

令和 5 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 6 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 5 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。

今般、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。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 5 年 8 月 31 日 ～ 令和 6 年 3 月 29 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。

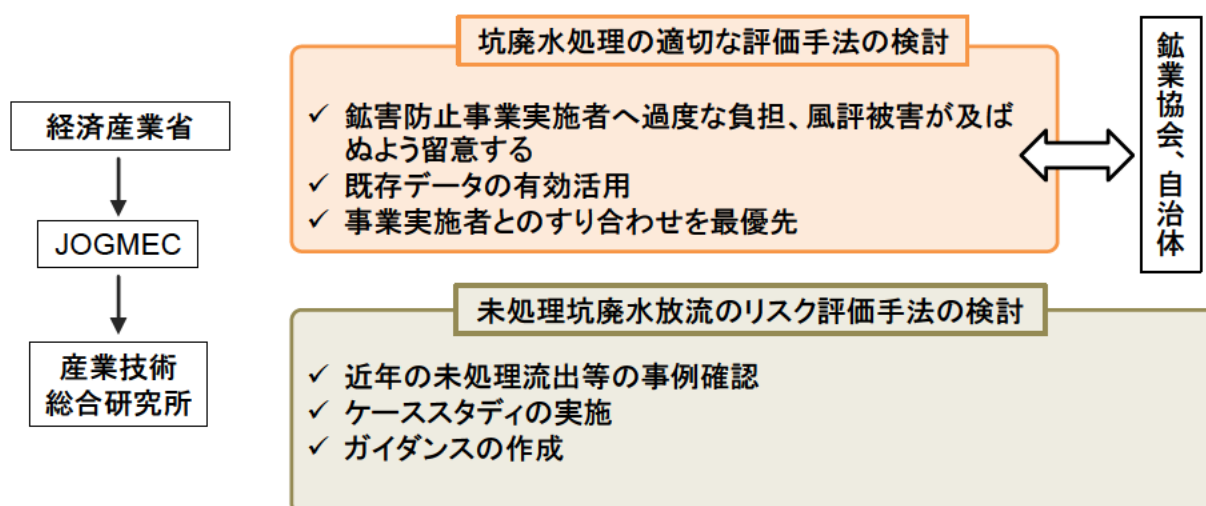


図 1-1 実施体制図

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。

(1) 新たな指標を用いた評価手法（候補案）の検討

「新たな指標」に求められる要素の検討・確認を行うとともに、これまで評価基準として使用してきた「事業量」の今後の位置付け等についての検討を行った。海外や国内他産業等での参考になる事例があれば確認しつつ、「新たな評価指標」について複数の具体的候補案を挙げた（例：排水基準適合割合（率））。

(2) 指標候補案の評価

(1) で挙げた候補案について、第 6 次基本方針策定時に使用したデータ等を利用しシミュレーションを行った上、適切な評価を行うことができるかの検討・確認を行った。その結果を踏まえ、指標案の絞り込みを行うとともに、今後更に検討が必要な場合は、検討事項を提示するとともにその方向性を示した。

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客観的に説明できる手法が確立していない。そのため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。

(1) リスク評価手法の検討・開発

休廃止鉱山の坑廃水処理場において、大雨による増水等の影響により処理能力を超える河川水量が流入し、未処理坑廃水を放流せざるを得なくなった場合を想定し、放流地点、利水点等における流量・希釈率等の算出方法の検討・開発を行った。

(2) 代表的な鉱山における希釈率等の算出によるリスク評価、及びガイダンス（素案）の作成

(1) の結果を踏まえ、特に義務者不存在の数鉱山において、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うとともに、計算式の一般化を行い、他鉱山でも利用可能なガイダンス（素案）を作成した。

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。

これについて、海外文献等を参考に 3 候補検討し、その中から既存のデータを最大限活用しつつ、事業者になんら負担をかけない方法として、各現場の処理水の年平均値が一律排水基準等に適合するかどうか、という指標を提案した。さらに、実際に第 6 次基本方針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 年で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。

今後の検討においては、指標の検討に加え、より正確に評価を行うための資料（様式）を検討する必要があると考えられるが、これについては事業者との意見交換を進めた上で、最終的に提案する必要があると考えられる。

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.....	2-5
2.2. 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、指標候補案の評価.....	2-5
2.2.1. 新たな指標を用いた評価手法（候補案）の検討.....	2-5
2.2.2. 指標候補案の評価	2-6
2.3. まとめ.....	2-8
2.4. 参考文献.....	2-8

図目次

図 2-1 有害物質と pH の超過件数および鉱山数の経年変化.....	2-6
--------------------------------------	-----

表目次

表 2-1 年度毎の水質データの一例	2-7
--------------------------	-----

2.1. 事業概要

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」の制定等の措置を講じてきた。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（令和 5～14 年度）の策定に向けた金属鉱業等鉱害防止部会において、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。従って、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。

2.2. 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、指標候補案の評価

2.2.1. 新たな指標を用いた評価手法（候補案）の検討

本業務では、「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」を適切に評価できる新たな評価指標として、以下の 3 つを選出・整理した。指標の選出において、欧米を中心に同様の評価を行った報告書に関連する学術論文内の引用文献やウェブ検索によって調査した。その結果、該当する報告書として、カナダ環境・気候変動省の「Status report on the performance of mines subject to Metal and Diamond Mining Effluent Regulations in 2021（仮訳：2021 年の金属およびダイヤモンド鉱山排水規制に該当する鉱山の運営状況報告：Environment and Climate Change Canada 2023）」が見つかった。

