

独立行政法人 国際協力機構 (JICA)
マケドニア旧ユーゴスラビア共和国
農業森林水経済省 (MAFWE)

マケドニア旧ユーゴスラビア共和国 鉱業関連土壌汚染管理能力向上計画調査

ファイナル・レポート 第 VI 部 － 要 約 －

平成 20 年 3 月

三菱マテリアル資源開発株式会社

独立行政法人 国際協力機構 (JICA)
マケドニア旧ユーゴスラビア共和国
農業森林水経済省 (MAFWE)

マケドニア旧ユーゴスラビア共和国
鉱業関連土壌汚染管理能力向上計画調査

ファイナル・レポート
第 VI 部
— 要 約 —

平成 20 年 3 月

三菱マテリアル資源開発株式会社

序 文

日本国政府はマケドニア旧ユーゴスラビア共和国の要請に基づき、「マケドニア旧ユーゴスラビア共和国鉱業関連土壌汚染管理能力向上計画調査」を実施することを決定し、独立行政法人国際協力機構（JICA）がこの調査を実施いたしました。

当機構は、平成 17 年 12 月から平成 19 年 12 月まで、三菱マテリアル資源開発株式会社の梶間幹雄氏を団長とする調査団を現地に派遣しました。更に、JICA は京都府立大学大学院農学研究科助教授である矢内純太博士、愛知県環境部の平野淳一主査、JICA 国際協力総合研修所国際協力専門員である吉田充夫博士及び川西正人専門員からなる国内支援委員会を設け、専門的及び技術的視点から本プロジェクトを支援しました。

調査団は、マケドニア旧ユーゴスラビア共和国政府関係者と協議を重ね、調査地域における野外調査を実施しました。日本に帰国次第、調査団は調査結果を取りまとめ、本最終報告書を作成しました。

本報告書が本プロジェクトの促進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

最後に、調査にご協力を戴いたマケドニア旧ユーゴスラビア共和国政府関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成 20 年 3 月

独立行政法人
国際協力機構
理事 松本有幸

伝 達 状

平成 20 年 3 月

独立行政法人 国際協力機構
理事 松本 有幸 殿

謹 啓

「マケドニア旧ユーゴスラビア共和国鉱業関連土壌汚染管理能力向上計画調査」の最終報告書をここに提出いたします。

本調査はズレトヴィツァ地域の環境改善を目指し、さらに土壌汚染管理能力向上に関するマスタープラン、優先地区のフィージビリティ調査の策定、ならびに現地調査及びセミナー/ワークショップを通しての技術移転を行いました。

ズレトヴィツァ地域は、マケドニアの重要な穀倉地帯であると共に、旧廃さい堆積場から発生した土壌・地下水汚染の課題に直面しています。これらの問題に対する提言は、マケドニア旧ユーゴスラビア共和国の土壌汚染管理能力向上のマスタープランの中にすでに組み込まれています。

本調査を通しご支援ならびにご助言いただいた貴機構、国内支援委員会、日本国外務省及び環境省の各位に深甚なる謝意を表します。また、現地調査を通してご協力とご援助をいただいたマケドニア旧ユーゴスラビア共和国の農業森林水経済省、ステアリング・コミッティー、プロビシュティープ市、JICA バルカン事務所及び在オーストリア日本国大使館の各位に感謝申し上げます。

最後に、調査団からの提言がズレトヴィツァ地域の今後の環境改善に寄与することを希望いたします。

敬 具

梶間 幹雄
調査団団長
マケドニア旧ユーゴスラビア共和国
鉱業関連土壌汚染管理能力向上計画調査

最終報告書の構成

報告書の構成は、以下のとおりである。

- Volume I : SUMMARY (要約)
調査に関わる基本的情報、パイロット・プロジェクト調査結果の要約、マスタープランの要約を含む。
- Volume II : MAIN REPORT (主報告書)
調査及び調査結果の全容を含み、調査に係わる基本的情報、パイロット・プロジェクト及びその他の調査結果、マスタープランを含む。
- Volume III : APPENDICES (アペンディックス)
主報告書に伴う図面及び補助資料を含む。
- Volume IV : DATA REPORT (データレポート)
各種の補助資料から成り、試料採取方法、化学分析方法、試料の記載、リスク評価の計算結果、各種会合の議事録等からなる。
- Volume V : ACTION PLAN (アクション・プラン)
パイロット・プロジェクト地域におけるアクション・プランからなる。
- Volume VI : 要約 (最終報告書要約)
調査に関わる基本的情報、パイロット・プロジェクト調査結果の要約、マスタープランの要約を含む。

要 旨

本調査は、パイロット・プロジェクト（P/P）の実施を通じて、マケドニア旧ユーゴスラビア共和国（以下「マケドニア国」という）における鉱業由来の土壌汚染に対する管理能力向上を目的として実施した。

調査の内容は、以下のとおりである。

- ・マケドニア国における鉱業由来の土壌汚染に対する管理能力向上に資するマスタープランを策定した。
- ・プロビシュティープ市の灌漑予定地を対象として、土壌調査、地下水調査、穀物調査とリスク評価を含めたパイロット・プロジェクトを実施した。
- ・今後、マケドニア国が独自で土壌汚染管理ができるようになる事を目標として、カウンターパートへの技術移転を実施した。

マスタープランの策定は、マケドニア国全土を対象とし、パイロット・プロジェクトの調査対象地域はプロビシュティープ市にあるズレトヴィツァ地域で実施した。

本調査の主な内容は、国内準備作業、P/P調査（フェーズ1：基礎調査、フェーズ2：概要～詳細調査、フェーズ3：補足調査）、マケドニア国全域を対象とした土壌汚染問題実態分析・リスク評価、マスタープランの策定からなる。

1. 調査結果

1. 1 土壌汚染関連の環境法令及び管理制度・組織

現在のマケドニア国には土壌汚染管理のための法令及び土壌汚染の基準値はないが、関連する条項を含む法律がある。主な土壌汚染関連の法律は、環境法（2005）、農用地法（1998）及び鉱物資源法（2007）が挙げられる。しかし、環境都市計画省、農業森林水経済省及び経済省に土壌汚染管理のための制度及び責任ある組織は不十分である。但し 2007 年に環境都市計画省内に廃棄物・土壌課が新設されたため、今後土壌汚染管理の役割を果たしていく事が期待される。

1. 2 パイロット・プロジェクト

パイロット・プロジェクトの目的は、パイロット・プロジェクト地域の土壌汚染の状況の把握及び行政官庁と地方組織の土壌汚染の管理に関するキャパシティ・ディベロップメント（CD）の支援を行うことにある。

(1) パイロット・プロジェクトの主な調査結果

パイロット・プロジェクト地域の土壌調査の結果、高濃度を示す重金属類の分布状況から、重金属類は主に As-Cd-Cu-Pb-Zn-Mn と Co-Cr-Ni の 2 つのグループに区分され高濃度域が分布する。As-Cd-Cu-Pb-Zn-Mn の高濃度域は、キセリツァ川、ズレトフスカ川、コリトニツァ川に沿って分布し、この要因は 1976 年に発生した廃さい堆積場の流出事故及びズレトボ鉱山の操業活動による人為的要因と考えられる。これらに加えて、北東部に As-Pb-Zn 及びプロビシュティープ南部に As の高濃度分布域が認められるが、これらは鉛-亜鉛の鉱化作用による自然由来と考えられる。一方、Co-Cr-Ni の高濃度分布域は主に南西部に認められ、始新

世の堆積岩類の分布と一致する事から自然由来と考えられる。

パイロット・プロジェクト地域の地下水は、ほとんどの井戸/湧水において砒素、鉛、コバルト、ニッケルがマケドニア国の飲料水の基準値を超過し、ほぼ全地域にわたって汚染が拡散している。しかし、地下水汚染地域の約半分で、その井戸水/湧水が飲用されている。河川水も類似した状況で、ほとんどの地点で、ニッケル、鉛、マンガンは環境基準値を超過する。

穀物調査では、小麦の 36% (2006 年) が、マケドニア国の鉛含有量基準値を超過していた。また、2006 年と 2007 年の穀物調査結果では、小麦中の鉛含有量の差が認められた。

(2) リスク評価

a. 土地利用を考慮した土壌による重金属類の暴露リスク

リスクの算定の結果、エンドポイント目標値である耐容一日摂取量 (TDI: Tolerable Daily Intake) の 10% の 1,000~10,000 倍のリスクを有しているレベル 5 のグリッドは、選鉱場と廃さい堆積場 TD-I に限定される。エンドポイント目標値の 100~1,000 倍のレベル 4 のグリッドは、廃さい堆積場周辺及びキセリツァ川、コリトニツァ川、ズレトフスカ川に沿って分布する。エンドポイント目標値の 10~100 倍のレベル 3 のグリッドは、地域に広く分布する。

b. 土壌及び飲用地下水による重金属類の全暴露リスク

パイロット・プロジェクト地域の土壌及び飲用地下水による重金属類による全暴露リスクは、レベル 2~5 までの 4 つの暴露リスクレベルからなる。特に、飲用地下水中の重金属類による暴露リスクはレベル 4 に区分され、地下水を飲用している同地域の西部及び南東部に広く分布する。

c. 農業リスク

本報告書における「農業リスク」とは、「重金属類による食用穀物 (小麦、米、トウモロコシ) 栽培へのリスク」であり、本報告書では以下「農業リスク」をこの意味で使用する。

農業リスクは、マケドニア国の穀物中の重金属類の含有量基準値を使用して評価した。土壌の鉛含有量における暴露リスクレベルと鉛含有量の基準値 (0.2mg/kg) を超える小麦との間には明瞭な相関関係は認められなかった。小麦中の鉛基準値を超える汚染小麦は地域に散在している状況であり、農業リスクは相対的に高い。したがって、現時点での調査結果のみからは、農業リスクの高い地区と低い地区を明確に区分することができない。また、2006 年度と 2007 年度での小麦の鉛含有量の差があることから、気候条件等に由来する年較差があると考えられ、より詳細な農業リスクの状況を明らかにするには今後の継続的なモニタリングが必要である。

1. 3 土壌汚染管理に関するマスタープラン

マスタープランの目的は、マケドニア国の環境改善のために鉱山関連の土壌汚染管理の能力向上を図り、本調査後に土壌汚染管理の持続可能な制度・組織を独自に推進できるプロセスを構築することにある。

(1) 土壤汚染管理における法制度レベルの能力向上計画

マケドニア国の土壤汚染管理の法的枠組みについて、環境都市計画省は主務省庁として土壤汚染管理を主導し、「土壤汚染管理基本法」を制定する必要がある。土壤汚染管理の制度の各省の枠組みは、以下のとおりである。

- ・環境都市計画省 (MEPP) : 土壤汚染管理の主務省庁、都市部、工業地/商用地の土壤汚染管理
- ・農業森林水経済省 (MAFWE) : 農用地の土壤汚染管理
- ・経済省 (MoE) : 鉱山域の土壤汚染管理
- ・保健省 (MoH) : 公衆衛生及び環境リスクに関する土壤汚染管理
- ・地方自治体 : それぞれの管轄地域内の土壤汚染管理

a. 土壤汚染管理に関する基本法による本格的な法制度が確立するまでの暫定的措置

土壤汚染管理基本法の制定までのしばらくの間は、暫定的な管理制度を組織する過程が必要となる。暫定的土壤汚染管理の枠組みの内容は、基本法制定後の内容と同様である。

b. 暫定的土壤汚染管理制度の確立までの主要タスクの手順

暫定的土壤汚染管理制度の検討及び制度の確立を行う主要タスクの手順は、以下のとおりである。

- ・タスク- 1 : 土壤汚染の定義
- ・タスク- 2 : パイロット・プロジェクトの成果及び教訓の応用
- ・タスク- 3 : 土壤汚染サイトの選定
- ・タスク- 4 : 土壤汚染調査箇所の優先順位
- ・タスク- 5 : 土壤汚染調査 (調査ガイドライン) 及び化学分析 (公定分析法)
- ・タスク- 6 : 土壤汚染調査結果の報告の手順と認定
- ・タスク- 7 : 土壤汚染の浄化対策手順
- ・タスク- 8 : 土壤汚染のモニタリング手順

それぞれのタスクは、環境都市計画省が管理する土壤汚染管理のワーキンググループで十分な論議によって統一原案をまとめ、土壤環境基準値等の技術的に高度な内容は技術諮問審議会にて検討する必要がある。最終的に、環境都市計画省は関係省庁の同意の上、暫定的土壤汚染管理制度案を作成することができる。

(2) 土壤汚染管理における社会レベルの能力向上計画

社会レベルの能力向上の主な内容は、土壤汚染の認識、土壤汚染に関する環境教育、リスクコミュニケーション、住民参加等からなる。特に、リスクコミュニケーションは、住民、事業者、省庁、地方自治体等の関連するステークホルダーが、土壤汚染の状況及びリスクの認識に関する情報を共有し、相互に意思疎通を図って土壤汚染対策を円滑に進めていくための有効な手段である。なお、マケドニア国全体の土壤汚染に関する現在の認識レベルは比較的低いことから、土壤汚染及び環境リスクについて、リスクコミュニケーションを通して認識を向上させることが必要である。

土壤汚染地域における行政側、事業者、住民、農民及びその他のステークホルダー間で速やかな情報開示及び共通認識のもと、ステークホルダー会議を実施することを制度化していく必要がある。

(3) 土壌汚染管理における組織レベルの能力向上計画

組織レベルの能力向上は、マスタープランの実施及び持続可能な土壌汚染管理が確実に推進されるようにするため必要なことである。各省庁の組織レベルの能力向上の内容を以下に示す。

- a. 環境都市計画省：環境都市計画省は、土壌汚染管理及びマスタープランの実施責任を有し、土壌汚染管理のための組織を早急に確立すべきである。2007年現在、環境セクターに廃棄物・土壌課が設立され、この部署が土壌汚染管理を今後担ってゆく。
- b. 農業森林水経済省：農業森林水経済省は農用地に関する土壌汚染管理の責任を果たす重要な役割を有している、現在、農用地登録・管理セクターが設置され、当部署が土壌汚染管理責任を担うことが期待されている。
- c. 経済省：経済省は、エネルギー・鉱物資源セクターが鉱山域での土壌汚染管理を行い、その業務内容の充実化を図る必要がある。
- d. 保健省：保健省は、公衆衛生保全及び環境リスクの観点から土壌汚染管理に関与する。
- e. 地方自治体：地方自治体は、環境都市計画省、経済省及び農業森林水経済省と共に環境保全の一環として土壌汚染管理を推進する。地方自治体内にある環境担当部門を土壌汚染管理部署として充実化を図り、更に関係省庁との協働のためのコミュニケーションを図る必要がある。

(4) 土壌汚染管理における技術（個人）レベルの能力向上計画

土壌汚染管理における技術（個人）レベルの能力向上の対象及び内容は、以下の通り。

【対象】

- 1) 土壌汚染管理に関連する行政組織、2) 土壌汚染調査及び対策工事会社、3) 分析所及び土質試験所、4) 有害物質を使用する事業所（土壌汚染調査の対象地）

【内容】

- 1) 土壌汚染調査、2) データ解析、3) 土壌汚染対策、4) 土壌汚染管理に関する情報管理

環境都市計画省では、土壌汚染管理業務を行うための技術トレーニングの実施による能力向上及び必要な資機材の確保をする事が必要である。トレーニングは、1) 法制度の枠組み、2) 土壌汚染調査・化学分析、3) データ解析、4) 土壌汚染管理における情報管理、5) データベースの構築、等の内容からなる。

1. 4 マケドニア国全土の土壌汚染調査・対策に関する事業計画

「ホットスポット（国家環境行動計画により産業廃棄物及び産業活動から由来する大規模な汚染が認められ、早急に対策が必要な地域）」のような大規模な土壌汚染サイトだけでなく、マケドニア国全土に分布する事業所に係る重金属類による潜在的な土壌汚染サイトが多数あると推定される。したがって、マケドニア国全土の土壌汚染調査は、ホットスポット調査と土壌汚染インベントリー調査に区分される。

ホットスポットは一般に土壌汚染のほか、大気汚染、水質汚濁を伴って規模が大きく有害物質による人の健康への影響も大きい。土壌汚染のホットスポット調査は、土壌汚染の規模が大～中規模であり、事業計画の中でも緊急課題である。

土壌汚染インベントリー調査はホットスポット以外の比較的小規模な事業所単位の土壌汚

染サイトを対象としており、先ず一つ一つの事業所をリストアップし、それらのサイトの優先順位をつける必要がある。管理作業は環境都市計画省の指導の下に地方自治体を実施する。

浄化対策には（１）応急対策と（２）恒久対策の２種類がある。

- （１）応急対策　：早急に対策を行うことができない場合に、人の健康を保護し、汚染の拡散を防止するために行う。
- （２）恒久対策　：汚染土壌が将来に亘って周辺の土壌・地下水に拡散することを防止するために行う。

土壌汚染調査で土壌・地下水汚染が判明し、早期に恒久対策が取れない状況である場合、住民の健康の保護及び周辺環境への影響を低減するために応急対策を実施する必要がある。

2. 提言

2.1 緊急対策事項

本調査の結果を踏まえ、緊急に対策を講じるべき事項を以下に述べる。

- （１）パイロット・プロジェクト地域のほとんどの井戸水及び湧水中で、砒素、コバルト、ニッケル及び鉛の濃度が同国の飲料水及び水質環境基準値を超えて汚染されていると考えられる。これらの汚染した井戸水と湧水の約半数が地域住民に飲料水として利用されており、住民の健康上深刻な問題である。飲用している地下水は、指定の公認分析所で分析し、汚染状況を早急に再確認する必要がある。汚染が判明した場合は、汚染した地下水の飲用を禁止する速やかな対策を講じる必要があり、更に、新たな飲料水の水源を確保する必要がある。
更に、この問題に対処する方策を検討するためには、リスクコミュニケーションを通じて住民への情報公開を図り、認識・情報を共有し、適切な時期に対処策を講じる必要がある。
- （２）パイロット・プロジェクト地域では鉛の基準値を超過する小麦が散在し、当地域の農業リスクは相対的に高いことが判明したため、小麦栽培には十分留意する必要がある。小麦中の重金属汚染調査のサンプル数を増やして実施し、また季節・年変化も見られるため継続的に調査を続けることが必要であり、調査結果を検証して小麦栽培の停止、あるいは栽培作物の転換など対処策を講ずる必要がある。
- （３）旧廃さい堆積場 TD-I 及び TD-II はリスク評価でレベル 5 に評価され、市街地に隣接している。緊急対策として廃さい堆積物の撤去、あるいは堆積場の上部の覆土及び側面の法面保護の対策が必要である（優先度 No. 1：旧廃さい堆積場 TD-I 及び TD-II）。

2.2 その他の事項

本調査におけるその他の提言を以下に述べる。

- （１）調査項目・手法についての提言
 - a. 土壌汚染調査の計画時には、土壌汚染調査と共に地下水調査を加える必要がある。特に、地下水汚染が地形・水文的な特徴から予想されたり、飲用水として利用されている場合、地下水調査を当初の計画に加える必要がある。
 - b. 農用地の調査において、重金属類による汚染が想定される場合、穀物調査も合わせて実

施する必要がある。

- c. 鉱山汚染地域を含む「ホットスポット」では大規模な土壌汚染の可能性を有しており、有害物質による人の健康への影響も大きいと考えられる。したがって、土壌汚染のホットスポット調査はできるだけ早急に実施する必要がある。

(2) 汚染対策上の提言

重金属汚染の影響を低減するため、上述以外にも以下の汚染対策を講ずる必要がある。対策の概要を以下に示す。

- ・優先度 No. 2：廃さい堆積場 TD-IV 及び TD-V（堆積場の上部及び法面の覆土等）
- ・優先度 No. 3：ズレトフスカ川中流部（廃さいの撤去）
- ・優先度 No. 4：コリトニツァ川下流部（汚染した砂礫の流出防止用砂防ダムの設置）
- ・優先度 No. 5：キセリツァ川下流域（廃さいの撤去）

(3) 法制度・組織上の提言

- a. 環境都市計画省は主務省庁として土壌汚染管理の主導を取り、土壌汚染管理基本法及び必要な法令等を制定する必要がある。
- b. 環境都市計画省内の廃棄物・土壌課に早急に職員を配置し、マスタープランの実施に向け起動することが望まれる。
- c. 農業森林水経済省は、新規の農用地登録・管理セクターの中に農用地の土壌汚染管理の業務を割り当てる必要がある。
- d. 省庁間のリンケージは重要であることから、省庁及び学識経験者からなる技術諮問審議会をできるだけ早急に設立する必要がある。
- e. 財政機関は土壌汚染管理、特に対策の資金調達の詳細な計画を検討する必要がある。

目 次

序 文	
伝達状	
最終報告書の構成	
要 旨	
目 次	
図表一覧	
略語表	

第1章 序 論	1
1. 1 調査の背景	1
1. 2 調査の目的	1
1. 3 調査対象地	2
1. 4 調査業務の範囲	2
1. 5 調査フローとスケジュール	2

第 I 部 マケドニア旧ユーゴスラビア共和国の現状

第2章 マケドニア旧ユーゴスラビア共和国の現況	7
2. 1 自然状況	7
2. 2 農業	7
2. 3 産業	8
2. 4 マケドニア旧ユーゴスラビア共和国全土の現在の土壌環境状況	8
第3章 鉦山に関連する土壌汚染管理のキャパシティの現状と キャパシティ・ディベロップメント	11
3. 1 キャパシティ・ディベロップメント (CD) の定義	11
3. 2 土壌汚染関連の環境法令	11
3. 3 土壌汚染管理に関する制度的枠組み	11
3. 4 土壌汚染管理に関する組織	11
3. 5 個人レベルにおけるキャパシティ	13
3. 6 本調査におけるキャパシティ・ディベロップメント	14

第 II 部 パイロット・プロジェクト

第4章 パイロット・プロジェクト (P/P)	15
4. 1 パイロット・プロジェクトの目的	15
4. 2 パイロット・プロジェクトの内容	15
4. 3 パイロット・プロジェクトのフロー	15
第5章 パイロット・プロジェクトの調査結果	17
5. 1 パイロット・プロジェクト地域の現状	17
5. 2 廃さい堆積場と流出事故	22
5. 3 表層土壌調査	25

5. 4	廃さい堆積物調査	34
5. 5	土壌のボーリング調査	34
5. 6	河床堆積物調査	34
5. 7	表流水調査	35
5. 8	観測井と地下水の調査	35
5. 9	穀物調査	36
第6章	パイロット・プロジェクト地域の汚染の総合解析	40
6. 1	パイロット・プロジェクト地域の土壌汚染帯	40
6. 2	パイロット・プロジェクト地域の表流水及び河床堆積物の汚染	40
6. 3	パイロット・プロジェクト地域の地下水汚染	40
6. 4	パイロット・プロジェクト地域の土壌・地下水汚染機構	44
第7章	パイロット・プロジェクトのリスク評価及び土壌・地下水汚染対策	46
7. 1	パイロット・プロジェクトのリスク評価	46
7. 2	パイロット・プロジェクト地域の土壌・地下水汚染対策	53
第8章	パイロット・プロジェクトの成果と教訓	58
8. 1	概要	58
8. 2	パイロット・プロジェクトの主な成果	58
8. 3	パイロット・プロジェクトの主な教訓	59
8. 4	パイロット・プロジェクトの成果/教訓のマスタープランへの適用	61

第Ⅲ部 鉱山関連土壌汚染管理能力向上計画

第9章	土壌汚染管理に関するマスタープラン	63
9. 1	概要	63
9. 2	マスタープランの全体の構成	64
9. 3	土壌汚染管理における法制度レベルの能力向上計画	68
9. 4	土壌汚染管理における社会レベルの能力向上計画	77
9. 5	土壌汚染管理における組織レベルの能力向上計画	77
9. 6	土壌汚染管理における技術（個人）レベルの能力向上計画	80
第10章	マスタープラン（M/P）に基づくマケドニア国全土の土壌汚染調査・ 対策に関する事業計画	82
10. 1	概要	82
10. 2	ホットスポット調査	82
10. 3	マケドニア国全土の土壌汚染インベントリ調査	84
10. 4	マケドニア国全土の対策実施計画	87
10. 5	土壌汚染のモニタリング方法	87

第Ⅳ部 結論及び提言

第11章	結論及び提言	89
11. 1	結論	89
11. 2	提言	90

図表一覧

図面

図 1	パイロット・プロジェクトの調査対象地域	2
図 2	調査範囲とズレトボ鉱山	3
図 3	調査作業フロー	5
図 4	マケドニア国の土壤汚染ホットスポットの位置図	10
図 5	パイロット・プロジェクト地域における水系	20
図 6	パイロット・プロジェクト地域の土地利用、耕作物及び居住地の分布図	21
図 7	1928～1973 年における廃さい堆積場の推移	24
図 8	砒素 (As) 濃度分布図	28
図 9	カドミウム (Cd) 濃度分布図	28
図 10	コバルト (Co) 濃度分布図	29
図 11	クロム (Cr) 濃度分布図	29
図 12	銅 (Cu) 濃度分布図	29
図 13	水銀 (Hg) 濃度分布図	29
図 14	ニッケル (Ni) 濃度分布図	30
図 15	鉛 (Pb) 濃度分布図	30
図 16	亜鉛 (Zn) 濃度分布図	30
図 17	マンガン (Mn) 濃度分布図	30
図 18	高因子得点分布図	32
図 19	重金属の高濃度分布域	33
図 20	パイロット・プロジェクト地域の地下水と 表流水の重金属濃度 (砒素 (As) 及び鉛 (Pb))	37
図 21	小麦中の鉛 (Pb) 含有量の分布	39
図 22	パイロット・プロジェクト地域の表層での廃さいと重金属の分布	41
図 23	パイロット・プロジェクト地域の土壤・地下水汚染機構	42
図 24	土地利用を考慮した土壤による重金属の暴露リスク及び暴露評価に基づいた 対策目標箇所 (土壤)	49
図 25	土壤及び飲用地下水による重金属の全暴露リスク及び暴露評価に基づいた 対策目標箇所 (地下水)	50
図 26	土壤の鉛 (Pb) 含有量による暴露リスクと 小麦中の鉛含有量の関係 (2006 年度試料)	52
図 27	廃さい堆積場 TD-IV 及び TD-V の浄化対策	55
図 28	ズレトフスカ川中流域の二次的廃さい堆積物の除去	56
図 29	コリトニツァ川下流域の砂防ダム	56
図 30	汚染対策の費用対便益 (リスク) 分析	57
図 31	パイロット・プロジェクトの成果/教訓とマスタープランの関係	62

図 32	土壤汚染管理に関する法的枠組み	65
図 33	土壤汚染管理制度確立までのプロセス	69
図 34	土壤汚染管理に関する制度の枠組み/関係機関の役割	71
図 35	土壤汚染管理に関する調査の枠組みの設定プロセス	73
図 36	マケドニア国の土壤汚染ホットスポットの位置図	83

表

表 1	調査の内容	4
表 2	マケドニア国における農業用地の利用状況 (1999)	8
表 3	マケドニア国の鉱山に関連するホットスポット	9
表 4	パイロット・プロジェクトの完了業務	16
表 5	2005 年度におけるプロビシュティープ市の農産物	18
表 6	ズレトボ鉱山の歴史	23
表 7	プロビシュティープ市の廃さい堆積場	24
表 8	含有量及び溶出量の試料数	25
表 9	400m グリッド試料の統計値	26
表 10	400m グリッド試料のバックグラウンド値	26
表 11	因子分析結果(400m グリッド試料)	31
表 12	重金属高濃度域の分布と要因	31
表 13	パイロット・プロジェクト地域の汚染源	43
表 14	全暴露リスクレベルの評価	51
表 15	土壤中の鉛 (Pb) 含有量による暴露リスクレベル別の 小麦の鉛基準値を超えるグリッドの比率 (2006 年度採取試料)	51
表 16	統合リスク評価から選定した土壤・地下水汚染対策の内容	54
表 17	対策計画及びその費用の概算	56
表 18	マケドニア国の鉱山関連の土壤汚染ホットスポットのリスト	83
表 19	ホットスポットの優先順位	85

略 語 表

AAS	Atomic Absorption Spectrometry	原子吸光分析
AIST	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan	産業技術総合研究所
A/P	Action Plan	アクション・プラン
CA	Capacity Assessment	キャパシティーアセスメント
CARDS	Community Assistance for Reconstruction, Development and Stabilisation	再建・開発・安定化共同体支援
CD	Capacity Development	キャパシティー・ディベロップメント
C/P	Counterpart	カウンターパート
CVAAS	Cold-vapour Atomic Absorption Spectrometry	冷蒸気還元気化原子吸光分析
DF/R	Draft Final Report	ドラフト・ファイナル・レポート
EAR	European Agency for Reconstruction	欧州復興機構
EC	Electrical Conductivity	電気伝導度
EDA	Exploration Data Analysis	探査データ解析
EEA	European Environment Agency	欧州環境庁
EEC	European Economic Community	欧州経済共同体
EIA	Environmental Impact Assessment	環境影響評価
EIONET	European Environmental Information and Observation Network	欧州環境・情報監視ネットワーク
EU	European Union	欧州連合
F/R	Final Report	ファイナル・レポート
GIS	Geographic Information System	地理情報システム
GPS	Global Positioning System	全地球測位システム
HM	Heavy Metals	重金属
HSZ	Public Enterprise Hydro-System Zletovica	ズレトヴィツァ水公団
ICP	Inductively Coupled Plasma (Emission Spectrophotometer)	誘導結合プラズマ発光分析機
IC/R	Inception Report	インセプション・レポート
ISO	International Organization for Standardisation	国際標準化機構
ISPA	Instruments for Structural Policies Pre-Accessions	加盟前構造政策援助（イスパ）
IT/R	Interim Report	インテリム・レポート
JBIC	Japan Bank for International Cooperation	国際協力銀行
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
MAC	Maximum Allowable Concentration	最大許容濃度値
MAFWE	Ministry of Agriculture, Forestry and Water Economy	農業森林水経済省

MEIC	Macedonian Environmental Information Centre	マケドニア国環境情報センター
MEPP	Ministry of Environment and Physical Planning	環境都市計画省
MoE	Ministry of Economy	経済省
MoH	Ministry of Health	保健省
M/P	Master Plan	マスタープラン
NEAP-1	1st National Environmental Action Plan	第1次国家環境行動計画
NEAP-2	2nd National Environmental Action Plan	第2次国家環境行動計画
NPAA	National Programme for Adoption of Acquits	EU法採用国家プログラム
OJT	On-the-job Training	オンザジョブ・トレーニング
P/P	Pilot Project	パイロット・プロジェクト
PPP	Polluter Pays Principle	汚染者負担原則
RM	Republic of Macedonia	マケドニア国
SAPROF	Special Assistance for Project Formation	案件形成促進調査
SCM	Soil Contamination Management	土壌汚染管理
SEA	Secretariat for European Affairs	欧州関連事務局
SGV	(Macedonia) Soil Guideline Value	(マケドニア) 土壌暫定基準値
SoE	State of the Environment Report	環境状況報告書
SPM	Suspended Particulate Matter	浮遊粒子状物質
SSO	State Statistical Office	統計局
SW	Scope of Work	業務範囲
TAC	Technical Advisory Council	技術諮問審議会
TD	Tailings Dam	廃さい堆積場
TDI	Tolerable Daily Intake	耐容一日摂取量
TEQ	Toxic Equivalent	毒性等価換算濃度
UNDP	United Nations Development Programme	国際連合開発計画
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe	欧州経済委員会
UNEP	United Nations Environment Programme	国際連合環境計画
WHO	World Health Organisation	世界保健機関
WG	Working Group	ワーキンググループ
WG-AP	Working Group on Action Plan	アクション・プランに関するワーキンググループ
WG-MP	Working Group on Master Plan	マスタープランに関するワーキンググループ
WG-SCM	Working Group on Soil Contamination Management	土壌汚染管理に関するワーキンググループ

重金属類

As	Arsenic
Cd	Cadmium
Co	Cobalt
Cr	Chrome
Cu	Copper
Hg	Mercury
Mn	Manganese
Ni	Nickel
Pb	Lead
Zn	Zinc

砒素
カドミウム
コバルト
クロム
銅
水銀
マンガン
ニッケル
鉛
亜鉛

第1章 序 論

1. 1 調査の背景

マケドニア国政府により計画されたズレトヴィツァ水利用事業は、乾季の水不足時に雨水を貯水し上水と灌漑用水を供給することが目的である。この計画により、下流域にある7つの自治体の約10万人の住民への上水及び工業用水の供給と約4,000ヘクタールの灌漑が実現する。

1992年、地元の自治体がズレトヴィツァ水資源公社を設立し、更に計画を発展させた上で中央政府の支援を要請した。マケドニア国政府は1996年に日本政府に対しダム建設及び導水施設整備に係る円借款を要請し、2003年に融資が決定した。

国際協力銀行（JBIC）のSAPROF調査の土壌予備調査において、灌漑予定地の一部の地域から高濃度のヒ素、鉛等の有害重金属類が検出された。この原因は、ズレトボ鉱山の廃さい堆積ダムが決壊した際に流出した廃さいによるものとされた。しかしながら、土壌汚染状況は、汚染地と非汚染地の境界が明確ではなく、より詳細な環境リスクアセスメントを行い、科学的なデータに基づき灌漑事業を実施できる適地（非汚染地域）の選定が必要となった。

マケドニア国はかつて鉛、亜鉛、銅、クロム、ニッケル等を豊富に産出し、鉱業の経済的寄与が高かった。しかし、旧ユーゴスラビア市場の喪失、旧ユーゴ紛争の影響、2000年以降の経済的危機に見舞われ、ほとんどの鉱山及び製錬所も閉鎖され、民営化計画の対象となっている。

なお、休廃止鉱山及びその附属施設である選鉱場、ずり捨場、廃さい堆積場等が放置されており、ズレトボ鉱山の廃さい堆積ダムの決壊事故と類似の災害が各地で発生する危険性が潜在しており、実際に2003年にササ鉱山でも決壊事故が発生している。

このような状況からマケドニア国政府は、日本政府に技術的援助として本調査を正式に要請し、これに対し日本政府は「マケドニア旧ユーゴスラビア共和国鉱業関連土壌汚染管理能力向上計画調査」の実施を決定した。

1. 2 調査の目的

本調査は、パイロット・プロジェクト（P/P）を通じてマケドニア国における鉱業由来の土壌汚染に対する管理能力向上を目的とする。調査の概要は、以下のとおりである。

- (1) マケドニア国における鉱業由来の土壌汚染に対する管理能力向上に資するマスタープラン（M/P）の策定
- (2) 土壌調査、地下水調査、穀物調査及びリスク評価を含めたP/Pをプロビシュティープ市の灌漑予定地を対象に実施
- (3) 調査実施期間のカウンターパートへの技術移転の実施

1. 3 調査対象地

M/Pの策定は、マケドニア国全土を対象に実施した（図1）。P/Pの調査対象地域は、プロビシュティープ市にあるズレトヴィツァ盆地にて実施した（図1及び2）。P/P地域の面積は201.5km²である。

