下流にある実際の利水状況等も含めたより現実的なリスク評価・管理の検討が重要である。

以上、本報告書では、豪雨等災害時にやむを得ず未処理の坑廃水を放流せざるを得なくなった場合に、下流への影響を客観的かつ段階的かつ保守的に評価できる手法を検討し、実際に評価を行った。より実態に即した評価には様々な課題が考えられるが、このような評価方法を関係者間で共有・検討しておくことが鉱害防止の観点から大きな意義を持つと考えられる。

目次

3. 豪雨等災害時にやむを得ず放流した未処理坑廃水のリスク評価手法の検討・開発	3-1
3.1. リスク評価手法の検討・開発	3-5
3.1.1. リスク評価・管理のフレームワーク案	3-5
3.1.2. リスク評価の基本的な考え方	3-6
3.1.3. 守るべき基準について	3-7
3.1.4. 降雨増水時の全量濃度調査結果と測定方法の検討	3-8
3.2. pHを含めた Tier 0 評価とケーススタディ	3-11
3.2.1. pHを含めた Tier 0 評価方法	3-11
3.2.2. pHに関する Tier 0 評価結果	3-12
3.3. Tier 1 評価とケーススタディ	3-13
3.3.1. Tier 1 評価方法	3-13
3.3.2. 追加鉱山における希釈率等の算出によるリスク評価	3-15
3.4. まとめ	3-18
3.5. 引用文献	3-19

図目次

図 3-1	検討したリスク評価・管理のフレームワーク（案）	3-5
図 3-2	Arc GIS による集水面積の算出方法	3-12
図 3-3	放流点におけるピーク後の河川流量の変化.....	3-13
図 3-4	AIST SHANEL (Ver.3.0 250 m メッシュ全国水系版) による流量シミュレーション	3-14
図 3-5	鉾山 7 の坑廃水が流入する河川の、放流点における流量シミュレーション.....	3-16

表目次

表 3-1	Tier 0 と Tier 1 のリスク評価の考え方.....	3-6
表 3-2	鉦山 5 の坑廃水処理水が流入する河川における水質調査結果	3-9
表 3-3	鉦山 2 の坑廃水処理水が流入する河川における水質調査結果	3-10
表 3-4	GWB での pH シミュレーション条件	3-12
表 3-5	鉦山 7 の原水中の元素濃度及び Tier 0 評価.....	3-15
表 3-6	鉦山 7 の Tier 0 及び Tier 1 評価結果.....	3-16
表 3-7	鉦山 2、7、20 の Tier 0 及び Tier 1 評価結果	3-17

3.1. リスク評価手法の検討・開発

3.1.1. リスク評価・管理のフレームワーク案

検討したリスク評価・管理のフレームワーク（案）を図 3-1 に示す。段階的なリスク評価を採用し、流域面積から計算できる渇水流量で評価する Tier 0、河川流量シミュレーションを実施して豪雨後の流量で評価する Tier 1、詳細なリスク評価となる Tier 2 の 3 段階を準備し、各段階でリスク低となった場合は、「洪水時において排水基準を超える重金属、pH が流出しても河川に与える影響は限定的と評価」するフレームワークの素案として作成した。

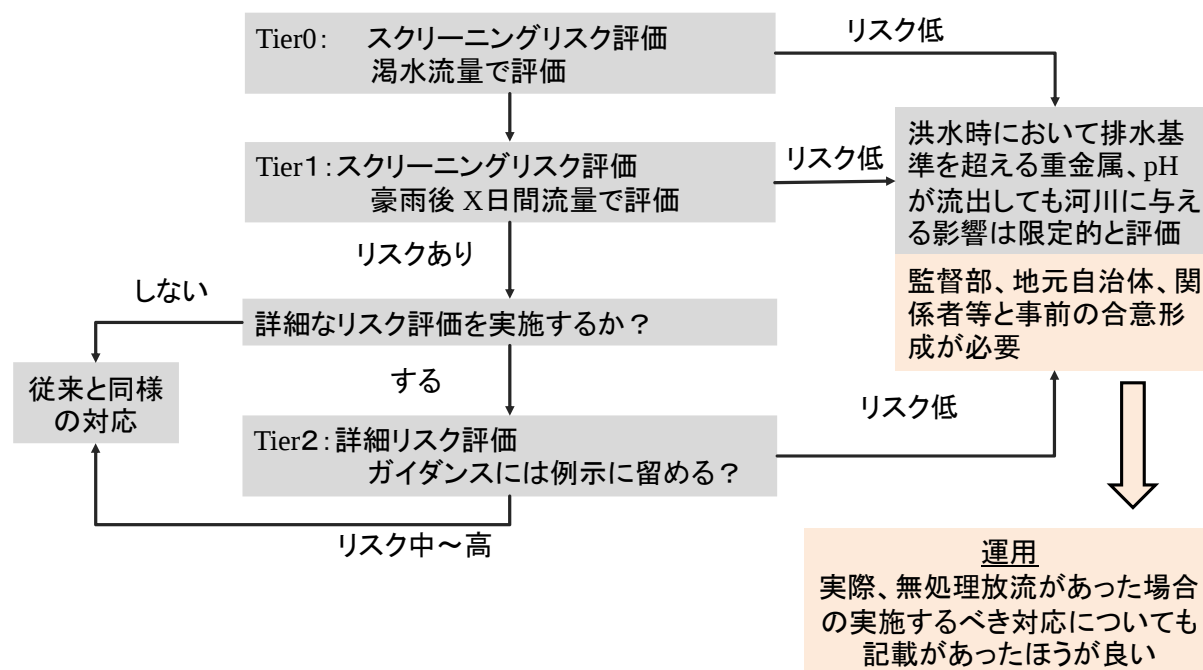


図 3-1 検討したリスク評価・管理のフレームワーク（案）

3.1.2. リスク評価の基本的な考え方

リスク評価の考え方を以下の表 3-1 に示す。評価ポイントとして、最も保守的となる放流点において評価を実施することとした。Tier 0 では集水面積から簡易的に推定できる渇水流量を用い、Tier 1 では、SHANEL 等の河川シミュレーションモデルを使用して推定した豪雨後の想定流量を用いることとした。