① 排水基準適合率

まず、坑廃水処理水（放流水）中の pH 及び元素ごとに、測定濃度を排水基準と比較し、その適合率を指標とすることができる（下式）。

$$\text{排水基準適合率} = \frac{\text{総測定回数} - \text{排水基準超過回数}}{\text{総測定回数}}$$

なお、将来、利水点等管理が運用される鉱山においては、下流の水質監視点における水質目標値の達成率、同様に計算することで代替となると考えられる。

② 排水基準の超過件数

適合率では実際の超過件数が不明瞭になるため、pH 及び元素ごとに超過件数の合計を集計することも、有用である。Environment and Climate Change Canada（2023）では、鉱山数と

ともに、各年における有害物質と pH の超過件数が図として報告されている（図 2-1）。鉱山数を併記する理由は、鉱山数が増加すれば、超過件数が増加する可能性があるためと考えられる。また、当該報告書では、これらの超過が測定項目ごとにも整理され、ごく近年だと、Ni や Zn 濃度、低 pH の超過が増加していることも一目で分かる形になっており、鉱山ごとの集計も表として整理されている。

③ 坑廃水処理によって除去された元素の負荷量

坑廃水処理の実績をより直接的に示す指標としては、坑廃水処理により原水より除去できた元素の負荷量を用いることも有用と考えられる（下式）。

$$\text{原水量} \times \text{原水中の元素濃度} - \text{処理水量} \times \text{処理水中の元素濃度}$$

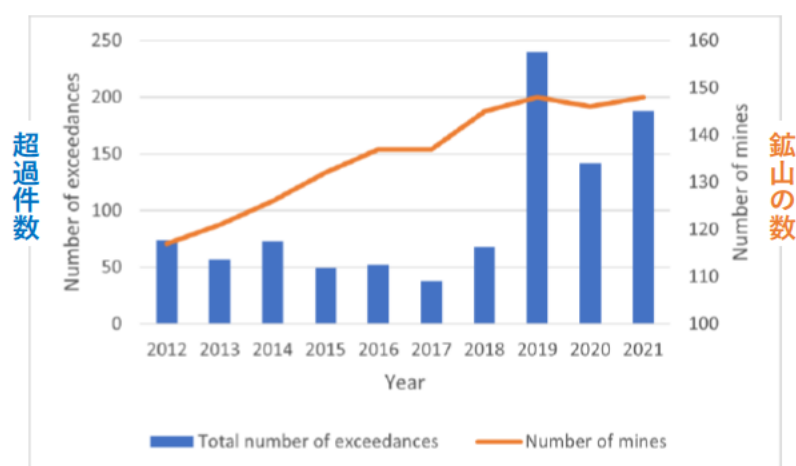


図 2-1 有害物質と pH の超過件数および鉱山数の経年変化
Environment and Climate Change Canada（2023）より改変

以上 3 案につ て、従前から各事業者が現場で取得しているデータ、あるいは国等に報告されているデータを活用する意味では①が妥当であると考えられた。具体的には、各現場の処理水の水質の年平均値が一律排水基準値を満足するかどうか、という指標を提案した。

2.2.2. 指標候補案の評価

ここでは、前項で提案した指標候補案について、第 6 次基本方針策定時に使用したデータ等を利用しシミュレーションを行った。具体的には、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確認した。調査対象としたデータは過去 10 年分で、既存データとしては各現場ごとに各年度の水質（pH や金属濃度など）の年平均値があり、一例を表 2-1 に示す。

表 2-1 年度毎の水質データの一例

		年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度
水質	原水	pH	3.8	3.8	3.9	3.8
		Cd(mg/L)	0.03	0.029	0.036	0.030
		Pb(mg/L)	0.62	0.64	0.77	0.63
		Cu(mg/L)	2.49	2.44	2.94	2.55
		Zn(mg/L)	4.96	4.84	5.84	4.94
	処理水	pH	7.4	7.7	7.9	7.6
		Cd(mg/L)	0.0036	0.0026	0.0008	0.003
		Pb(mg/L)	0.059	0.035	0.006	0.04
		Cu(mg/L)	0.23	0.14	0.02	0.2
		Zn(mg/L)	0.5	0.33	0.05	0.34

各現場のデータと一律排水基準値等を比較したところ、全ての現場において過去10年間、処理水は年平均で一律排水基準値等を満足していたと考えられた。ここまでの検討においてはこれまでに事業者が取得し国等に報告してきた既存データを使用しており新たなデータ取得の必要がないものであり、事業者等に新たな負担を強いるものではないと考えられる。

一方で、水質の年平均値を新たな指標として使用するには、ある程度の採水回数が担保されていることが重要であると考えられ、仮に採水頻度が年1～2回であるような場合には、指標として適切でない可能性が考えられた。そこで既存資料を確認したところ、現状で国等に集まってくるデータでは、各現場での定期採水の頻度については明記されていないことが分かった。他方で採水頻度は既存資料から容易に推定できる状態となっており、推定された採水頻度としては、ほとんどの現場が年12回（月1回と考えられる）と推定され、年間通して十分な頻度で採水されており年平均値と一律排水基準値等を比較することは特段問題無いのではないかと考えられた。少ない現場でも年6回（2ヵ月に一度と考えられる）は採水がなされていることが確認された。