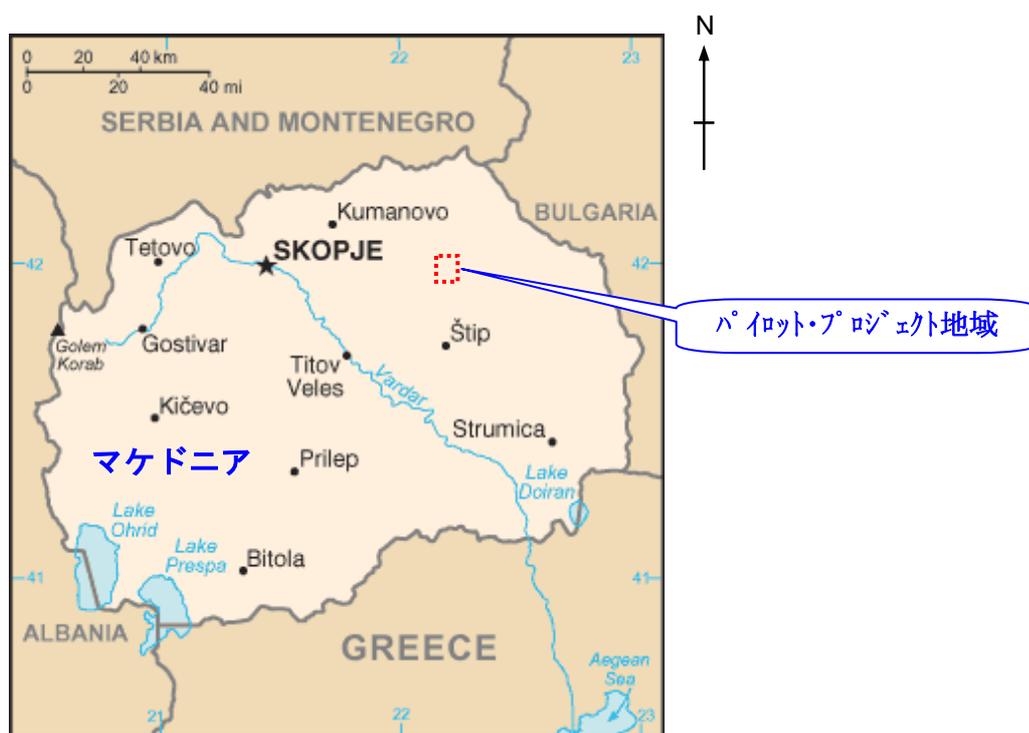


図1 パイロット・プロジェクトの調査対象地域

1. 4 調査業務の範囲

本調査は、2005年7月14日にマケドニア国農業森林水経済省（MAFWE）とJICAとの間で合意された実施細目及びその協議に関する議事録に基づき実施するものである。本調査業務の内容は、国内準備作業、P/P調査（フェーズ1：基礎調査、フェーズ2：概要～詳細調査、フェーズ3：補足調査）、マケドニア国全域を対象とした土壌汚染問題実態分析・リスク評価、M/Pの策定からなり、各調査段階の内容を表1に示す。

1. 5 調査フローとスケジュール

作業実施フローと調査の作業手順を図3に示す。

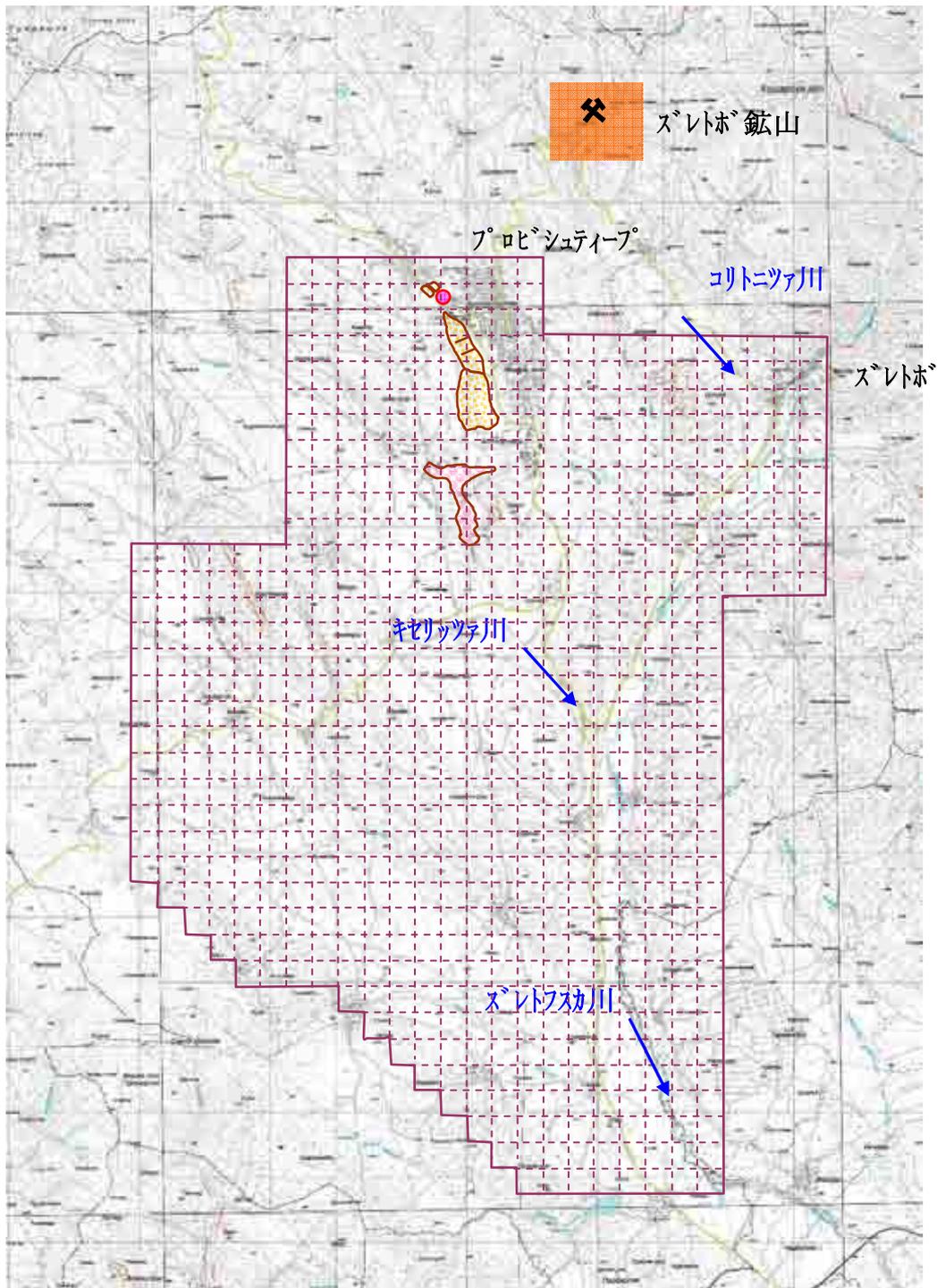


図2 調査範囲とズレトボ 鉱山

表1 調査の内容

調査段階	期間	調査項目		備考
調査準備	2005/12 ～2006/1	(1) 情報・データ収集 (2) 調査手法の検討 (3) インセプション・レポート及びCD支援計画		インセプション・レポート
フェーズ1	2006/1 ～2006/3	1) P/P 基礎 調査	(1) インセプション・レポートの説明 (2) 情報・データ収集 (3) P/P地域の現地調査 (4) 現況解析 (5) P/P調査の検討	ワークショップ 1
フェーズ2	2006/5 ～2007/1	2) P/P 概要 調査	(1) 表層土壌調査 1 (2) 河川底質調査 (3) 水文調査 (4) 穀物調査等 (5) 分析	セミナー 1 ワークショップ 2 プログレス・レポート
		3) P/P 詳細 調査	(6) 表層土壌調査 2 (7) ボーリング調査 (8) 分析 (9) アクション・プランの策定	インテリム・レポート ワークショップ 3 アクション・プラン
フェーズ3	2007/4 ～2008/2	(1) 追加現地調査 (2) 分析 (3) ホットスポット概要調査 (4) マスタープランの策定 (5) ドラフト・ファイナル・レポートの提出及び検討 (6) ファイナル・レポートの準備と提出		マスタープラン セミナー 2 ドラフト・ファイナル・レポート ファイナル・レポート

* P/P: パイロット・プロジェクト
CD: キャパシティ・ディベロップメント

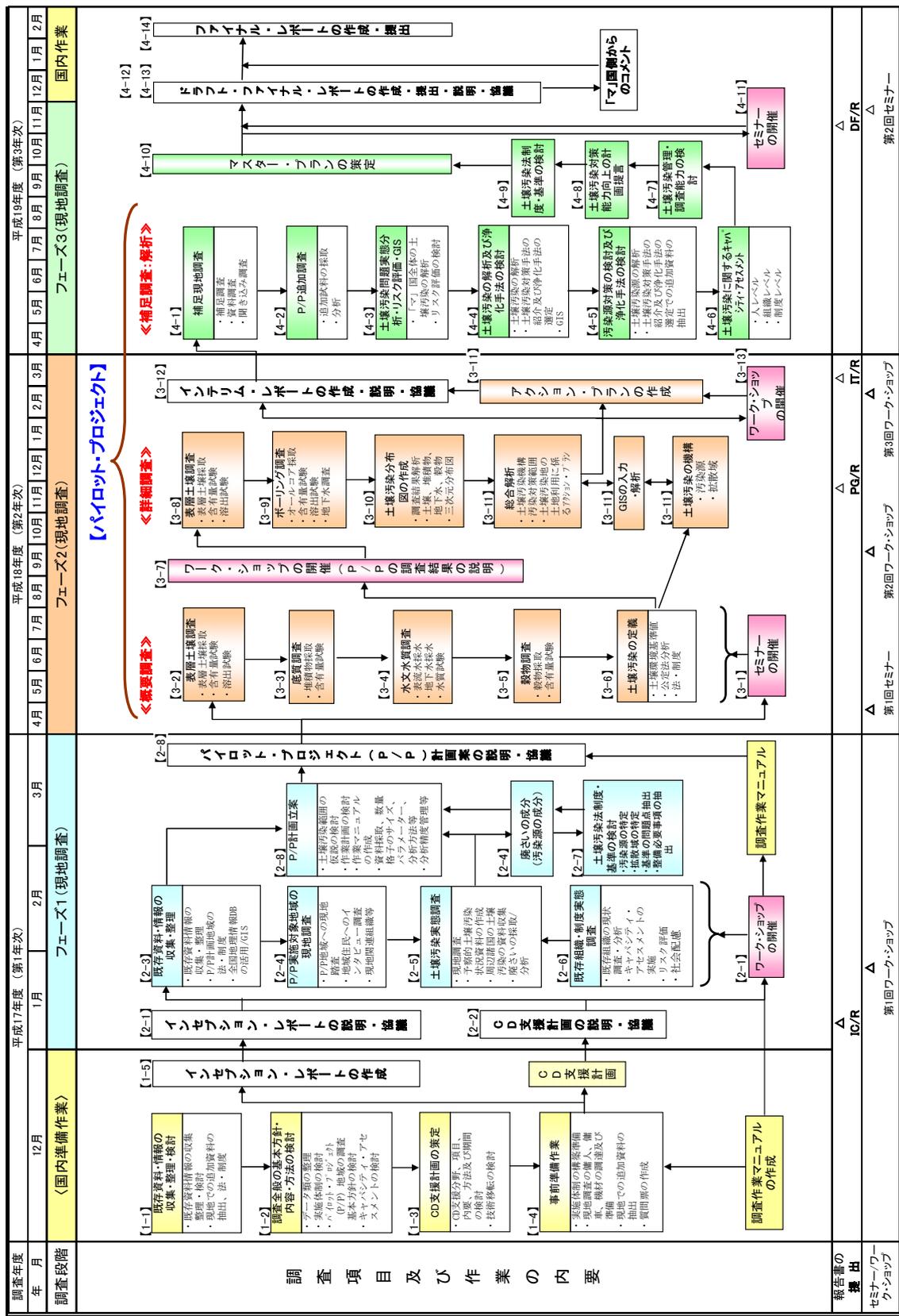


図3 調査作業フロー

第 I 部

マケドニア旧ユーゴスラビア共和国
の現況

第2章 マケドニア旧ユーゴスラビア共和国の現況

2. 1 自然状況

(1) 地形

マケドニア国は地形的に西マケドニア、ポヴァダリア（バルダル川流域）と東マケドニアの3地域に区分される。西マケドニアは山岳地形をなし、標高が2,500m以上に達する山地と険しい峡谷からなる。ポヴァダリアはマケドニア国の中央部に位置し、バルダル川流域の沖積平野で大部分は北西-南東の方向性を持った平野と谷によって占められる。東マケドニアは、ポヴァダリアからブルガリアの国境まで東方向に広がる地域で、やや乾燥した植生の少ない山地及び丘陵地からなる。

(2) 地質

マケドニア国には、先カンブリア紀から第四紀までの広範囲な地質ユニットが分布する。それらの地質ユニットは、地質構造的に3つの地質構造帯に区分される。それらは東から、バルダル地帯、ペラゴニアン地塁・背斜地帯及び西マケドニア地帯の3地帯からなる。

- a. バルダル地帯：第三紀から第四紀の堆積物、火山岩及び火砕岩からなり、バルダル川の東側の丘陵及び低い標高の平地からなる地域である。P/Pのズレトヴィツァ地域は、本地帯の北西部に位置し、新第三紀中新世の堆積物と火山岩が分布し、鉛-亜鉛鉱床が胚胎する。
- b. ペラゴニアン地塁・背斜地帯：幅30kmの帯状でマケドニアの中央部から西方にかけて分布し、結晶質片岩と片麻岩が分布し、先カンブリア時代の変成岩からなる。この地帯は、断層により上昇した地塁である。
- c. 西マケドニア地帯：本地帯は、主に古生代の砂岩、頁岩及び石灰岩と結晶片岩の変成岩からなる。

(3) 鉱山

マケドニア国にある鉱山は、アレキサンダー大王（紀元前約350年）の古代から重要な役割を果たしていた。主な金属資源として、鉄、鉛、亜鉛、銅、ニッケル、クロム、アンチモン、ヒ素とマンガンが挙げられる。また、マケドニア国の主要非金属資源は、石炭、粘土、珪藻土、石膏、石英及び大理石からなる。

2. 2 農業

農業はマケドニア国の経済の中で重要な位置を占め、2000年においてGDPの11.5%を占めた。マケドニア国全土の35%は農地であり、小麦、トウモロコシ、米、タバコ、果物、野菜を含む農産物からなり、更に、酪農、家畜を加え多角化している。2002年の小麦の生産は267,000t、

大麦は 140,000t 以上、トウモロコシは 128,600t であった。表 2 に 1999 年のマケドニア国での農地-土地利用の概要を示す。

表 2 マケドニア国における農業用地の利用状況 (1999)

穀物・野菜用耕地	534,000 ha	41%
果樹園、ぶどう園	45,000 ha	4%
草地	54,000 ha	4%
放牧地	649,000 ha	50%

(出典: United Nations (2002), Environmental Performance Review of Macedonia (UNECE))

2. 3 産業

鉱工業はマケドニア国全体の汚染の主な要因となっているが、経済発展、貧困撲滅と生活水準の向上に大きく寄与している。鉱工業は国内経済において重要な位置を占め、2000 年には GDP の約 36%、更に雇用の約 37%を占めている。

その他の産業として、以下の部門がある (NEAP-2、MEPP (2005a))。

- ・食品産業 (GDP 3.8%)
- ・電気産業 (GDP 3.8%)
- ・繊維産業 (GDP 2.0%)
- ・ベースメタル産業 (GDP 1.1%)

マケドニア国は、石炭に加え、亜鉛、鉛、銀、金、アンチモン、マンガン、ニッケル、クロム、銅、鉄鉱石及びタングステンを含む鉱物資源が比較的豊富である。2001 年の生産量は、鉛 20,000t、亜鉛 20,000t、銅 9,000t、鉄鉱石 10,000t 及び銀 15t であった。鉱業及び採石業は、大気、水質、騒音及び景観に大きな影響を与えている。鉛及び亜鉛鉱石が坑内採掘され、亜炭、銅鉱石、ニッケル鉱石と非金属鉱物は露天掘りによって採掘されている。約 1,800 万 t の各種の鉱石が毎年採掘されているが、この数量の約半分は鉱さいとして、300 万 t が廃さいとして処理されている。その際、坑口から多量の重金属類を含む坑廃水が、鉱山及び浮遊選鉱所の設備から排出されている。

2. 4 マケドニア旧ユーゴスラビア共和国全土の現在の土壌環境状況

マケドニア国での土壌汚染の特徴は、既知の比較的広範囲な土壌汚染である「ホットスポット」及び都市部、産業地域及び商業地域の比較的小規模な事業に伴う土壌汚染の 2 種類に区分される。

(1) ホットスポット

産業廃棄物及び産業活動に由来する大規模な汚染地域については、国家環境行動計画 (NEAP : Macedonia, 1996)、UNEP (2000) 及び UNEP (2006) の情報に既にリストアップされている。人の健康及び周辺環境に重大な潜在的リスクをもたらし、早急に対策が必要な地域

を「ホットスポット」と呼称している (NEAP, 1996)。ホットスポットについては汚染調査及びリスク低減対策を早急に行う必要がある。既存資料及び P/P 調査結果に基づいて 16 箇所のホットスポットを選定したが、その内 13 箇所が鉱山活動に関連し、3 箇所が他の産業に関連している。ホットスポットの概要と位置についてそれぞれ表 3 及び図 4 に示す。

表 3 マケドニア国の鉱山に関連するホットスポット

No.	鉱山/会社名 (鉱山及び製錬所の位置)	位置	鉱物	備考
1	ズレトボ鉱山	プロビシュティープ	鉛、亜鉛	操業中
2	ササ鉱山	カメニツァ	鉛、亜鉛	操業中
3	MHKズレトボ、製錬所	ベレス	鉛、亜鉛	閉鎖
4	ブチム鉱山	ラドビス	銅	操業中
5	ロヤネ鉱山	クマノボ	クロム、砒素、アンチモン	閉鎖
6	シルマック・フェロ-シリコン工場 (前HEKユーゴ・クロム)	ジェグノビツェ	フェロ-シリコン	操業中
7	トラニツァ鉱山	クリバプランカ	鉛、亜鉛	閉鎖
8	マケドニア鉄鋼工場	スコピエ	鉄	操業中
9	クルストフ・ドル鉱山	クリバプランカ	アンチモン	閉鎖
10	REK スボドル鉱山	ビトラ	褐炭	操業中
11	REKオスロメフESM鉱山	キセボ	褐炭	操業中
12	フェニ工業、フェロ-ニッケル製錬所	カバダルチ	フェロ-ニッケル	操業中
13	ルザノボ鉱山	カバダルチ	ニッケル	操業中

出典: European Agency for Reconstruction (EAR) (2005a)

第3章 鉱山に関連する土壌汚染管理のキャパシティの現状と キャパシティ・ディベロップメント

3. 1 キャパシティ・ディベロップメント (CD) の定義

キャパシティ・ディベロップメント (CD) の定義は、“個人、組織、制度や社会が、個別にあるいは集合的にその役割を果たすことを通じて、問題を解決し、また目標を設定してそれを達成していく能力の発展プロセス”である (JICA、2004)。

3. 2 土壌汚染関連の環境法令

現在のマケドニア国には、土壌汚染管理のための法令及び重金属汚染の基準値はないが、関連する条項を有する法律がある。関連する主な法律を以下に示す。

- ・環境法 (2005)
- ・農用地法 (1998、1999、2002)
- ・廃棄物管理法 (2004)
- ・自然保護法 (2004)
- ・農業監視法 (2004)
- ・水法 (水全般に関する法律) (ドラフト、2005)
- ・鉱物資源法 (2007)

EU は地域全体の土壌汚染問題を管理する共通の制度をまだ制定していないので、EU の土壌汚染管理制度をそのままマケドニア国に移行できない状況にある。しかし、マケドニア国は、将来 EU に加盟することを念頭に置いて国の法令を独自に制定することを目指している。

3. 3 土壌汚染管理に関する制度的枠組み

政府は新規の環境法 (2005) 及び国家環境行動計画 (NEAP-2、2005) を承認し、MEPP は”MEPP のロードマップ—ビジョン 2008”と題する公文書を作成し、同省の戦略としている。新法、NEAP 及び MEPP ビジョンは、環境計画及び行動の全体的な枠組みを表している。

3. 4 土壌汚染管理に関する組織

(1) 環境都市計画省 (MEPP)

MEPP の業務は、環境管理の政策及び法令を整備し、環境管理業務を実施することにある。MEPP は現時点において土壌汚染管理に関する責任部署はなく、環境情報センター (MEIC) を通じて土壌汚染に関する情報を収集している。また、MEPP では、土壌汚染管理に関する経験をいくつか有しており、例として環境影響評価の中に土壌汚染管理が含まれている。更に、2003 年に発生したササ鉱山における廃さい流出事故のクリーンアップの対策管理の経験を有している。

a. 国家環境検査局

国家環境検査局は、大気及び水質汚染の監視、自然遺産の保全、土壌の保護、騒音防止対策、廃棄物対策及び電波障害防止対策を行っている。しかし、検査局は、土壌汚染のモニタリング及び管理の経験はない。

b. 環境情報センター (MEIC)

MEIC は、マケドニア国政府、欧州環境局及びその他のステークホルダーに報告するための環境に関するデータ及び資料を収集している。

(2) 農業森林水経済省 (MAFWE)

MAFWE の主な業務は、農業政策、水資源管理、農用地利用、森林及び地方開発からなり、農業政策の作成、実施及びモニタリング活動を含んでいる。

a. 農業セクター

農業セクターは、MAFWE 内の大きなセクターの 1 つであり、家畜、穀物、果物、ワイン、有機生産及び土地政策の各ユニットに分かれている。本セクターにおける土壌汚染管理の能力及び経験は、十分とは言えない状況である。

b. 国家農業検査局 (SAI)

本調査の主要カウンターパートである SAI は、MAFWE 内の半自治的組織であり、農業及び土地利用の法令の遵守に関するモニタリングを実施している。SAI の役割には農用地法 (2002) に沿った土地利用の評価、農薬利用の制御、農薬の販売、種の製品制御、等を含んでいる。また、SAI は、決められた期間内に汚染が改善されない場合には裁判にかけるための補助的なモニタリングも行っている。

(3) ブレトヴィツァ水公団 (HSZ)

HSZ は、プロビシュティープ市の水供給と灌漑を管理するために設立された公益企業である。企業の資金は MAFWE から出資され、プロビシュティープ市役所を通して管理されているが半自治的組織である。しかし、長期計画として、HSZ は財政的に独立採算の運営となる。

(4) 保健省 (MoH)

MoH は環境管理に関して MEPP と MAFWE の一部の業務と重なっている。MoH は“国家環境健康行動計画”を作成している。健康保護研究所は MoH の政策作成のための情報・データを収集し、リスクの評価及び計画、並びに計画の優先順位付けを行っている。

(5) 経済省 (MoE)

MoE はエネルギー・鉱物資源セクターと国家検査局を有している。エネルギー・鉱物資源セクターは政策、法令、鉱山及び探鉱活動の監査を行っている。セクターと検査局の検査官は鉱山活動及び鉱物資源法の遵守を監視している。監視には廃さい堆積場、鉱山排水及び荒廃した土地の改善を含んでいる。

(6) 分析所・研究所

分析及び研究の組織は、環境管理及び土壌汚染管理を補助する重要な役割を有する。マケドニア国では多くの分析所と研究所があり、その多くは土壌汚染管理に関する研究及び分析の能力を有しスコピエ大学(St. Cyril and Methodius University, Skopje)の附属施設である。。

主な分析所と研究所を以下に示す。

分析所・研究所	所管団体	場所
農業研究所	スコピエ大学	スコピエ
中央環境分析所	MEPP	スコピエ
化学研究所	スコピエ大学	スコピエ
鉱山地質学部	スコピエ大学	シュティープ
保健保護研究所	MoH	ベレス
水文気象研究所	MAFWE	スコピエ
科学アカデミー	—	スコピエ

3. 5 個人レベルにおけるキャパシティ

個人レベルのキャパシティは、土壌汚染管理に関連する人的資源、技術、既存の調査及び研究を通して評価した。個人レベルの CD の対象は、以下の組織・団体の個人を対象として実施する。

- ・土壌汚染管理に関係する行政組織
- ・土壌汚染調査及び対策工事企業
- ・分析所及び土質試験所
- ・有害物質を使用する事業所（土壌汚染調査サイト）

土壌汚染管理の経験や能力を持つ人材はいるものの、たとえば土壌汚染管理の計画や法令に準拠して計画を実施する能力が低いなどの課題が存在する。MAFWEとMEPPのメンバーは、JICAによるトレーニングや本邦研修を通してトレーニング及びCDを進めている。しかし、組織・企業としての土壌汚染管理能力は低いので、その認識を高めることで自発的な改善意欲を促し、それにより組織・企業の土壌汚染管理能力が高まり、将来の土壌汚染防止に寄与できるものと考えられる。

3. 6 本調査におけるキャパシティ・ディベロップメント

(1) 目的

土壤汚染管理を所管する組織は、その機能と責任を果たすための技術及び人的資源を確保する必要がある。そこで、本調査において CD を推進することにより、M/P の実施のための技術及び人的資源がマケドニア国内で得られ、更に持続可能な土壤汚染管理に寄与することになる。

今回の CD では、野外調査・分析技術、データ管理、戦略的計画及び実施、モニタリングの実施、コミュニケーション及び認識向上等を対象としている。

(2) 内容

CD は、研修等を通じた学習及び実践的な OJT の両者を組み合わせて実施し、トレーニング機材、手順及び指導手引書及びマニュアル等を有効に利用した。

学習は、C/P 会議、アクション・プラン (A/P) 及び M/P に伴うワーキンググループ、セミナー、ワークショップを開催する事により実施した。OJT は、P/P 実施中、M/P、並びにアクション・プラン策定の過程で実施した。P/P 実施中の OJT は、土壤、地下水等の試料採取法、分析結果の評価、汚染対策の考え方などを含み、M/P 及び A/P 策定過程での OJT はワーキンググループによる土壤汚染管理計画の策定法の実習である。

a. 第 1 年次 (2005 年度)

第 1 年次における CD は、P/P における調査組織の確立、調査内容の検討、基礎調査を通して実施した。これに伴い、ワークショップを 1 回、テクニカルミーティングを 2 回、ステアリングコミッティーを 2 回実施した。

b. 第 2 年次 (2006 年度)

P/P 調査における中央政府機関及び地方機関における CD は重要で、将来において土壤汚染調査の実施の必要性がマケドニアで発生した場合、マケドニア国内でこれに対処できるようにする事が期待される。

P/P の実施に伴い、調査の計画及び管理、土壤汚染調査、化学分析、調査結果の解析及び評価、リスクアセスメント、リスクコミュニケーション等の CD を行った。これらに伴い、ワークショップを 2 回、テクニカルミーティングを 5 回、ステアリングコミッティーを 1 回実施した。

c. 第 3 年次 (2007 年度)

第 3 年次は、M/P の策定、アクション・プラン策定及び P/P の追加調査を通じて、CD を行った。M/P は、ワーキンググループを 6 回実施し、C/P と議論する事により策定作業を実施した。アクション・プランの策定にあたってはワーキンググループを 5 回実施し、P/P の調査結果における対処法を検討した。P/P の追加調査については、地下水調査及び穀物調査を通して、調査法、リスクアセスメント、リスクコミュニケーションにおける CD を実施した。これらに伴いセミナー 1 回、ステアリングコミッティーを 3 回実施した。

第 II 部

パイロット・プロジェクト

第4章 パイロット・プロジェクト (P/P)

4. 1 パイロット・プロジェクトの目的

P/P の目的は、P/P 地域の土壌汚染の状況の把握と行政官庁及び地方組織の土壌汚染の管理に対する CD を支援することにある。P/P 調査の結果は、マケドニア国の他の同様な鉱山地域の状況把握の事例として有効に活用されることが期待される。

4. 2 パイロット・プロジェクトの内容

表 4 に示すとおり、P/P 地域では (1) 概要調査、(2) 詳細調査 (3) 追加調査を実施し、得られた結果について解析作業を行った。

4. 3 パイロット・プロジェクトのフロー

P/P は図 3 に示すフローチャートにしたがって実施した。調査の概要を以下に示す。

- (1) 概要調査：概要調査での表層土壌調査は、重金属濃度の状況、成因及び P/P 地域の土壌汚染機構を把握するために、絞込み調査として 400m から 200m への異なったグリッド調査を行った。更に、概要調査の間に河川底質堆積物調査、表流水調査、廃さい調査、地下水調査及び穀物調査（小麦及びトウモロコシ）を実施した。
- (2) 詳細調査：詳細調査として、100m 及び 50m グリッド調査、深部ボーリング調査及び穀物調査（米）を実施した。
- (3) 追加調査：地下水及び表流水調査、穀物調査（農業森林水経済省が実施。）
- (4) 解析作業：P/P 地域の土壌、河川底質、表流水及び穀物中の重金属濃度の状況及び分布を把握するため、全ての P/P 調査の結果をまとめて解析し、更に P/P 地域の重金属類の濃集機構を考察した。

表4 パイロット・プロジェクトの完了業務

調査段階	調査項目	調査数量			単位	備考
		調査グリッド数	合計			
		含有量分析	溶出分析 *1			
フェーズ1	廃さい(堆積場)等	20	20	40	件	廃さい、鉍化帯等
	バックグラウンド調査	20	20	40	件	P/P 地域外：24 成分
フェーズ2	表層土壌	679	141	820	件	段階-1 調査：10 成分*2
	河川底質	536	54	590	件	段階-2 調査(段階-1 調査範囲の20%)
	表流水	-	-	6	件	キセリツアア川、ズレトフスカ川
	地下水	-	-	6	件	キセリツアア川、ズレトフスカ川
	ボーリング	-	-	12	孔	キセリツアア川、ズレトフスカ川：合計 135m
	化学分析	-	-	72	件	化学分析：6 回 × 12 箇所
	ボーリング	-	-	2	孔	旧廃さい堆積場：40m、新廃さい堆積場：28m
	化学分析	36	36	72	件	旧及び新廃さい堆積場
	地下水	2	-	2	件	旧及び新廃さい堆積場
	表層土壌	800	80	880	件	段階-3 調査
詳細調査	100mグリッド調査	288	29	317	件	段階-3 調査
	ボーリング	-	-	50	孔	深度 5m/孔：240.5m
	土壌及び堆積物	400	40	440	件	8 試料/孔
	穀物	-	-	104	件	小麦 (84)、トウモロコシ (16)、米 (4)
	地下水及び 表流水	-	-	95	件	井戸：95 箇所
フェーズ3 追加調査	河川水	-	-	31	件	河川及び湧水：36 箇所
	穀物及び土壌 *3	-	-	(32)	件	小麦：32 試料
	土壌	(32)	(32)	(64)	件	小麦採取箇所と同位置

*1：400mグリッド調査以外では含有量分析試料の10%の試料で実施。*2：他のすべての試料も10成分で実施。

*3：穀物及び土壌調査は、農業森林水経済省で実施した。

第5章 パイロット・プロジェクトの調査結果

5.1 パイロット・プロジェクト地域の現状

パイロット・プロジェクト (P/P) の調査対象地域は 201.5km² にわたり、プロビシュティープ市はズレトヴィツァ盆地の中心に位置する (図 1 及び 2)。本地域において土壌調査を中心とする環境調査を実施した。

(1) 地形

P/P 地域の地形は、山地、丘陵、段丘、緩く起伏をなす平坦地及び沖積地に区分される。山地は本地域の北部に見られ、標高 700~1,000m までの地域で、やや急峻な山岳地形を成す。山地から連続して丘陵地形が南部に向かって分布する。ズレトフスカ川西部において、これらの丘陵地は、北西-南東の方向性を持つ 4 列の丘陵が見られ、地質の分布構造を反映したケスタ地形をなす。これらの丘陵地は、その周りに緩く起伏をなす平坦地と約 100m の高度差を示す。

河岸段丘は、上位、中位及び下位の 3 段が識別される。上位段丘は丘陵地形の上面に見られ、北部では標高 500m 程度の平坦面を形成し、南部での平坦面は標高 400m 程度である。中位段丘は北東部及びズレトフスカ川東岸のみに見られ、標高 470~480m 程度の平坦面を成す。下位段丘はズレトフスカ川に沿って 200m から 1.5km の幅で分布し、北部では標高 450m で、南部に向けて高度が 320m まで徐々に下がっており、沖積河床面より 2~4m 程度高い平坦面を形成している。

(2) 地質

P/P 地域は、クラトボ-ズレトボ火山岩帯に属し、新第三紀を中心とする火山岩類が広く分布する。火山岩類は、新第三紀の中新世、鮮新世及び第四紀の更新世の安山岩質及び石英安山岩質の溶岩及び火山砕屑岩類から成る。火山砕屑岩類は火山角礫岩、凝灰岩で、これらは斑岩等の貫入岩や溶岩と共に複雑に分布する。

P/P 地域の北東部に位置するズレトボ鉱山を含む地域は、主に中新世の石英安山岩質の凝灰岩及び凝灰角礫岩からなりイグニンプライトとされている。これらに石英安山岩質の溶岩が伴い、さらに斑岩及び脈岩が貫入する。

本地域北東部から南部全域にかけての地域では、第三紀始新世、中新世、鮮新世及び第四紀更新世の安山岩質及び石英安山岩質の火山砕屑岩類及び堆積岩類が広く分布し、北西-南東方向の等斜構造を有している。これらの岩石を覆って、鮮新世の安山岩質溶岩が分布する。これらの第三紀から第四紀にかけての火山岩類及び堆積岩類は、走向が北西-南東に配列し、地形的にも北西-南東方向に配列した丘陵地を形成する。

(3) 水文

P/P 地域は、ズレトフスカ川流域に属する。ズレトフスカ川は、ブルガリア国との国境付近から端を發し、P/P 地域東~中央部を南北に縦断し、ブレガルニツァ川に合流する (図 5)。P/P 地域の主要な河川は、ズレトフスカ川、このズレトフスカ川へ西方から流入するコリト

ニツァ川、キセリツァ川及びベロツィツァ川である。

コリトニツァ川上流にはズレトボ鉱山が存在し、キセリツァ川の支流には、廃さい堆積場が存在する。ズレトフスカ川へ東方から流入する河川は、小河川のみである。ズレトヴィツァ水利用改善事業における灌漑予定地域は、ズレトフスカ川、キセリツァ川及びベロツィツァ川の流域である。

(4) 土地利用及び植生

P/P 地域の北部の山岳地帯は、広葉樹林及び灌木地である (図 6)。山岳地～丘陵地では牧草が植えられ、羊及び一部で牛の放牧地として利用されている。

ブドウ畑及び果樹園は、山地と丘陵部の境界、あるいは丘陵地と平坦地の境界の地形変換部周辺に分布している。果樹園では主にりんご及びなしが栽培され、その他にサワーチェリー、プラム及びクルミが栽培されている。耕作地の一部は丘陵地に及んでいるが、丘陵は灌木域を成すか牧草地として放牧に利用されている。

丘陵地の一部及び丘陵地に挟まれた平坦地には広く農耕地が見られ、ほとんどが麦の耕作に利用されている。南西部の地域の一部では過去に小麦の耕作を行っていたが、現在は休耕中で、今後、灌漑等条件が整えば耕作を開始する予定がある。ズレトフスカ川沿岸の低段丘を成す地域では、かつて広く米作が行われていた地域であるが、現在の米価格低迷に伴い、トウモロコシや麦が耕作されている。ここでは以前の水田の面影をしのばせる畦が各農耕地の区画の境界として認められ、それぞれの区画内の農作物はその年により一定していないようである。

(5) プロビシュティープ市の農業

プロビシュティープ市にとって農業は、現在極めて重要な産業である。さらに、プロビシュティープ市の気候は、農耕、特に麦の耕作に適している。表 5 は、2005 年におけるプロビシュティープ市の農業生産を示す。農業生産物のほとんどが、小麦と大麦でそれ以外では野菜や果実が栽培されている。

表 5 2005 年度におけるプロビシュティープ市の農産物

農産物	栽培面積 (ha)	1ha 当りの生産量 (kg/ha)	生産量 (kg)
小麦	2,700	3,000	8,100,000
大麦	1,300	2,900	3,770,000
トウモロコシ	380	2,000	760,000
その他の穀物	50	2,500	125,000
ジャガイモ	80	10,000	800,000
豆	50	1,000	50,000
スイカ	40	8,000	320,000
その他の園芸作物	110	-	150,000
その他の麦	100	1,000	100,000

出典: Agro-economical aspects of agriculture in Probistip Municipality (2006).