表 3-1 Tier 0 と Tier 1 のリスク評価の考え方

項目	Tier 0	Tier 1
対象とする事象	● 坑廃水が処理施設で処理できず河川に未処理流入した状況を対象。 ● 堆積場や沈殿池から中和殿物が河川に流出するケースは対象外	
評価ポイント	最も保守的となる放流点付近を基本とする。	
リスク判定基準	坑廃水が未処理放流された放流点における坑廃水に起因する重金属濃度（式 1 で計算）が守るべき基準を満たすこと。 <u>*守るべき基準は 3.1.3. で整理。3.2.以降のケーススタディでは、案として環境基準値等を準用して評価</u>	
バックグラウンド濃度	現状考慮せず。 <u>3.1.4. で複数の河川で実測を実施。</u>	
坑廃水重金属濃度	過去 5 年間の年平均値の最大値	
使用坑廃水流量	過去 5 年間の年平均値の最大値	
使用河川流量	国交省モデル*による渇水流量 保守的な値として設定 $Q = 0.0008 \times A^{0.491}$ Q：渇水流量 (m ³ /s)、 A：集水面積 (km ²)	河川シミュレーションによる年間最大流量から X 日後以内の最小河川流量 ※X は豪雨等災害時にやむを得ず無処理放流する期間を設定
希釈率計算	坑廃水最大濃度×坑廃水最大流量／（坑廃水最大流量＋河川最大流量）	

$$Cm_r(t) = \frac{Cm(t) \times Vm(t) + Cr(t) \times Vr(t)}{V_r(t) + V_m(t)} \quad (式 1)$$

(式 1)

河川中の濃度推定式

C_r = 坑廃水流入前の河川の元素濃度 (mg/L)

Cm_r = 坑廃水流入後の河川の元素濃度 (mg/L)

C_m = 坑廃水の元素濃度 (mg/L)

V_m = 坑廃水量 (m³/s)

V_r = 放流点での河川流量 (m³/s)

t = 豪雨後の評価期間

* 「正常流量検討の手引き（案）（国土交通省、2007）

3.1.3. 守るべき基準について

坑廃水を未処理放流する場合、放流点における重金属濃度が守るべき基準を満たすことが利水者及び水生生物を保護する上で望ましい。例えば、休廃止鉱山において大雨時に未処理水が流出した場合の河川の環境調査においては、比較対象として環境基準や排水基準が用いられている（例えば、青森県 2022）。

守るべき基準として、環境基準や排水基準の適用が考えられる。排水基準は公共用水域に流入する前の排水の基準であり、河川流入後の守るべき基準としてよいのかは議論が必要であろう。一方、環境基準は努力目標であり、かつ、平水時の年平均値で基準値を超過するかを判断すること、懸濁物質を含んだ状態での全量分析で濃度を測定することから、大雨時に大量の懸濁物質を含んだ河川水が一時的に環境基準を超える状態が生じた場合、その扱いをどのように考えるかは（義務者不存在鉱山での未処理放流自体が鉱山保安法の対象外であることを踏まえ）、坑廃水処理の目標を定めている関係者や河川管理者、利水者間で事前の検討が必要と思慮する。

なお、3.2.以降のリスク評価においては、環境保全を目的とした環境基準の運用は保守的なリスク評価となることから、守るべき基準として一律で環境基準を設定して評価を行った。また、環境基準がない物質については、要監視項目及び指針値等を用いた。

3.1.4. 降雨増水時の全量濃度調査結果と測定方法の検討

河川の増水時には、浮遊物質（SS）の増加などが原因で、全量で測定される金属濃度が変動することが予想される。そこで、降雨による増水時の金属濃度の変化を把握し、今後の水質管理の方針を検討するための基礎データ（大雨時における坑廃水流入地点上流および下流での水質変化の把握、増水時における金属濃度（全量濃度および溶存態濃度）の変動評価）を蓄積することを目的として、河川調査を実施した。

3.1.4.1. 調査・分析方法

本調査では、鉦山 5 及び鉦山 2 の坑廃水処理水が流入する 2 河川を対象とした。調査地点は、鉦山 5 では処理水が流入する地点の約 1.5 km 上流にある橋（Y1 地点）及び約 1.5 km 下流にある橋の 2 地点（Y2 地点）とした。鉦山 2 では坑廃水処理水が流入する直上の河川地点での採水が困難なため、坑廃水処理水が流入する地点より約 4 km 下流にある橋（M1 地点）及びさらに 10 km 程度下流にある橋（M2）地点を調査地点とした。これらの地点において、降雨後または降雨による河川の濁りが確認された場合に採水を実施し、pH（現地測定）、電気伝導度（electrical conductivity: EC）、浮遊（懸濁）物質（suspended solids : SS）濃度、元素濃度（Cd、Pb、As、Cu、Zn、Mn、Fe）を測定した。EC は白金電極法、SS はろ過重量法、金属濃度は、0.45 μm のメンブレンフィルターでろ過した水試料から測定された濃度を溶存態濃度、ろ過なしの水試料を全濃度（溶存態濃度と懸濁態濃度の和）として、誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS）により分析した。