以上の状況が確認できたことから、指標の案として提案した「各現場の処理水の水質の年平均値が一律排水基準値を満足するかどうか」については、従前集められているデータを活用して評価が行えるものであり、新たな事業者への負担を強いることは無い指標であると考えられ、またほとんどの現場が定期採水を月1回程度実施していることが想定され、年平均値と一律排水基準値等を比較することは妥当であると考えられた。ただし、課題としては、既存資料では、各現場の管理目標値が一律排水基準値であるのか、あるいは上乘せ基準等であるのかの判別が容易ではなく、複数の資料を見比べそれらを見極める必要が生じることがあり、その確認に時間を要することが挙げられた。様々な事情から管理目標値が一律排水基準値ではない現場があり、より正確に処理水の年平均値が各現場の管理目標値を満足しているかどうかを把握するためには、一つの様式にそれらが整理されることが理想的であると考えられる。

今後の検討においては、引き続き各鉱山の坑廃水処理の管理の実態を把握しつつ、坑廃水処理が継続して適切に処理されていることをより正確に評価するために必要な資料（あるい

は様式) などについて検討する必要がある。ただし、事業者負担が増すような方法は採用できないので、事業者との意見交換も進め、最終的に提案する指標について検討を進める。

2.3. まとめ

坑廃水処理が排水基準等を満足しつつ継続的に行われていることを適切に評価する手法として、3 候補検討し、その中から既存のデータを最大限活用しつつ、事業者に新たな負担をかけない方法として、各現場の処理水の年平均値が一律排水基準等に適合するかどうか、という指標を提案した。

これについて実際に第 6 次基本方針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 年で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状況であることが確認された。

従って、今後の検討においては、指標の検討に加え、より正確に評価を行うための資料(様式)を検討する必要があると考えられるが、これについては事業者との意見交換を進めた上で、最終的に提案する必要があると考えられる。

2.4. 参考文献

Environment and Climate Change Canada (2023) Status report on the performance of mines subject to Metal and Diamond Mining Effluent Regulations in 2021. <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/managing-pollution/sources-industry/mining-effluent/metal-diamond-mining-effluent/data-annual-reports/status-report-performance-metal-diamond-mines-subject-metal-diamond-mining-effluent-regulations-2021.html>

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

我が国でも気候変動の影響により豪雨災害等が頻発化している。これらの対応として、第6次基本方針において、「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。」とされている。本事業では、豪雨等による設備の損壊や処理能力の超過などにより、未処理坑廃水を放流した場合を想定し、坑廃水の未処理放流の安全性評価手法について検討・開発を行った。評価手法として段階的なリスク評価 (Tier 方式) 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段階を設定し、各段階で低リスクと評価された場合は、「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を作成した。義務者不存在鉱山を対象に素案に基づく評価を実施した結果、Tier 0 では低リスクと評価される鉱山が2つ存在した。また、Tier 0 でリスク有と評価された2鉱山の坑廃水を対象に実施した Tier 1 評価では、流量ピークからの経過日数に応じて未処理放流のリスクが異なることから、未処理放流の期間をどのように設定するかの重要性が確認された。今後は、pH や懸濁物質 (SS)、バックグラウンド等の影響を必要に応じて導入していく必要がある。

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.	事業概要	3-5
3.1.1.	事業背景・目的と実施概要.....	3-5
3.2.	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 3-5	
3.2.1.	リスク評価手法の検討・開発.....	3-5
3.2.2.	リスク評価・管理のフ ームワーク案.....	3-5
3.2.3.	リスク評価の考え方	3-6
3.3.	Tier 0 評価とケーススタディ	3-8
3.3.1.	Tier 0 評価方法	3-8
3.3.2.	Tier 0 評価結果	3-8
3.4.	Tier 1 評価とケーススタディ	3-11
3.4.1.	Tier 1 評価方法	3-11
3.4.2.	代表的な鉱山における希釈率等の算出によるリスク評価.....	3-12
3.4.2.1.	鉱山 No.2 の事例	3-12
3.4.2.2.	鉱山 No.20 の事例.....	3-14
3.5.	ガイダンス骨子.....	3-17
3.6.	まとめ	3-18
3.7.	参考文献	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）	3-6
図 3-2	Arc GIS による集水面積の算出方法	3-8
図 3-3	坑廃水流量と放流点における濁水流量の分布	3-9
図 3-4	放流点におけるピーク後の河川流量の変化.....	3-11
図 3-5	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	3-12
図 3-6	鉦山 No.2 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	3-13
図 3-7	鉦山 No.20 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-

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	放流点における希釈後の推定元素濃度	3-9
表 3-3	基準値に対する希釈後の元素濃度比	3-10
表 3-4	鉾山 No.2 の原水中の元素濃度及び Tier 1 評価	3-13
表 3-5	鉾山 No.2 の Tier 0 及び Tier 1 評価結果	3-14
表 3-6	鉾山 No.20 の原水中の元素濃度及び Tier 1 評価	3-15
表 3-7	鉾山 No.20 の Tier 0 及び Tier 1 評価結果	3-16

3.1. 事業概要

3.1.1. 事業背景・目的と実施概要

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。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。

3.2. 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

3.2.1. リスク評価手法の検討・開発

休廃止鉱山の坑廃水処理場において、大雨による増水等の影響により処理能力を超える河川水量が流入し、未処理坑廃水を放流せざるを得なくなった場合を想定し、放流地点、利水点等における流量・希釈率等の算出方法の検討・開発を行った。