(6) 水利用

プロビシュティープ市及びその周辺の村での主な飲料水は、ラトビツァにある揚水場の35本の井戸（深さ7～9.5m）から汲み上げられた地下水を利用している。揚水場から汲み上げられた地下水は、プロビシュティープ市の近くのタンクに貯水され、塩素処理を施しプロビシュティープ市街地と周辺の多くの村（ネオカジ、ペトルシノ、プレシンツィ及びマリシノ）、ドブレボ及びドルニストゥボルに供給されている。これらの村の幾つかは廃さい堆積場の下流側に位置しているが、ラトビツァからの上水が供給されている。

この水の供給が得られないP/P地域西部や南西部の村では、個人で所有する井戸の地下水及び湧水を使用している。個人で所有する井戸の深度は、全般的に深度4m～12mである。例えば、ラトビツァでは、井戸の深さは7～12mであるが、トリパタンツィでは4～5mの共同井戸を使用している。

(7) 灌漑

灌漑はプロビシュティープ地域の農業活動にとって重要な問題であり、ズレトビツァ多目的水利用ダムの建設は、プロビシュティープ市の農業生産を改善する機会をもたらすことになる。

ズレトフスカ川沿いの農地を除き、多数の小規模農場及び自給の穀物や野菜を栽培する農家の主な灌漑用水は個人の井戸から汲み上げる地下水によって賄われている。

(8) 社会経済状況

小規模な農業に従事する村落に取り囲まれているプロビシュティープ市は、鉱山の閉山及びバッテリー工場の操業縮小後、社会経済的に今後どの様に発展するのか、周辺からも注目を集めている。329km²の面積に約16,200人の人口が暮らしている。同市の市街地の人口は、約10,800人である。

プロビシュティープ市は、1950年代からバッテリー工場と共に、ズレトボ鉛-亜鉛鉱山の開発で経済的に躍進し、インフラの整備と人口拡大によりマケドニア国で経済的に最も強い町として発展した。しかし、1970年代に入り鉱物資源の需要が落ち込むと同時に経済危機に直面し、マケドニア国が独立した後も危機を脱したとは言い難い。

本地域には多くの小さな村が存在するが、多くは給水、電気、その他に関して近代的なインフラの不足をきたしている。農業は、近年のプロビシュティープ市での最も重要な産業である。小麦を中心にトウモロコシ、米、多数の果物及びタバコを栽培し、また家畜の飼育が行われている。

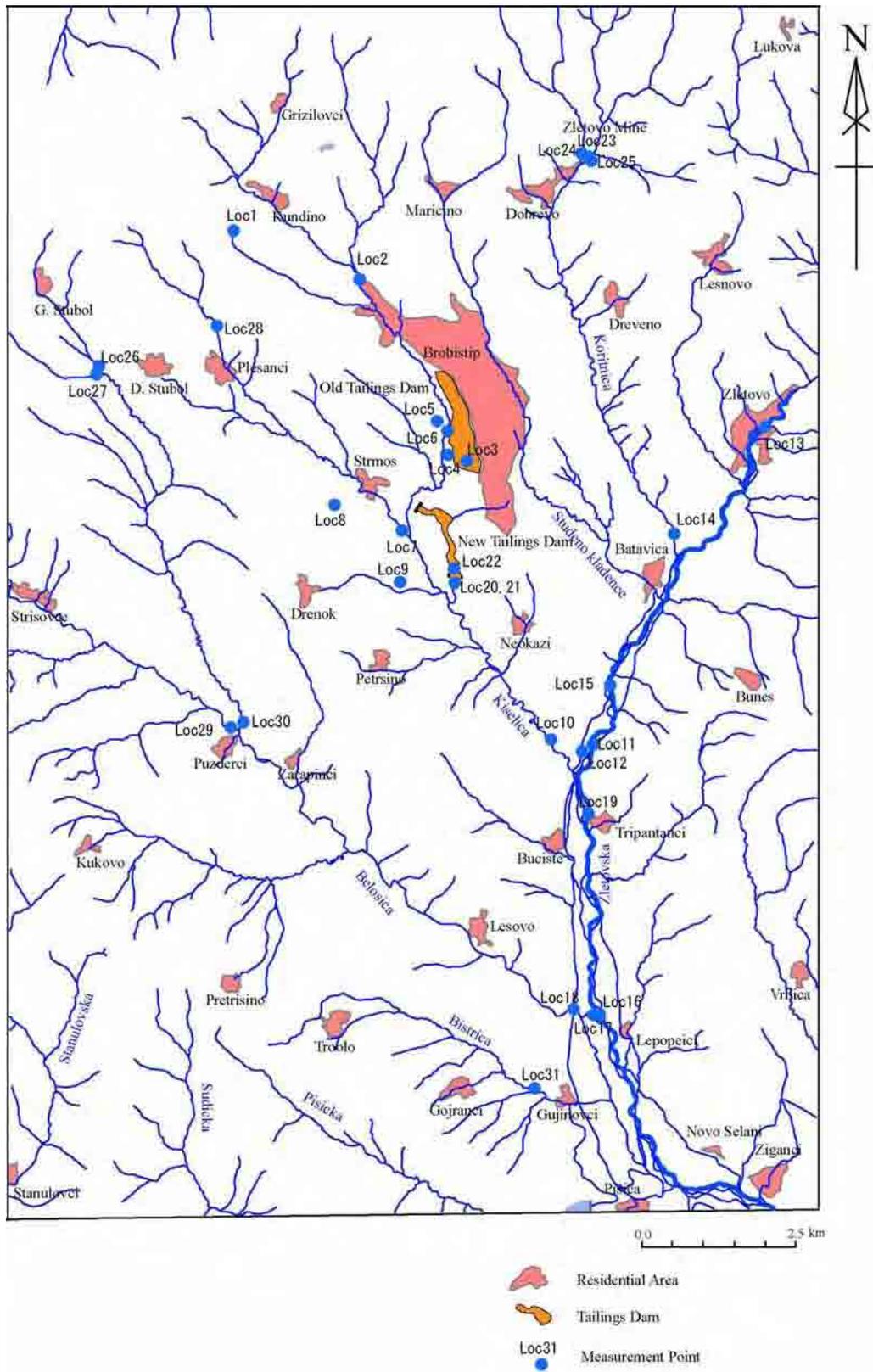


図5 パイロット・プロジェクト地域における水系

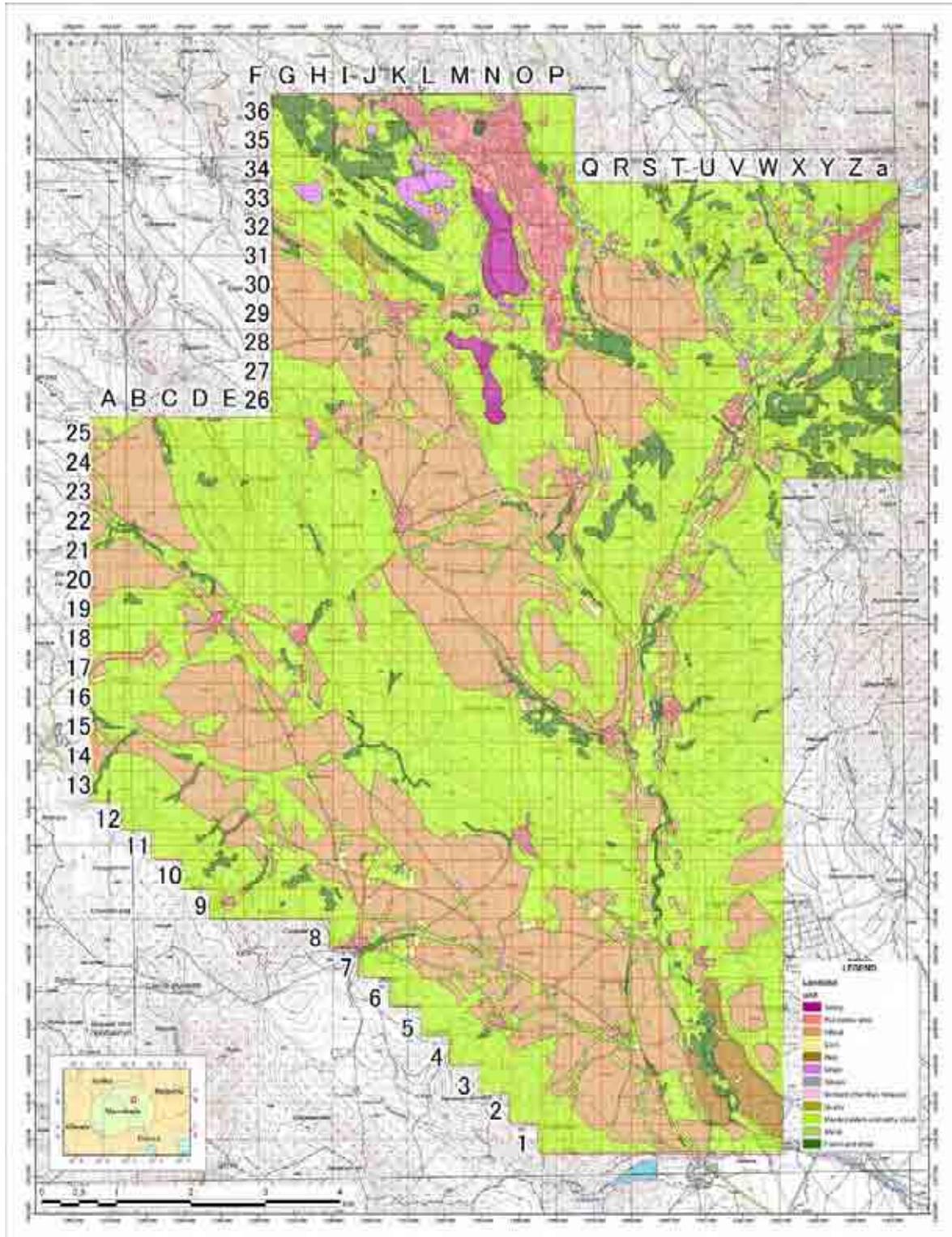


図6 パイロット・プロジェクト地域の
土地利用、耕作物及び居住地の分布図

5. 2 廃さい堆積場と流出事故

(1) ズレトボ鉱山

ズレトボ鉱山はP/P地域の北東部、山岳地帯に位置し、ズレトボの5km北西、プロビシュティープ市から3.5km北東方に存在する(図2)。鉱山は、坑道採掘により主に鉛と亜鉛を産出している。主要な鉱山施設は鉱山サイトに坑道及び鉱山事務所が存在し、鉱山と選鉱場(プロビシュティープ市内)の間を結ぶ鉱石の輸送のためのトンネル、選鉱場及びプロビシュティープ市の市街地に隣接した廃さい堆積場からなる。

(2) ズレトボ鉱山の歴史

ズレトボ鉱山に係る主要な出来事及び生産量を表6にまとめる。ズレトボ地域(プロビシュティープ市)での最初の鉱山活動は、ローマ時代以前から記録されており、ローマ時代以後も鉱山活動の形跡は残されている。

第二次世界大戦後の1945年に通常生産が再開された。その時点でのプロビシュティープ市の人口は500人となり、更に1952年にプロビシュティープ市は自治体となった。

ズレトボ鉱山は、1945年の生産再開から1988年まで合計12,623,859tの鉱石が採掘され、968,276tの鉛と338,236tの亜鉛が生産された。1971年と1972年に新たな施設と鉱石の輸送のためのトンネルを含む設備が整い、これにより280,000t(1968年)から470,000t(1978年)へ年間生産高の増加となった。

1990年代のマケドニア国の経済は、旧ユーゴスラビア市場の崩壊と民族紛争によって衰退し、2000年以後の鉛-亜鉛鉱山と関連工業は、環境問題に伴う閉鎖、原料不足及び財政難に直面した。更に、政府は2003年3月にズレトボ製錬所(ベレス)を閉鎖した。

その後、INDO Minerals and Metals社(インド国)がズレトボ鉱山を買収し、2006年に鉱山と選鉱施設を再開させた。

(3) ズレトボ鉱山の廃さい堆積場

a. 1928年～1944年の旧廃さい堆積場(TD-I)

TD-Iダムは内盛式のフラットタイプのダムで、廃さいの量は約150,000m³である(表7)。旧廃さい堆積場は、現在2つのサッカー場(メインピッチ及びサブピッチ)として利用されている。旧廃さい堆積場の廃さいは、未だ高濃度の鉛、亜鉛、カドミウム、銅及びマンガンを含有している。

b. 1945～1970年代の旧廃さい堆積場(TD-II、III、IV)

廃さい堆積場TD-IIとIIIは、キセリツァ川に沿った左岸側で新たに造られ、プロビシュティープ市南西部に一部隣接している。これらの堆積場は、フラットタイプの内盛式のダムで、廃さい堆積場TD-IIとIIIの廃さい量は、ほぼ100,000m³と750,000m³である。

1976年に廃さい堆積場TD-IVの崩壊が発生し(図7)、290,000m³の廃さい堆積物がキセリツァ川とズレトフスカ川に流出した。廃さい堆積場TD-IVの修復は、新たな廃さいを積み上

表6 ズレトボ鉱山の歴史

年	歴史
ローマ時代	鉱石採掘跡：坑道、ずり等
1926	パシック家（セルビア人）がクラトボ-ズレトボ鉱山のオーナーとなった。
1928	英国の鉱山会社がズレトボ鉱山を買収。
1929 - 1934	鉱山敷地内での探査を実施。
1938	新会社が鉱山採掘のため設立された。
1935 - 1941	採掘及び選鉱の鉱山施設が建設された。
1941 - 1944	鉱山がドイツ軍に接収された。
1945 - 1952	鉱山は 1945 年に再開された。年採掘量は原鉱で 1949 年に 20,205t、1952 年に 203,235t であった。
1953 - 1968	年採掘量は原鉱で 200,000t ~280,000t であった。
1971 - 1972	新しい鉱山設備が設置された。
1973 - 1976	旧廃さい堆積場の崩壊事故。流出量は 290,000m ³ (150,000t) と推定。
1976 - 1986	崩壊した堆積場の修復及び堆積場 TD-V の設置。
1987 - 2003	新廃さい堆積場は、1987 年以降に堆積が開始された。
2003	鉱山閉鎖。
2006 -	INDO Minerals and Metals 社によるズレトボ鉱山の再開。

げ、更に廃さい堆積場 TD-V に廃さいを積み上げることにより行われた。しかし、下流域のキセリツァ川とズレトフスカ川流域では、土壌や表流水の汚染に対する対策は実施されていない。

c. 1976～1986年における旧廃さい堆積場（TD-V）

1976～1986 年には崩壊した廃さい堆積場 TD-IV の修復が実施され、廃さいは廃さい堆積場 TD-V に廃棄された。鉱山の粗鉱の年間生産量は、1978 年に 470,000t に達した。

現在、廃さい堆積場 TD-IV と V は、東側の道路に沿った部分が土壌及び一般廃棄物により 1～2.5m で被覆されており、それ以外の廃さい堆積場の地表面は裸地の状態である。

d. 1987 年以降の新廃さい堆積場

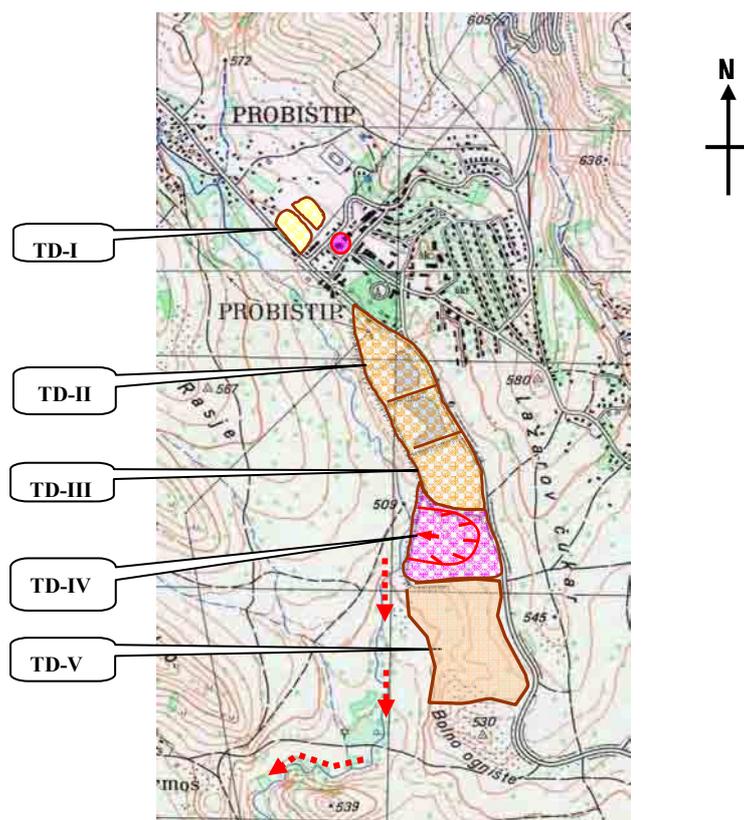
新廃さい堆積場は、キセリツァ川の下流側に造られた。図 7 で示すように旧廃さい堆積場の南に 1.5km のところに位置し、1987 年に廃さいの堆積を開始した。新廃さい堆積場はフラットタイプの内盛式の堆積場である。

(4) 廃さい流出事故とその影響

一番大きな廃さいの決壊事故は 1976 年に発生し、多量の廃さいがキセリツァ川の谷に沿って流出し、河川に沿って流出する状況が記録に残っている。崩壊の結果として、人間の死亡事故はなかったが、何頭かの家畜（牛等）が失われた。

崩壊後の河川域の廃さいの堆積状況はそれぞれの地点によって異なり、これは谷の幅が影響している。トリパタンツィ（プロビシュティープ市の南 8km の谷）の廃さいの厚さは 2～3m、P/P 地域南端のピシツァ（プロビシュティープ市の南 14km）では 15cm に達した。ズレトフスカ川流域では、農作物への影響を蒙った地点もある。

ピシツァでは 3 年間にわたって作物の耕作ができず収穫量が激減した。事故の後、地域住民は汚染地から家畜を移動するよう指示された。



(Referenced from Topographic map produced by Cardinal Authority, 1971)

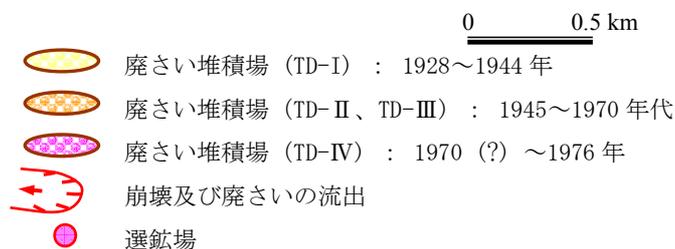


図7 1928～1973年における廃さい堆積場の推移

表7 プロビシュティープ市の廃さい堆積場

廃さい堆積場 (TD)	位置	堆積形態	堆積量 (m ³)	備考
TD-I	選鉱場の北西部	フラット*1/ 内盛式*2	150,000	サッカー場として使用
TD-II	キセリツァ川沿い左岸	フラット/内盛式	100,000	
TD-III	キセリツァ川沿い左岸	フラット/内盛式	750,000	
TD-IV	キセリツァ川沿い左岸	フラット/内盛式	900,000	崩壊
TD-V	キセリツァ川沿い左岸	フラット/内盛式	1,100,000	
新 TD	キセリツァ川下流部	谷*3/内盛式	-	堆積場の使用再開

*1: フラット型の廃さい堆積場 (平坦地に立地し、かん止堤は 2~4 面からなる)

*2: 廃さいの内盛式堆積方法

*3: 谷型の廃さい堆積場 (谷地形に立地)

5. 3 表層土壌調査

表層土壌調査を P/P 地域で実施した。調査目的は、P/P 地域における土壌の重金属類濃度の把握、重金属類の移流・拡散メカニズムの把握及び重金属類の濃度分布状況を評価することである。調査は、以下に示すコンセプトで実施した。

- ・グリッド調査で実施
- ・絞り込み調査（400m、200m、100m 及び 50m グリッド調査）
- ・地質状況及び土地利用状況を考慮した調査

土壌試料採取は 5 地点混合法を採用し、それぞれの試料採取地点では、表層から深度 30cm までの間をチャンネル・サンプリングで採取した。全採取試料に対し含有量分析を実施し、採取試料数の 10% の試料に対し溶出量分析を実施した（表 8）。なお、400m グリッド試料は、追加分析を実施したため、全採取試料数の 21% の試料に対し溶出量分析を実施した。分析試料数を表 9 に示す。分析元素は含有量分析及び溶出量分析共に砒素 (As)、カドミウム (Cd)、コバルト (Co)、クロム (Cr)、銅 (Cu)、水銀 (Hg)、ニッケル (Ni)、鉛 (Pb)、亜鉛 (Zn) 及びマンガン (Mn) の 10 元素で、P/P 地域の汚染状況を考慮し決定した。

なお、各元素名については、今後元素記号で表記する。

表 8 含有量及び溶出量の試料数

グリッド	含有量分析	溶出量分析
400m	679	141
200m	580	58
100m	288	29
50m	800	80
合計	2,347 試料	308 試料

それぞれのグリッド調査の目的は以下のとおりである。

- ・400m グリッド調査：調査地域全域の重金属濃度分布状況の把握
- ・200m グリッド調査：400m グリッドの重金属高濃度帯の絞り込み
(特に主要河川であるキセリツァ川及びズレトフスカ川沿い)
- ・100m グリッド調査：400m 及び 200m グリッド調査結果に基づき、重金属高濃度域の絞り込み（丘陵及び平坦域、主要河川沿い）
- ・50m グリッド調査：上記調査結果に基づき、重金属高濃度域の絞り込み（主要河川沿い及び農耕地）

(1) 400m グリッド調査結果（含有量分析）

P/P 地域の土壌における重金属類の移流・拡散状況及び化学的特性を把握するため、最初に 400m グリッド調査を実施し、400m グリッド調査の結果に基づきターゲットを絞りこむ目的で随時 200m、100m、50m グリッド調査を実施した。従って、400m グリッド調査は、P/P 全

地域にわたって実施したが、400m グリッド調査以外は P/P 地域内の特定の地域の調査である。従って、400m グリッド調査結果に基づき、P/P 地域全体の土壌の化学的性質を把握し、それによって全てのグリッド調査結果を解析し、P/P 地域の土壌汚染状況を把握した。

400m グリッド調査結果を用いてコンピューターを使用し、分析値を対数に変換して統計解析を行った。最大値、最小値、平均値（幾何学平均）、標準偏差等の基本統計量及び、EDA 法（Exploration Data Analysis by Kurzl, 1988）によるメディアン値、アッパーウィスカー、アッパーフェンス等を表 9 に示す。

P/P 地域における 400m グリッド調査結果の平均値（バックグラウンド値）を参考値（Bowen（1979）の平均土壌、オランダの土壌バックグラウンド値）と比較して表 10 に示す。Bowen（1979）の平均土壌を世界的な土壌の平均値と見なし、P/P 地域の土壌のバックグラウンド値とこの値を比較すると、P/P 地域では平均土壌に比べて As、Co、Pb、Zn 及び Mn が高く、Cr 及び Ni は低い。一方、P/P 地域の土壌の Cd 及び Cu は、Bowen（1979）の平均土壌と類似した値を示す。

表 9 400m グリッド試料の統計値

重金属類	679 試料									
	As mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg
検出限界以下(%)	0.9	45.5	-	-	-	99.7	0.1	-	-	-
最大値	740	46	36	420	670	0.23	280	21,000	10,000	58,000
最小値	<1	<0.1	6.0	1.3	6.0	<0.1	<1	16	12	220
平均値 (b)*1	16	0.22	19	32	31	0.05	19	82	130	1,300
標準偏差値 (S.D.:log)	0.507	0.707	0.095	0.303	0.277	-	0.375	0.468	0.376	0.281
b + 2 S.D.*2	162	5.78	29.4	131	110	-	108	704	721	4,690
メディアン(EDA*3)	14	0.2	19.1	30.7	27	-	16.1	56.7	95.2	1,130
アッパーウィスカー(EDA)	36.9	1.0	23.1	57	48	-	38.5	120	158	1,490
アッパーフェンス(EDA)	209	51.2	35.3	166	112	-	128	286	276	2,290
しきい値	209	14.8	29	166	112	-	128	286	276	2,290
しきい値以上*4	18	7	7	6	33	-	21	79	88	60

*1: 幾何学的平均値, *2: バックグラウンド値 + 2 × 標準偏差値, *3: EDA Exploration Data Analysis (Kurzl, 1988)

*4: しきい値以上の試料数

表 10 400m グリッド試料のバックグラウンド値

重金属類	As mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg
400m グリッド調査結果の平均値	16	0.22	19	32	31	-	19	81	130	1,300
土壌の平均値*1	6	0.35	8	70	30	0.06	50	35	90	1,000
オランダのバックグラウンド値*2	29	0.8	9	100	36	0.3	35	85	140	-

*1: Bowen (1979): Environmental Chemistry of the Elements

*2: National background concentration of Holland

重金属濃度分布図を作成するにあたり、以下のような重金属濃度を用いて 4 段階の濃度区分を行った。Bowen（1979）の土壌平均値を一般的な土壌の平均値と見なし、濃度区分図のバックグラウンド値として使用した。

- Bowen（1979）の土壌平均値（バックグラウンド値）
- Mean + σ (S.D.)
- アッパーフェンス ないしは Mean + 2 σ (S.D.)（しきい値）

Mean：幾何学的平均値、S.D.：標準偏差値

しきい値は、原則としてアッパーフェンスを採用したが、Cd は検出限界を示す試料が多いこと等から、アッパーフェンスが最大値を超過するためヒストグラム及び累積頻度曲線から決定した。Co は正規性が高いため、Mean + 2σ (S.D.) をしきい値として採用した。アッパーフェンスは、EDA において以下のように定義される値である。

$$\text{アッパーフェンス} = \text{アッパーヒンジ} + 1.5 \times \text{ヒンジ幅}$$

(2) 重金属の濃度分布 (含有量分析)

上記の濃度区分を使用し 400m、200m、100m 及び 50m グリッド調査の結果をまとめて作成した濃度分布図を図 8~17 に示す。重金属は類似した高濃度分布域を示す 3 つのグループに区分される。

- Cd-Cu-Pb-Zn-Mn
- Co-Cr-Ni
- As

Cd、Cu、Pb、Zn 及び Mn は類似した高濃度分布域を示し、プロビシュティープ市街地、廃さい堆積場地域、キセリツァ川流域及びズレトフスカ川下流域と、廃さい堆積ダム決壊事故により廃さいが流出し再堆積したと思われる地域に分布する。それらに加えて、ズレトボ鉱山現場から流出するコリトニツァ川及びズレトフスカ川の上流域にも高濃度分布域が見られる。更に、ズレトボ村近辺の山岳地にも見られる。Co、Cr 及び Ni の高濃度分布域は南西部の麦畑に広く分布する。これ以外では、北西部及び北東部に見られる。As の高濃度分布域はプロビシュティープ市街地、廃さい堆積場地域と Cd、Cu、Pb、Zn 及び Mn の高濃度分布域と重なって見られる。それら以外でも、As の高濃度分布域は単独でプロビシュティープ市の南方のキセリツァ川とズレトフスカ川に挟まれた地域、ズレトフスカ川の上流域に見られる。しかし、キセリツァ川流入後のズレトフスカ川下流域では見られない。

(3) 因子分析 (含有量分析)

200m、100m 及び 50m グリッド調査は、P/P 地域の限られた範囲で試料採取を行ったため、P/P 全地域を反映した化学的特性を示さない。そこで、400m グリッド調査結果のみを用いて因子分析を実施した。因子分析の結果を表 11 及び図 18 に示す。

因子分析の結果、6 個の因子が抽出されたが第 5 因子と第 6 因子は重金属と明らかな関係を示さず、因子寄与率も低い。第 1 因子から第 4 因子までの因子と元素との関係を以下に示す。

- 第 1 因子: Cd-Cu-Pb-Zn-Mn (正)
- 第 2 因子: (Co)-Cr-Ni (負)
- 第 3 因子: As (正)
- 第 4 因子: Co (負)

これらの元素のグループは、類似した高濃度分布域を示す元素のグループである。ズレトボ鉱山は、Zn-Pb 鉱山であることから第 1 因子は P/P 地域の鉱山操業活動に関係し

た因子である。第1因子の高因子得点グリッドの分布は、キセリツァ川からキセリツァ川流入後のズレトフスカ川下流域に見られ、廃さいが流出したと思われる道筋を反映している。コリトニツァ川とキセリツァ川の合流点から上流のズレトフスカ川上流域における第1因子の高得点グリッドの分布をもたらした原因はズレトボ鉱山の現場における操業活動が原因していると思われる。第1因子の高得点グリッドが、ズレトボ村付近に分布するがこれは基盤岩を反映した自然要因と考えられる。すなわち、この地点は、ズレトボ鉱山と類似した、Pb、Zn、Cu 及び As に富む岩石が分布するためと思われる。

P/P 地域南西部の Ni に富む第2因子高因子得点グリッドの分布は、鮮新世の堆積岩 (E3 ユニット) の分布とよく一致し、本地域の土壤に高濃度の Ni、Cr 及び Co をもたらした原因は、本地域の基盤岩と思われる。また、P/P 地域の北東部や北西部に分布する第2因子高得点グリッドの分布も、基盤岩による自然要因と考えられる。

As で特徴付けられる第3因子の高因子得点グリッドの分布は、第1因子高因子得点グリッドと密接に伴う廃さい堆積ダム地域及び単独で分布するプロビシュティープ市南方及び北東部に見られる。前者の廃さい堆積場付近のものは鉱山操業活動に起因したもので、後者の単独で分布するものは自然要因と考えられる。

因子分析で第4因子が抽出されたが、本地域の土壤における Co 濃度の範囲は狭く、Ni 高濃度域にやや高い Co 濃度のグリッドが見られるが、それ以外では濃度の特徴的分布傾向が見られず、本地域の Co の濃度は基盤岩の化学組成を反映したものである。

Arsenic (As)

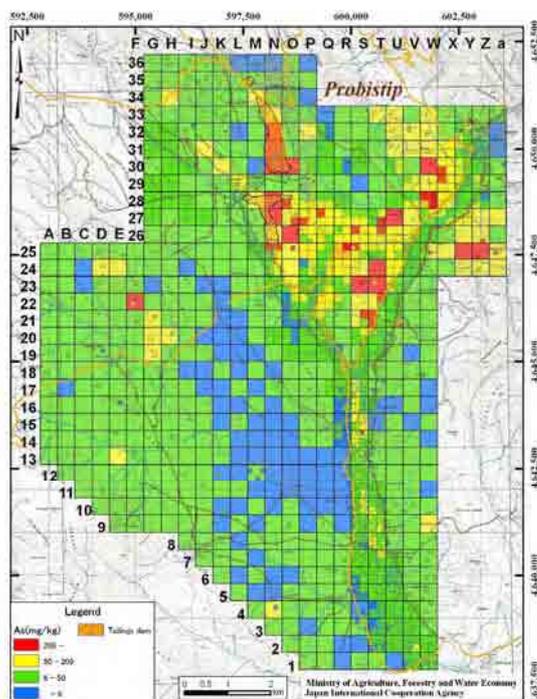


図8 砒素 (As) 濃度分布図

Cadmium (Cd)

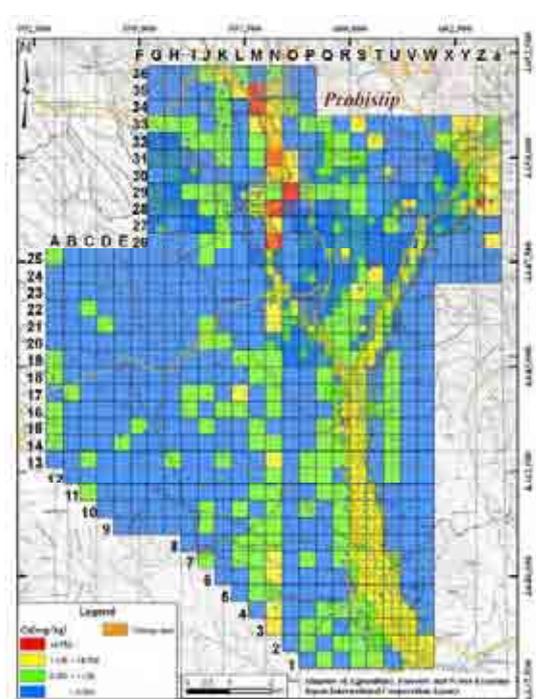


図9 カドミウム (Cd) 濃度分布図

Cobalt (Co)

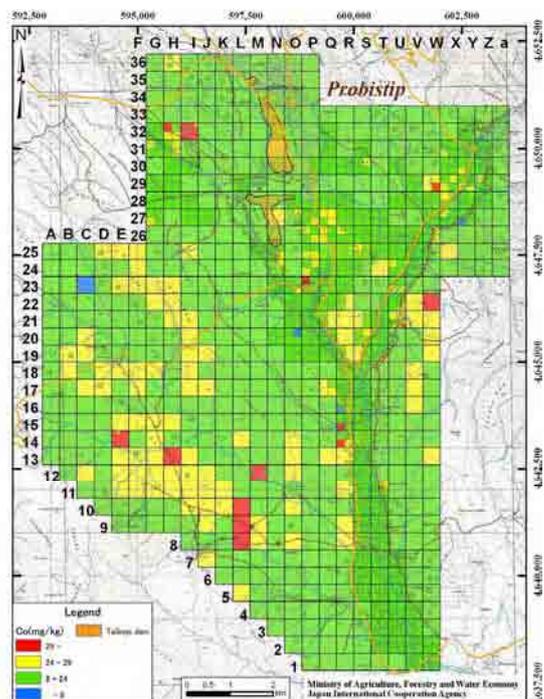


図10 コバルト (Co) 濃度分布図

Chrome (Cr)