3.1.4.2. 結果と考察

鉦山 5 では、2024 年 9 月 18 日～22 日にかけて、累積降水量約 250 mm の降雨（20 日が最大で 109.5 mm）があり、9 月 22 日～24 日の 3 日間に処理水流入する地点の上流（Y1 地点）および下流（Y2 地点）で採水を実施した。9 月 23 日においても河川に明らかな濁りが確認できる（表 3-2）。降雨直後の SS 濃度は最大約 70 mg/L であり、Fe および Mn の全量濃度および溶存態濃度が顕著に増加していた（表 3-2）。Zn および Cu については、2022 年 5 月と 10 月に実施された既存の河川調査（岩崎ら 2024）に比べて、測定された溶存態濃度は高い傾向にあったが、SS 濃度との明瞭な正の関係は認められなかった。

鉦山 2 では、2024 年 9 月 15 日～11 月 11 日にかけて、降雨時および降雨後に調査を実施した。調査期間中、前述した鉦山 5 周辺の降水量に匹敵する降雨はなく、調査前 1 週間の累積降水量は最大 50 mm 程度であり、SS 濃度は最大約 10 mg/L であった（表 3-3）。鉦山 5 同様に Fe および Mn の全量濃度および溶存態濃度が SS 濃度が高いときに増加する傾向があったが（例えば、M2 地点の 10 月 24 日や 11 月 11 日）、Zn および Cu の濃度変化は明確ではなかった。M1 地点は、鉦山元に近く、M2 地点よりも Zn 濃度が高い傾向にあるが、0.03 mg/L を超えた測定値が全量また溶存態で 10 月 6 日と 11 月 11 日にみられた。

本調査の結果から、降雨時の増水に伴い、SS 濃度が増加し、Fe および Mn の全量濃度および溶存態濃度が上昇する傾向が確認された。一方で、Zn および Cu の濃度変化は、Fe や Mn ほど顕著ではなく、SS との関係についてさらなる検討が必要である。

3.1.4.3. 大雨時の測定方法の検討

これらの結果および青森県での事例（青森県 2022）を鑑みると、鉱山下流の河川において大雨時の観測される元素濃度の評価においては、SSを多く含む水試料と平水時を想定されて設定された環境基準は直接比較可能ではない。（全濃度の測定も実施しつつ）溶存態濃度での評価を基本とすることが適切であると考えられる。

表 3-2 鉱山 5 の坑廃水処理水が流入する河川における水質調査結果

調査地点		Y1地点			Y2地点		
採水日		2024/9/22	2024/9/23	2024/9/24	2024/9/22	2024/9/23	2024/9/24
pH		7.2	7.3	7.4	7.2	7.3	7.3
SS		68	38	8	55	45	8
Cd	全量	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001
	溶存	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001
Pb	全量	0.0008	0.0006	0.0006	0.0015	0.0014	0.0005
	溶存	0.0006	0.0002	0.0004	0.0015	0.0009	0.0003
As	全量	0.0008	0.0006	0.0003	0.0008	0.0007	0.0004
	溶存	0.0004	0.0003	0.0003	0.0004	0.0004	0.0003
Cu	全量	0.002	0.002	0.002	0.005	0.004	0.004
	溶存	0.002	0.001	0.002	0.003	0.003	0.002
Zn	全量	0.016	0.017	0.020	0.023	0.015	0.015
	溶存	0.008	0.006	0.016	0.021	0.009	0.014
Mn	全量	0.032	0.024	0.010	0.039	0.028	0.013
	溶存	0.002	0.001	0.003	0.002	0.002	0.003
Fe	全量	1.24	0.87	0.22	1.40	1.10	0.28
	溶存	0.10	0.08	0.04	0.11	0.09	0.03

SS（浮遊物質）及び元素濃度の単位は mg/L。

表 3-3 鉦山 2 の坑廃水処理水が流入する河川における水質調査結果

調査地点		M1地点						M2地点					
採水日		9/15	10/6	10/16	10/24	10/25	11/11	9/15	10/6	10/16	10/24	10/25	11/11
pH		7.2	7.2	7.1	6.9	7.1	6.8	7.1	7.2	7.1	7	6.9	6.9
SS		<1	<1	<1	2	<1	2	3	<1	<1	8	1	6
Cd	全量	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
	溶存	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	<0.0001	<0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Pb	全量	0.0011	0.0005	0.0009	0.0020	0.0015	0.0047	0.0020	0.0018	0.0013	0.0023	0.0009	0.0035
	溶存	0.0003	0.0001	0.0007	0.0006	0.0004	0.0009	0.0003	0.0001	0.0013	0.0011	0.0007	0.0008
As	全量	0.0008	0.0007	0.0006	0.0007	0.0006	0.0008	0.0009	0.0008	0.0007	0.0010	0.0006	0.0009
	溶存	0.0007	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0009	0.0007	0.0007	0.0006	0.0005	0.0004
Cu	全量	0.004	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004	0.002	0.003	0.007	0.003	0.002	0.004
	溶存	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003
Zn	全量	0.028	0.030	0.029	0.027	0.030	<u>0.034</u>	0.021	0.016	0.018	0.021	0.019	0.024
	溶存	0.023	0.032	0.026	0.026	0.025	0.034	0.009	0.012	0.012	0.019	0.013	0.022
Mn	全量	0.004	0.002	0.003	0.007	0.004	0.009	0.012	0.006	0.007	0.022	0.005	0.023
	溶存	0.001	0.000	0.001	0.007	0.002	0.002	0.000	0.000	<0.0001	0.001	0.000	0.002
Fe	全量	0.059	0.029	0.039	0.091	0.063	0.138	0.226	0.107	0.111	0.382	0.089	0.384
	溶存	0.014	<0.001	0.009	0.014	0.004	0.018	0.052	0.032	0.025	0.059	0.020	0.051