3.2.2. 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。

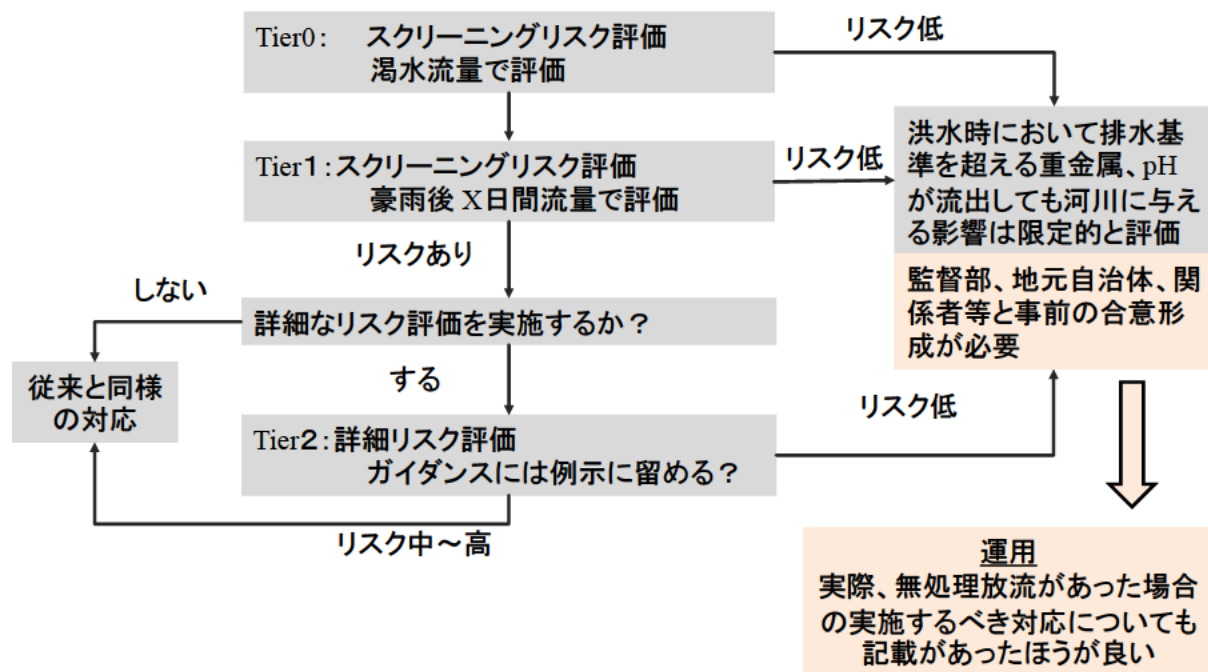


図 3-1 検討したリスク評価・管理のフレームワーク（案）

3.2.3. リスク評価の考え方

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。 *放流点以外の評価ポイントでの評価は来年度以降検討	
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 <u>守るべき基準</u> を満たすこと。 *守るべき基準は来年度以降検討。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	
バックグラウンド濃度	現状考慮せず。来年度以降、考慮方法を検討。	

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*による湧水流量 保守的な値として設定 $Q = 0.0008 \times A^{0.491}$ Q : 湧水流量 (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	坑廃水最大流量 / (坑廃水最大流量 + 河川最大流量) × 100	

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

Cr = 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)
 Cm = 坑廃水（原水）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）

3.3. Tier 0 評価とケーススタディ

3.3.1. Tier 0 評価方法

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。

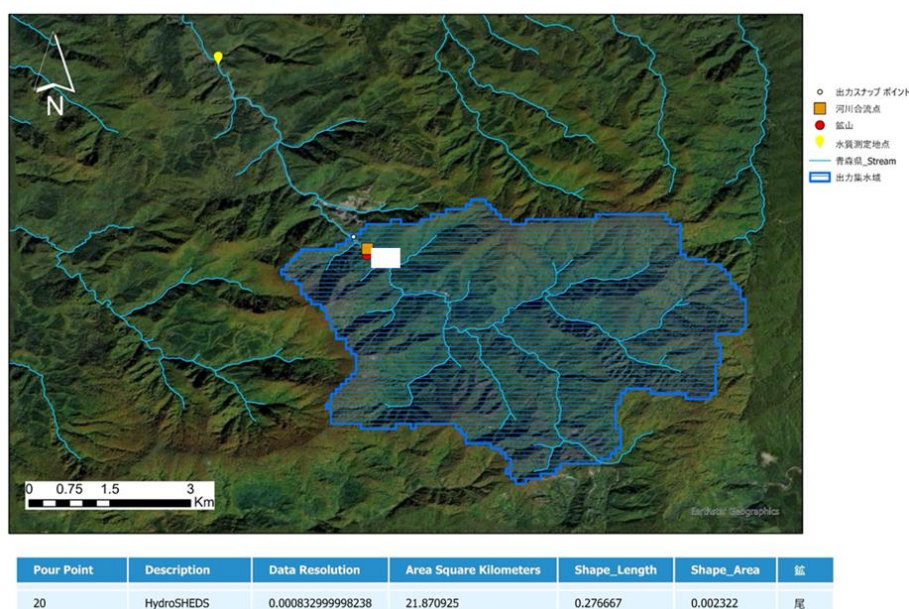


図 3-2 Arc GIS による集水面積の算出方法
橙色のポイントは放流点、青枠は集水域を示す。

3.3.2. Tier 0 評価結果

Tier 0 による評価結果を図 3-3、表 3-2 及び表 3-3 に示した。26 坑廃水の希釈率を算出した結果、Tier 0 における湧水流量を用いた場合において放流点では 1.2 倍～414 倍に希釈されることが推定された。これらのうち、元素濃度が全て基準値を下回った坑廃水は No.5 及び 8 の 2 坑廃水であった。この結果は、No.5 及び 8 の坑廃水は、豪雨時に河川流量が著しく低下していた場合でも、放流点において元素濃度が基準値を達成しうることを示唆しており、26 坑廃水の中でも河川への負荷が小さい坑廃水であると推測される。一方で、1 種以上の元素濃度が基準値の 1～5 倍を超過した坑廃水は、4 か所 (No.3、6、9 及び 10)、5～10 倍を超過した坑廃水は 2 か所 (No.1 及び 2)、10 倍を超過した坑廃水は 18 か所であった。これらの坑廃水については、湧水流量を用いた保守的な評価では河川中濃度への影響は無視できないと判断されたため、さらに Tier 1 で詳細なリスク評価の対象とした。