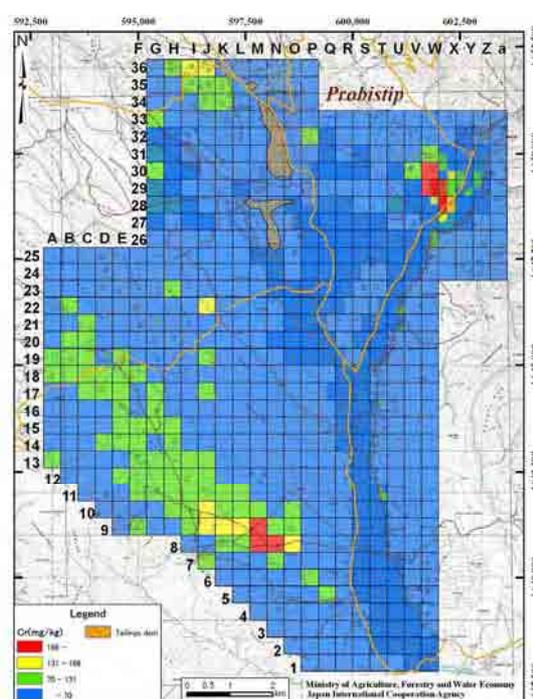


図11 クロム (Cr) 濃度分布図

Copper (Cu)

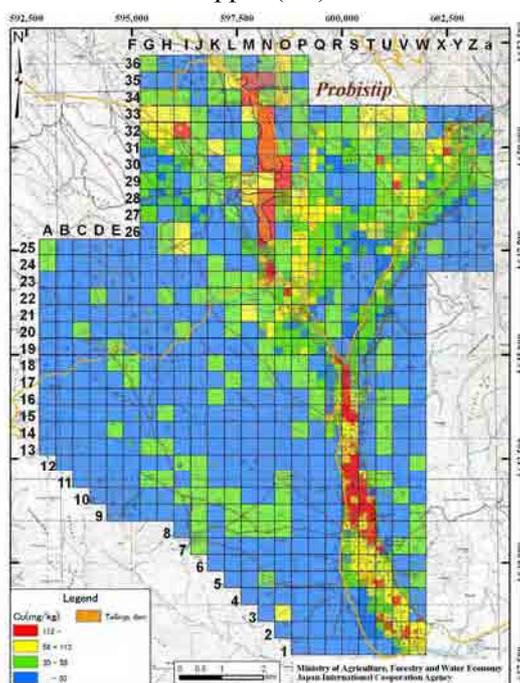


図12 銅 (Cu) 濃度分布図

Mercury (Hg)

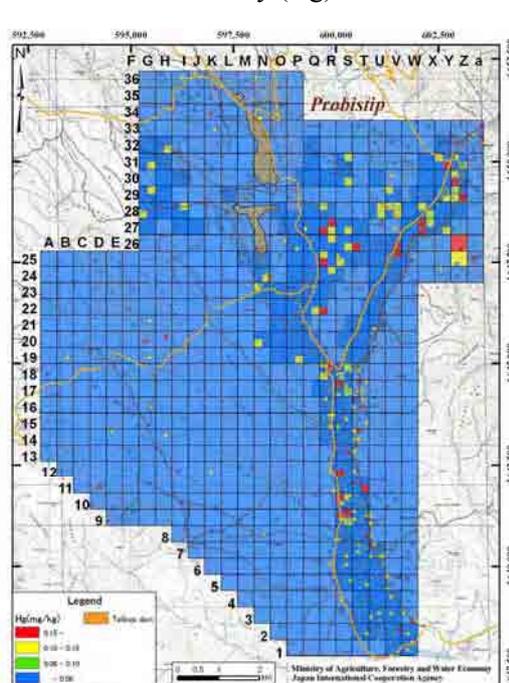


図13 水銀 (Hg) 濃度分布図

Nickel (Ni)

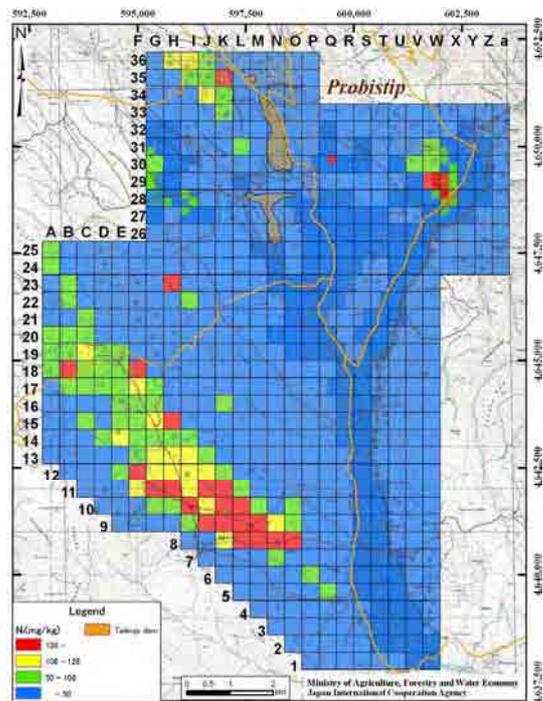


図 14 ニッケル (Ni) 濃度分布図

Lead (Pb)

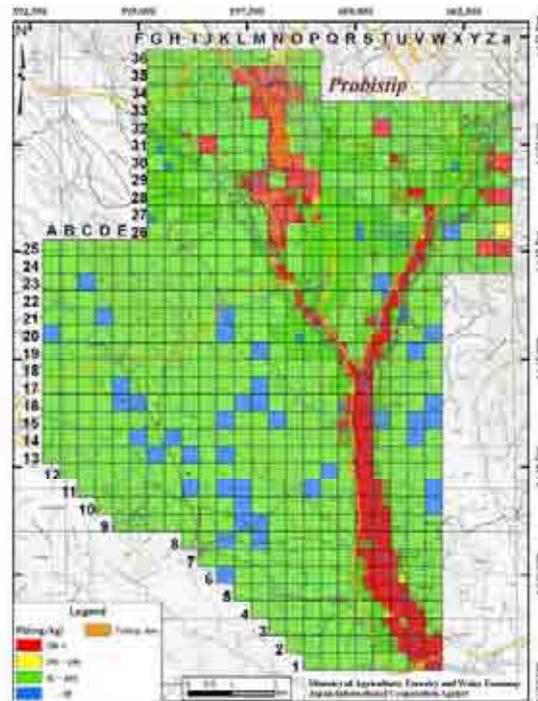


図 15 鉛 (Pb) 濃度分布図

Zinc (Zn)

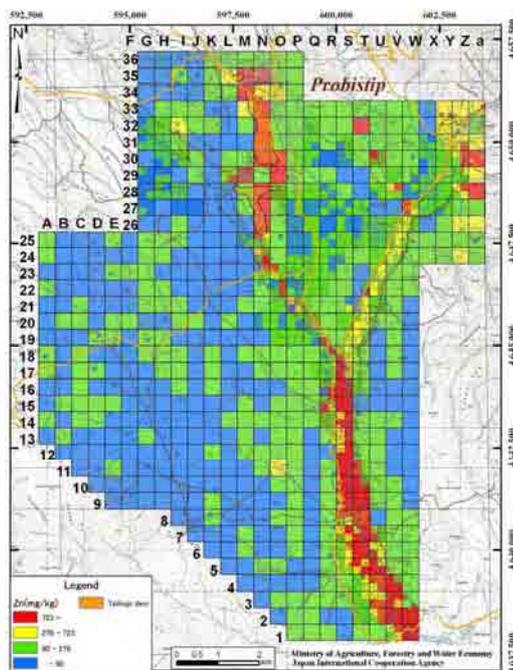


図 16 亜鉛 (Zn) 濃度分布図

Manganese (Mn)

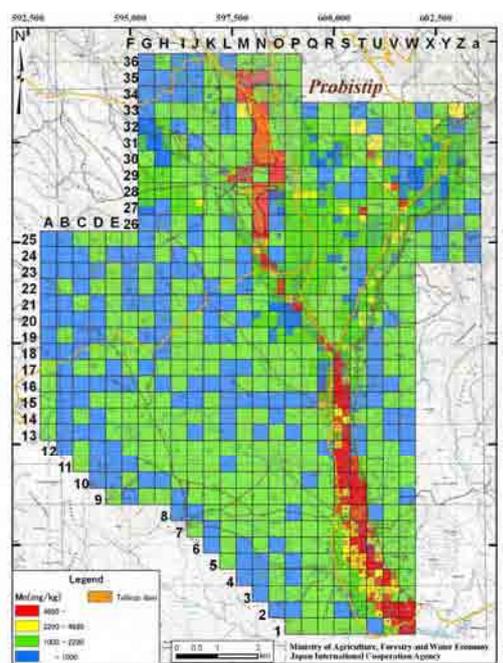


図 17 マンガン (Mn) 濃度分布図

表 11 因子分析結果(400m グリッド試料)

Elements	Factor Loading (Varimax Rotation)						Communi- ality
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	
As	0.215	0.051	0.567	0.023	-0.018	0.000	0.371
Cd	0.876	0.007	0.062	0.054	0.085	0.218	0.829
Co	0.002	-0.428	-0.043	-0.508	0.000	-0.003	0.444
Cr	-0.016	-0.902	-0.046	-0.105	0.099	-0.034	0.837
Cu	0.732	0.071	0.303	0.004	-0.353	-0.021	0.757
Ni	-0.130	-0.892	-0.048	-0.113	-0.084	0.041	0.836
Pb	0.886	0.084	0.302	0.151	-0.001	-0.070	0.910
Zn	0.935	0.090	0.158	0.011	0.031	-0.034	0.910
Mn	0.888	0.046	0.124	-0.179	-0.070	-0.100	0.853
F.C. (%)	57.0	27.1	8.3	5.1	2.3	1.0	-

F.C.: Factor Contribution

(4) 表層土壌調査 (含有量分析)

連続して実施した 400m、200m、100m 及び 50m グリッドによる表層土壌調査により重金属の高濃度分布域が把握でき、これらの高濃度分布域は一連の調査でより絞り込みが行われ、高濃度域と低濃度域の境界が鮮明となった。

類似した高濃度グリッドの分布及び因子分析の結果から密接な関係を持つ重金属のグループが識別された。これらの重金属グループの高濃度化の要因は人為的要因(鉱山操業活動)と自然要因による(表 12 及び図 19)。

表 12 重金属高濃度域の分布と要因

重金属	分布域	要因
Cd-Cu-Pb-Zn-Mn	廃さい堆積場、キセリツァ川及びズレトフスカ川の下流	廃さいの流出 (人為的要因)
	コリトニツァ川 -ズレトフスカ川上流域	ズレトボ鉱山現場の操業活動 (人為的要因)
	P/P 地域北東部	地質的要因 (自然要因)
Co-Cr-Ni	P/P 地域南西部	地質的要因 (自然要因)
	ズレトボ村南方	地質的要因 (自然要因)
As	プロビシュティープ市南方	地質的要因 (自然要因)

(5) 表層土壌調査 (溶出量分析)

溶出量分析を 308 試料で実施した結果、Pb が 150 試料、Zn が 106 試料及び Mn が 255 試料においてマケドニア国の水質基準値を超えた値が得られた。Pb、Zn 及び Mn の高濃度の溶出量を示す試料が、含有量分析結果と同様に廃さい堆積ダム周辺、キセリツァ川及びズレトフスカ川下流域に分布する。水質基準値を超える比較的高い溶出量を示す試料は、キセリツァ川とズレトフスカ川沿いのほかに、P/P 地域の西側を含むほとんどの範囲に分布する。Co、Cr、Cu、Hg 及び Ni の溶出量は低く、水質基準値を超える試料数は各成分でそれぞれ 10 試料以下である。

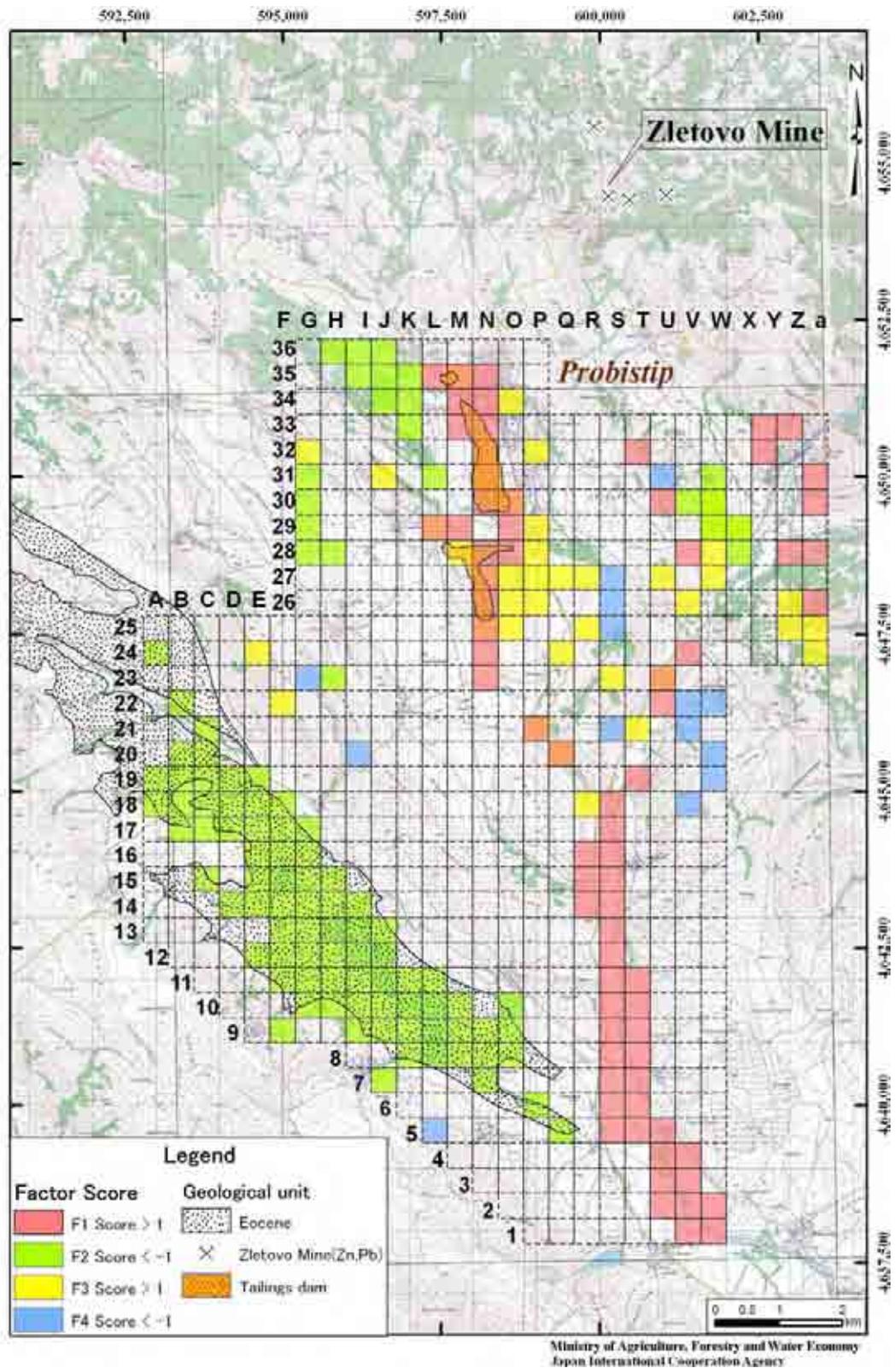


图 18 高因子得点分布图

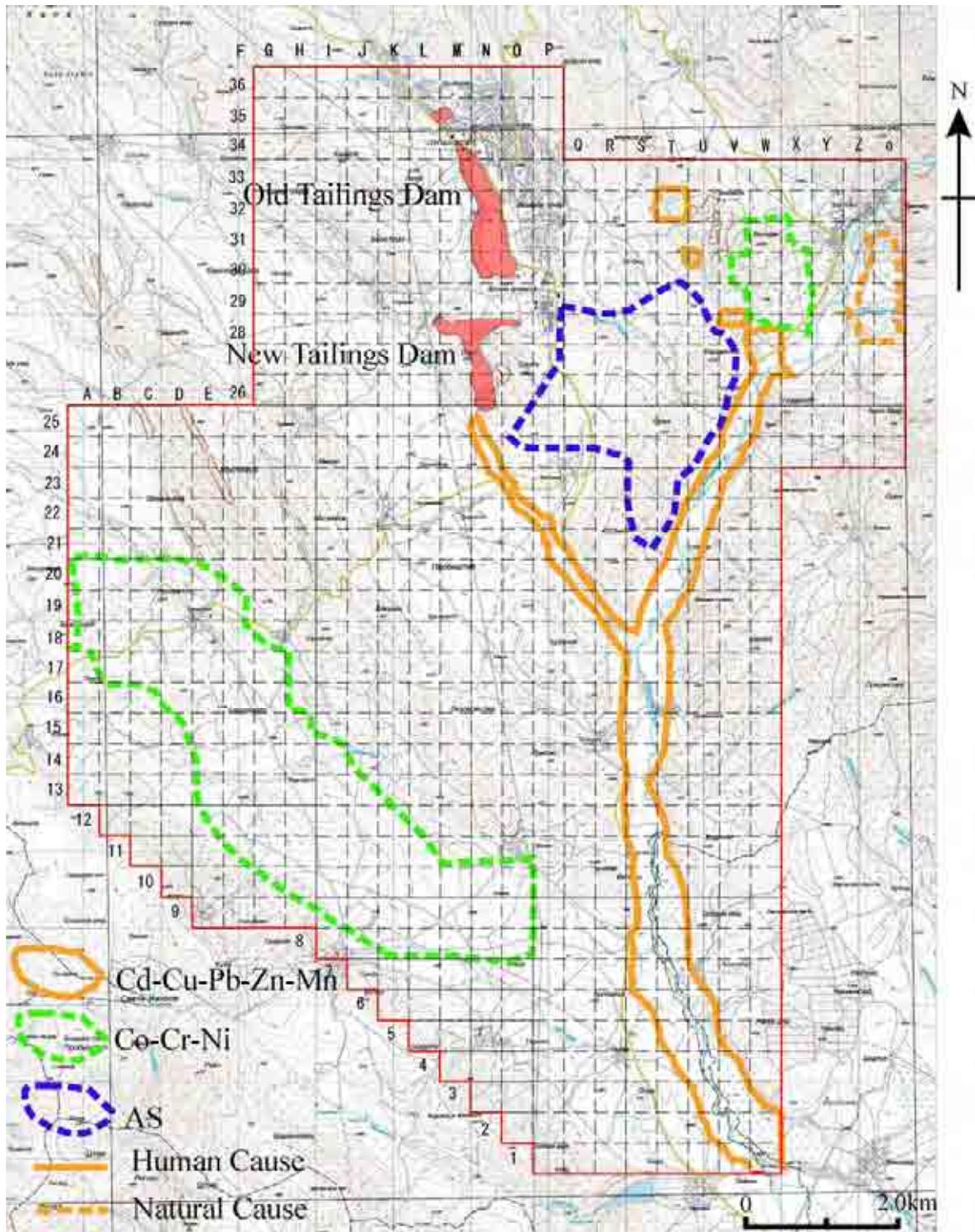


図 19 重金属の高濃度分布域

鉱山操業活動に関連する Cd、Zn 及び Mn のような重金属類の高濃度グリッドの分布は、廃さい流出事故に起因する廃さいが残留しているキセリツァ川とズレトフスカ川沿いに認められる。Cu と Pb の濃度分布はこれらの重金属類と異なっており、高溶出量の試料の分布がキセリツァ川沿いばかりでなく、西側地域にも分布していることから、鉱山操業活動以外にもほかのいくつかの要因が起因していると考えられる。Cr、Ni 及び As の高溶出量試料の分布は含有量分析の高濃度分布域と同様の範囲に分布し、分布する岩石を反映した自然由来に起因していると考えられる。

5. 4 廃さい堆積物調査

廃さい堆積物の特徴を把握するため、新旧 (TD-Ⅲ) それぞれの廃さい堆積場で 1 孔ずつのボーリングを実施した。ボーリング調査で採取した廃さい堆積物の厚さは、それぞれ 23.45m (旧) 及び 27.30m (新) である。廃さいは両堆積場において淡褐色ないしは褐色のシルトないし砂からなる。ボーリングで採取した廃さいは、2m 間隔で試料を採取し、分析を行った。

化学分析の結果、両廃さい堆積場の廃さいは非常に高い濃度の As、Cd、Pb、Zn、Mn で特徴付けられる。新旧廃さい堆積場の比較をすると、旧廃さい堆積場では新廃さい堆積場より Zn が非常に高く、Cu がやや高い。As はその逆を示し、旧廃さい堆積場で新廃さい堆積場よりやや低い。両ボーリング孔で垂直方向の顕著な化学的変化は見られない。

5. 5 土壌のボーリング調査

土壌中の重金属濃度の垂直方向の分布を確認するため及び土壌中の重金属の濃集の要因を確認するため、深度 5m のボーリングを 50 孔実施した。キセリツァ川及びズレトフスカ川を東西方向に横断するように設定した 6 本の断面上で実施したボーリングでは、キセリツァ川下流域及びズレトフスカ川中流～下流では、河川敷において、表層付近に廃さい堆積物が確認され、廃さい堆積物に起因すると思われる Cd、Pb 及び Zn を高濃度に含有する土壌が深度 3～5m にわたって分布する。

キセリツァ川及びズレトフスカ川流域以外の地点で表層土壌における高濃度の Ni-Co 及び As の濃集の要因を確認するためにボーリング調査を実施した。これらのボーリング孔では、Ni、Co 及び As を高濃度に含有する基盤岩が存在し、これらの元素は土壌中で上部に向かって減少する事が確認され、基盤岩が要因となり土壌中にこれらの元素が高濃度に濃集したと考えられる。

5. 6 河床堆積物調査

河床堆積物をズレトフスカ川及びキセリツァ川より 3 試料ずつ計 6 試料採取した。ズレトフスカ川の 3 試料 (BS-01、BS-02 及び BS-03) を分析したところ、Pb (380～510mg/kg) と Zn (800～1,000mg/kg) が類似した値を示し、共に高濃度であった。BS-03 は廃さい堆積場及びバッテリー工場が影響しないキセリツァ川流入地点より上流で採取したが、キセリツァ川流入後の BS-01 及び BS-02 と同様の値を示す。

キセリツァ川の3試料は、ズレトフスカ川への合流地点付近 (BS-04)、廃さい堆積場の下流 (BS-05)、廃さい堆積場の上流 (BS-06) で採取したが、3試料ともに高濃度のAs、Cu、Pb及びZnを示し、3試料のうちこれら元素の最低濃度を示したのはBS-05で、BS-06が最も高濃度であった。従って、ズレトフスカ川への合流地点付近 (BS04) では、廃さい堆積場から流出した廃さいが河床部に分布すると考えられ、上流域の試料 (BS06) が高濃度の重金属を含む点は、この上流域に存在する過去に実施された鉱山活動の影響と思われる。

5. 7 表流水調査

表流水試料は河床堆積物と同地点で、ズレトフスカ川及びキセリツァ川より3試料ずつ計6試料採取した。ズレトフスカ川の3試料 (SW-01、SW-02及びSW-03) の重金属濃度は比較的低く、Mn以外の全ての元素でマケドニア国の水質基準値以下である。一方、キセリツァ川 (SW-04、SW-05及びSW-06) ではZn及びMnが高く、全ての試料でZn及びMnの水質基準値を上回る。最も上流で採取したSW-06では、これらに加えてPbが水質基準値を超える。

キセリツァ川における鉱山活動の表流水への影響は高濃度なCu、Pb、Zn及びMnとして見られ、ズレトフスカ川ではMnが高いのみで、鉱山活動の影響は少ない。

5. 8 観測井と地下水の調査

(1) 観測井調査

ズレトフスカ川に6孔及びキセリツァ川に6孔のモニタリング井を掘削し地下水調査を実施した。地下水の試料採取及び分析を月に1回、2006年8月から2007年1月まで計6回実施した。土壌試料と同様の10元素の分析を実施したが、Pb、Zn、Mnの6ヶ月の平均値はズレトフスカ川及びキセリツァ川の観測井の両者のすべてのモニタリング孔において高く、マケドニア国の水質基準値を超過しており、鉱山活動の影響が原因していると考えられる。特に、ズレトフスカ川のキセリツァ川が流入する地点よりやや下流のBMS03では、Pb、Zn、Mnは最大値を示し、この地点付近に廃さいの二次堆積物が存在する事が起因していると考えられる。

(2) 地下水及び表流水の追加調査

フェーズ2 (2006年度) の調査において地下水と表流水が汚染されていることが判明したため、フェーズ3ではP/P地域の地下水及び表流水の状況を詳しく調査した。採取試料は29の村落の95箇所です井戸/湧水を採取し、表流水は31箇所です採取した。

AAS法による重金属分析結果によれば、村落の井戸/湧水の水質は悪く、ほとんどの試料でAs、Co、Ni及びPbはマケドニア国の飲料水の基準値を超過する (図20)。これらの井戸水/湧水は飲み水として不適當であるにも関わらず、半数以上の井戸/湧水が村落住民の飲料水として使用されているのは住民の健康上重大な問題である。表流水の汚染状況も深刻で、ほとんどの地点で、Ni、Pb及びMnはマケドニア国の水質基準値を超過する。

分析を行った10元素のうち、Cd、Cr、Cu及びHgは低濃度を示しており、マケドニア国の水質基準値や飲料水の基準値を超過するものはなかった。

5. 9 穀物調査

(1) 2006 年度穀物調査

フェーズ 2 において小麦 84 試料、トウモロコシ 16 試料、米 4 試料の計 104 試料を採取し、化学分析を行った (図 20)。平均値においてそれぞれの穀物を比較すると小麦は他の穀物より Cr、Hg、Ni、Zn 及び Mn が高い。特に、Hg 及び Ni は小麦においてトウモロコシ及び米より 3 倍高く、Zn 及び Mn はトウモロコシ及び米より高いが大きな差はない。一方、米は小麦及びトウモロコシより As、Cd、Co 及び Cu が高い。トウモロコシは小麦及び米の中間的な値を示す。

現在、マケドニア国では穀物の重金属濃度の評価に関し以下の規定に示されている値が使われている。

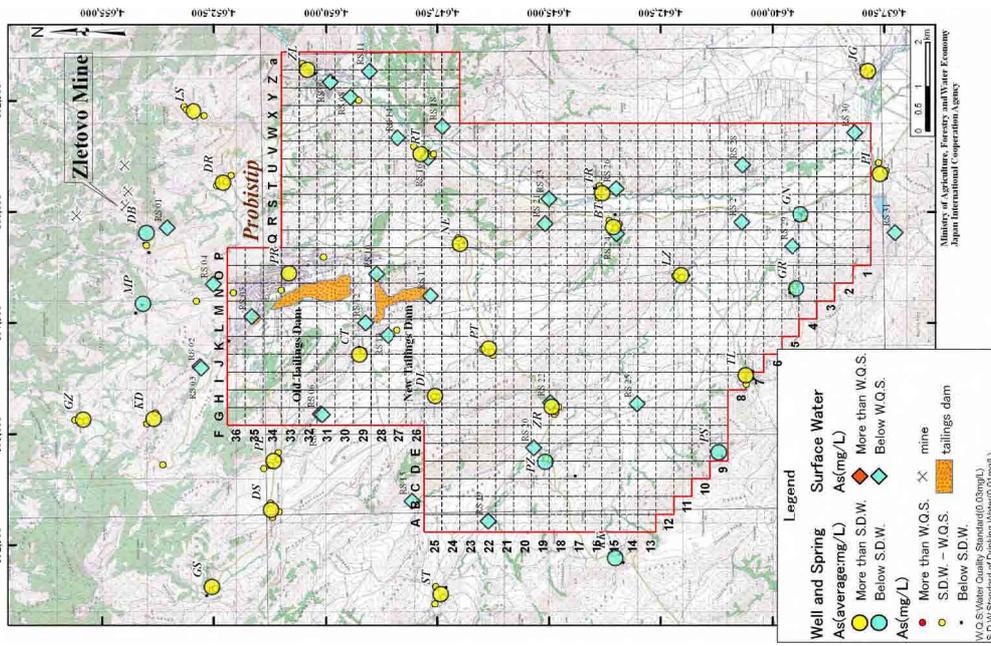
- ① 基準値：食料品中の重金属類の最大値 (マケドニア、2005)
- ② 参考値：食料品中の重金属類の最大許容濃度値 (旧ユーゴスラビア、1992)

穀物調査の結果を評価するため、基準値 Cd (0.2mg/kg) と Pb (0.2mg/kg) 及び参考値 Hg (50 µg/kg) と As (1mg/kg) を使用した。

基準値及び参考値と今回の分析値を比較すると、全ての試料において Cd、As 及び Hg が①の基準値及び②の参考値を超過する試料は存在しないが、Pb は小麦の 30 試料 (全試料中 36%)、トウモロコシの 8 試料、米の 3 試料で、①の Pb 基準値 (0.2mg/kg) を超過する。

Pb の基準値を超過する小麦はキセリツァ川の西方、ペロシツァ川の西方、廃さい堆積場の南西方に分布する (図 11)。これらの Pb 高濃度を示す小麦の生育地点と同じ地点で採取した土壌の Pb 濃度は、含有量及び溶出量ともに特に高くはない。したがって、重金属に富むダストが小麦の Pb 高濃度の原因をなしている可能性がある。Pb の基準値を超過するトウモロコシ及び米はキセリツァ川及びズレットフスカ川から採取したもので、これらの地点は Pb を高濃度に含む土壌及び地下水が分布するため、土壌及び地下水がトウモロコシ及び米の高濃度 Pb の原因となっていると考えられる。

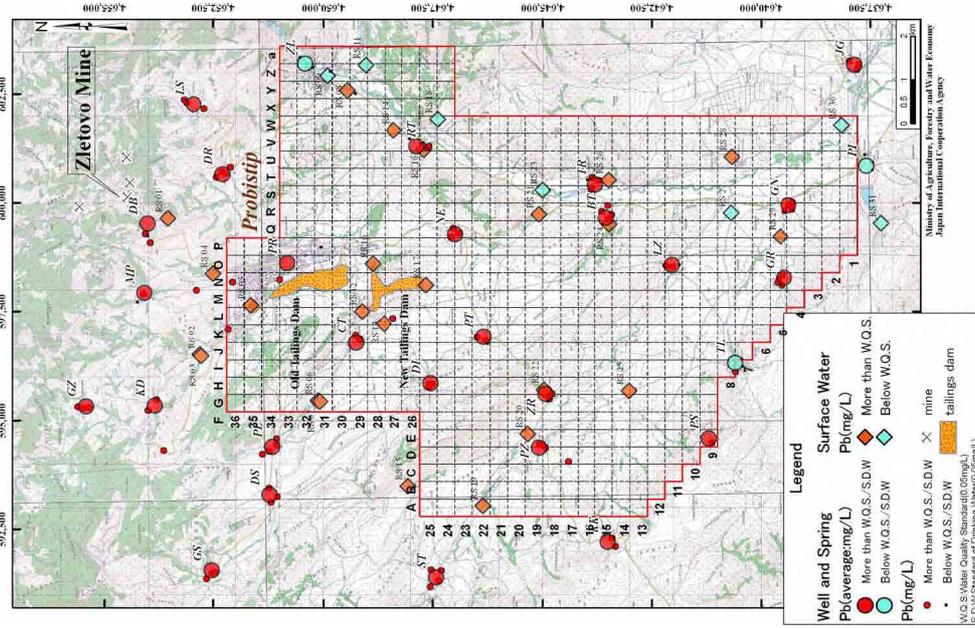
As



飲料水基準値超過：29 集落中 22 集落

図 20 パイロット・プロジェクト地域の地下水と表流水の重金屬濃度 (砒素 (As) 及び鉛 (Pb))

Pb



飲料水基準値超過：29 集落中 26 集落

図 20 パイロット・プロジェクト地域の地下水と表流水の重金屬濃度 (砒素 (As) 及び鉛 (Pb))

(2) 2007年度穀物調査：追加調査

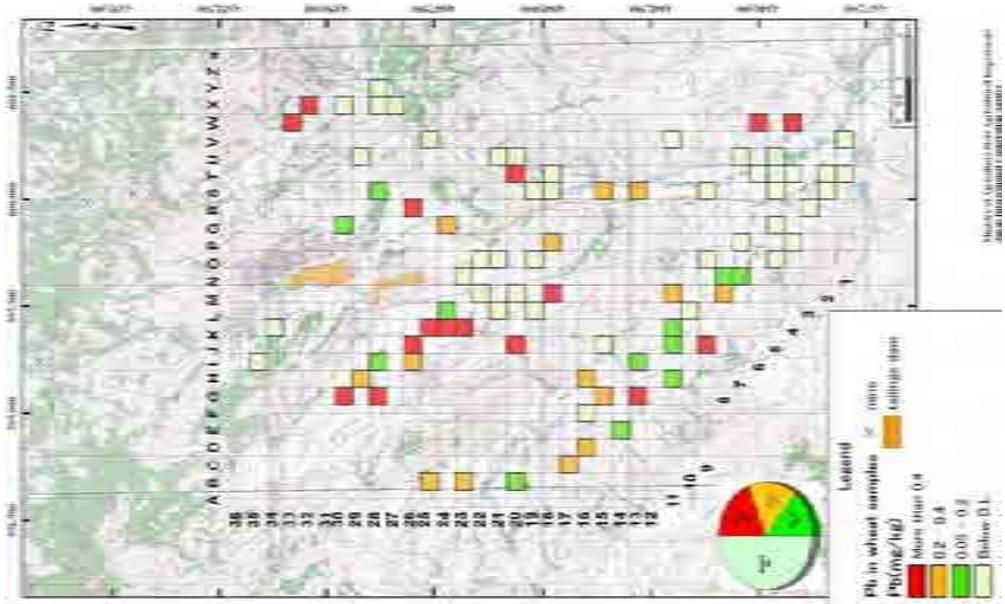
フェーズ3 (2007年度)において、小麦のPb含有量の年変動及び小麦のPb含有量、土壌のPb含有量及びPb溶出量の比較を行うため、32試料の小麦及びその根元から採取した土壌の分析を行った。試料は400mグリッド土壌調査の中心点で採取した(図21)。