SS（浮遊物質）及び元素濃度の単位は mg/L。採水年は 2024 年。

3.2. pHを含めた Tier 0 評価とケーススタディ

3.2.1. pHを含めた Tier 0 評価方法

昨年度は、Tier 0 評価のケーススタディを実施した。まず「正常流量検討の手引き（案）（国土交通省（2007））」に従い、以下の式から湧水流量を算定した。集水面積の算出は、Arc GIS を使用して坑廃水の流入点ポイントを設定し、集水域面積を算定した（図 3-2）。重金属濃度 (Cm) 及び坑廃水量 (Vm) は、2015 年から 2019 年に取得されたデータの年平均値のうち、最大となる年平均値を使用した。データ取得は義務者不存在の 23 鉱山（26 坑廃水）で実施し、これらの値を用いて式 1 に従って希釈後の濃度を算出した。放流点におけるリスク判定基準として、環境基準値（Cd, 0.003 mg/L; Pb, 0.01 mg/L; As, 0.01 mg/L; Zn, 0.03 mg/L）を採用し、算出された希釈後の元素濃度と比較した。環境基準値が設定されていない元素に関しては、排水基準値の 10 分の 1 となる値（Cu, 0.3 mg/L; Fe, 1 mg/L; Mn, 1 mg/L）を設定した。

本年度は、坑廃水放流後の pH の推定方法を検討した。未処理坑廃水と河川水の 2 液混合と考え、式 1 及び水のイオン積に基づき pH 推定した。また、河川水中の重炭酸イオン等が緩衝作用を示す場合、実際の値は単純希釈の理論値よりも高くなると推測される。今回は、単純希釈による理論値、及び溶存イオンを考慮した地球化学モデリング The Geochemist's Workbench (GWB) での計算値を算出し、pH を比較した。単純希釈による pH 推定は、まず 2015 年から 2019 年に取得された坑廃水量の年平均値の最大値 (Vm)、pH の年平均値の最小値 (Cm) を使用した。河川については、Tier0 評価で算出した河川の湧水流量 (Vr)、「平成 23 年度休廃止鉱山鉱害防止技術等調査研究事業」で取得された河川水 pH (Cr) を参照した。希釈計算は、式 1 及び水のイオン積 ($K_w = 1.0 \times 10^{-14}$) に従い実施した。GWB による pH 推定は、React プログラムによる 2 液混合シミュレーションを実施した。単純希釈の計算で用いた坑廃水量及び pH に加え、溶存イオン (Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-}) が存在する条件でシミュレーションを実施した。坑廃水中の Fe、Cu、Pb、Zn、Mn については 2015 年から 2019 年に取得されたデータの年平均値のうち、最大となる年平均値を、河川水中の Fe、Cu、Pb、Zn、Mn、坑廃水及び河川水中の Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} については、「平成 23 年度休廃止鉱山鉱害防止技術等調査研究事業報告書」を参照した。表 3-4 にシミュレーション条件を示した。26 地点の坑廃水のうち河川水 pH が取得されていた 18 地点について解析を実施した。