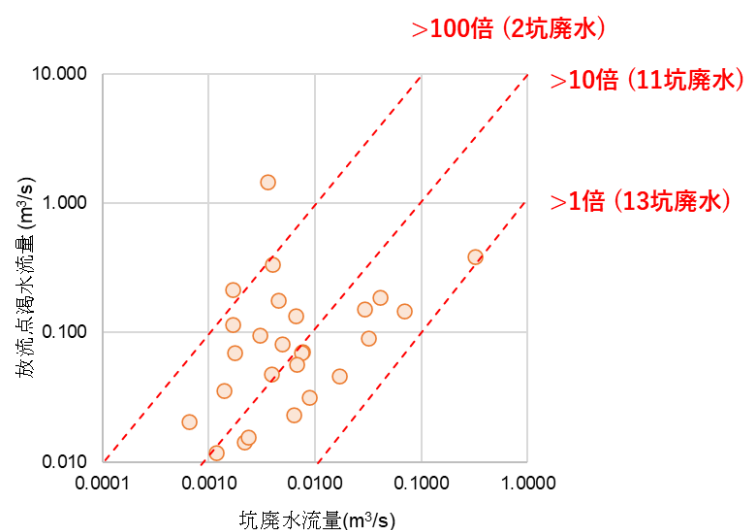


図 3-3 坑廃水流量と放流点における湧水流量の分布
赤点線は、坑廃水流量に対する放流点の河川流量の倍率を示した。

表 3-2 放流点における希釈後の推定元素濃度

鉱山No.	希釈率	Cd (mg/L)	Pb (mg/L)	As (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
		0.003	0.01	0.01	0.3	0.03	1	1
1	40.2	-	0.007	0.015	0.276	-	5.772	-
2	20.4	0.001	0.033	0.016	-	0.173	0.256	-
3	2.9	0.000	0.002	-	0.004	0.077	3.676	-
4	31.4	0.004	0.041	-	0.240	0.605	5.157	-
5	413.9	0.000	0.002	-	0.007	0.013	-	-
6	12.3	0.004	-	-	-	0.090	-	-
7	6.6	0.004	-	0.006	-	0.948	6.605	-
8	85.0	-	-	0.000	-	-	0.824	-
9	129.0	-	-	0.022	-	-	4.008	-
10	39.5	-	-	0.001	-	-	2.788	-
11	6.7	0.001	-	0.001	0.418	0.329	18.675	-
12	3.6	0.002	0.050	-	0.664	0.053	52.021	-
13	16.7	0.003	0.003	0.000	0.114	0.660	0.444	-
14	10.1	0.001	-	-	0.297	0.238	0.069	-
15	31.8	0.004	-	0.063	11.498	0.653	52.558	-
16	9.4	0.001	-	-	0.299	0.395	1.034	-
17	9.3	0.002	-	-	-	0.518	0.364	-
18	8.5	0.002	0.052	0.282	0.015	0.160	0.210	-
19	2.1	-	0.080	2.953	-	-	130.395	-
20	4.6	0.023	0.139	-	0.346	6.989	-	9.043
21	1.2	0.004	0.032	0.744	-	0.068	156.887	-
22	3.7	0.014	0.331	-	2.385	7.295	-	-
23	25.7	0.003	0.027	-	0.014	1.841	2.028	-
24	5.2	0.009	0.050	0.002	0.402	0.957	0.995	-
25	68.0	0.005	-	-	0.030	1.049	0.665	-
26	2.7	0.004	0.030	0.000	6.571	0.621	19.712	-

基準の1~0.3倍 基準の0.3~0.1倍 基準の0.1倍以下

表 3-3 基準値に対する希釈後の元素濃度比

鉱山No.	Cd (mg/L)	Pb (mg/L)	As (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
	0.003	0.01	0.01	0.3	0.03	1	1
1	-	0.72	1.47	0.92	-	5.77	-
2	0.29	3.29	1.60	-	5.77	0.26	-
3	0.04	0.23	-	0.01	2.57	3.68	-
4	1.26	4.07	-	0.80	20.16	5.16	-
5	0.03	0.21	-	0.02	0.45	-	-
6	1.36	-	-	-	2.98	-	-
7	1.47	-	0.56	-	31.60	6.61	-
8	-	-	0.05	-	-	0.82	-
9	-	-	2.17	-	-	4.01	-
10	-	-	0.08	-	-	2.79	-
11	0.20	-	0.07	1.39	10.96	18.68	-
12	0.74	4.98	-	2.21	1.75	52.02	-
13	1.00	0.30	0.03	0.38	22.00	0.44	-
14	0.23	-	-	0.99	7.92	0.07	-
15	1.25	-	6.31	38.33	21.78	52.56	-
16	0.36	-	-	1.00	13.15	1.03	-
17	0.68	-	-	-	17.26	0.36	-
18	0.51	5.17	28.17	0.05	5.32	0.21	-
19	-	8.03	295.28	-	-	130.4	-
20	7.61	13.91	-	1.15	233.0	-	9.04
21	1.35	3.23	74.40	-	2.26	156.9	-
22	4.55	33.06	-	7.95	243.2	-	-
23	1.15	2.69	-	0.05	61.38	2.03	-
24	3.13	4.98	0.19	1.34	31.90	1.00	-
25	1.62	-	-	0.10	34.97	0.66	-
26	1.22	2.96	0.04	21.90	20.69	19.71	-