Pb、Cd、Asの3元素について小麦、土壌(含有量及び溶出試験)の分析を実施した。

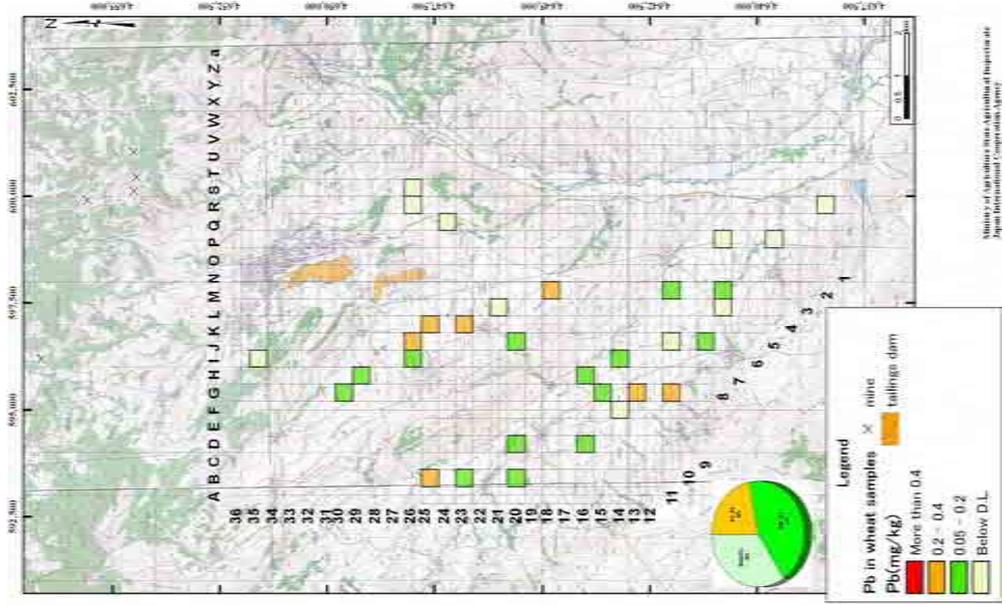
フェーズ3の小麦のPb濃度は高く $0.05\sim 0.36\text{mg/kg}$ の範囲で平均値は 0.12mg/kg であるが、フェーズ2(2006年度)の平均値 0.27mg/kg より明らかに低い。Pbの基準値(0.2mg/kg)を超過する試料は7試料(全試料中22%)存在し、フェーズ2での36%より明らかに少ない。小麦のCd及びAsは、基準値や参考値を超えるものは無く、低濃度である。小麦と土壌(含有量、溶出量)におけるPb濃度の相関係数は低く両者のPb濃度の相関はみられない。

小麦のPb濃度分布図(図21)に見られるように、Pb濃度が基準値を超過する小麦試料の分布は2007年度において2006年度より少ないがその分布域は共通しており、廃さい堆積場の南西方である。

小麦のPb濃度は気候条件等の変化に由来する年較差を示す可能性があり、数年にわたる継続的なモニタリングが必要である。2006年度と2007年度の傾向に基づけば高濃度のPbを含有する小麦の分布域はある程度一定している可能性がある。小麦のPb濃度は土壌のPb濃度だけではなく他の要因が複雑に影響していると考えられる。



2006年度の結果



2007年度の結果

図 21 小麦中の鉛 (Pb) 含有量の分布

第6章 パイロット・プロジェクト地域の汚染の総合解析

6. 1 パイロット・プロジェクト地域の土壌汚染帯

P/P 地域の重金属類の高濃度分布は、主に As-Cd-Cu-Pb-Zn-Mn 及び Co-Cr-Ni の2つのグループに区分される。As-Cd-Cu-Pb-Zn-Mn の重金属グループは、1976年に発生した廃さい堆積場の流出事故、ズレトボ鉱山の操業活動、及びP/P地域の北東部に認められるPb-Zn 鉱化作用から由来した土壌汚染との関係が明確に認められる。したがって、As-Cd-Cu-Pb-Zn-Mn の重金属の高濃度域は、P/P地域の北東部のZn-Pb 鉱化作用による高濃度域を除いて、ほとんど人為的な土壌汚染によるものである。Co-Cr-Ni の高濃度域は5章で述べたように自然由来である。

400m 調査グリッドにおける As-Cd-Cu-Pb-Zn-Mn の重金属類による高濃度のグリッドの分布を図22に示す。ほとんどの高濃度のグリッドは、キセリツァ川、コリトニツァ川及びズレトフスカ川に沿って分布する。

6. 2 パイロット・プロジェクト地域の表流水及び河床堆積物の汚染

キセリツァ川の表流水はZnとMnが高濃度であり、特に上流側(SW-06)で高濃度のPbとZnが特徴的で、中流域(SW-05)ではZnとMnが最大値であり、廃さい堆積物の影響と推定される。

一方、河床堆積物はすべての地点でPb、Zn及びAsが高濃度で、特にキセリツァ川の下流側ではPbとZnが極めて高濃度を示す。土壌調査とボーリング調査の結果、廃さい及び酸化した廃さいはキセリツァ川の下流域及びズレトフスカ川の中流域に広く見られる(図23及び表13)。

6. 3 パイロット・プロジェクト地域の地下水汚染

P/P地域の井戸水・湧水及び表流水の分析結果は、これらの水試料が高い濃度のAs、Co、Ni、Pb、Zn及びMnを含む事を示す。井戸水及び湧水では、As、Co、Ni及びPbの濃度がマケドニア国の飲料水の基準値を超えていて、飲料水として適当ではないにも係わらずP/P地域での井戸水・湧水の半分以上の地点で住民が飲料水として利用している。

高濃度を示すAs、Co、Ni、Pb、Zn及びMnの重金属類の中で、過去及び現在の鉱山活動が原因となり濃度が上昇している重金属はCo、Mn及びZnである。これらの重金属類の高濃度化は過去と現在で鉱山活動が存在するキセリツァ川及びコリトニツァ川に沿って明瞭である。

As及びNiは、ほとんどの井戸水及び湧水で飲料水の基準値を超えており、すべての河川水のNiは環境基準値を超えている。更に、井戸水及び湧水のAsとNiの濃度は全ての試料で類似した値を示す事から、P/P地域の土壌中に自然由来で高濃度のAsとNiを示す試料が存在するように、おそらく地質(自然)由来と考えられる。As及びNiと同様に、ほとんどの試料でPbが飲料水の基準及び環境基準値を超えており、特にキセリツァ川及びコリトニツァ川沿いではより高濃度となっている事からPbの濃度は鉱山活動によって上昇したと推定される。

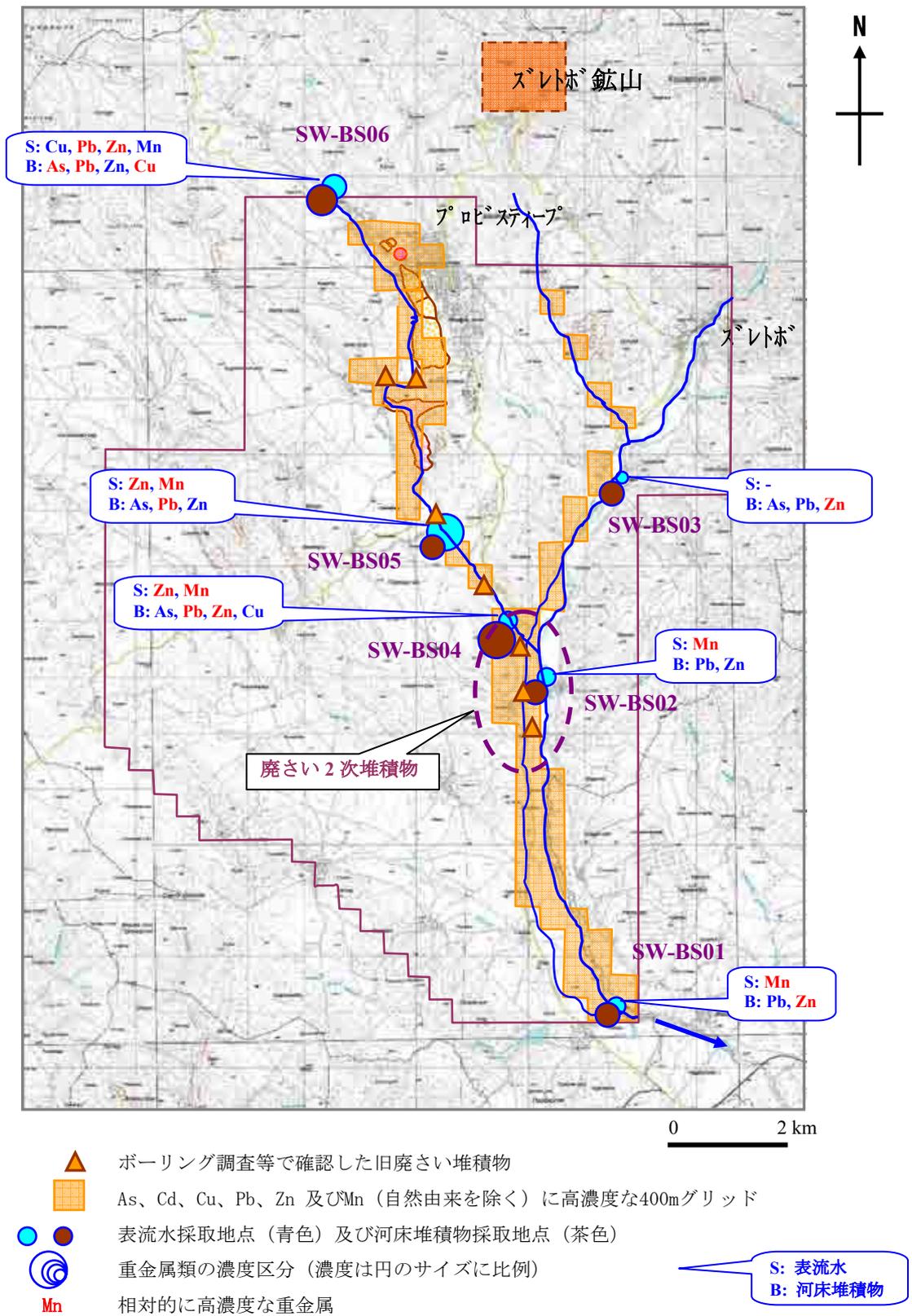
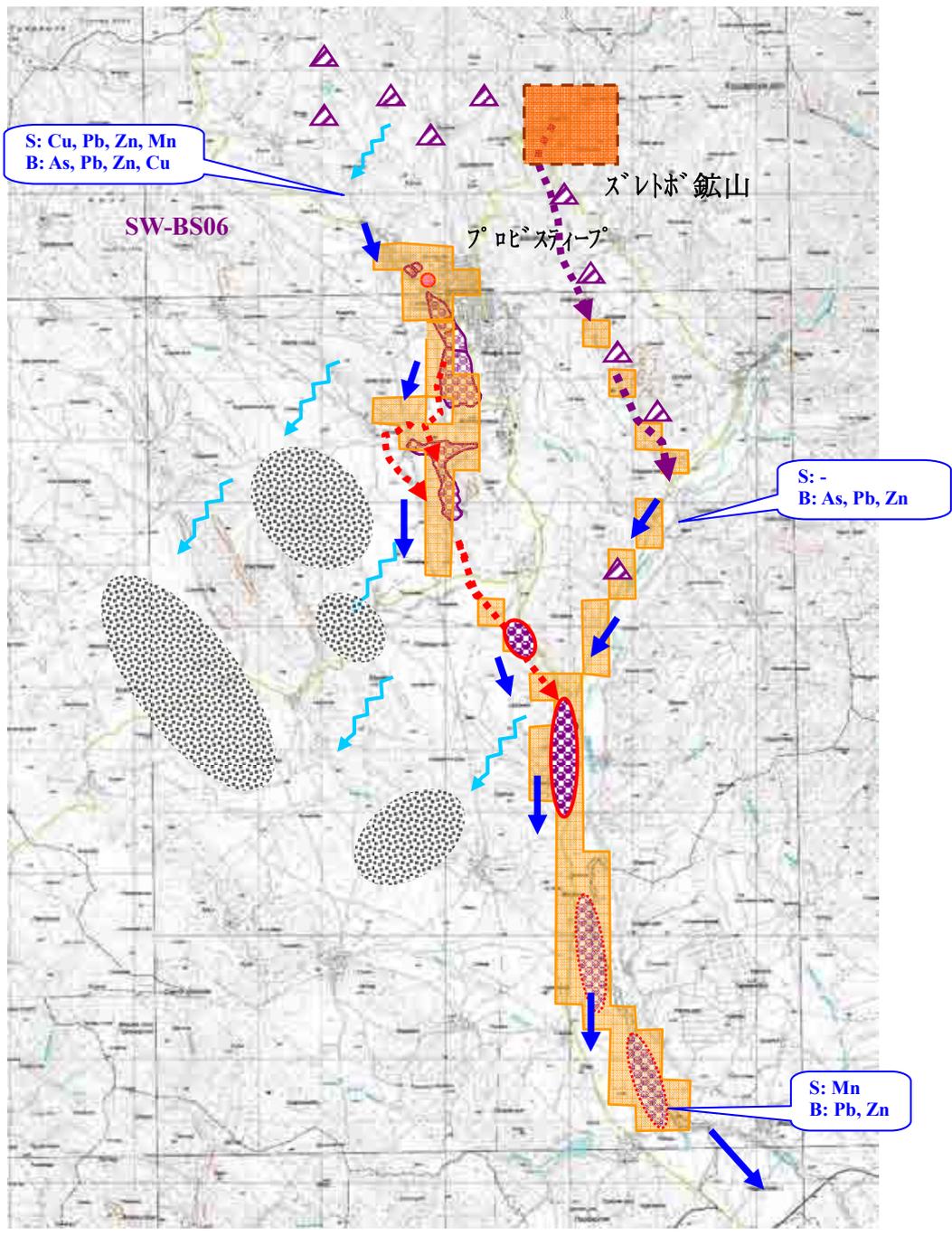


図 22 パイロット・プロジェクト地域の表層での廃さいと重金属の分布



- | | | | | |
|----------------|---|-------------|-------------|--------------|
| 土壌・地下水の
汚染源 | } | 鉱山地域 | 旧ずり (推定) | 二次的廃さい |
| | | 廃さい堆積場 | 河川へのずり投棄 | |
| 移流・拡散 | } | 河川沿いの廃さいの流出 | 廃さいのダスト飛散 | 廃さい堆積場からのダスト |
| | | 廃さいのダスト飛散 | 地下水による移流・拡散 | |
| | | 地下水による移流・拡散 | | |

図23 パイロット・プロジェクト地域の土壌・地下水汚染機構

表13 パイロット・プロジェクト地域の汚染源

汚染源	位置	状況	土壌・地下水への影響	
一次汚染源	古い時代の採掘	- 旧ずり捨場：ローマ時代、小規模	河川へ酸性水、坑道の崩壊、ダスト等の発生	
	鉱山城 (ズレトゴ鉱山)	- 現在稼働中、Pb-Zn 硫化鉱、構内堀採掘	酸性水、坑道の崩壊、ダスト等の発生	
	旧廃さい堆積場	TD-I	- サッカー場、覆土、芝 - 住宅地内に立地	重金属類を含む酸性水、小規模な崩壊、ダスト（大気汚染）等
		TD-II	- 変電所等、覆土 - 住宅地内に立地	重金属類を含む酸性水の浸出、侵食、廃さいの崩壊、ダストの発生（大気汚染）等
		TD-III	- 覆土及び植林 - キセリツァ川沿いに立地	重金属類を含む酸性水の浸出、侵食、廃さいの崩壊、ダストの発生（大気汚染）等
		TD-IV	- 裸地 - キセリツァ川沿いに立地	重金属類を含む酸性水の浸出、侵食、廃さいの崩壊、廃さい流出事故、ダストの発生（大気汚染）等
		TD-V	- 裸地 - キセリツァ川沿いに立地	重金属類を含む酸性水の浸出、侵食、廃さいの崩壊、廃さい流出事故、ダストの発生（大気汚染）等
	新廃さい堆積場	- 現在使用中 - 旧キセリツァ川沿いに立地	重金属類を含む酸性水の排水、廃さいの崩壊、廃さいの流出、ダストの発生（大気汚染）等	
	選鉱場	- 現在使用中 - 住宅地に立地	酸性水の河川流出、産業廃棄物等	
	新ずり捨場	- コリトニツァ川に廃棄	酸性水の河川流出、ダスト等	
バッテリー工場	- 廃棄物処分場	土壌・地下水汚染		
二次汚染源	キセリツァ川下流域	- 河川底質堆積物	流出した廃さいからの酸性水の河川流出、ダスト等	
	キセリツァ川とズレトフスカ川の合流点付近	- 堆積物	流出した廃さいからの酸性水の河川流出、ダスト等	
	コリトニツァ川沿い	- 河川底質堆積物	流出した廃さいからの酸性水の河川流出、ダスト等	
	キセリツァ川と合流後のズレトフスカ川中流域	- 堆積物	流出した廃さいからの酸性水の河川流出、ダスト等	
	ズレトフスカ川下流域	- 河川底質堆積物	流出した廃さいからの酸性水の河川流出、ダスト等	

6. 4 パイロット・プロジェクト地域の土壌・地下水汚染機構

P/P地域の重金属類による土壌汚染の起源は、明らかに鉱山活動、鉱山施設等の人為的なものと鉱化作用、地質ユニットの化学的性質等の自然条件に関係しているものがある。自然（地質）由来によって重金属類の含有量が高くなったことについては、本調査の土壌汚染の定義に含まない。

P/P地域の土壌汚染源は、図22及び表13に示すとおり新旧ずり捨場、ズレトボ鉱山の採鉱活動、選鉱場、新旧廃さい堆積場、バッテリー工場等からなる。

(1) 旧廃棄物

旧ずり捨場はローマ時代の鉱山活動も含まれている。地域の北部では古い時代のずりを含む坑道が分布する。しかし、ずりの量等は不明である。一般に、重金属を多量に含む酸性水は古いずりから浸出する。

(2) 新規廃棄物

最近の鉱山活動からの新規ずりは、鉱山周辺に堆積させるなどにより、コリトニツァ川に投棄したものと考えられる。低品位鉱のずりからなる岩片及び円礫状の河床礫が川に沿って見られ、そのほとんどはMnの酸化物によって黒色にコーティングされている。

(3) 坑口

坑廃水（pH 2～4）は主に坑口から浸出し、一般にPb、Zn、Cd、Cu、Mn等の多くの重金属類を含有している。坑廃水のほとんどは、コリトニツァ川に排水されている。

(4) 選鉱場

選鉱場は、プロビシュティープ市の住宅地域の北側及び廃さい堆積場TD-Iの脇に位置している。場内には粗鉱の運搬通路、選鉱機械、粗鉱と精鉱の貯鉱場、ベルトコンベアー等がある。環境管理の改善計画を厳しく実施する必要がある。

(5) 廃さい堆積場

廃さい堆積場は、TD-I、TD-II、TD-III、TD-IV、TD-V（旧廃さい堆積場）及び新廃さい堆積場の6つの堆積場からなる。これらの堆積場は土壌、水、地下水及び大気の汚染源である。

(6) バッテリー工場

バッテリー工場の一部は、現在再開されている。土壌調査の結果として、高濃度の重金属類が工場の周辺に確認された。環境管理の改善計画及び実施が必要である。

(7) パイロット・プロジェクト地域の二次的汚染源

P/P地域に分布する二次的汚染源の状況を以下に述べる。

a. 廃さいの流出事故及び廃さいの二次的汚染源

廃さいの主な崩壊は1976年に発生し、多量の廃さいがキセリツァ川の下流域及びズレトフスカ川の下流域に流出した。新旧廃さい堆積場の間、キセリツァ川の中流域～最下流域及びズレトフスカ川の中流～下流域にかけて酸化した廃さいが、地質調査及びボーリング調査によって河川沿いに残留していることが確認された。これらの残留している廃さいは、高濃度の重金属類を含有していることから、二次的汚染源となっていると考えられる。

b. コリトニツァ川沿いの堆積物の二次的汚染源

Pb、Zn 及び Cu を含み酸化し Mn でコーティングされた岩片及び円礫が、コリトニツァ川に沿う河床堆積物中に多量の分布している。これらの堆積物は鉱山域から自然に流出したもの、あるいは（人為的な）ずりとしてズレトボ鉱山域から発生したものであり、これらは重金属類を多量に含んでいる。したがって、コリトニツァ川沿いについても、ずりの流出防止等の対策の実施が必要である。

(8) パイロット・プロジェクト地域の土壌・地下水汚染

P/P 地域の土壌・地下水汚染の移流・拡散の状況を以下に述べる。

a. ステージ 1

P/P地域の一次的な土壌汚染は、主に新旧の鉱山域、廃さい堆積場及び選鉱場から発生した。汚染箇所のほとんどは地域の北部から中央部にかけて分布し、土壌汚染の成分はCd、Cu、Pb、Zn、Mn及びAsの重金属類であった。一次的な土壌汚染は汚染源の周辺のみであったが、重金属類は汚染源から表流水、地下水及び廃さい等のダストによって徐々に周辺に拡散していったと考えられる。

b. ステージ 2

廃さい堆積場の主な崩壊は 1976 年に発生し、多量の廃さいがキセリツァ川及びズレトフスカ川に流出した。30年後、新旧の廃さい堆積場周辺、キセリツァ川の中～最下流側及びズレトフスカ川の中～下流側に二次的な廃さいがなお残留している。二次的な廃さいが河川の中流部に堆積しているが、この二次的堆積物は河川の流れによってゆっくりと下流側に移流している。

c. ステージ 3

旧廃さい堆積場の流出事故による土壌汚染が P/P 地域の下流側に広く拡散された後、一次的及び二次的な土壌汚染は下流側に移流し、更に河川の周辺へ徐々に拡散している。また、多くの廃さい等のダストが、特に北方向の風により南方向に拡散していると推定される。ダストの拡散により、土壌及び地下水がさらに汚染され、それと同時に穀物の汚染も引き起こされた可能性がある。

第7章 パイロット・プロジェクトのリスク評価及び土壌・地下水汚染対策

7.1 パイロット・プロジェクトのリスク評価

リスク評価は、土壌汚染状況を明らかにし、土壌汚染対策を検討するために有効である。リスク評価手法は、オランダ、ドイツ及び英国等の EU 各国の土壌汚染サイトで実用化されている。P/P では2つのリスク評価を行った。1つは汚染された表層土壌及び地下水による人の健康への暴露リスクであり、もう1つは有害物質を含む穀物による人の健康に影響を与える重金属類による農作物へのリスク（農業リスク）である。

表層土壌及び地下水による人の健康への暴露リスクはリスク算定ソフトである「GERAS 1.2 Heavy metals Version 1.2, 2006」(Kawabe, et al., 2003)を使用した。暴露評価の算定条件及び算定結果の概要は、以下のとおりである。

(1) 暴露リスクの計算条件

a. 暴露経路

土壌摂取、土壌吸入、作物からの摂取、地下水の飲用

b. 重金属の含有量

400m グリッド調査における含有量値

c. リスク特性

WHO による耐容一日摂取量 (TDI : Tolerable Daily Intake)

d. 重金属類によるリスクの算定

1) 重金属類による暴露量の算定条件の設定

- ・ 400m グリッドの算定単位
- ・ 400m グリッドの含有量分析値を使用
- ・ 対象物質は TDI が設定されている As、Cd、Hg、Ni、Pb 及び Zn の 6 成分

2) 暴露量の算定条件

- ・ 暴露経路： 摂食及び皮膚接触
- ・ 暴露時間： 長期的な暴露を対象
- ・ 土壌の摂食のシナリオ

3) 重金属類による暴露量の算定

- ・ 暴露量の算定に「GERAS 1.2 Heavy metals Version 1.2, 2006」を使用
- ・ 各重金属の暴露量の把握

4) 各重金属のリスク量の算定

- ・ 各重金属のリスク量の算定式：重金属の有害性に WHO の TDI を使用

$$\begin{aligned} \text{重金属のリスク量} &= \text{暴露量} \times \text{有害性} \\ \text{有害性} &= 1 / \text{TDI} \end{aligned}$$

- ・ 各重金属のリスク量を算定： 当該リスク量は TDI のみの有害性指標からの算定であることから、TDI を基にしたリスク量を示し、各重金属のリスク量を加算する。ダイオキシンの TEQ (Toxic Equivalent) 値におけるリスク量算定と同様である。特に、P/P 地域における多金属による土壌汚染の場合には、各重金属のリスク量を合計したリスク総量も指標として有効であると考ええる。
- ・ 各重金属のリスク量を合計したリスク総量を、400m グリッドの全リスク量とする。

$$\text{全リスク量} = \Sigma (M_{1\sim 6})$$

e. 対策のエンドポイント目標値：TDI の 10%

(2) 土地利用を考慮した土壌による重金属類の暴露リスク

土壌中の重金属類による暴露リスクの分布を図 24 に示す。リスクの算定結果、エンドポイント目標値である TDI の 10% の 1,000～10,000 倍のリスクを有しているレベル 5 の 400m グリッドは選鉱場と廃さい堆積場 TD-I に限定されている。エンドポイント目標値の 100～1,000 倍のレベル 4 の 400m グリッドは廃さい堆積場周辺及びキセリツァ川、コリトニツァ川、ズレトフスカ川に沿って分布している。エンドポイント目標値の 10～100 倍のレベル 3 の 400m グリッドは P/P 地域に広く分布している。

(3) 土壌及び飲用地下水による重金属類の全暴露リスク

P/P 地域の土壌及び飲用地下水による重金属の全暴露リスクは、レベル 5～2 までの 4 つの暴露リスクレベルからなる (図 25)。特に、重金属に富む地下水を飲用する事による暴露リスクはレベル 4 に区分され、地下水を飲用している P/P 地域の西部及び南東部に広く分布する。P/P 地域における全暴露リスクの状況を評価し、表 14 に示す。

(4) P/P 地域の農業リスク評価

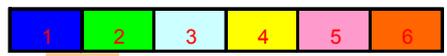
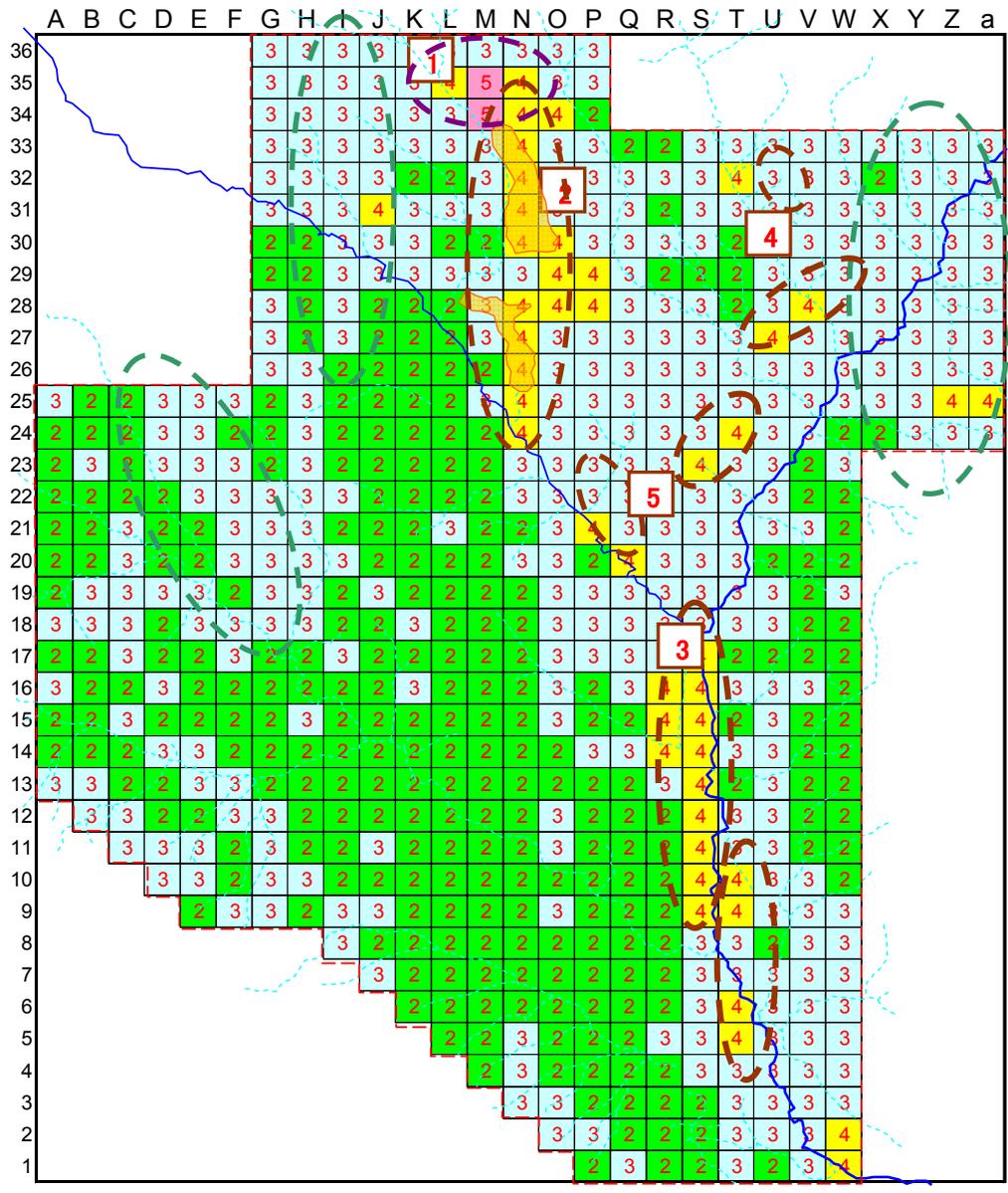
本報告書における「農業リスク」とは、「重金属類による農作物へのリスク」と定義する。リスクの主な内容は、重金属による農作物の汚染により人への健康被害及び農作物の経済的価値の消失である。本報告書では、以下「農業リスク」をこの意味で使用する。

穀物の農業リスクは、図 26 に示すとおり土壌の暴露リスク及びマケドニア国の穀物中の重金属類の基準値を使用して評価した。土壌の Pb における暴露リスクレベルと鉛含有量の基準値 (0.2mg/kg) を超える小麦との関係を表 15 に示す。土壌の Pb における暴露リスクレベル 4 のグリッドでは小麦採取グリッド中の Pb 濃度超過小麦が出現するグリッドの割合は 25% で、暴露リスクレベル 3 では 39% と逆に増加し、両者の間には明らかな関係が見られない。小麦の Pb 基準値を超える汚染小麦は、図 26 に示すとおり P/P 地域に散在している状況である。したがって、本地域の農業リスクは相対的に高く、農業リスクの相対的に高い地区と相対的に低い地区を明確に区分することができない。また、2006 年と 2007 年での小麦の分析結果では図 11 に示すとおり、気候条件等に起因すると思われる年較差が認められ、P/P 地域のより詳細な農業リスクの現況を明らかにするには継続的な穀物のモニタリングを必

要とする。農業リスクが相対的に高いことに関しては、P/P 地域の農用地は小麦の栽培に適さないことを表していると考えられる。したがって、栽培穀物種の変換を含む農業リスクの低減、廃さい堆積場の覆土を含むリスク低減対策を検討する必要があり、同時に対策実施中における農業リスクを確認する穀物のモニタリングを行うことも必要である。

小麦以外の転作例として以下のものが考えられる。

1. 甜菜の生産（バイオ・ディーゼル燃料用）
2. 他の目的及び重金属類の抽出能力のある植物の生産
3. 果樹園



0 0.004 0.04 0.4 4 40

Total Exposure Risk of Heavy Metals

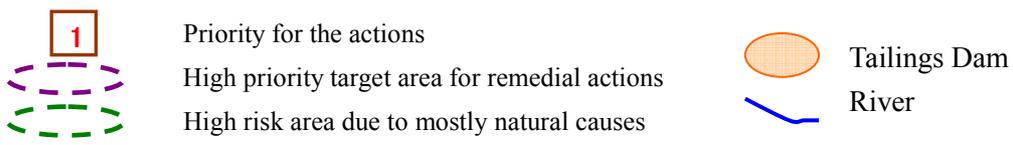


図 24 土地利用を考慮した土壌による重金属の暴露リスク及び暴露評価に基づいた
対策目標箇所（土壌）

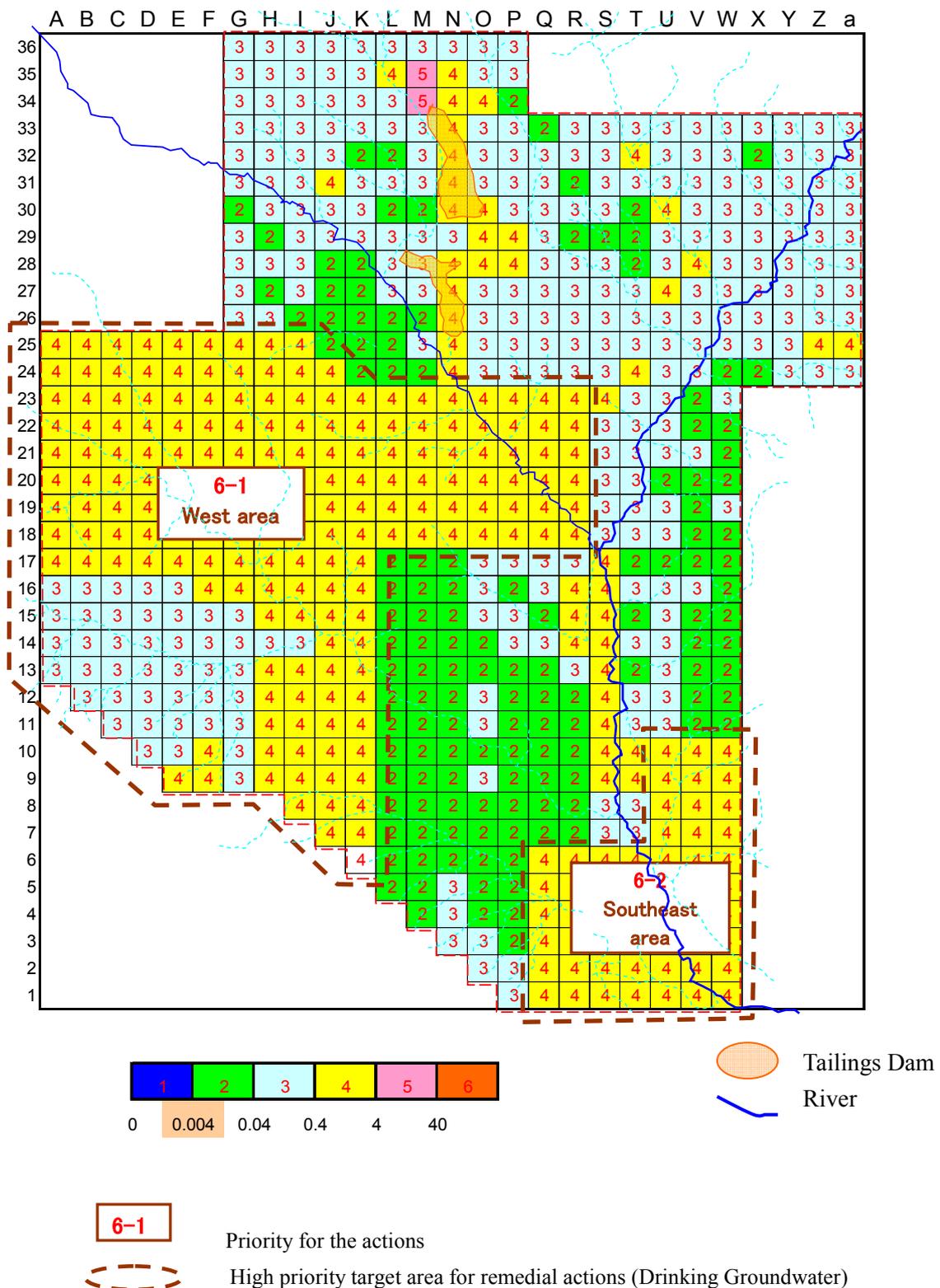


図 25 土壤及び飲用地下水による重金属の全暴露リスク及び暴露評価に基づいた対策目標箇所（地下水）

表 14 全暴露リスクレベルの評価

暴露リスクレベル	リスクの状況	評価 (生活状況)	対策
5	極高	- 生活、農業、工業/商用地としての利用に不適格	- リスク低減の緊急対策が必要 - 対象地周辺の住民に対し危害についての連絡が必要
4	高	- 生活、農業、工業/商用地としての利用に不適格 - 汚染地下水の飲用停止	- リスク低減の速やかな対策が必要 - 対象地周辺の住民に対し影響についての連絡が必要 - 汚染地下水の飲用停止の連絡の必要性 - 飲料水の公的検査の実施
3	中	- 生活、農業、の利用に不適格、土地利用には十分留意 - 汚染地下水の飲用停止	- 必要なリスク低減対策の検討 - 対象地周辺の住民に対し影響についての連絡が必要 - 汚染地下水の飲用停止の連絡の必要性 - 飲料水の公的検査の実施
2	低	- すべての土地利用に適合	