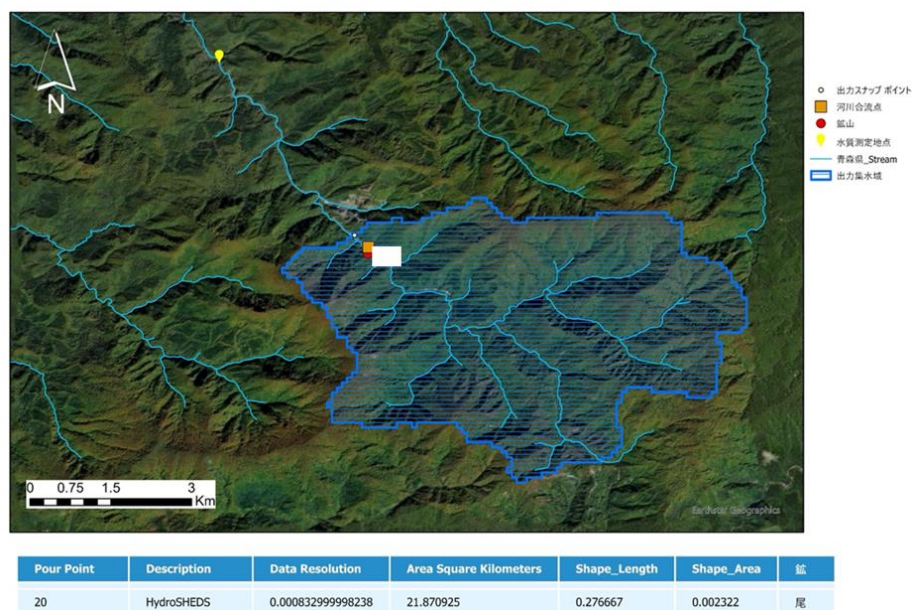


図 3-2 Arc GIS による集水面積の算出方法
 橙色のポイントは放流点、青枠は集水域を示す。

表 3-4 GWB での pH シミュレーション条件

パラメータ	坑廃水	河川水
元素	H^+ , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^-	H^+ , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^-
水温 (°C)	25	25
溶存酸素 (mg/L)	1	10
水量	2015～2019 年の年平均値の 最大値	渇水流量
プログラム	GWB React	
データベース	熱力学データベース Thermo.tdat	

3.2.2. pH に関する Tier 0 評価結果

放流点における pH の推定の結果、単純希釈計算では、18 地点のうち 3 地点で環境基準値を満たした一方で、GWB による解析では 18 地点のうち 12 地点で環境基準値を満たすことが確認された。重炭酸イオン存在下では、重炭酸イオン非存在下に比べて、坑廃水量が小さい場合に pH の低下が緩やかであることが確認された。これは、河川水中の重炭酸イオンの緩衝能により、単純希釈の理論値より高い pH になるためである。GWB 値が単純希釈の理論値より低くなった坑廃水は 2 鉱山（鉱山 3 及び鉱山 4）であった。鉱山 3 については、坑廃水が中性であるため理論 pH の低下はわずかであったが、金属水酸化物生成に伴う pH 低下を考慮した GWB 値では pH が低下した。鉱山 4 については、河川水中の重炭酸イオン濃度が検出

限界未満であったため、河川の緩衝能が小さく pH が低下した。

以上から、単純希釈計算での pH 推定を実施するよりは、重炭酸イオン等の溶存イオンを考慮した地球化学モデルを用いた計算のほうが、現実の pH を反映していると考えられる。今回は渇水流量での希釈率が低い場合の評価であったことから、実際の河川ではより高い緩衝能が得られると予想される。今後は、実際の坑廃水及び河川水の混合実験等を各鉱山で行い、大雨時の河川における pH 緩衝能の評価を行う必要があるだろう。

3.3. Tier 1 評価とケーススタディ

3.3.1. Tier 1 評価方法

Tier 1 では、Tier 0 と比較して希釈に使用する河川流量を流域面積より推定される渇水流量から、産総研－水系暴露解析モデル (AIST SHANEL) による河川流量シミュレーションにより推定した豪雨後の河川流量を用いる案を検討した。本手法では、豪雨等災害時にやむを得ず無処理放流する期間 (t) を設定し、より降雨及び流域特性に即した評価を実施した。

降雨時の河川流量シミュレーション結果の一例を図 3-3 に示した。降雨後、河川流量のピークが観察された後に、急激に河川流量が減少していることが確認される。Tier 1 ではこの降雨時の流量変動に着目し、無処理放流する期間 t と河川流量 V_t (式 1) を設定することで、濃度推計と未処理放流のリスク評価を実施した (期間 t についての詳細は以下参照)。

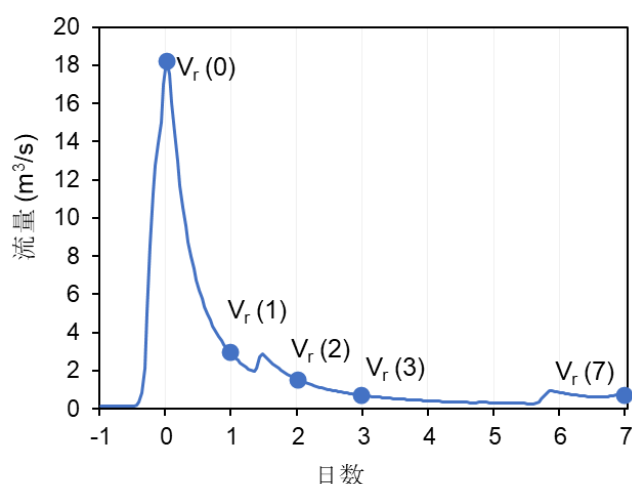


図 3-3 放流点におけるピーク後の河川流量の変化

流量の推定には、AIST-SHANEL Ver.3.0「250 m メッシュ全国水系版」の流れ解析モデルと同様のモデルを用いた。ただし、出水時の流量を主な対象とするため、以下の 3 点を考慮した。

- ・ 1 時間単位の降雨データを入力し、任意地点の河川流量を 1 時間単位で出力する
- ・ 気象データは対象気象官署のデータを用いるが、降雨量のみアメダスデータを用いる。
- ・ 流れ解析に加えて熱収支解析(積雪・融雪は除く)実施する。