基準以下
 基準の1~5倍
 基準の5~10倍
 基準の10倍以上

3.4. Tier 1 評価とケーススタディ

3.4.1. 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、産総研一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 3-4 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)。

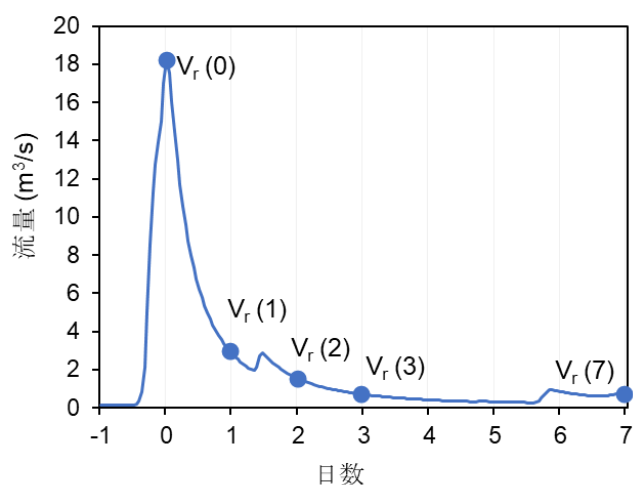


図 3-4 放流点におけるピーク後の河川流量の変化

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 3-5)。

使用する元素濃度 (Cm) 及び坑廃水量 (Vm) は、Tier 0 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。

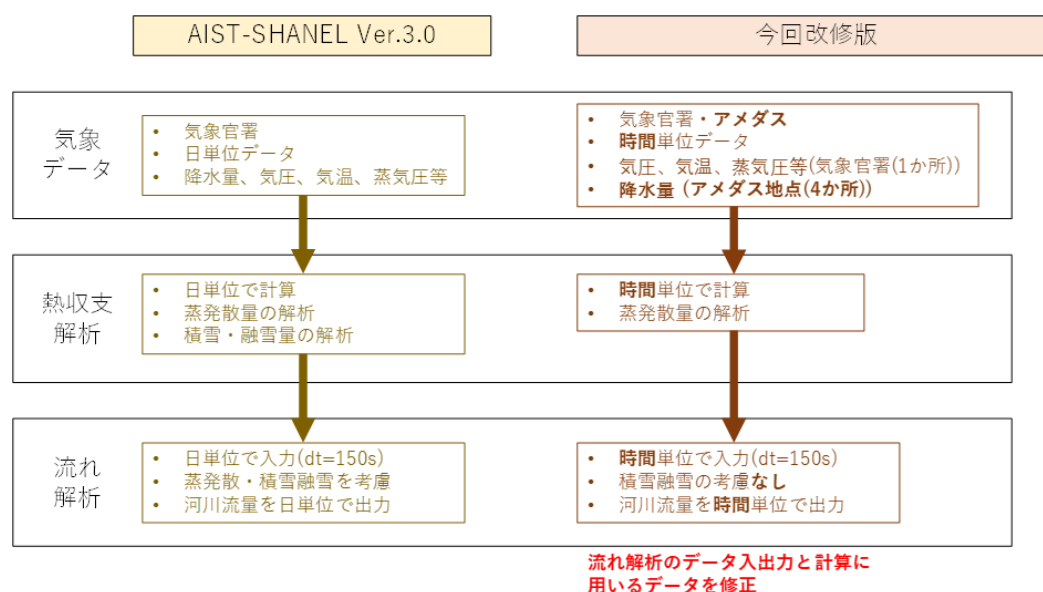


図 3-5 AIST SHANEL (Ver.3.0 250 m メッシュ全国水系版) による流量シミュレーション

3.4.2. 代表的な鉱山における希釈率等の算出によるリスク評価

義務者不存在の 2 鉱山において、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。

3.4.2.1. 鉱山 No.2 の事例

鉱山 No.2 は、Pb、As、及び Zn 濃度が排水基準値を超過する坑廃水を流出している。坑廃水（原水）の元素濃度と Tier 0 による濃度推定結果を表 3-4 に示した。Tier 0 では、渇水時評価では坑廃水の希釈倍率は 20.4 倍で、式 1 による希釈計算後でも Pb、As、及び Zn 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 2022 年 7 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 3-6 に示した。河川流量は、降雨後 8 月 9 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 3.2.1-2 に示した。渇水時では希釈倍率が 20.4 倍であったのに対し、ピーク時（ $t=0$ ）では 2771.8 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、430.6 倍、233.3 倍、105.7 倍、48.7 倍と低下していった。また、元素濃度 $Cr(0)$ は基準値の 1/10 の値を全ての元素で下回った。 $Cr(3)$ 以降は、Zn 濃度が基準値を超過、 $Cr(7)$ では Pb 濃度が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 2 日後までであれば環境負荷が十分低い状態で放流できる可能性が考えられた。一方で、1 週間経過すると Zn 等の値が基準値を超過する可能性が考えられた。