表 15 土壌中の鉛 (Pb) 含有量による暴露リスクレベル別の小麦の鉛基準値を超えるグリッドの比率 (2006 年度採取試料)

暴露リスクレベル	小麦中の鉛含有量基準値を超えるグリッド数			汚染小麦の比率 (%)	備考
	Total	>0.2mg/kg	=<0.2mg/kg		
4	8	2	6	25	- ズレトフスカ川沿いに位置する汚染した小麦
3	62	24	38	39	- P/P 地域の西半部に位置する汚染した小麦
2	14	4	10	29	- P/P 地域の西半部に位置する汚染した小麦 - 暴露リスクレベル 2 の範囲に位置する汚染した小麦
合計	84	30	54	36	

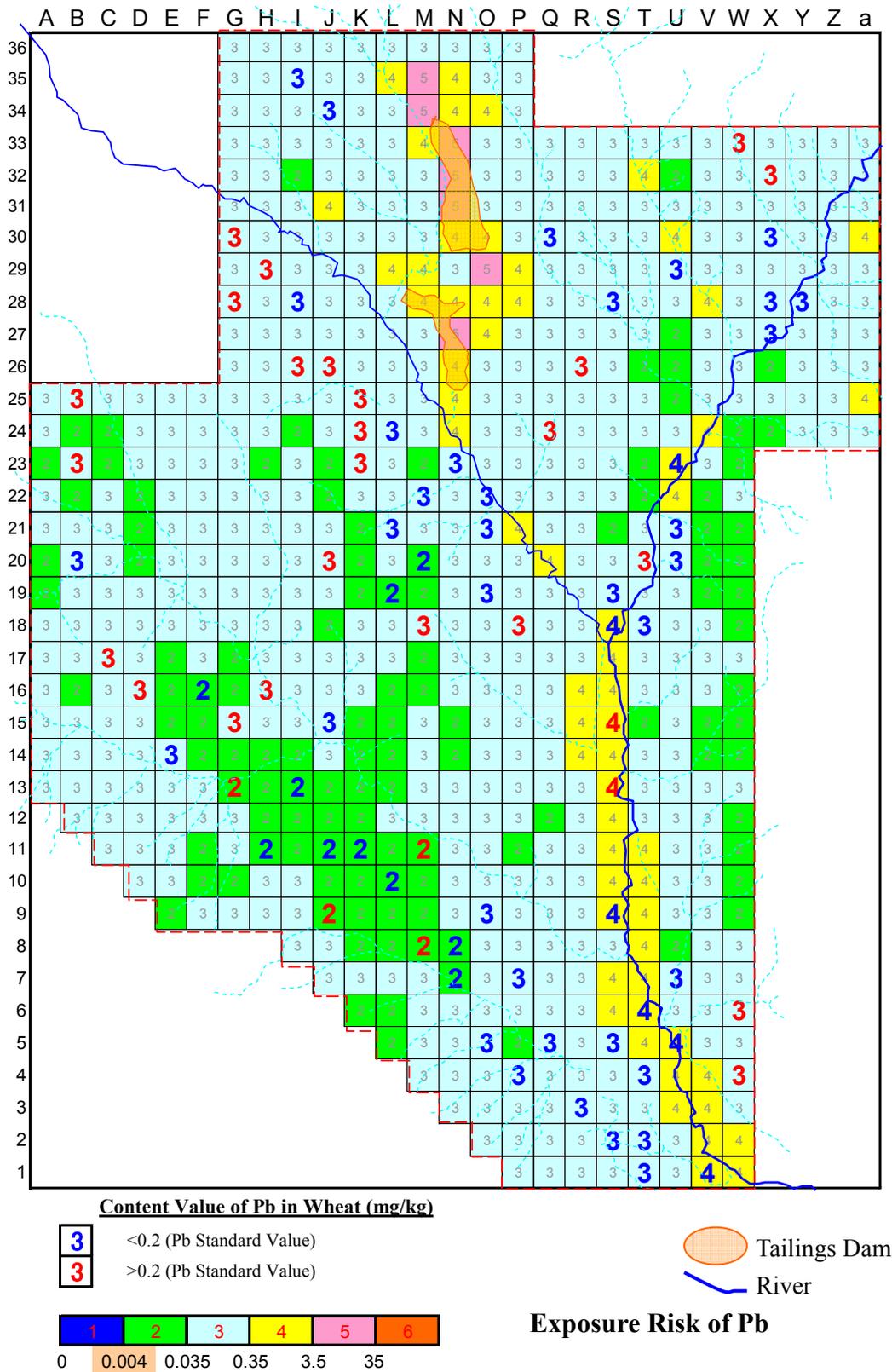


図 26 土壌の鉛 (Pb) 含有量による暴露リスクと小麦中の鉛含有量の関係 (2006 年度試料)

7. 2 パイロット・プロジェクト地域の土壌・地下水汚染対策

本調査では、特にリスク特性、暴露リスク評価、穀物の農業リスク、土壌・地下水の汚染機構、社会的優先度及び費用対効果の考察から P/P 地域における土壌・地下水汚染に関する浄化対策計画を検討した。

(1) 土壌・地下水汚染対策の浄化対象

土壌・地下水汚染対策の対象は、人の健康と土壌・地下水の経路による暴露リスク及び土壌-植物の経路の農業リスクからなる統合リスクに基づいて選定する必要があり、選定結果を表 16 に示す。

(2) 土壌の暴露リスク評価に基づいた浄化対策及び環境管理計画

代替案を含む浄化計画、土壌汚染のリスク（健康）管理、対策の概算について以下に述べる。

a. 優先度 No. 1：廃さい堆積場 TD-I 及び TD-II

廃さい堆積場 TD-1 は現在覆土されているが、その土壌はすでに廃さいの重金属で汚染され、一部は侵食されている。更に、廃さい堆積場 TD-1 は部分的に高濃度の Pb と Zn を含有している。したがって、この廃さいは住宅地と工業区域に位置していることから、新廃さい堆積場に移すべきである。もし可能ならば、廃さいは再度選鉱を実施し低濃度化した方がよい。

b. 優先度 No. 2：廃さい堆積場 TD-IV 及び TD-V

廃さい堆積場 TD-IV 及び TD-V は、水とダストによる拡散を防止するために良質土と植生で覆う必要がある（図 27）。廃さい堆積場の堤体斜面は不安定でガリー状に侵食されていることから、堤体法尻に沿って擁壁の設置が排水用の側溝と共に必要である。

c. 優先度 No. 3：ズレトフスカ川中流部

ズレトフスカ川の中流域に廃さいの二次的堆積物がある。この廃さいの二次的堆積物は重金属類を多量に含有し、土壌汚染だけでなく表流水と地下水汚染も発生させている（図 28）。したがって、この廃さいの二次的堆積物は掘削除去し、新廃さい堆積場に移した方がよい。

d. 優先度 No. 4：コリトニツァ川下流域

コリトニツァ川下流域には重金属類を高濃度に含む鉱石ずりの砂礫が多量に残留している。汚染している堆積物は、図 29 に示すとおり暗渠を設置した砂防ダムによって安定化させる必要がある。

e. 優先度 No. 5：キセリツァ川下流域

キセリツァ川の下流域には廃さいの二次的堆積物が残留している。廃さいの二次的堆積物は重金属を多量に含有し、土壌汚染だけでなく表流水と地下水にも汚染を発生させている。

したがって、この廃さいの二次的堆積物は掘削除去し、新廃さい堆積場に移送した方がよい。この区域はバイオレメディエーションにも良く適応するものと推定される。

f. その他の重要計画

その他の重要計画は、鉱山区域の廃水処理及び廃さい堆積場の管理からなり、これらは環境リスク管理として鉱山会社が責任を持って実施する必要がある。

- ・ 鉱山サイト：排水量の制御、水処理
- ・ 新廃さい堆積場：堤体斜面の覆土及び湧水の処理
- ・ ズレトフスカ川の最下流域
- ・ プロビシュティープ市の南部
- ・ P/P 地域の汚染地下水の対策

g. 地下水汚染対策

As、Co、Ni 及び Pb からなる有害重金属類を含む地下水の汚染対策は、周辺サイトでの汚染地下水の揚水と水処理、原位置での水処理等からなる。

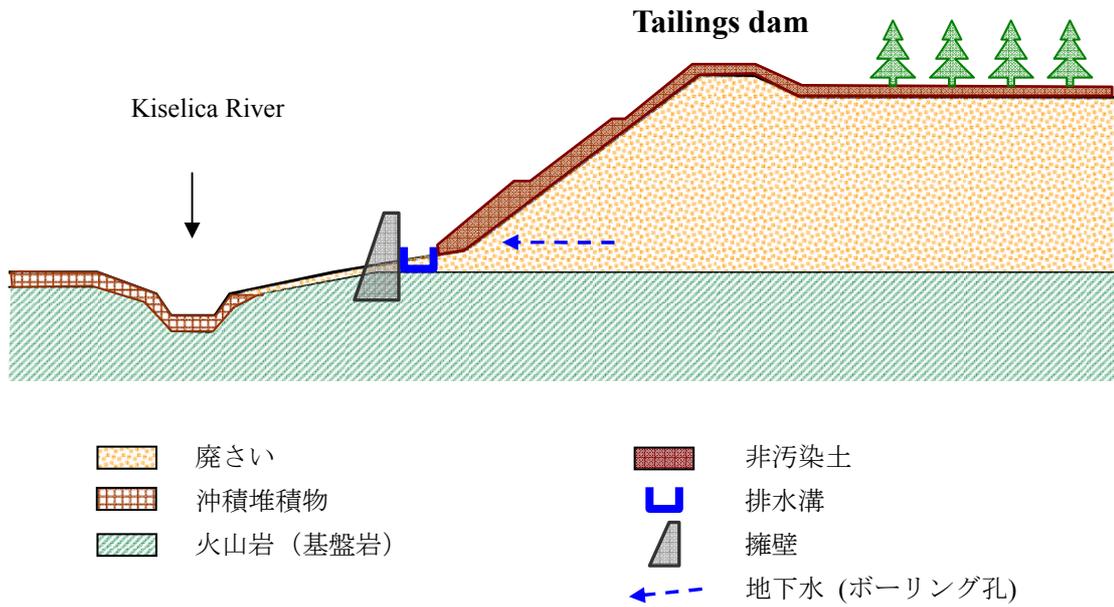
- ・ 周辺サイトでの水処理（揚水後）：凝集沈殿法、吸着法（ゼオライト等）、置換法
- ・ 原位置での水処理：例：ゼオライト等による反応壁

表16 統合リスク評価から選定した土壌・地下水汚染対策の内容

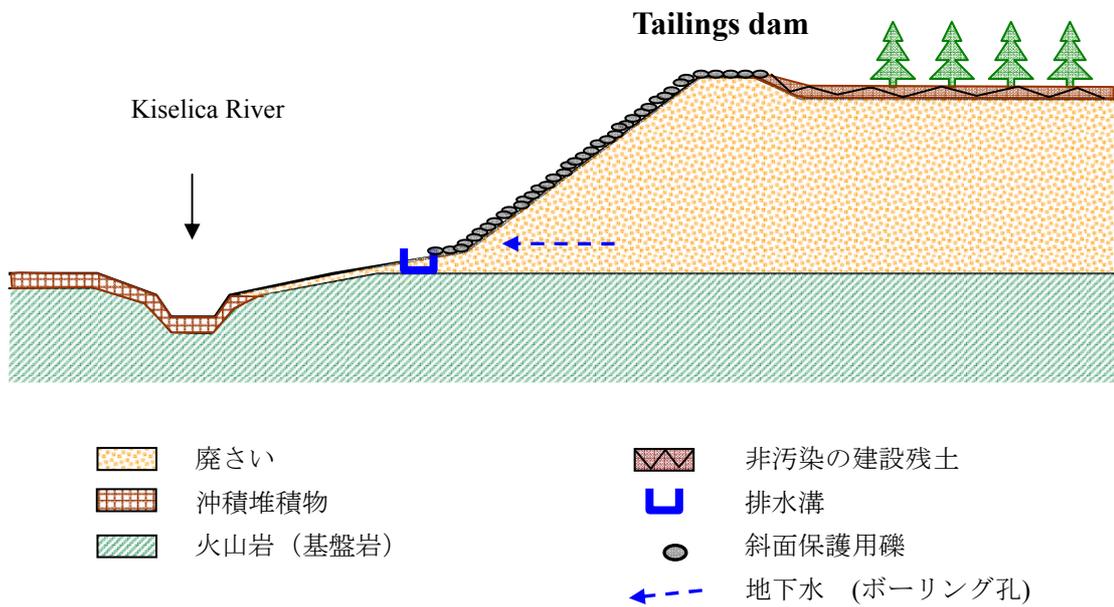
リスク	優先度	リスクレベル	位置及び特性 (*1)	グリッド数	備考
(1) 土壌の暴露リスク	No. 1	5	1) M34, M35及びN35：TD-I、TD-II (*2) 及びズレトボ鉱山の選鉱場	3	廃さい
	No. 2	4	1) N30～N33 030：TD-III、IV、V及び下流側	5	廃さい
			2) 028～030, P29：バッテリー工場	4	産業廃棄物
			3) N24～N28：新廃さい堆積場及びその下流側	5	廃さい
			4) V30、V27：コリトニツァ川、川沿いに多量のずりが存在	2	鉱山サイトでの鉱石ずり、二次汚染あり。
			5) T24、S23、V27：コリトニツァ川及びズレトフスカ川沿いの東側	3	自然由来と思われる。
			6) P21、Q20：キセリツァ川の下流側	2	残留廃さい、2次汚染源
			7) S9～S17、T5～T10：ズレトフスカ川の中流域	8	残留廃さい、2次汚染源
	No. 3	3	1) T5～T6：ズレトフスカ川の下流側	2	二次汚染源（灌漑）
			2) W1～W2：ズレトフスカ川の際下流部	6	二次汚染源（米）
3) プロビシュティープ市街地の南東部			20	As高濃度帯	
4) P/P地域の南部			10	Pb、Zn高濃度帯	
(2) 地下水の暴露リスク	No. 1	4～3	1) P/P地域の西部、南西部、中央部	221	住民は地下水を飲料水として利用。
		4～3	2) P/P地域の南東部	62	住民は地下水を飲料水として利用。
(3) 農業リスク	No. 1	比較的高い	P/P 地域全体に散在	94	小麦の耕作に不適格。

(*1)：位置は土壌調査の400mグリッドで表示(1grid = 16ha)

(*2)：TD = 廃さい堆積場



(1) 覆土工及び清浄土による斜面保護工



(2) 覆土工及び礫による斜面保護工

図 27 廃さい堆積場 TD-IV 及び TD-V の浄化対策

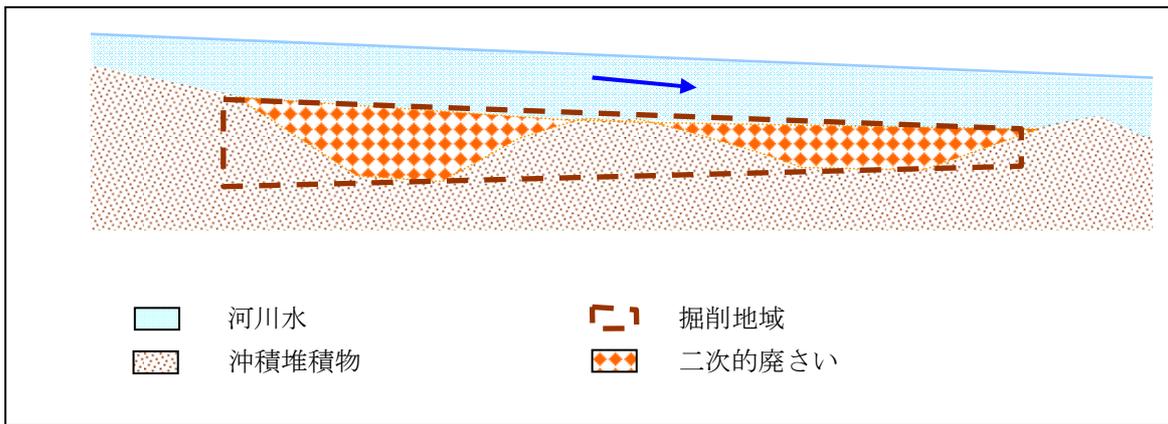


図 28 ズレトフスカ川中流域の二次的廃さい堆積物の除去

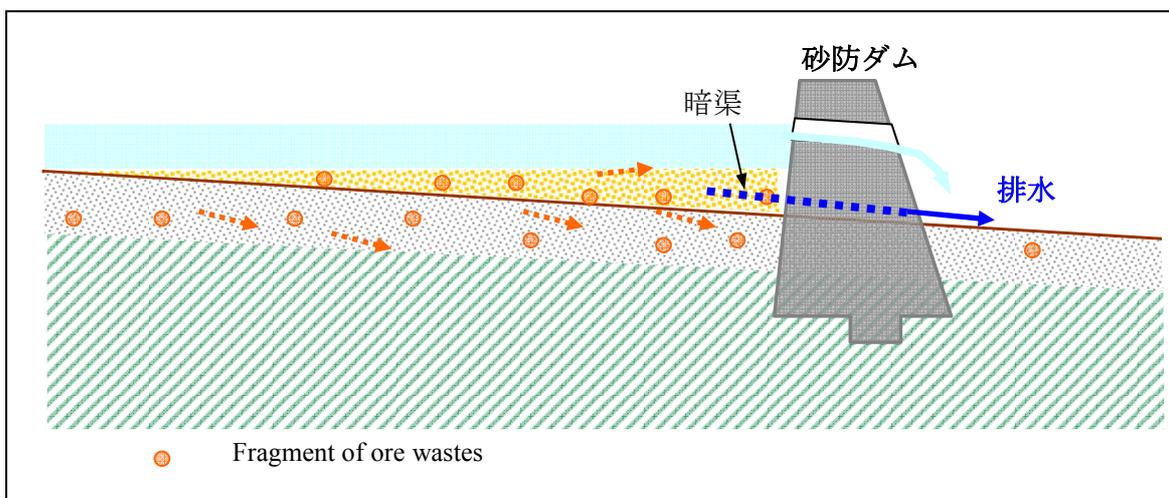


図 29 コリトニツァ川下流域の砂防ダム

(3) 費用・便益分析

対策計画及びその費用の概算を表 17 に示し、対策の便益をリスクの低減量に關係付けた。また、費用は不確定要素が多いので表 17 に示すとおり、極高、高、中及び低の 4 段階で示す。

表 17 対策計画及びその費用の概算

費用	概算	対策	
		廃さい堆積場	ズレトフスカ川及び キセリツァ川沿い
極高	6 百万ユーロ	堆積場及び法面の非汚染土による覆土、擁壁の建設	汚染物質の除去、砂防ダムの建設
高	1.6～2.5 百万ユーロ	堆積場及び法面の非汚染土による覆土	
中	～1.0 百万ユーロ	堆積場の建設残土による覆土及び法面の礫による保護工	植物による浄化（重金属の抽出）
低	～0.6 百万ユーロ	堆積場の建設残土による覆土及び法面の礫による保護工、廃さいの再利用	植物による浄化（重金属の抽出）

対策計画の便益は、リスクの低減量から算定した。各グリッドのリスクレベルは、対数表示である。各グリッドのリスク量は、下記に示すとおり重み付けした。便益量、即ちリスクの低減量とは、各リスクレベルに重み付け量を掛け、対策によりリスクレベルが低下した分を差し引いた量に相当する（図 30）。

更に、バイオレメディエーションは優先度 No. 3、No. 5 及びズレトフスカ川やプロビシュティープ市南部及びその他のサイトでも（時間はかかるが）効果的であると考えられる。

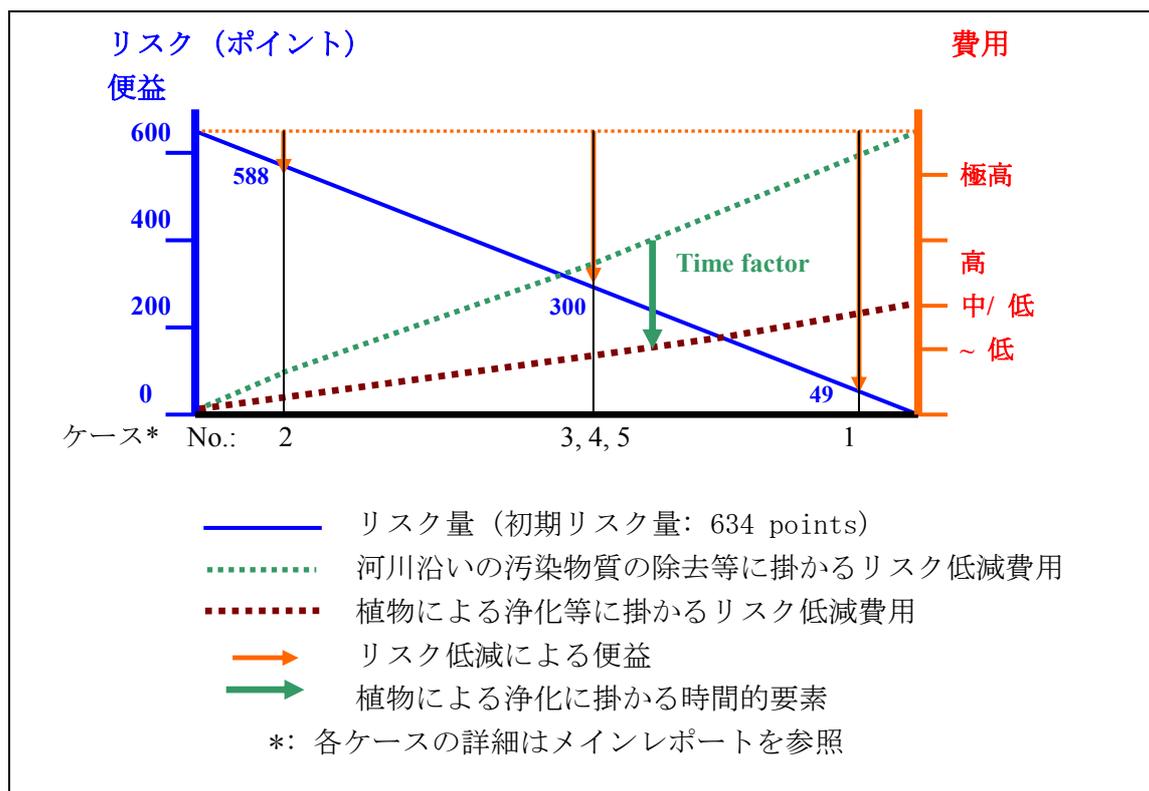


図 30 汚染対策の費用対便益（リスク）分析

第8章 パイロット・プロジェクトの成果と教訓

8.1 概要

本調査の目的の1つは、鉱山関連の土壤汚染管理に係るマスタープラン(M/P)の策定であるが、このM/Pはマケドニア国全土における今後の土壤汚染管理の内容、方針及び実施手順を示すものであり、土壤汚染管理の短期的、中・長期的観点から計画し、より現実的で実現可能な計画を意図している。

したがって、本計画の策定にあたっては、より現実的で実現可能な計画を策定するための基本理念を得るために実施したパイロット・プロジェクト(P/P)の経験、成果、並びにそこから得た教訓を取り入れることとする。

8.2 パイロット・プロジェクトの主な成果

P/Pでは、土壤、水、穀物等の汚染調査技術、分析技術、解析技術及び調査に伴う調査組織の体制、調査に関する住民(土地所有者)とのコミュニケーション、調査技術に関するワーキンググループ、ワークショップ等からなる多くの経験をカウンターパート、行政機関の担当者、調査・分析の実施機関及び担当技術者と協同で実施した。このようなP/Pの多くの経験に基づいた主な成果を下記に示す。

(1) 技術面での成果

a. 調査法

P/P調査で実施した絞り込み法による一連のグリッド土壤調査は効果的であった。試料採取は5点混合法で実施し、採取地点は効率的にGPS(Global Positioning System)を使用し決定した。

b. 土壤汚染

土壤汚染調査では、調査地域の情報を十分に把握することが重要である。特に、調査地域の地形状況、水文状況、土地利用状況、存在する施設等の情報が重要である。これらの情報を基に人為由来の土壤汚染のみでなく、自然由来の土壤汚染も考慮した。

c. 地下水汚染

P/P地域では地形的及び水文的特徴から地下水汚染が予想されたが、調査の結果、地下水汚染の存在が判明した。地下水汚染は、土壤汚染と密接に関連している。

d. 穀物調査

基準値を超える鉛含有量を持つ小麦の存在が判明したが、穀物中に含有する鉛の量は必ずしも土壤中の鉛の濃度と関係しない。重金属汚染のポテンシャルが存在する地域での農用地の調査では、土壤汚染調査だけではなく穀物調査を実施する必要がある。

e. リスクアセスメント

P/P 地域における土壌汚染を暴露リスク及び農業リスクにより総合的に評価した。

(2) 社会面での成果

a. 協力体制を持った調査組織の確立

広域の土壌・地下水汚染調査を実施するためには、特に調査体制を整えると共に調査協力体制を確立する必要がある。P/P 調査の実施に当たり、当初から地元であるプロビシュティープ市役所及び農業森林水経済省（MAFWE）の現地スタッフとの協力体制をプロビシュティープ市長の下で構築した。

b. 住民の調査への参加

P/P において、地域住民が少しでも調査に参加できるように配慮した。汚染に対する認識の高揚、調査方法の習得等に成果があった。

c. 社会環境を踏まえた調査

土壌・地下水汚染調査の実施に先立って予め実施した社会環境調査を、調査計画の立案及び調査結果の解析に役立てた。

d. リスクコミュニケーション

P/P 調査におけるリスクコミュニケーションを通して、地域住民が有害物質によるリスクを認識することが重要であることを確認した。

e. ワーキンググループの結成

P/P 調査の実施に当たり、土壌汚染管理や調査管理、調査技術のトレーニング（OJT）のために P/P のワーキンググループを組織した。また、P/P のアクション・プランやマスタープランの策定もワーキンググループを組織して検討し、有益な議論が行われた。

f. ワークショップとセミナー

ワークショップとセミナーは、ステークホルダーと共に意見を交換し、情報を共有する非常に良い機会であった。更に、ステークホルダーへの情報開示の役割も果たした。

8. 3 パイロット・プロジェクトの主な教訓

パイロット・プロジェクトにおいて得られた経験及び成果と共に、それらから導き出される教訓も多く得られた。これらの教訓は、今後のマケドニア国全体の土壌汚染に対する土壌汚染管理計画（マスタープラン）の策定過程及びその実施課程において貴重な示唆を与えてくれるものと考えられる。

(1) 技術面での教訓

a. 調査法

通常の調査地域であれば、効率的に土壤汚染状況を評価するには2段階の絞り込み調査で良いと思われる。さらに、土地利用状況を十分に考慮した調査計画を立てる必要がある。

b. 効率的な調査作業

試料採取にはGPSを、調査整理作業にはGIS (Geographical Information System)を使用し効率的な調査を実施すべきである。

c. 自然由来

汚染源情報から想定して人為汚染と判断されない場合、あるいは地質的要因が推定される場合には、自然由来の汚染を想定する必要がある。

d. 地下水調査

土壤汚染調査を行う場合、特に、地形的及び水文的状况から地下水汚染が想定される場合には地下水調査も併せて行う必要がある。

e. 穀物調査

重金属類による土壤汚染の可能性がある地域において、農用地が存在する場合は当初から土壤調査と同様の作業量で穀物調査を計画すべきである。

f. リスクアセスメント

土壤の参考値を用いてリスクアセスメントを実施する事は、土壤汚染を理解する上で重要である。マケドニア国はEUの土壤汚染政策を注視しながら、参考値による土壤汚染の定義及びリスクアセスメントの手法の導入を早急に検討すべきである。

(2) 社会面での教訓

a. 協力体制を持った調査組織の確立

特に、広域の土壤・地下水汚染を実施するためには、調査体制を整えることと共に中央政府と地方自治体を含んだ協力体制を確立する必要がある。地方自治体はステークホルダー(住民等)、汚染者及び汚染調査者との間のコミュニケーション及びリスクコミュニケーションのパイプ役として重要な役割を有する。

b. 汚染の責任

政府は、過去の旧ユーゴスラビア時代の汚染に対し対策を講じる義務があり、今度の汚染に対してはPPP(汚染者負担原則: Polluter Pays Principle)を行使すべきである。

c. リスクコミュニケーション

汚染者は地方自治体や地域住民と情報を共有すべきであり、適切なリスクコミュニケーションを実施すべきである。

d. ワーキンググループ

土壌・地下水汚染調査では、複数の省に亘る土壌・地下水汚染担当者によるワーキンググループを組織する必要がある。

e. ワークショップ及びセミナーの開催

特に、規模の大きい調査では、調査の節目でワークショップまたはセミナーを開催し、ステークホルダーと共に最新情報の共有及び意見交換を行うことが望ましい。

8. 4 パイロット・プロジェクトの成果/教訓のマスタープランへの適用

パイロット・プロジェクトにおいて得られた成果と教訓は、土壌汚染管理のマスタープランに活かす必要がある。P/P の成果・教訓の各項目とマスタープランのキャパシティ・ディベロップメント計画との関連を図 31 に示す。

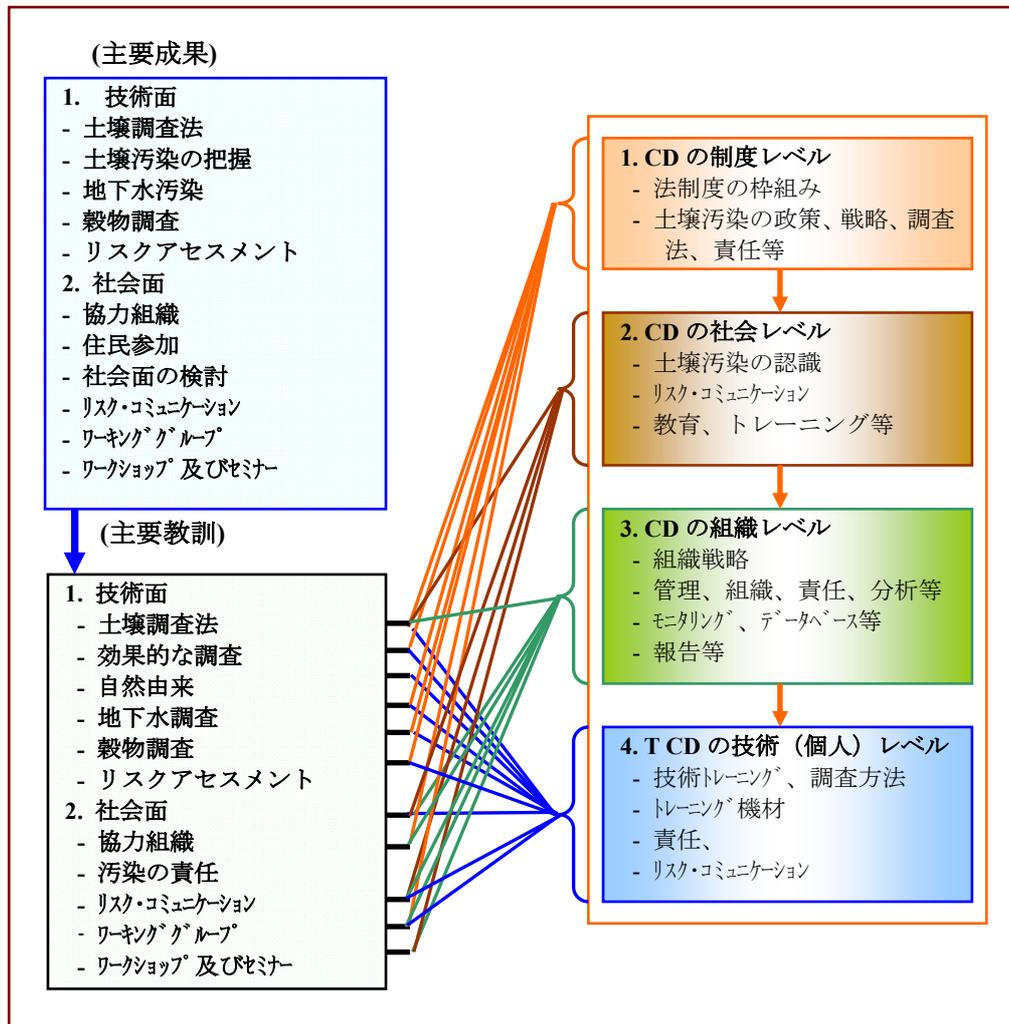


図 31 パイロット・プロジェクトの成果/教訓とマスタープランの関係

第 Ⅲ 部

鉦山関連土壤汚染管理能力向上計画

第9章 土壤汚染管理に関するマスタープラン

9.1 概要

パイロット・プロジェクトの成果及び教訓を踏まえて、マケドニア国の環境改善のために鉱山関連の土壤汚染管理の能力向上を図る計画としてマスタープランを策定する。

土壤汚染管理に関するマスタープランの概要を以下に述べる。

(1) マスタープランの目的及び範囲

a. 目的

本マスタープラン (M/P) の目的は、マケドニア国における環境改善のために鉱山関連の土壤汚染管理の能力向上を図り、本調査後に土壤汚染管理の持続可能な制度・組織をマケドニア国が独自に推進できるプロセスを構築することにある。

b. 対象物質

本マスタープランの対象物質は、鉱山関連の有害な土壤汚染物質であり、砒素、カドミウム、鉛等の重金属類からなる。

c. 適用範囲

本マスタープランの適用範囲は、マケドニア国全土を対象とする。

d. 目標年

土壤汚染管理における法制度及び管理体制の確立を3年後の2010年を目標年とするが、土壤汚染管理に関する基本法の制定までに時間がかかる場合は、暫定的な法制度を2年以内に構築する。