河川流量の推定値と水文水質データベースにおける直近の河川流量観測地点における観測

値を比較し、必要に応じてキャリブレーションを実施した（図 3-4）。

使用する元素濃度 (Cm) 及び坑廃水量 (Vm) は、Tier0 と統一し、2015 年から 2019 年に取得されたデータの年平均値のうち、最大となる年平均値を使用した。これらの値から、式 1 に従い希釈後の濃度を算出した。放流点におけるリスク評価の判断基準として、環境基準値 (Cd, 0.003 mg/L; Pb, 0.01 mg/L; As, 0.01 mg/L; Zn, 0.03 mg/L) を採用し、算出された元素濃度と比較した。環境基準値が設定されていない元素に関しては、排水基準値の 10 分の 1 となる値 (Cu, 0.3 mg/L; Fe, 1 mg/L; Mn, 1 mg/L) を設定した。これらの基準値と、式 1 により算出された評価値 Cr (0)、Cr (1)、Cr (2)、Cr (3)、Cr (7) を比較することで、豪雨等災害時にやむを得ず放流した未処理坑廃水のリスク評価を実施した。

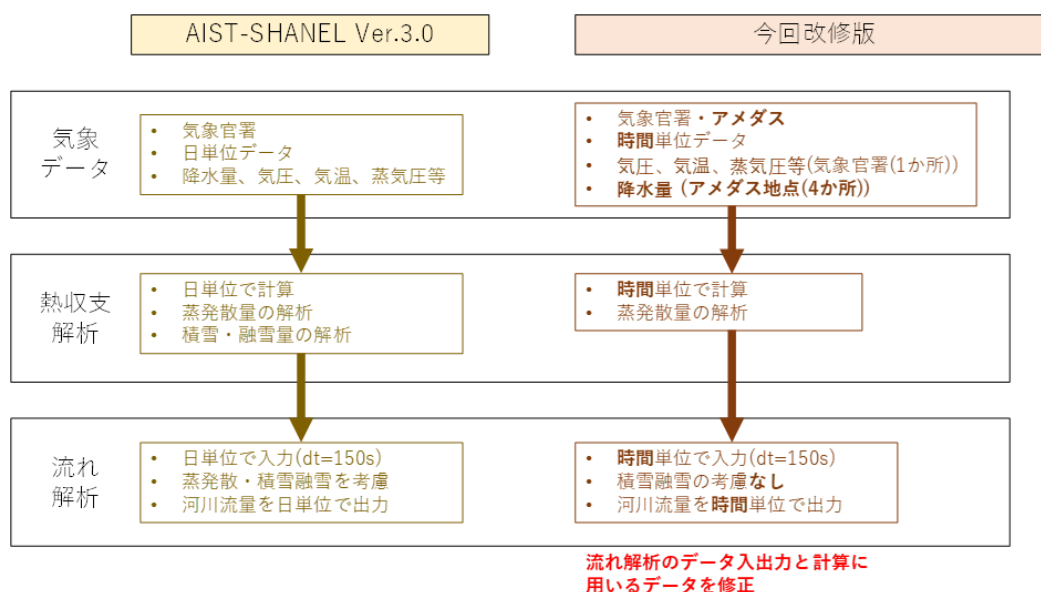


図 3-4 AIST SHANEL (Ver.3.0 250 m メッシュ全国水系版) による流量シミュレーション

3.3.2. 追加鉱山における希釈率等の算出によるリスク評価

義務者不存在鉱山における 1 鉱山（鉱山 7）において、未処理坑廃水を放流した場合の希釈率を算出し、そのリスク評価を行った。

3.3.2.1. 鉱山 7 の事例

鉱山 7 では、Cd、As、Zn 及び Fe が排水基準値を超過する坑廃水が排出されている。坑廃水（原水）の元素濃度と Tier 0 による濃度推定結果を表 3-5 に示した。Tier 0 では、渇水時評価では坑廃水の希釈倍率は 6.6 倍で、式 1 による希釈計算後でも Cd、Zn 及び Fe の評価濃度は基準値を超過していた。以下に Tier 1 による評価事例を示す。

AIST SHANEL Ver.3.0「250 m メッシュ全国水系版」による 2023 年 6 月 1 日～10 月 31 日における流量シミュレーション結果を図 3-5 に示した。河川流量は、降雨後 8 月 15 日にピークに達し、7 日目まで漸減した。

当該期間（ $t = 0、1、2、3、$ 及び 7 日後）における希釈倍率および希釈後の推定濃度 $Cr(t)$ を表 3-6 に示した。渇水時では希釈倍率が 6.6 倍であったのに対し、ピーク時（ $t = 0$ ）では 1555 倍の希釈効果を示した。1 日後から河川流量は低下し、希釈倍率は 1 日後、2 日後、3 日後、7 日後でそれぞれ、184 倍、94 倍、65 倍、41 倍と低下していった。また、元素濃度 $Cr(0)$ は基準値を全ての元素で下回った。1 日後から Zn、7 日後から Fe が基準値を超過することが確認された。

以上から、Tier 0 では基準値超過のリスクがあると判断された坑廃水でも、今回の計算例では豪雨発生から 1 日後までであれば環境負荷が低い状態で放流できる可能性が考えられた。一方で、1 日経過すると Zn が基準値を超過する可能性が考えられた。

表 3-5 鉱山 7 の原水中の元素濃度及び Tier 0 評価

項目	Cd	Pb	As	Cu	Zn	Fe	Mn
基準値 (mg/L)	0.003	0.01	0.01	0.3	0.03	1	1
原水濃度 (mg/L)	0.029	-	0.04	-	6.25	43.6	-
Tier 0 評価濃度 (mg/L)	0.004	-	0.006	-	0.948	6.6	-
Tier 0 評価 対基準倍率	1.47 倍	-	0.56 倍	-	31.5 倍	6.61 倍	-