表 3-4 鉾山 No.2 の原水中の元素濃度及び Tier 1 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)	0.018	0.670	0.326	-	3.53	5.2	-
Tier 0 評価濃度 (mg/L)	0.0009	0.0329	0.016	-	0.173	0.2560	-
Tier 0 評価 対基準倍率	0.29 倍	3.29 倍	1.60 倍	-	5.77 倍	0.26 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。

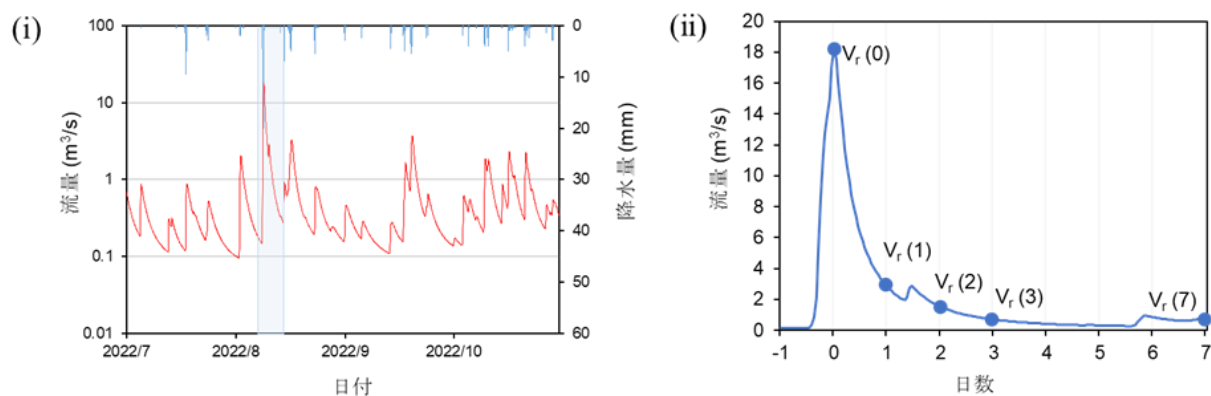


図 3-6 鉾山 No.2 の坑廃水が流入する河川の、放流点における流量シミュレーション
 (i) 鉾山 No.2 の坑廃水が流入する河川の、放流点における流量シミュレーション
 (ii) (i) の青枠に示した流量ピークの拡大図

表 3-5 鉾山 No.2 の Tier 0 及び Tier 1 評価結果

項目		Zn	As	Pb	Fe
坑廃水の重金属濃度		3.53 mg/L	0.326 mg/L	0.670 mg/L	5.2 mg/L
Tier 0 渇水流量 : 20.4 倍		0.173 mg/L	0.016 mg/L	0.033 mg/L	0.256 mg/L
Tier 1	Cr(7) : 49 倍	0.072 mg/L	0.007 mg/L	0.014 mg/L	0.1072 mg/L
	Cr(3) : 106 倍	0.033 mg/L	0.003 mg/L	0.006 mg/L	0.0494 mg/L
	Cr(2) : 233 倍	0.0151 mg/L	0.0014 mg/L	0.0029 mg/L	0.0224 mg/L
	Cr(1) : 431 倍	0.0082 mg/L	0.0008 mg/L	0.0016 mg/L	0.0121 mg/L
	Cr(0) : 2770 倍	0.0013 mg/L	0.0001 mg/L	0.0002 mg/L	0.0019 mg/L
排水基準		2 mg/L	0.1 mg/L	0.1 mg/L	10 mg/L
環境基準 (Es)		0.03 mg/L	0.01 mg/L	0.01 mg/L	-

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。

3.4.2.2. 鉾山 No.20 の事例

鉾山 No.20 は、Cd、Pb、及び Zn 濃度が排水基準値を超過する坑廃水を流出している。坑廃水（原水）の元素濃度と Tier 0 による濃度推定結果を表 3-6 に示した。Tier 0 では、渇水時評価では坑廃水の希釈倍率は 4.6 倍で、式 1 による希釈計算後でも Cd、Pb、及び Zn 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 2022 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 3-7 に示した。河川流量は、降雨後 8 月 3 日にピークに達し、7 日目まで降雨の影響で増減を繰り返しながら減少した。

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 3.2.2-2 に示した。渇水時では希釈倍率が 4.6 倍であったのに対し、ピーク時（t = 0）では 666.3 倍の希釈効果を示した。1 日後から河川流量は低下したが、途中降雨の影響で希釈倍率は 1 日後、2 日後、3 日後、7 日後でそれぞれ、168 倍、168 倍、168 倍、158 倍と変化していった。推定された元素濃度 Cr (0) は Zn が 0.048 mg/L とわずかに基準値より高くなっており、Cr (7) までは、Cd 及び Pb 濃度は基準値以下の値を示していたが、Zn 濃度は基準値よりも高くなっていった。

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鉾山 No.20 坑廃水は、豪雨発生時に放流河川が増水した場合でも、放流点での Zn が基準値を超過する可能性が考えられた。一方で、本評価は発生した坑廃水量の全量が河川に流入した場合を想定しており、さらに元素濃度も年平均値の中でも最高値を採用している。実際の現場では当日の坑廃水およ

び放流点の流況に加え坑廃水の水質によって基準値以下の値になる可能性があること、また義務者不存在鉱山であることから、鉱山保安法（排水基準等）の適用は受けないことなどには留意されたい。