(2) 達成目標

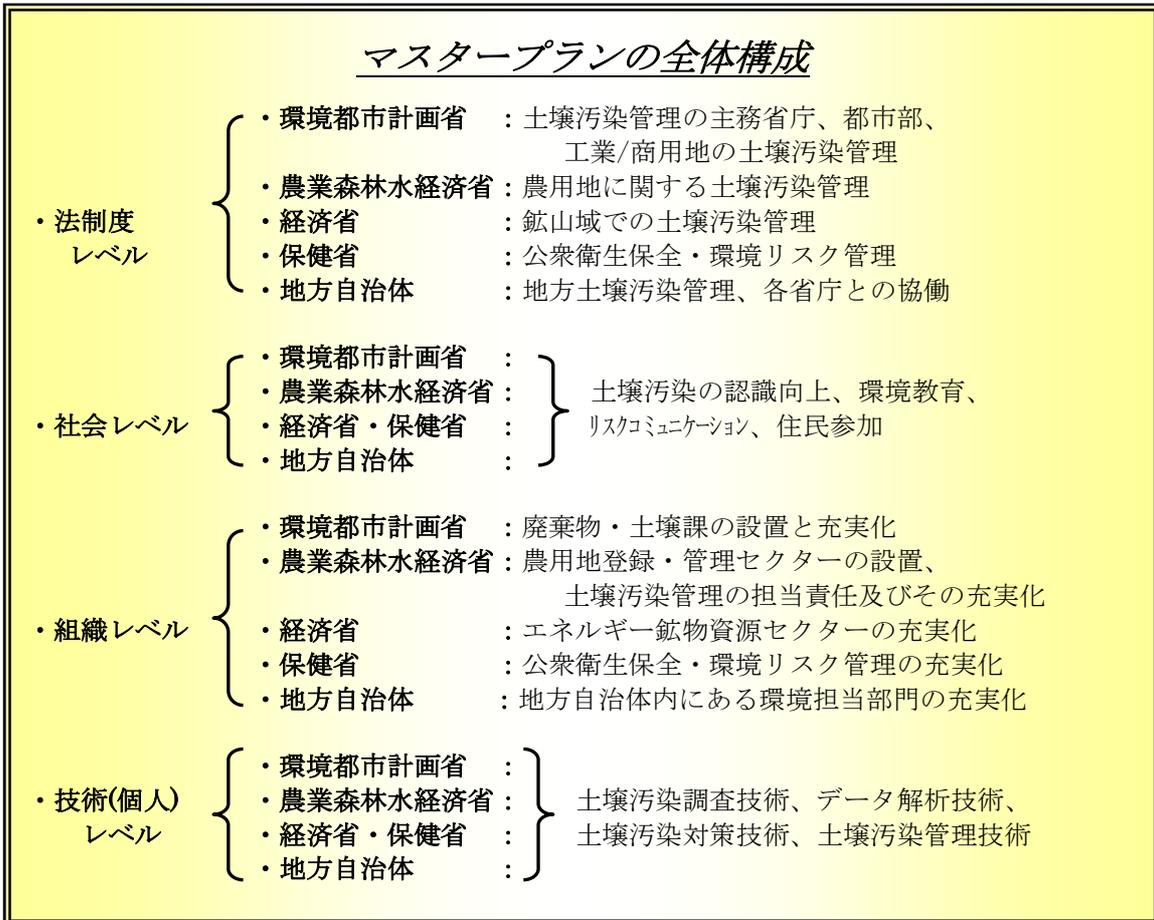
土壤汚染管理に関するマスタープランは、これまでの鉱山に由来する土壤汚染による人の健康及び環境への影響を低減し、並びに今後の土壤汚染の発生及び拡散を防止することを目指している。関係する省庁が、土壤汚染管理のワーキンググループへの参加、並びに情報管理体制の構築によって土壤汚染に関する技術と情報を共有し、補助しあうことにより、持続的に向上できる管理体制が確立されることを目標としている。

また、土壤汚染管理に関するトレーニングにより、管理体制がスムーズに構築されるための知見と人材の確保を目指すと共に、マケドニア国民にリスクコミュニケーション等を通して土壤汚染による人の健康及び環境への影響についての正しい認識を促進し、鉱山活動を含む産業と土壤汚染の発生の悪循環を断ち切ることが期待される。

9. 2 マスタープランの全体の構成

土壌汚染管理を構築するための能力向上においては、土壌汚染管理の既存の能力、法制度/社会、組織及び個人レベルの問題の把握に基づいて土壌汚染管理の方針と枠組みからなる基本的な概念を明らかにし、管理制度を構築する手順を決めることが必要である。

マスタープランとして提案する土壌汚染管理能力向上計画は、「法制度レベル」、「社会レベル」、「組織レベル」及び「技術（個人）レベル」の4つのレベルから構成される。



(1) 法制度レベルの能力向上計画

マケドニア国の土壌汚染管理の法的枠組みについて、環境都市計画省を主務省庁として「土壌汚染管理基本法」を制定し、土地利用別に農用地は農業森林水経済省、鉱山域は経済省及び市街地/工業・商用地は環境都市計画省が管理する責任分担体制となる。関係機関の法制度の基本的枠組みを図 32 に示す。また、土壌汚染管理基本法の基本的内容を Box-1 に例として示す。

土壌汚染管理基本法の制定までの間は、暫定的な法制度を設定する過程が必要となる。暫定的土壌汚染管理の枠組みの内容は、基本法制定後の内容と基本的には同様である。土壌汚染管理制度を構築するための主な業務は、後述する 8 つのタスクを設け、それぞれのタスクは環境都市計画省が管理する土壌汚染管理のワーキンググループで十分な議論を経て決定される。また、土壌環境基準値等の技術的に高度な内容は技術諮問審議会にて検討し、最終的に関係省庁の同意の上、土壌汚染管理制度案を作成する。

“土壤汚染管理基本法”の制定

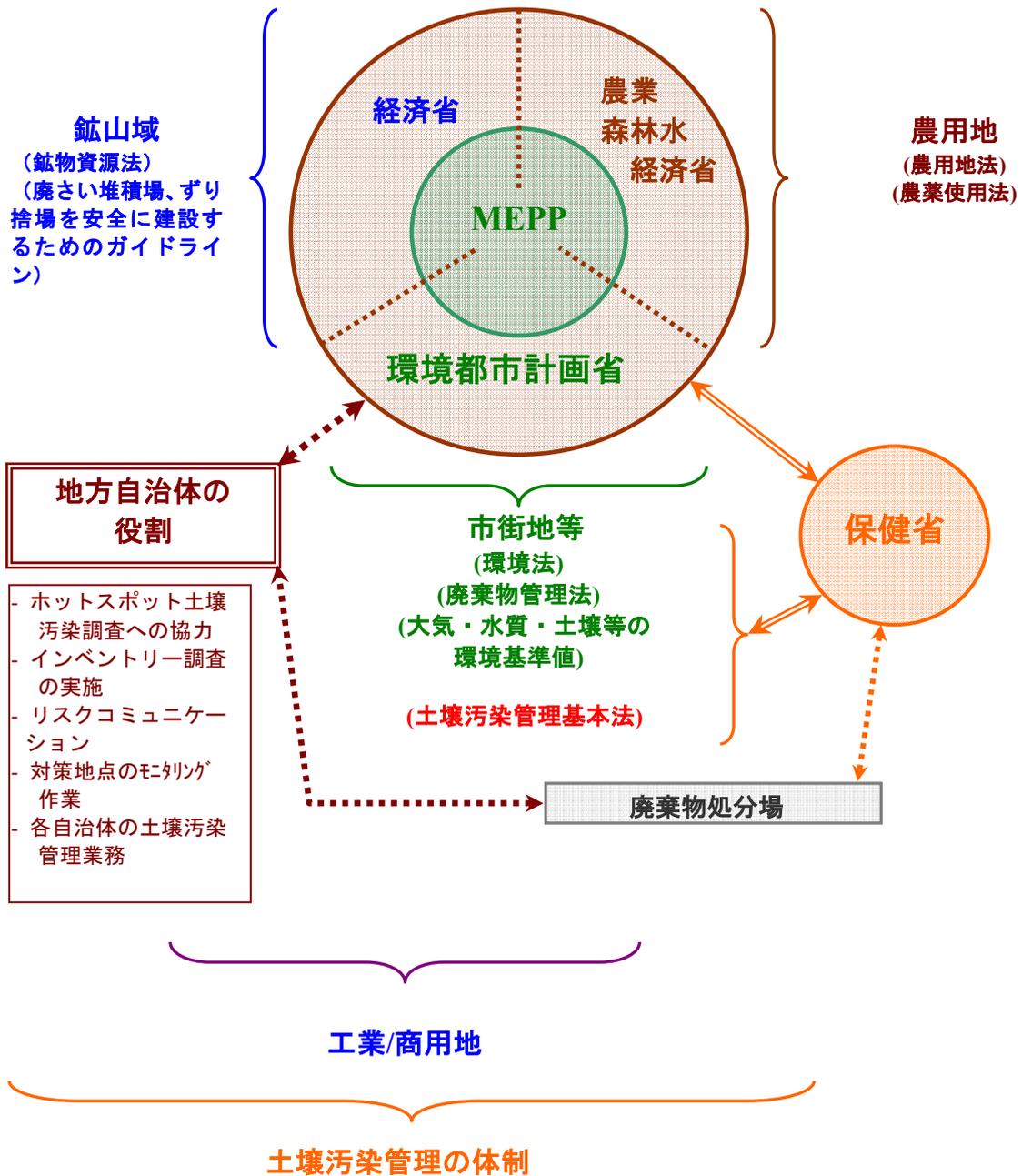


図 32 土壤汚染管理に関する法的枠組み

Box -1

土壤汚染管理基本法：目次例

第1章 総則

- 1.1 目的及び適用範囲
- 1.2 定義

第2章 土壤汚染管理

- 2.1 責任及び調査・対策費の支払い
- 2.2 国家土壤汚染管理
 - 環境都市計画省、農業森林水経済省、経済省、他
- 2.3 地方土壤汚染管理
 - 地方自治体

第3章 土壤汚染状況調査

- 3.1 有害物質使用小規模事業所の調査
(国内の土壤汚染インベントリー調査)
- 3.2 ホットスポットの優先的調査
- 3.3 地下水のモニタリング

第4章 土壤汚染対象地の指定及び登録

- 4.1 土壤汚染対象地の指定
- 4.2 土壤汚染対象地の登録

第5章 土壤汚染による人の健康被害の防止策

- 5.1 土壤汚染浄化対策手順
- 5.2 土壤汚染対策費の請求
- 5.3 浄化終了による登録の解除
- 5.4 国の援助

第6章 土壤汚染調査機関及び化学分析機関の認定

- 6.1 土壤汚染調査機関
 - ・ 認定基準
 - ・ 登録、変更及び廃止
- 6.2 化学分析機関の認定基準
 - ・ 認定基準
 - ・ 登録、変更及び廃止

第7章 雑則

- 7.1 調査・対策結果の報告及び検査
- 7.2 コンサルティング
- 7.3 資料の提出の要求等
- 7.4 土壤汚染に係る研究等の促進
- 7.5 土壤汚染に関する認識の向上
- 7.6 関連法令等

第8章 罰則

一連のタスクを踏まえて土壤汚染管理体制が（暫定的に）確立し、基本法を補填する「施行令」、「施行規則」、「ガイドライン」等が国会の承認を経た後、実質的な土壤汚染管理体制がスタートとなる。

(2) 社会レベルの能力向上計画

社会レベルの能力向上の主な内容は、土壤汚染の認識、土壤汚染に関する環境教育、リスクコミュニケーション、住民参加等からなる。特にリスクコミュニケーションは、住民、事業者、省庁、地方自治体等からなるステークホルダーが土壤汚染の状況及びリスクの認識に関する情報を共有し、相互に意思疎通を図って土壤汚染対策を円滑に進めていくための有効な手段である。なお、マケドニア国全体の土壤汚染に関する現在の認識レベルが比較的低いことから、土壤汚染及び環境リスクについて、リスクコミュニケーションを通して認識を向上させる必要がある。

土壤汚染地域の行政側、事業者、住民、農民等のステークホルダー間で、速やかな情報開示及び共通認識の下、ステークホルダー会議を行う手順を制度化してゆく必要がある。

(3) 組織レベルの能力向上計画

組織レベルの能力向上は、マスタープランの実施及び持続可能な土壤汚染管理への促進と維持をするために必要なことである。各省庁の組織レベルの能力向上の内容を以下に示す。

a. 環境都市計画省 (MEPP)

環境都市計画省は、土壤汚染管理及びマスタープランの実施の責任を有し、土壤汚染管理のための組織を早急に確立する必要がある。2007年現在、MEPPの環境セクターに廃棄物・土壤課が設立され、この部署が土壤汚染管理を今後担ってゆく。

b. 農業森林水経済省 (MAFWE)

農業森林水経済省は、農用地に関する土壤汚染管理の責任を果たす重要な役割を持っており、現在、新たに農用地登録・管理セクターが設置され、当部署が土壤汚染管理を担うことが期待されている。

c. 経済省 (MoE)

経済省は、エネルギー・鉱物資源セクターが鉱山域での土壤汚染管理を行い、その業務内容の充実化を図る必要がある。

d. 保健省 (MoH)

保健省は、公衆衛生保全及び環境リスクに関しての土壤汚染管理に携わる。

e. 地方自治体

地方自治体は、環境都市計画省、経済省及び農業森林水経済省と共に環境保全の一環として土壤汚染管理を推進するために、地方自治体内にある環境担当部門の充実化を図り、各省庁との協働のためのコミュニケーションを図る必要がある。

(4) 土壤汚染管理における技術（個人）レベルの能力向上計画

土壤汚染管理における技術（個人）レベルの能力向上の対象は、1) 土壤汚染管理に関連する行政組織、2) 土壤汚染調査及び対策工事会社、3) 分析所及び土質試験所及び4) 有害物質を使用する事業所（土壤汚染調査の対象地）の4つの組織/団体に所属する個人からなる。

土壤汚染管理における技術（個人）レベルの能力向上の内容は、1) 土壤汚染調査、2) データ解析、3) 土壤汚染対策及び4) 土壤汚染管理に関する情報管理からなる。

MEPPは、土壤汚染管理業務を行うための技術トレーニングによる能力向上及び必要な資機材の確保を必要とする。トレーニングは、1) 法制度の枠組み、2) 土壤汚染調査、3) データ解析、4) 土壤汚染管理における情報管理、5) データベースの構築等の内容からなる。

9. 3 土壤汚染管理における法制度レベルの能力向上計画

マケドニア国における土壤汚染管理の法制度の基本方針は、「土壤汚染管理基本法」によって明文化され、土壤汚染管理体制が構築される。土壤汚染管理制度の基本的枠組みは、土壤汚染管理基本法に明確に記載されるが、管理制度の詳細な内容については後述する8つのタスクを設けてワーキンググループ及び技術諮問審議会を経て検討され、その結果、基本法を補填する「土壤汚染管理法施行令」、「土壤汚染管理法施行規則」、「ガイドライン」等が必要に応じ制定されることになる。

また、マケドニア国の土壤汚染管理体制を促進するために、EU法採用国家プログラム(NPAA)に土壤汚染項目を載せること、並びに土壤汚染管理の法規についてもEUの土壤汚染管理政策の動向に留意する必要がある。

土壤汚染管理制度の確立までのプロセスを図33に示し、その内容を以下に述べる。

(1) 土壤汚染管理の法的枠組み

マケドニア国の土壤汚染管理の法的枠組みについて、MEPPは主務省庁として土壤汚染管理を主導し、「土壤汚染管理基本法」を制定する必要がある。土壤汚染管理制度の各省の枠組みは、MEPPが土壤汚染管理の主務省庁として主導、都市部、工業地/商用地の土壤汚染管理、MAFWEが農用地の土壤汚染管理、MoEが鉱山域の土壤汚染管理及び地方自治体がその管轄域内土壤汚染管理を分担する必要がある。

(2) 土壤汚染管理に関する基本法の制定までの暫定的土壤汚染管理法制度の枠組み

土壤汚染管理基本法の制定までに時間がかかると推定されることから、基本法の制定までの間は、MEPPが暫定的な措置（例：要綱、ガイドライン、指針の策定）をとる必要がある。暫定的土壤汚染管理の枠組みの内容は、基本法制定後の内容と基本的に同様である。

(3) MEPPにおける暫定的土壤汚染管理

MEPPは土壤汚染管理基本法を制定する準備を行うと共に、土壤汚染管理を開始・実施するための暫定的な措置（例：要綱、ガイドライン、指針等）の内容を土壤汚染管理のワーキンググループで討議する必要がある。

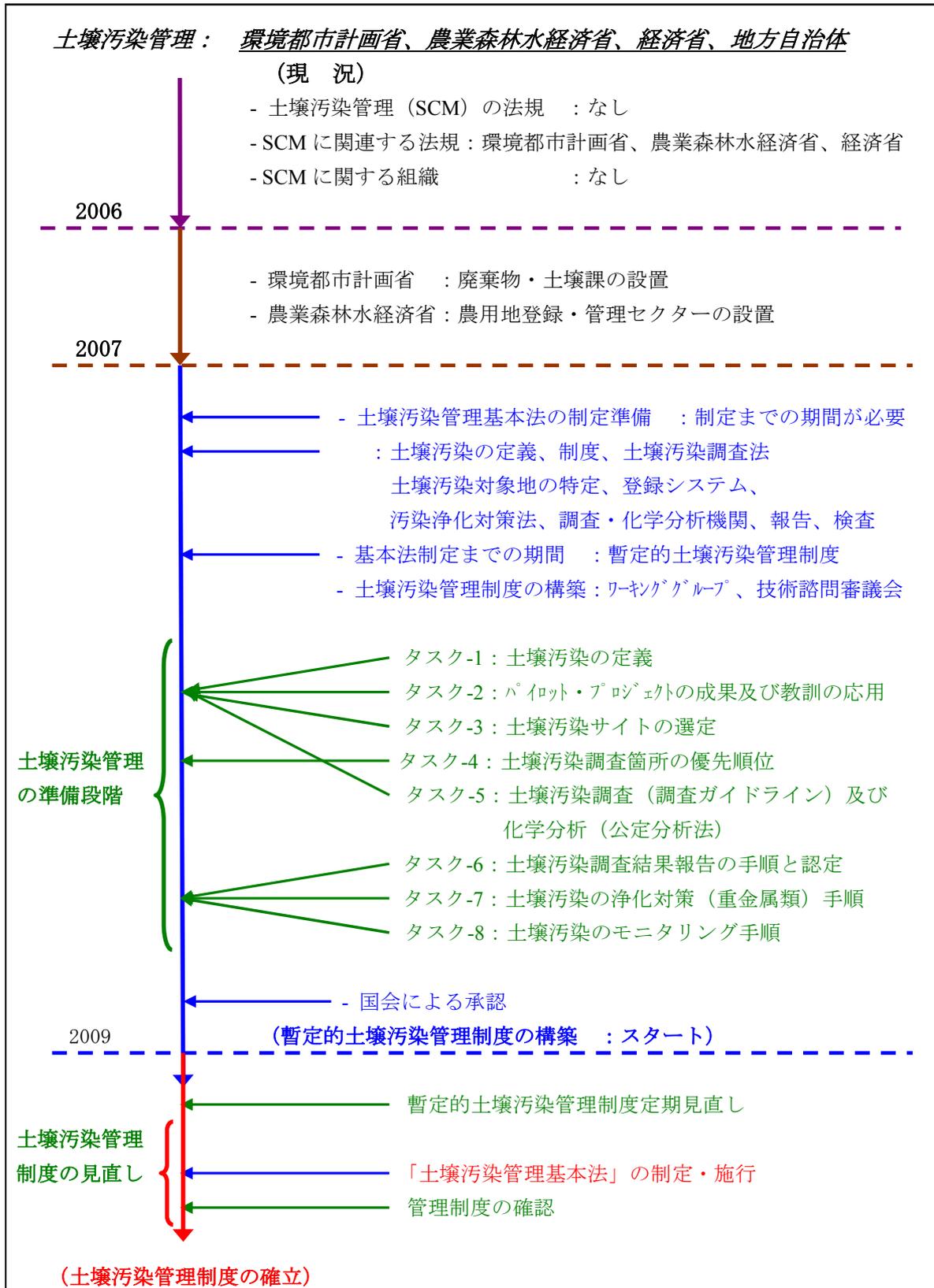


図 33 土壌汚染管理制度確立までのプロセス

(4) MAFWE における暫定的土壌汚染管理

MAFWE には、基本法として「農用地法」がある。特に、第 31 条では人の健康、食物生産、土壌等の公害・汚染に対する農用地の保全に触れ、更に土壌中の有害物質の特定及び最大許容濃度 (MAC) の設定を行うことと規定している。したがって、MAFWE は農用地の保全の責任があり、農用地の土壌汚染を管理する必要がある。また、土壌汚染管理の暫定的な措置の内容は、制定前に土壌汚染管理のワーキンググループで討議し、MEPP の措置内容と連携させる必要がある。

(5) MoE における暫定的土壌汚染管理

MoE は、鉱山地域内及びその周辺の自然及び環境を保全するための「鉱物資源法」を有している。MoE は、様々な鉱山活動に対する環境保全の詳細な調査法、モニタリング法を設定する必要がある。したがって、MoE も暫定的な措置 (例：要綱、ガイドライン、指針等) が必要となり、暫定的な措置の内容は、制定前に土壌汚染管理のワーキンググループで討議し、MEPP の措置内容と一致させる必要がある。

(6) 土壌汚染管理の制度の枠組み

土壌汚染管理制度の枠組みは、「土壌汚染管理基本法」によって明文化され、土壌汚染管理体制が成立する。土壌汚染管理制度は、マケドニア国に土壌汚染が存在する事を明らかにし、人の健康への環境リスクを低減する適切な対策を実施し、今後の土壌汚染を防止する目的を有している。従って、マケドニア国における土壌汚染の存在の確認、その浄化及び防止を確固たるものにするために土壌汚染の効果的で実施可能な制度の枠組みの制定が必要である。土壌汚染管理の制度の各省の役割を図 34 に示し、その内容を以下に述べる。

a. 土壌汚染管理の関連主務省庁

MEPP が土壌汚染管理の主務省庁であり、都市部、工業地/商用地の土壌汚染管理を行い、後述するホットスポット土壌汚染調査及び土壌汚染インベントリー調査における実施省庁である。

b. 農用地

MAFWE が、農用地の土壌汚染管理を行い、土壌汚染調査の協力省庁で農用地の調査の実施省庁である。

c. 鉱山域

MoE が、鉱山敷地の土壌汚染管理を行い、土壌汚染調査の協力省庁で鉱山域内の調査の実施省庁である。

d. 地方自治体

各地方自治体は、土壌汚染のホットスポット調査の協力機関で土壌汚染インベントリー調査における実施主体である。ホットスポット調査では中央省庁と地域住民を含むステークホルダーとの仲立ちを行い、土壌汚染インベントリー調査では次のステージである土壌

土壤汚染管理制度の枠組み

"土壤汚染管理基本法"

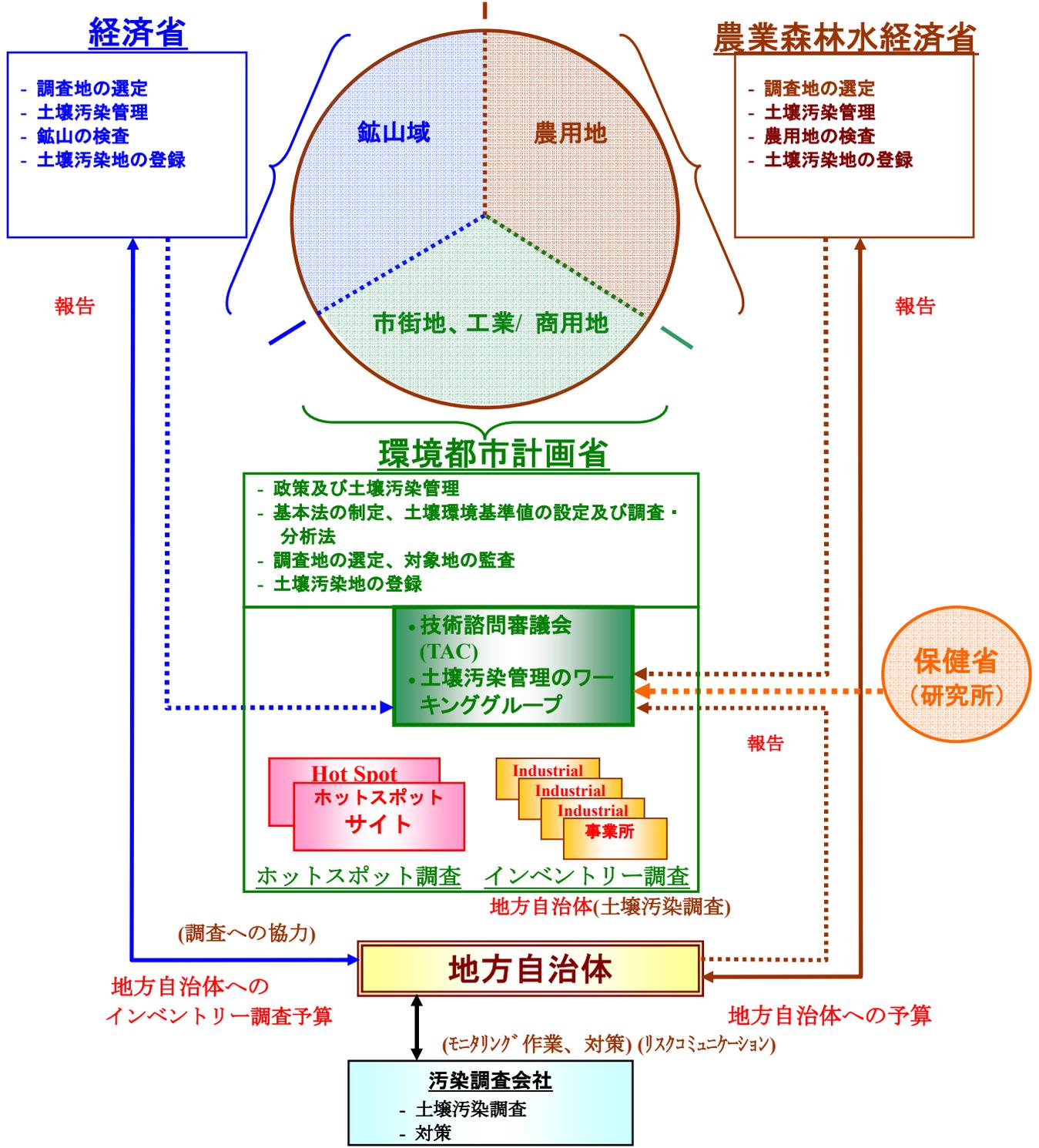


図 34 土壤汚染管理に関する制度の枠組み/関係機関の役割

Box - 2

土壤汚染管理の制度枠組みの主要タスク及び土壤汚染管理基本法との関係

<u>タスク</u>	<u>土壤汚染管理基本法</u>
タスク-1： 土壤汚染の定義	： 第1章, 第2章
1) 土壤汚染に関する有害物質の選定	： 第1章 1.2, 第2章
2) 土壤環境基準値の設定（重金属類）	： 第1章 1.2, 第2章
タスク-2： パイロット・プロジェクトの成果及び 教訓の応用	： 第1章～第7章
タスク-3： 土壤汚染サイトの選定	： 第2章, 第4章
1) ホット・スポット調査：鉱山関連の 土壤汚染サイト	： 第2章, 第3章 3.2
2) インベントリー調査：マケドニア全土	： 第2章, 第3章 3.1
タスク-4： 土壤汚染調査箇所の優先順位	： 第2章, 第3章
タスク-5： 土壤汚染調査法（調査ガイドライン） 及び化学分析法（公定分析法）	： 第2章, 第6章 6.1 ： 第2章, 第6章 6.2
タスク-6： 土壤汚染調査結果報告の手順と認定	： 第2章, 第4章, 第7章
タスク-7： 土壤汚染の浄化対策（重金属類）手順	： 第2章, 第5章
タスク-8： 土壤汚染のモニタリング手順	： 第2章, 第3章 3.3

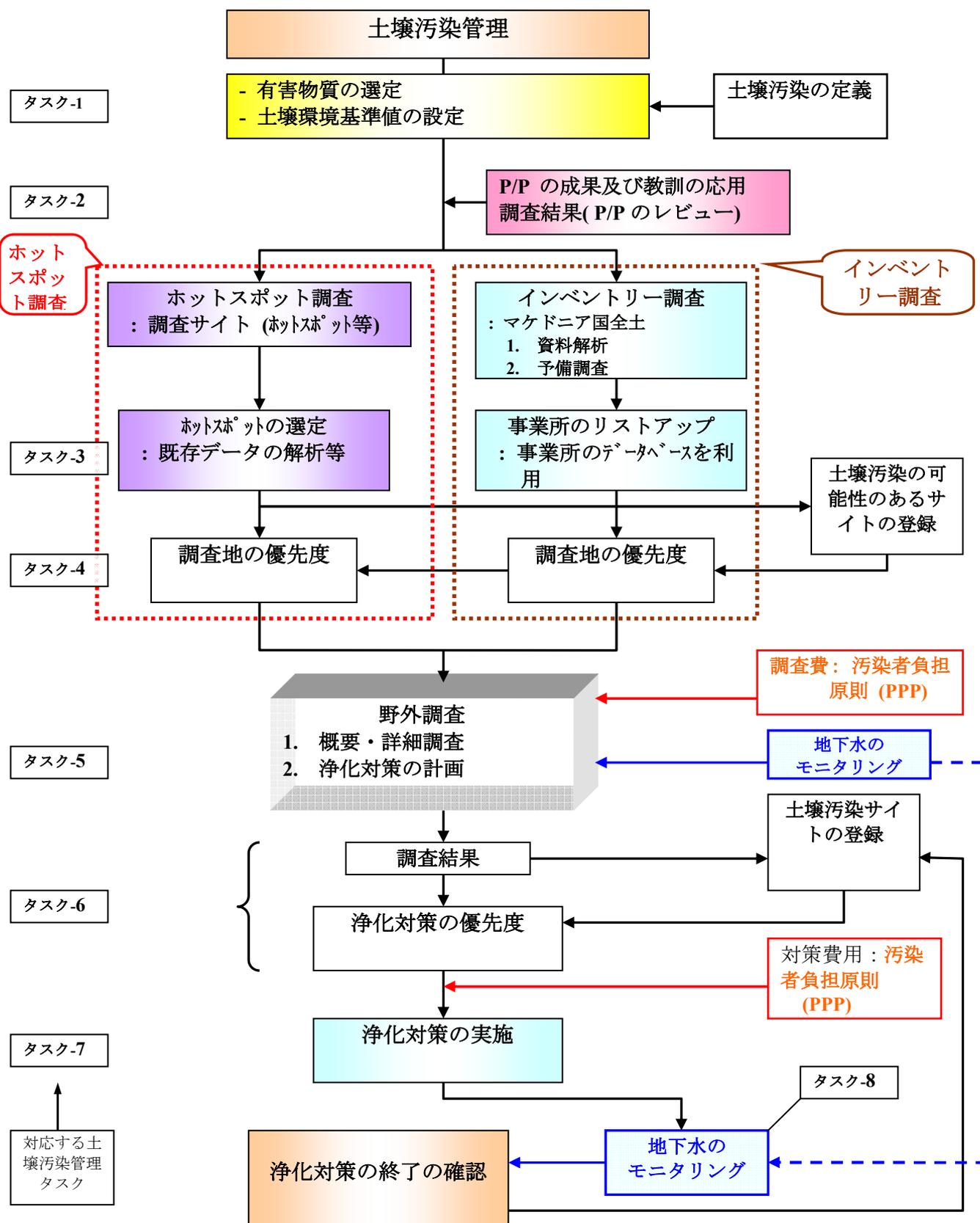


図 35 土壤汚染管理に関する調査の枠組みの設定プロセス

・地下水汚染調査・対策に必要な指示・命令及び指導・説明を事業者（汚染者）に伝える事を担当する。また、ホットスポット調査及び土壌汚染インベントリー調査におけるモニタリング作業の管理を行う（図 34）。

（7） 土壌汚染管理制度の主要タスク

管理制度の詳細な内容については、後述する 8 つのタスクを設けてワーキンググループ及び技術諮問審議会を経て検討し、その結果、必要に応じ基本法を補填する。すなわち、「土壌汚染管理法施行令」、「土壌汚染管理法施行規則」、「ガイドライン」等が制定される。

土壌汚染管理制度の策定のための主要タスクは、タスク-1～タスク-8 からなり、その内容を Box-2 に示す。また、土壌汚染管理の各省の主要タスクは、図 35 に示すとおりである。

それぞれのタスクの内容は、土壌汚染管理の省庁間で一本化した管理体制を確立するために、土壌汚染管理の省庁である MEPP、MAFWE、MoE、MoH、地方自治省及び地方自治体の代表からなる“土壌汚染管理に関するワーキンググループ（WG-SCM）”で一步一步着実に議論する必要がある。本 WG-SCM の設置及び管理には、MEPP が担当する。また、土壌汚染の定義、有害物質の特定、土壌環境基準値、土壌汚染状況の選定等の高度な技術的知見を要する内容については、新たに MEPP 内に設置する技術諮問審議会での議論が必要がある。

WG-SCM 及び技術諮問審議会の組織、人選、議論の内容は、すでに本調査の中にワーキンググループで検討しており、今後の両組織の論議はスムーズに進捗するものと期待される。

（8） 土壌汚染管理制度の主要タスクの詳細

土壌汚染管理制度を構築するための主要タスクの詳細を以下に示す。

a. タスク- 1：土壌汚染の定義

汚染土壌は土壌環境基準値を超過することで特定され、人の健康を保全するために浄化（あるいはリスク低減策）が必要となる。また、汚染土壌に対し、できるだけ速やかに適切な対策が実施される必要がある。土壌汚染の定義は、各省共通の事柄である。

土壌汚染の定義に必要な論議は、WG-SCM 及び技術諮問審議会で行われる。

b. タスク- 2：パイロット・プロジェクトの成果及び教訓の応用

パイロット・プロジェクト（P/P）の経験は、土壌汚染の概念、調査計画、概要調査、詳細調査、ボーリング調査、表流水及び地下水調査、穀物調査、総合解析、リスク評価、リスクコミュニケーション、汚染対策の検討等からなる。これらの経験は MAFWE、MEPP、MoE、HSZ、プロビシュティープ市、調査会社、分析所、地域住民等と協同で作業する事により得られた。したがって、P/P の経験及び成果は、マケドニア国での今後の土壌汚染調査の実施に活用されると考えられる。

c. タスク- 3：土壌汚染サイトの選定

マケドニア国の土壌汚染には、鉱山及び大規模な事業所からの廃棄物による土壌汚染と有害物質を使用する小規模な事業所単位での土壌汚染がある。鉱山及び大規模な事業所に関連する土壌汚染は「ホットスポット」と呼ばれており、土壌汚染だけでなく、大気汚染、水質

汚濁の公害を伴い、有害物質による人の健康及び環境への影響も大きいと考えられている。ホットスポットの土壤汚染調査は、規模が大きいことから、相対的に緊急項目である。

一方、小規模な事業所に関連する土壤汚染は、比較的小規模であるが数量が多い。さらに、住宅地に隣接しているケースが多く、人の健康への影響も少なくないと考えられる。これらの事業所単位の土壤汚染は、先ず土壤汚染の可能性のある箇所を選定するための「土壤汚染インベントリー調査」を実施し、1つ1つの事業所をリストアップし、それらのサイトの土壤汚染調査の優先順位をつける必要がある。