赤字は基準値を超過、緑字は基準値の 1 倍～1/10 倍であることを示す。

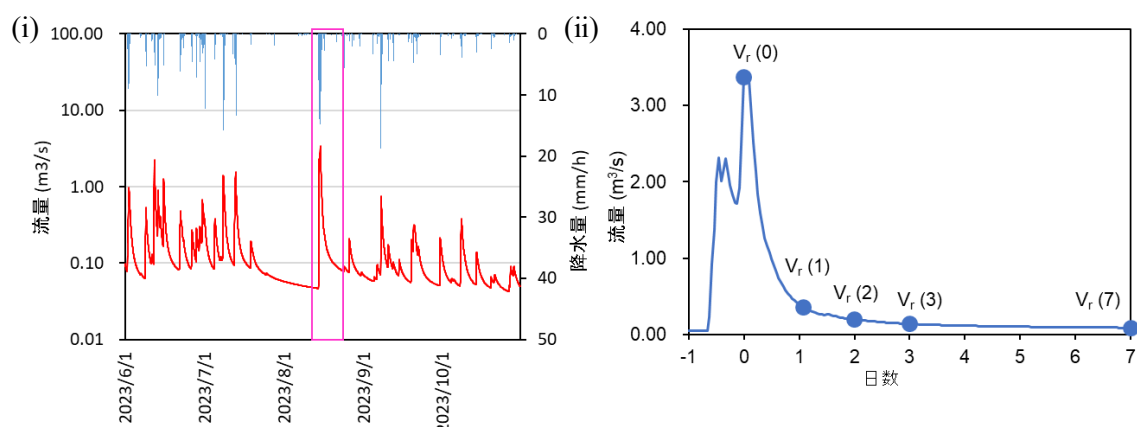


図 3-5 鉱山 7 の坑廃水が流入する河川の、放流点における流量シミュレーション
 (i) 鉱山 7 の坑廃水が流入する河川の、放流点における流量シミュレーション(ii)
 (i) の青枠に示した流量ピークの拡大図

表 3-6 鉱山 7 の Tier 0 及び Tier 1 評価結果

項目		Cd (mg/L)	Pb (mg/L)	As (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
坑廃水の重金属濃度		0.029	-	0.037	-	6.25	43.55	-
Tier 0 喝水流量：6.6 倍		0.0044	-	0.0056	-	0.9479	6.605	-
Tier 1	Cr(7)：41 倍	0.0007	-	0.0009	-	0.1523	1.0611	-
	Cr(3)：65 倍	0.0004	-	0.0006	-	0.0968	0.6747	-
	Cr(2)：94 倍	0.0003	-	0.0004	-	0.0669	0.4659	-
	Cr(1)：184 倍	0.0002	-	0.0002	-	0.0339	0.2363	-
	Cr(0)：1555 倍	0	-	0	-	0.004	0.028	-
排水基準		0.03	0.1	0.1	3	2	10	10
環境基準 (Es)		0.003	0.01	0.01		0.03		

赤字は基準値を超過、緑字は基準値の 1 倍～1/10 倍、青字は基準値の 1/10 以下であることを示す。

3.3.2.2. 3 鉱山の評価結果

Tier 0 及び 1 でのリスク評価結果を表 3-7 に示した。希釈倍率は、表 3-1 に示した坑廃水量及び河川流量パラメータを使用し、以下の式 2 で算出した。

$$\text{希釈倍率} = \frac{V_m + V_r}{V_m} \quad (\text{式 2})$$

鉱山 2、鉱山 7、鉱山 20 の希釈倍率は、いずれも Tier 0 評価では推定元素濃度が基準値を超過しており、河川流量が渇水期レベルまで低下していた場合には、未処理放流のリスクがあると判断されていた。一方、Tier 1 評価で推定された希釈倍率では、鉱山 2 では 20.4 倍から 233 倍に、鉱山 7 では 6.6 倍から 1555 倍に、鉱山 20 では 4.6 倍から 666 倍に増加し、大雨時の河川流量を考慮することでより詳細なリスク評価が可能であることが確認された。また、鉱山 2 では希釈率が 2 日後まで、鉱山 7 ではピーク時で元素濃度が基準値を下回ると推測され、日数に応じた放流リスク評価が可能であると考えられた。Tier 1 で基準値を超過した元素は、いずれの場合でも Zn であり、基準値の取り扱いについて議論が必要であると思われる。水生生物保全を目的とした環境基準（淡水域：0.03 mg/L）が設定されている Zn に関しては、環境基準を数倍程度超過する環境でも、底生動物相等に大きな影響がなかったことが報告されている（Iwasaki et al., 2011; Namba et al., 2021）。したがって、未処理坑廃水を一時的に放流するような場合には、年平均値でその達成が評価される環境基準を一律で参照値にするのではなく、柔軟に参照値を設けることが出来れば、より柔軟な緊急放流が可能になるだろう。

表 3-7 鉱山 2、7、20 の Tier 0 及び Tier 1 評価結果

鉱山	Tier 0		Tier 1	
	希釈倍率	評価	ピーク時希釈倍率	評価
鉱山 2	20.4 倍	基準超過 (Pb, As, Zn)	233 倍	2 日後まで基準適合 (基準超過：Zn)
鉱山 7	6.6 倍	基準超過 (Cd, Zn, Fe)	1555 倍	ピーク時のみ基準適合 (基準超過：Zn)
鉱山 20	4.6 倍	基準超過 (Cd, Pb, Cu, Zn, Mn)	666 倍	ピーク時でも基準超過 (基準超過：Zn)