表 3-6 鉱山 No.20 の原水中の元素濃度及び Tier 1 評価

項目	Cd	Pb	As	Cu	Zn	Fe	Mn
基準値 (mg/L)							
原水濃度 (mg/L)	0.105	0.640	-	1.59	32.2	-	41.6
Tier 0 評価濃度 (mg/L)	0.023	0.139	-	0.346	6.99	-	9.04
Tier 0 評価 対基準倍率	7.61 倍	13.91 倍	-	1.15 倍	233.0 倍	-	9.04 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。

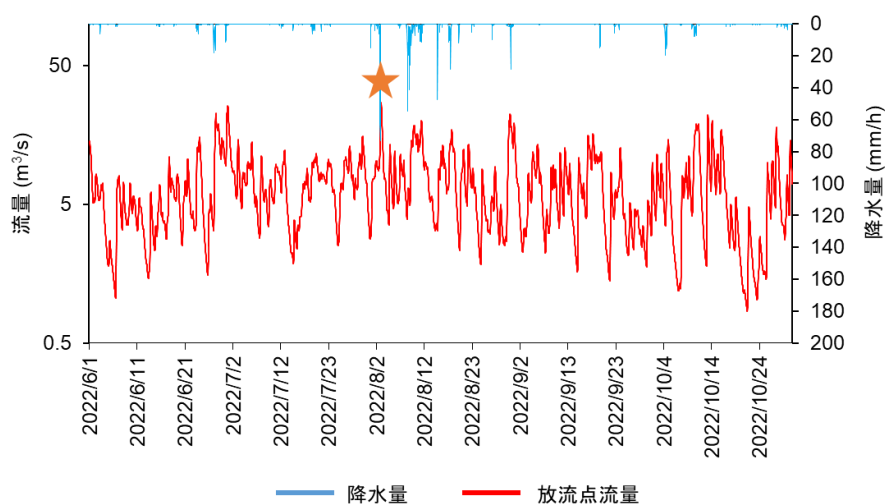


図 3-7 鉱山 No.20 の坑廃水が流入する河川の、放流点における流量シミュレーション
(星印は、当該期間における最高流量を示す。)

表 3-7 鉱山 No.20 の Tier 0 及び Tier 1 評価結果

評価（倍率は希釈率）		Zn	Cu	Pb	Cd	Mn
坑廃水の重金属濃度		32.16 mg/L	1.59 mg/L	0.64 mg/L	0.11 mg/L	5.2 mg/L
Tier 0 喝水流量: 4.6 倍		7.0 mg/L	0.346 mg/L	0.139 mg/L	0.0228 mg/L	9.0 mg/L
Tier 1	Cr(7) : 158 倍	0.20 mg/L	0.0101 mg/L	0.0041 mg/L	0.0007 mg/L	0.26 mg/L
	Cr(3) : 168 倍	0.19 mg/L	0.0095 mg/L	0.0038 mg/L	0.0006 mg/L	0.25 mg/L
	Cr(2) : 168 倍	0.19 mg/L	0.0095 mg/L	0.0038 mg/L	0.0006 mg/L	0.25 mg/L
	Cr(1) : 168 倍	0.19 mg/L	0.0095 mg/L	0.0038 mg/L	0.0006 mg/L	0.25 mg/L
	Cr(0) : 666 倍	0.048 mg/L	0.002 mg/L	0.001 mg/L	0.0002 mg/L	0.062 mg/L
排水基準		2 mg/L	3 mg/L	0.1 mg/L	0.03 mg/L	10 mg/L
環境基準 (Es)		0.03 mg/L	-	0.01 mg/L	0.003 mg/L	-

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。

3.5. ガイダンス骨子

以上の解析に基づき、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に関するガイダンスの骨子案を作成した。

第1章. はじめに（背景）

第2章. 本ガイダンスにおけるリスク評価の目的と考え方

第3章. リスク評価のフレームワーク

3.1. 評価フレームワーク

3.2. Tier 0：スクリーニングリスク評価（推定湧水流量に基づく評価）

3.3. Tier 1：スクリーニングリスク評価（豪雨後の流量で評価）

3.4. Tier 2：詳細なリスク評価

第4章. ケーススタディ

3.6. まとめ

本事業では、第 6 次基本方針に記載された豪雨災害等へのレジリエンス強化として、豪雨等による設備の損壊や処理能力の超過などにより、未処理坑廃水を放流した場合を想定し、坑廃水の未処理放流の安全性評価手法の検討・開発を行った。評価手法として段階的なリスク評価 (Tier 方式) を採用し、流域面積から計算できる湧水流量で評価する 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 段階を設定し、各段階で低リスクと評価された場合は、「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を作成した。義務者不存在鉱山を対象に素案に基づく評価を実施した結果、Tier 0 では低リスクと評価される鉱山が 2 つ存在した。また、Tier 0 でリスク有と評価された 2 鉱山の坑廃水を対象に実施した Tier 1 評価では、流量ピークからの経過日数に応じて未処理放流のリスクが異なることから、未処理放流の期間をどのように設定するかの重要性が確認された。今後は、pH や懸濁物質 (SS)、バックグラウンド等の影響を必要に応じて導入していく必要がある。

3.7. 参考文献

国土交通省河川局河川環境課 (2007) 正常流量検討の手引き（案）.
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/ryuuryoukentou/tebiki.pdf.

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
2023 年 12 月 20 日	第 1 回委員会	JOGMEC 虎ノ門本部・WEB
2024 年 2 月 22 日	第 2 回委員会	JOGMEC 虎ノ門本部・WEB