ホットスポット調査では、ホットスポット箇所の既存資料の収集及び現地視察によってリストアップのための資料・情報は収集できる。

土壤汚染インベントリー調査では、各事業所への「質問票」及び「インタビュー調査」からなる予備調査が必要であり、その詳細は後述する。

d. タスク-4：土壤汚染調査箇所の優先順位

ホットスポット調査箇所のリストアップ及び土壤汚染インベントリー調査の予備調査における結果を用いて土壤汚染調査箇所を評価し、調査箇所の優先順位を付ける。これを基に次の調査を実施する。

e. タスク-5：土壤汚染調査法（調査ガイドライン）及び化学分析法（公定分析法）

タスク-5は、土壤汚染調査法及び化学分析法からなる。

タスク-5の確定の後、タスク-3とタスク-4の優先順位に応じて実際の調査業務が全国的に実施されることになる。その調査結果は、次のタスク-6によって集約される。

1) 土壤汚染調査

土壤汚染調査法の検討は、タスク-1～3とほぼ同時にWG-SCMで論議され、調査法のドラフトを作成し、引き続き技術諮問審議会でそのドラフトを審議する手順となる。土壤汚染調査法は、技術諮問審議会の承認を経て決定され、その内容は既存資料調査（フェーズ1調査と呼称する。以下、同様）、概要調査（フェーズ2-1調査）、詳細調査（フェーズ2-2調査）から成る。更に、土壤汚染調査機関の認定、登録等を実施する。

土壤汚染調査は、MEPPによって認定された土壤汚染調査機関が実施する。MEPPは調査ガイドラインに沿った所定の調査技能資格者、調査機器、経歴等を有する調査の精度及び信頼性が確保できる土壤汚染調査機関の認定、登録、変更及び廃止の手続きを実施する。

2) 化学分析

土壤汚染に係わる化学分析には、土壤の含有量分析、溶出量分析、水質分析、穀物分析等の分析の公定法の制定及び化学分析機関の認定、登録等からなる。

土壤汚染に係わる化学分析は、MEPPによって認定された化学分析機関が実施する。MEPPは公定分析法に沿った所定の施設、分析技能資格者、分析機器、経歴等を有する分析の精度及び信頼性が確保できる化学分析機関の認定、登録、変更及び廃止の手続きを実施する。

f. タスク-6：土壤汚染調査結果報告の手順と認定

土壤汚染調査結果の概要は、マケドニア国全土の土壤汚染サイトを対象として MEPP に登録される必要がある。

g. タスク-7：土壤汚染の浄化対策（重金属類）の手順

浄化対策には応急対策と恒久対策の2種類がある。土壤汚染調査で土壤・地下水汚染が判明し、早期に恒久対策が取れない状況である場合、周辺環境への影響を低減するために応急対策を実施する必要がある。

h. タスク-8：土壤汚染のモニタリング手順

モニタリングは、(不明な) 広域の土壤・地下水汚染の把握、特定区域での土壤・地下水汚染状況の把握及び汚染対策の完了の確認を目的として行われる。

(9) 土壤汚染の情報管理

土壤汚染管理に関する情報は土壤汚染調査が終了し、その結果が MEPP に登録された時点において情報開示が行われる必要がある。更に、土壤汚染対策及びモニタリングについては、原則的に常時情報開示される必要がある。また、調査・対策の一連の資料・データは、調査箇所が各省庁の管理範囲が重なることが多いことから、省庁間での情報の共有を図る必要がある。情報管理には、GIS を組み込んだ IT システムが有効である。土壤汚染の情報管理の内容は、一般に以下の項目からなる。

- ・土壤汚染調査、浄化対策及びモニタリングの公的手続き
- ・土壤汚染調査、浄化対策及びモニタリングの結果
- ・土壤汚染サイトの公的登録
- ・土壤汚染に関する公的データベース

(10) 財政的構造の枠組み

ホットスポットの土壤汚染調査事業やモニタリング事業に関する費用は、比較的小額（総額 28 万ユーロ程度と試算）であることから、国の通常会計において実施されるべきであり、2008 年度以降の国家予算に計上する必要がある。一方、多くの土壤汚染浄化対策事業は調査事業と比較して極めて高価であり、土壤汚染対策のための資金計画の問題は特別に検討することが必要である。したがって、浄化対策資金のための枠組みを構築し、推進することが不可欠となる。

マケドニア国の土壤汚染管理の問題の多くは歴史的であり、汚染は以前の国営会社が引き起こしたものが多く。したがって、PPP（汚染者負担）の原則に照らせば、この汚染の負債は主に政府にあると考えられ、対策のための基金が必要である。

土壤汚染の資金調達のオプションは、リターン及び将来の財政的便益がほとんどないことから、その限界がある。しかし、マケドニア国政府として、土壤汚染管理の資金調達には、以下のオプションが考えられる。

- ・通常国家予算
- ・指定環境投資計画基金からのグラントまたは長期ローン

- ・2国間協力（グラントまたはソフト・ローンの受け入れなどを含む）
- ・EUからのグラント（ISPA: Instruments for Structural Policies Pre-Accessions）

9. 4 土壤汚染管理における社会レベルの能力向上計画

マケドニア国の土壤汚染管理に関する社会レベルの現状の能力は、比較的低いと考えられることから、今後は社会レベルの能力向上を促進させる必要がある。

社会レベルの能力向上は、個人及び組織レベルの能力を十分に発揮できる環境を作ることであり、その主な項目は土壤汚染についての認識、環境教育/啓発、リスクコミュニケーション、住民参加の促進等からなる。特にリスクコミュニケーションは、土壤汚染物質の有害性と人の健康及び環境への影響をリスク評価に基づいて汚染浄化対策（解決策）へと導く手法として重要である。

パイロット・プロジェクト地域の現状を踏まえ、今後において各地での土壤汚染、地下水汚染及び穀物汚染が明らかになると推定されるが、どの場合でも土壤汚染の責任者は早期の情報開示を行い、適切なリスクコミュニケーションによって地方自治体を含む行政側や地域住民と情報を共有し、解決策への検討を行う必要がある。

社会レベルの能力向上のためには、土壤汚染調査・対策結果の報告及び土壤汚染の登録に基づく土壤汚染に関する情報の開示、並びにリスクコミュニケーションによる住民説明会（ステークホルダー会議）を制度化する必要がある。

また、土壤汚染に関する認識の向上についても、環境教育、リスクコミュニケーション等によって促進させる必要がある。

9. 5 土壤汚染管理における組織レベルの能力向上計画

(1) 各省庁の組織の現状

各省庁における土壤汚染管理の組織レベルの能力の現状及び 2007 年現在の状況を以下に示す。

a. 環境都市計画省 (MEPP)

MEPP は最近組織替えを行い、現在の組織では環境セクターを有している。本セクターは廃棄物・土壤課を含む 4 つのユニットからなる。土壤に関する責任は当ユニットが担う予定であり、MEPP は廃棄物・土壤課に 3 名を配置する計画である。

b. 農業森林水経済省 (MAFWE)

MAFWE の主要業務内容は、農業政策、水資源管理、農用地管理、森林管理及び地域開発からなる。業務内容は、政策の策定及び施行と共に、監視とモニタリング活動を含む。2006 年の選挙後、人事の入れ替えがあり、MAFWE 内の組織変更が議論されているが、まだ国会での承認がされていない。また、農用地法は長期にわたって検討がされている。

c. 経済省 (MoE)

MoEは検査局を有しており、局長と7人の監査員からなる。2名の監査員は鉱物資源法に則って、廃さい堆積場、廃水、環境の悪化した土地での耕作について検査している。鉱山会社は、環境管理を含む操業計画を提出し、監査員はこの計画に沿って操業が実施されているかを検査している。監査報告書はMEPPからの監査員に伝達され、MEPPは必要に応じ追加の検査を行うことになっている。

(2) 土壤汚染管理における組織レベルの能力向上計画

組織レベルの能力向上は、M/Pの実施及び持続可能な土壤汚染管理を推進するために必要なことである。組織レベルの能力向上は、土壤汚染管理に関する組織の設置及び管理組織の枠組みの設定と改善からなる。

各省庁の組織レベルの能力向上計画を以下に示す。

a. 環境都市計画省 (MEPP)

MEPPは土壤汚染管理及びM/Pの実施の全体責任を果たす必要がある。土壤汚染の管理は省内の環境セクターの廃棄物・土壤課が新たに設置されたことから、廃棄物・土壤課が今後の土壤汚染管理の制度化に向けて中心的役割を果たすことになる。

b. 農業森林水経済省 (MAFWE)

MAFWEは農用地に関する土壤汚染の管理責任を有する。省内では新たに農用地登録・管理セクターが設置され、同セクターが土壤汚染管理業務の担当について検討している。

c. 経済省 (MoE)

MoEは鉱山域での環境管理を行っているが、土壤汚染について検査内容を更に充実化させる必要がある。

d. 保健省 (MoH) :

MoHは、公衆衛生の保全管理に基づいて、土壤汚染による健康への被害の把握及び防止に携わっているが、特に土壤汚染の定義等の環境リスクに関わるタスク及び主要メンバーとしてワーキンググループ及び技術諮問審議会への積極的な参加が望まれる。また、パイロット・プロジェクトでの教訓として、汚染している飲料水の公定法による水質チェック等、重要な役割を有している。

e. 地方自治体

地方自治体は、特に行政区域内での鉱山や工業活動に対する土壤汚染管理への向上を目指している。地方自治体の能力は土壤汚染管理に関する問題地域を特定し、MEPPに報告することができるレベルにすることが重要である。

(3) 土壤汚染管理の情報管理組織の構築

土壤汚染調査からの資料・データは、マケドニア国の新規土壤汚染管理の組織下において MEPP、MAFWE、MoE 等の省庁間で交換する必要がある。省庁間で交換した土壤汚染データを編集する場合には、GIS データベースが最も的確な情報システムである。

(4) 土壤汚染管理における資機材

土壤汚染管理組織での業務を果たすために、土壤汚染調査及び管理のための資機材の整備が必要である。

a. 土壤汚染調査機材

- 1) 野外作業：地形図、GPS、野帳、巻尺、色鉛筆、線引き等
- 2) 土壤採取：シャベル、スコップ、カッターナイフ、プラスチックバッグ、カラーインデックス、カメラ等

b. ボーリング調査用機材

- 1) ボーリング機械及び道具一式、ポンプ、コア箱、水中ポンプ、採水器、カラーインデックス、カメラ等

c. 表流水調査用機材

- 1) 採水：水サンプラー、容量測定用容器、容器、カメラ等
- 2) 流量測定：流量計、タイマー、カメラ、シャベル、巻尺、地形図等
- 3) 水質測定：pH メーター、電気伝導度測定器、水温測定器等

d. 地下水調査機材（既存水井戸、モニタリング孔等）

- 1) 採水用ベラー、水中ポンプ、サンプルバッグ、ガラス瓶、カメラ等
- 2) 水質測定：pH メーター、電気伝導度測定器、水温測定器等

e. 穀物調査用機材

- 1) 地形図、GPS、野帳、巻尺、プラスチックバッグ、カメラ等

f. 水質及び地下水のモニタリング機材

- 1) 採水用ベラー、水中ポンプ、サンプルバッグ、ガラス瓶、カメラ等
- 2) 水質測定：pH メーター、電気伝導度測定器、水温測定器等

g. GIS 用の機材

- 1) ハードウェア：PC、ウェブサーバー、データサーバー、プリンター、カラーキャナー等
- 2) ソフトウェア：GIS ソフトウェア、マップサーバー等

9. 6 土壤汚染管理における技術（個人）レベルの能力向上計画

(1) 土壤汚染管理における技術（個人）レベルの能力向上計画

土壤汚染管理における技術（個人）レベルの能力向上の対象は、以下の4つの組織/団体に所属する個人の技術的向上からなる。

- ・ 土壤汚染管理に関連する行政組織
- ・ 土壤汚染調査及び対策工事会社
- ・ 分析所及び土質試験所
- ・ 有害物質を使用する事業所（土壤汚染調査の対象地）

土壤汚染管理における技術（個人）レベルの能力向上の内容は、以下のとおりである。

a. 土壤汚染調査

- ・ 土壤汚染調査法、ボーリング調査法
- ・ 表流水調査法、地下水調査法
- ・ 穀物調査法
- ・ 表流水・地下水モニタリング法

b. データ解析

- ・ GIS 土壤汚染分布、濃度分布
- ・ 土壤・地下水の汚染機構
- ・ リスクアセスメント

c. 土壤汚染対策

- ・ 浄化対策法、対策におけるモニタリング法

d. 土壤汚染管理に関する情報管理

- ・ データベースの構築（GIS の使用）
- ・ 各省庁間のデータベースへのアクセスと連携
- ・ データ管理のノウハウ

(2) 土壤汚染管理のためのトレーニング

MEPP は、土壤汚染管理に関するトレーニングについての実施計画を策定し、土壤汚染調査に関連する省庁、地方自治体、土壤汚染調査機関、対策工事実施機関、その他関連する組織等に対し必要なトレーニングを実施する必要がある。

土壤汚染管理に関するトレーニングの項目を以下に示す。

a. 法制度の枠組み

- ・ 法令に関するトレーニング：法律、法制度
- ・ 法令施行のトレーニング：法律、法制度、地方自治体の役割

b. 土壌汚染調査

- ・土壌汚染調査のトレーニング
 - 概要調査法
 - 詳細調査法
 - ボーリング調査法
 - 表流水と地下水のモニタリング手法
 - 土壌汚染調査の総合解析及び土壌汚染対策法

c. データ解析

- ・GIS
 - GIS 解析法： ESRI (Environmental Systems Research Institute Inc.) トレーニング手法等.
- ・リスクアセスメント
 - リスクアセスメント手法

d. 土壌汚染管理における情報管理

- ・リスクコミュニケーション
 - リスクコミュニケーション法

e. データベースの構築

- ・データベースのトレーニング

第10章 マスタープラン (M/P)に基づくマケドニア国全土の 土壌汚染調査・対策に関する事業計画

10.1 概要

鉱山に関連する土壌汚染の調査・対策の事業計画の目的は、マケドニア国全土の土壌汚染サイトを把握する手順を提言すること、及び重金属類による土壌汚染に対する適切な対策を検討することにある。しかし、ホットスポットとして選定した主に鉱業に関係した汚染サイトだけでなく、マケドニア国全土の事業所（小規模な工場など）には重金属類の潜在的な土壌汚染を伴うサイトが多数分布すると考えられる。

10.2 ホットスポット調査

(1) 既存資料解析の調査計画

マケドニア国に分布する13箇所のホットスポットを図36及び表18に示す。ホットスポットのほとんどの土壌汚染は、主に鉱山の産業廃棄物及び工業活動から由来している（NEAP（1996）、Filipovski（2003）、UNEP（2006）、等）。しかし、ほとんどのホットスポットは、ズレトボ鉱山、MHK-ズレトボ（ベレス）等のいくつかの箇所を除いて、まだ詳細に調査されていない。したがって、既存資料解析、ホットスポットの選定と認定及び調査箇所の優先順位をつける等の作業が必要である。

MEPPはホットスポット調査の既存資料解析の調査計画を立てる必要があるが、MEPPはすでにUNEPの援助を得てホットスポット調査の一部を開始している。

ホットスポット調査の内容を以下に示す。

- ・調査位置と優先順位
- ・調査組織
- ・調査計画等（調査箇所、内容、数量）
- ・農用地の調査計画
- ・調査費用

調査地内に農用地がある場合、土壌調査と共に穀物調査を実施する必要がある。穀物調査は、100m×100mグリッドで実施し、同位置で土壌の含有量・溶出量調査を実施する必要がある。

(2) ホットスポット・サイトの優先順位

13箇所のホットスポット調査サイトの優先順位は、対象地の入手資料及び土壌、水、大気汚染に関する情報に基づいて検討される。人の健康及び農業への環境リスクに基づいたホットスポット・サイトの試験的な優先順位の検討結果を表19に示す。



図 36 マケドニア国の土壤汚染ホットスポットの位置図

表 18 マケドニア国の鉱山関連の土壤汚染ホットスポットのリスト

No.	鉱山/会社名 (鉱山及び製練所の位置)	位置	鉱物	備考
1	ズレトボ鉱山	プロビシュティープ	鉛、亜鉛	操業中
2	ササ鉱山	カメニツァ	鉛、亜鉛	操業中
3	MHKズレトボ、製練所	ベレス	鉛、亜鉛	閉鎖
4	ブチム鉱山	ラドビス	銅	操業中
5	ロヤネ鉱山	クマノボ	クロム、砒素、アンチモン	閉鎖
6	シルマック・フェロ-シリコン工場 (前HEKユーゴ・クロム)	ジェグノビツェ	フェロ-シリコン	操業中
7	トラニツァ鉱山	クリバプランカ	鉛、亜鉛	閉鎖
8	マケドニア鉄鋼工場	スコピエ	鉄	操業中
9	クルストフ・ドル鉱山	クリバプランカ	アンチモン	閉鎖
10	REK スボドル鉱山	ビトラ	褐炭	操業中
11	REKオスロメフESM鉱山	キセボ	褐炭	操業中
12	フェニ工業、フェロ-ニッケル製練所	カバダルチ	フェロ-ニッケル	操業中
13	ルザノボ鉱山	カバダルチ	ニッケル	操業中

出典: European Agency for Reconstruction (EAR) (2005a)

(3) ホットスポット調査サイトの土壤汚染調査法

a. 調査組織

調査実施の組織の内容を以下に示す。

- ・計画及び管理 : MEPP
- ・調査費用 : MEPP
- ・調査組織 : MEPP、MAFWE（農用地）、MoE（鉱山敷地内）
- ・協力組織 : 地方自治体、MoH
- ・調査者 : 契約した調査会社
- ・テクニカル・コミッティー : 行政官庁、地方自治体、研究所

b. 調査方法

ホットスポット調査は、地方での調査及び市街地での調査の2つの方法からなる。各調査について以下の調査方法が考えられる。

c. 地方でのホットスポット調査方法

地方におけるホットスポットの土壤汚染調査は、「土壤汚染管理基本法」で設定された公定の調査方法、あるいは MEPP、WG-SCM 及び技術諮問審議会で設定する暫定的な公定による調査方法で行われるべきである。調査は、既存資料解析、概要調査、詳細調査、土壤汚染調査の報告及び土壤汚染サイトの指定からなる。最終的に、土壤汚染サイトは、土壤汚染地として正式に登録され、浄化対策は次のステージとして検討される。

ホットスポットとしての鉱山サイトのほとんどは地方に位置し、農用地、牧草地、森林が卓越し、村落が点在している場合が多い。土壤調査のグリッドサイズは、土地利用により異なるが通常 200m×200m ないし 100m×100m が適切と思われる。特に農用地では 100m×100m が適切である。ポーリング調査の位置は、最も汚染の強い箇所、土壤汚染を鉛直方向で把握できる土壤汚染の典型的箇所及び汚染の機構が把握できる箇所を選定する必要がある。農用地については、土壤及びダストによる穀物の重金属汚染の可能性があり、穀物調査を実施することを提言する。

d. 市街地でのホットスポット調査方法

市街地でのホットスポットの土壤汚染調査についても、公定の調査方法で行う必要がある。ホットスポットの調査内容とフローは、地方での調査と同様である。市街地の調査と地方での調査の違いは、調査グリッドのサイズのみであり、市街地では 30m×30m を基本とする必要がある。

10.3 マケドニア国全土の土壤汚染インベントリー調査

土壤汚染インベントリー調査は、ホットスポット以外のマケドニア国全土の土壤汚染箇所を見出すことにある。土壤汚染の存在の可能性のある箇所を見出した後、調査サイトをリストアップし、有害物質（重金属類）による環境リスクの大きさに基づいて優先順位が付けられる。土壤汚染インベントリー調査の次のステップの内容は、ホットスポット調査と同様である。

表 19 ホットスポットの優先順位

環境リスクのレベル	No	ホットスポット	自治体	稼働状況	環境管理責任	土壌の重金属濃度 (mg/kg)	下流域への影響	居住域	汚染の可能性のある地域 (km ²)			優先度
									総土壌汚染域	耕作地	表流水/地下水汚染域	
高	1	ズレトボ鉱山 (鉛及び亜鉛)	プロビシユ ティープ	2006年稼働 (稼働中)	ズレトボ鉱山	砒素(209), カドミウム(14.8), ニッケル(29), クロム(166), 銅(112), ニッケル(128), 鉛(286), 亜鉛(276), マンガン(2,290)	ブレガルニツァ川	4部落	39.5	37.5	76.1	1
	2	ササ鉱山 (鉛及び亜鉛)	カメニツァ	2005年稼働 (稼働中)	ササ鉱山	カドミウム(16), 鉛(4,300), 亜鉛(1,800), マンガン(2,000)	カメニツァ カリマンスコ貯水池	2村	2.74	0.10	6.03	6
	3	MHK スレトボ、精錬所	ベレス	閉鎖 (4年間)	債務返済進行	精錬所付近の住宅地	カドミウム(36), 鉛(1,000), 亜鉛(1,400)	バルダル川	ベレス	6.76	1.38	12.17
中	4	ブチム鉱山 (銅)	ヲドビス	2005年稼働 (稼働中)	ブチム鉱山	砒素(52), カドミウム(6.7), 銅(4,200)	クリハラカピイツァ川	1村	2.22	0.45	4.88	3
	5	ロヤネ鉱山 (クロム、砒素、アンチモン)	ロヤネ	放置状態 (32年間)	マケドニア国	砒素(66), クロム(180), 銅(52), ニッケル(95), 亜鉛(164), マンガン(774)	線路及び高速道路	3村	1.61	0.23	4.38	4
	6	シルマツク・フェロ・シリコン工場	ジェグノビツェ	ずり捨場閉鎖	不定	クロムの最高濃度試料	バルダル川	ジェグノビツェ	1.59	0.28	2.70	7
	7	トラニツァ鉱山 (鉛及び亜鉛)	クリバブランカ	5年以上閉鎖状態、近年中に再稼働予定	マケドニア国	砒素(22), 銅(370), ニッケル(66), 鉛(1,700), 亜鉛(340), マンガン(2,500)	クリバブランカ クリハス川	-	0.65	-	1.11	5
	8	マツクステイール鉄鋼工場	スコピエ	稼働中	マツクステイール	銅(31), 鉛(31), 亜鉛(21), マンガン(728)	スコピエ バルダル川	スコピエ	6.24	0.39	9.51	8
	9	クリフトボドル鉱山 (アンチモン)	クリバブランカ	閉鎖 (20年間)	マケドニア国	分析結果未確認	クリバブランカ	1村	0.28	0.01	0.48	12
低	10	REK スポドル鉱山 (錫炭、発電所)	ピトラ	稼働中	REKピトラ	カドミウム(2), 鉛(850), 亜鉛(100)	スマ川	1村	7.91	1.40	10.3	9
	11	REK オスロメイESM 鉱山 (錫炭、発電所)	キセボ	稼働中	REKオスロメイ	クロム(200), 銅(52), ニッケル(110), 鉛(70), 亜鉛(130), マンガン(2,000)	キセボ ラヤスカ川	3村	7.13	3.94	11.4	10
	12	フェニ 精錬所 (フェロ・ニッケル)	カバダルチ	稼働中	フェニ工業	クロム(225), ニッケル(198)	スマ川	1村	2.36	1.94	4.01	11
	13	ルザノボ鉱山(ニッケル)	カバダルチ	稼働中	ルザノボ鉱山	分析結果未確認	-	-	0.57	-	0.91	13

土壌分析値の出典: Boev et al. (2005), European Agency of Reconstruction (2005a), Filipovski (2003), Serafimovski et al. (2005), UNEP (2000)

(1) 土壤汚染インベントリー調査の対象

土壤汚染インベントリー調査の対象は、有害物質を使用する事業所からなる。有害物質を使用する事業所は過去及び現在において MoE 及び MEPP にすでに登録されていることから、比較的多量に有害物質を使用している事業所の選定は容易である。

一方、有害物質を少量使用しているそれ以外の事業所では、多くの場合、正式に登録されていないと考えられる。したがって、過去及び現在のすべての事業所について、土壤汚染インベントリー調査の予備調査における質問状及びインタビュー調査で、有害物質の使用有・無についてチェックする必要がある。予備調査の予算の確保及び管理は、MEPP で行う必要がある。また、予備調査及びその評価は、土壤汚染インベントリー調査業務担当者のほとんどが各省からなるワーキンググループのメンバーであることが相応しいので、WG-SCM 内で検討される必要がある。

(2) 土壤汚染調査の調査対象地の優先順位

予備調査の後、土壤汚染の次の調査を行うかどうかの評価を行う。MEPP は、土壤汚染インベントリー調査のデータ解析を基にこの調査計画を作成する必要がある。

土壤汚染インベントリー調査の内容を以下に示す。

- ・調査対象地
- ・既存資料解析
- ・予備調査
- ・調査結果の編集

(3) 予備調査実施の計画/組織

予備調査実施の計画及び組織を以下に示す。

- ・計画及び管理 : MEPP
- ・調査費用 : MEPP (地方自治体へ移管)
- ・調査組織 : MEPP の指導の基に地方自治体が実施
- ・協力組織 : MAFWE、MoE、MoH
- ・調査者 : 契約した調査会社
- ・テクニカル・コミッティー : 行政官庁、地方自治体、研究所

(4) 概要/詳細調査の計画及び組織

調査実施組織である MEPP 及び地方自治体、並びに協力組織である MAFWE 及び MoE は、技術諮問審議会の技術コメントに基づいて以下の項目を検討する必要がある。概要/詳細調査の調査費は、汚染者負担の原則から事業所の所有者が負担する。

- ・土壤・地下水汚染状況
 - 土壤調査結果
 - 地下水調査結果
- ・浄化対策の検討 : 位置、対策内容、対策手順、数量
- ・対策実施のための組織
- ・浄化対策費

10.4 マケドニア国全土の対策実施計画

(1) 対策実施の組織

対策実施の組織を以下に示す。

- ・ 対策の計画 : MEPP、地方自治体
- ・ 対策費 : ホットスポットーマケドニア政府
: 事業所一所有者
- ・ 対策実施の組織 : MEPP、MAFWE（農用地）、MoE（鉱山敷地内）
- ・ 協力組織 : 地方自治体等
- ・ 工事実施者 : 契約した工事会社
- ・ テクニカル・コミッティー : 行政官庁、地方自治体、研究所

(2) 土壌・地下水汚染の対策手順

浄化対策には応急対策と恒久対策の2種類がある。土壌汚染調査で土壌・地下水汚染が判明し、早期に恒久対策が取れない状況である場合、周辺環境への影響を低減するために応急対策を実施する必要がある。

a. 応急対策

応急対策は、人への重金属類の影響を防止する対策及び汚染物質の拡散防止の対策に区分することができる。後者は汚染による地下水及び公共水域への汚染防止、重金属類の大気への拡散防止及び汚染地下水の移流・拡散の防止に区分される。応急対策の実施は周辺地の環境状況の検討によって適切な対策が取られる。

b. 恒久対策

重金属等による土壌汚染に関係する恒久対策の目標は、雨水による重金属類の浸出が将来に亘り周辺部に土壌・地下水の汚染を拡散させないことにある。重金属類は分離あるいは分解によって汚染土壌から移動することが想定されることから、周辺環境から隔離するために露出部分は最小とする必要がある。

10.5 土壌汚染のモニタリング方法

原位置での土壌汚染のモニタリングには、汚染箇所が地下水面上にある（不飽和帯）場合と地下水面下にある（飽和帯）場合の2つの方法がある。

(1) 不飽和帯の土壌汚染

土壌汚染が地下水面の上の不飽和帯に位置する場合、土壌のモニタリングは浄化対策の実施中において、土壌汚染を確認するためにサイトから直接土壌試料を採取して行われる。

(2) 飽和帯の土壤汚染

モニタリングは、土壤汚染調査中、浄化対策実施中及び対策終了後も汚染サイト内及び周辺部での土壤汚染の状況をチェックするために地下水汚染を指標として実施される。モニタリング方法は、ボーリング孔（廃さい堆積場ではピエゾメーター）を使用することを推奨する。既存の井戸、あるいは調査ボーリング孔（モニタリング孔に変更）の使用は可能である。モニタリング孔は、地下水の流動方向の上流側と下流側に設置する必要がある。

第 IV 部

結 論 及 び 提 言

第11章 結論及び提言

11.1 結論

パイロット・プロジェクト地域での土壤汚染調査及びリスク評価の結果、当地域には重金属類による土壤汚染、地下水汚染及び穀物汚染の存在が判明した。相対的に高濃度の汚染土壤が、廃さい堆積場周辺及びキセリツァ川、コリトニツァ川及びズレトフスカ川に沿って分布している。井戸の地下水は飲料水及び水質環境基準値を超過しており、井戸の半数は飲用として利用されている。P/P 地域全域で採取した小麦試料の36%（2006年）が鉛含有量の基準値を超えており、汚染された小麦はP/P 地域に散在し、地域全体として農業リスクが相対的に高いことを示している。

パイロット・プロジェクトの成果及び教訓を踏まえて、マケドニア国の環境改善のために鉱山関連の土壤汚染管理の能力向上を図る計画としてマスタープランを策定した。その主な目的は、本調査後に土壤汚染管理の持続可能な組織を独自に推進できるプロセスを構築することにある。

(1) マスタープランにおける法制度レベルの能力向上計画

マケドニア国の土壤汚染管理の法的枠組みについて、環境都市計画省は主務省庁として土壤汚染管理を主導し、「土壤汚染管理基本法」を制定する必要がある。土壤汚染管理の制度の各省の枠組みは、環境都市計画省が土壤汚染管理の主務省庁として都市部及び工業地/商用地の土壤汚染管理、農業森林水経済省が農用地の土壤汚染管理、経済省が鉱山域の土壤汚染管理、保健省が公衆衛生と環境リスクに関しての土壤汚染管理及び地方自治体がそれぞれの管轄地域内の土壤汚染管理を分担する。

「土壤汚染管理基本法」の制定までの間は、暫定的な法制度を組織する過程が必要となる。暫定的土壤汚染管理の枠組みの内容は、基本法制定後の内容と同様である。土壤汚染管理制度の検討及び制度の確立を行う主要タスクの手順を示した。

(2) マスタープランにおける社会レベルの能力向上計画

社会レベルの能力向上の主な内容は、土壤汚染の認識、土壤汚染に関する環境教育、リスクコミュニケーション、住民参加等からなる。特に、リスクコミュニケーションの技法を制度化してゆく必要がある。

(3) マスタープランにおける組織レベルの能力向上計画

組織レベルの能力向上は、マスタープランの実施及び持続可能な土壤汚染管理への改善を確保するための組織/担当部署を構築し、業務分担・役割を明確にする必要がある。

(4) マスタープランにおける技術（個人）レベルの能力向上計画

土壤汚染管理における技術（個人）レベルの能力向上の内容は、1) 土壤汚染調査、2) データ解析、3) 土壤汚染対策及び4) 土壤汚染管理に関する情報管理からなる。

マケドニア国全土の土壤汚染調査は、ホットスポット調査と土壤汚染インベントリー調査

に区分される。ホットスポットは一般に土壤汚染のほか、大気汚染、水質汚濁を伴って規模が大きく有害物質による人の健康への影響も大きい。土壤汚染のホットスポット調査は、土壤汚染の規模が大～中規模であることから、事業計画の中で緊急項目である。土壤汚染インベントリー調査はホットスポット以外の比較的小規模な事業所単位の汚染サイトであり、先ず一つ一つの事業所をリストアップし、それらのサイトの優先順位をつける必要があり、管理作業は地方自治体が環境都市計画省の指導の下に実施する。

11.2 提言

(1) 緊急対策事項

本調査における緊急対策の提言を以下に述べる。

a. AAS法の分析結果によればパイロット・プロジェクト地域のほとんどの井戸水及び湧水中の砒素、コバルト、ニッケル及び鉛の濃度が、マケドニア国の飲料水及び水質環境基準値を超えて汚染していることが判明した。これらの汚染した井戸水と湧水の約半数が、地域住民によって飲料水として利用されており、深刻な問題である。飲用している地下水の分析は、指定の公認分析所で分析し、汚染状況を早急に確認する必要がある。もし汚染されている事が確認された場合、汚染した地下水の飲用を停止する速やかな対策を講じると同時に、汚染されていない飲料水の補給を確保する必要がある。

更に、この問題に対処する方策を検討するためには、リスクコミュニケーションを通じて住民への情報公開を図り、認識・情報を共有し、適切な時期に対処策を講じる必要がある。

b. パイロット・プロジェクト地域の小麦中に鉛汚染が散見され、P/P地域の農業リスクは相対的に高いことが判明したため、小麦栽培には十分留意する必要がある。小麦中の重金属汚染調査のサンプル数を増やし、今後も継続的なモニタリング調査を続けることが必要である。モニタリング調査によって穀物中の重金属による汚染が引き続き検証された場合、栽培作物の転換など対処策を講ずる必要がある。

c. 旧廃さい堆積場 TD-I 及び TD-II は、リスク評価でレベル5に評価され、これらの堆積場は市街地に隣接しており、人の健康への影響も大きい。したがって、緊急対策として廃さい堆積物の撤去、あるいは堆積場の上部の覆土及び側面の法面保護の対策が必要である（優先度 No. 1：旧廃さい堆積場 TD-I 及び TD-II）。

(2) 提言

本調査におけるその他の提言を以下に述べる。

a. 調査上の提言

1) 土壤汚染調査の計画時には、土壤汚染調査と共に地下水調査を加える必要がある。特に、地下水汚染が地形・水文特性から予想されたり、地下水が飲用水として利用されている場

合、地下水調査を当初の計画に加える必要がある。

- 2) 農用地の調査において、重金属類による汚染が想定される場合、穀物調査を十分行う必要がある。
- 3) 「ホットスポット」でもある鉱業に関連した地域は大規模な土壌汚染の可能性を有しており、有害物質による人の健康への影響も大きいと考えられる。したがって、ホットスポットの土壌汚染調査はできるだけ早急を実施する必要がある。

b. 汚染対策上の提言

重金属汚染の影響を低減するため、上述以外にも以下の汚染対策を講ずる必要がある。対策の概要を以下に示す。

- 1) 優先度 No. 2：廃さい堆積場 TD-IV 及び TD-V（堆積場の上部及び法面の覆土等）
- 2) 優先度 No. 3：ズレトフスカ川中流部（廃さいの撤去）
- 3) 優先度 No. 4：コリトニツァ川下流部（汚染した砂礫の流出防止用砂防ダムの設置）
- 4) 優先度 No. 5：キセリツァ川下流域（廃さいの撤去）

c. 法制度・組織上の提言

- 1) MEPP は主務省庁として土壌汚染管理の主導を取り、土壌汚染管理基本法及び必要な法令等を制定する必要がある。
- 2) MEPP 内の廃棄物・土壌課に早急に職員を配置し、M/P の実施に向け起動することが望まれる。
- 3) MAFWE は、新規の農用地登録・管理セクターの中に農用地の土壌汚染管理の業務を割り当てる必要がある。
- 4) 省庁間のリンケージは重要であることから、省庁及び学識経験者からなる技術諮問審議会をできるだけ早急に設立する必要がある。
- 5) 土壌汚染管理、特に対策の資金調達の詳細な財政計画を立てる必要がある。