3.4. まとめ

昨年度に続き、豪雨等災害時にやむを得ず未処理の坑廃水を放流せざるを得なくなった場合のリスク評価手法の検討・開発を行った。近年激甚化・頻発化する、豪雨により処理能力を超過した際、やむを得ず未処理坑廃水を河川へ放流するケースが想定される。本年度は、昨年度に作成した 3 つの段階（Tier 0, 1, 2）で評価するフレームワーク（案）に基づき（特に、Tier 0、Tier 1）、大雨時の河川流量の変化を考慮しつつ、未処理坑廃水の放流が環境に与える影響の評価・検討を進めた。当該フレームワークでは、流域面積から計算できる渇水流量で保守的な条件下で簡易的な評価を行う Tier 0、河川流量シミュレーション（AIST-SHANEL 等）を実施して、豪雨後の流量を用いてより現実に近い条件で評価する Tier 1、詳細な地球化学解析や現地調査を組み合わせるより詳細な評価となる Tier 2 の 3 段階で構成されている。本年度は、守るべき基準に関する整理（3.1.3.）、降雨増水時の全量濃度調査結果と測定方法の検討（3.1.4.）、pH を含めた Tier 0 評価方法の検討（3.2.）、Tier 1 に関する追加評価（3.3.）を中心に実施した。

守るべき基準については、休廃止鉱山において大雨時に未処理水が流出した場合、河川の水質調査における比較対象として環境基準または排水基準が用いられてきた。そこで本検討では、より保守的なリスク評価を行うため、水質環境基準が利用可能な物質については環境基準を参照値として評価に使用した。さらに、降雨増水時は河川中の浮遊物質（SS）が増加することから、鉱山下流の河川における大雨時の元素濃度評価においては、SS を多く含む水試料と、平水時を想定して設定された環境基準とを直接比較することは適切ではない。したがって、溶存態濃度を基本に評価しつつ、懸濁物質を含む全濃度の計測も併せて実施することが望ましいと考えられる。

また、本年度は、未処理水坑廃水が河川に放流された後の pH の推定方法について詳細に検討した。その結果、単純希釈による pH の計算は基本的に保守的な評価になるが、重炭酸イオン等の溶存イオンを考慮した地球化学モデルを用いた計算のほうが、現実の pH を反映していると考えられた。

降雨後の河川流量をシミュレーションにより現実に近い条件で評価した Tier 1 ケーススタディでは、渇水流量では基準超過のリスクが懸念される鉱山でも、ピーク流量が観測された日から 1 日後までであれば、放流点で環境基準等を超過しない可能性が示された。今後は、Tier 1 におけるケーススタディで共通して超過が確認された Zn の環境基準についての扱いや、放流点よりも下流にある実際の利水状況等も含めたより現実的なリスク評価・管理の検討が重要である。

以上、本報告書では、豪雨等災害時にやむを得ず未処理の坑廃水を放流せざるを得なくなった場合に、下流への影響を客観的かつ段階的かつ保守的に評価できる手法を検討し、実際に評価を行った。より実態に即した評価には様々な課題が考えられるが、このような評価方法を関係者間で共有・検討しておくことが鉱害防止の観点から大きな意義を持つと考えられる。

3.5. 引用文献

1. 青森県（2022）プレスリリース、<https://www.pref.aomori.lg.jp/release/2022/71531.html>
2. Iwasaki Y, Kagaya T, Miyamoto K, Matsuda H, Sakakibara M (2011) Effect of zinc on diversity of riverine benthic macroinvertebrates: estimation of safe concentrations from field data. *Environmental Toxicology and Chemistry* 30:2237–2243. <https://doi.org/10.1002/etc.612>
3. 岩崎雄一、須藤哲平、篠原直秀（2024）鉾山廃水処理水が流入する直上・直下地点での水質及び底生動物調査：吉乃鉾山での事例．環境毒性学会誌 27、1-8.<https://doi.org/10.11403/jset.27.1>
4. 国土交通省（2007）正常流量検討の手引き（案）．国土交通省河川局河川環境課 https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/ryuuryoukentou/tebiki.pdf.
5. Namba H, Iwasaki Y, Morita K, Ogino T, Mano H, Shinohara N, Yasutaka T, Matsuda H, Kamo M. (2021) Comparing impacts of metal contamination on macroinvertebrate and fish assemblages in a northern Japanese river. *PeerJ* 9:e10808. <https://doi.org/10.7717/peerj.10808>

4. 委員会概要

表 4-1 委員会 委員リスト

所属・役職	委員氏名(敬称略)
早稲田大学理工学術院 教授 東京大学大学院工学系研究科 教授	所 千晴
東北大学大学院 環境科学研究科 教授	井上 千弘
東京海洋大学 海洋資源エネルギー学部門 准教授	淵田 茂司
日本鉱業協会 環境保安部 兼 技術部 次長	井阪 浩通
秋田県産業労働部 クリーンエネルギー産業振興課産業保安 チームリーダー	松島 桂英

表 4-2 委員会開催概要

日程	委員会・現地調査等	実施場所
2024 年 12 月 24 日	第 1 回委員会	JOGMEC 虎ノ門本部・WEB
2025 年 3 月 3 日	第 2 回委員会	JOGMEC 虎ノ門本部・WEB