

H-7 ゴールドラッシュ地域における環境管理、環境計画およびリスクコミュニケーションに関する学際的研究

(4) 水銀汚染の実態調査とリスクコミュニケーション試行

岩手医科大学 サイクロトンセンター 世良耕一郎

国立水俣病総合研究センター 赤木洋勝・松山明人

独立行政法人 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 村尾 智

東京外国語大学 外国語学部 山本真司・温品廉三

慶應義塾大学 商学部 吉川肇子

〈研究協力者〉	早稲田大学	文学部	竹村和久
	フィリピン	University of the Philippines,	Maglambayan Victor
	フィリピン	University of the Philippines,	Clemente Elegia
	フィリピン	Mines and Geosciences Bureau-CAR,	De la Cruz Neoman, Daisa Elizabeth, Cuanso Corazon
	イギリス	Bugnoson Minerals Engineering,	Bugnoson Edmund
	モンゴル	BEMM Co., Ltd. Tumenbayar	Baatar
	タンザニア	University of Dar es Salaam,	Justinian R., Ikingura M. K. D., Mutakyahwa S. R., Mñali J. K. Mujimba

平成12～14年度合計予算額 28,677千円

(うち、平成14年度予算額 18,643千円)

[要旨]

本サブテーマは、ゴールドラッシュ地域における水銀汚染について、実態を明らかにするとともに、その理解の上に、今後の環境管理計画に必要な地域との協働について考察することを目的としている。研究では、まず、初年度と次年度にゴールドラッシュに伴う水銀汚染の特徴を抽出するため、フィリピン、モンゴル、タンザニアの金鉱採掘地帯で得られた環境試料を分析した。また、試料として毛髪が多数得られたため、その簡易分析法として知られる岩手医大のPIXE装置が総水銀測定に対して有効か否かを検証した。フィリピンとモンゴルでは鉱夫の毛髪を、タンザニアでは選鉱かす、河川の底質、魚類、地衣類を分析した。こうしてゴールドラッシュに伴う水銀汚染の特徴を明らかにした後、最終年度に金鉱の小規模マイニングに対する一般住民の意識を分析した。また、鉱業と環境に関する円卓会議を開催し、鉱業界が現時点で行っているベストプラクティスの実態を明らかにするとともに今後のリスクコミュニケーションの可能性を検討した。

PIXE法は毛髪中の総水銀値を測定する方法として極めて簡便であった。試料の調製や標準試料の測定が不要なため短時間で測定が可能であり、数ppm程度の総水銀を定量できることがわかった。また、ビーム照射による水銀の信号の減少はみられなかった。

フィリピンとモンゴルの鉱夫の毛髪分析からは総水銀濃度が高いものから低いものまで広い範

困 (0-305ppm) にわたることが判明した。タンザニアの選鉱かすには乾重量あたり200ppmをこえる総水銀が含まれ、メチル水銀も0.6 ppm含まれるが、メチル水銀の水への溶解性は極めて低かった。魚類の分析では肉食魚の水銀含有量が比較的高いが全体としてはそれほど高い値は得られなかった。地衣類の分析では2種類の地衣類が水銀による大気汚染の指標になる可能性を見出した。

地域住民の意識調査ではリスク認知の高いものは2種類に分類できると考えられる。それらは、テロや、核兵器、原子力発電所のように大規模なものと、地滑りや水銀という身近に存在するものである。スモールスケールマイニングによる水銀汚染に対する対策としては、政府や開発会社による介入が相対的には有効と判断されていた。特に教育や啓蒙活動が有効な方策と見なされていた。大規模開発とスモールスケールマイニングを比較すると、スモールスケールマイニングの方がハザードに対する寄与が多く項目で低いと評定された。すなわち、スモールスケールマイニングの方がおおむね安全、あるいは環境に負荷がより少ないと見なされていた。スモールスケールマイニングに対して地域住民は寛容であるように見える。

円卓会議においては、水銀汚染防止キャンペーンを公的機関が実施する際の留意点を、アマゾンの体験をもとにまとめた。

[キーワード] スモールスケールマイニング、水銀汚染、環境管理、リスク認知、リスクコミュニケーション

1. はじめに

近年、発展途上国の産金地帯で個人的技術による採掘（スモールスケールマイニング）と水銀を用いた鉱石の精錬が盛んに行われており、その結果として水銀汚染が拡大している。この採鉱形態においては、選鉱に水力を、精錬、つまり金アマルガムの処理、には火力を必要とするため、選鉱、精錬場所と住居、河川が接近あるいは重複して存在する場合が多い。また、人目を憚って金の回収を行う必要性から精錬は屋内で行われる。したがって作業中に放出される水銀はその場で直接人体に取り込まれ、健康障害を引き起こすと予想される。しかし、スモールスケールマイナーらは水銀の使用を中止する様子はなく、また、国によってはある程度の収入を得た後もスモールスケールマイニングにとどまると言われている。このような状況を改善するためには水銀の汚染についてデータを示すこととスモールスケールマイナーや地域住民のリスク認知を踏まえた環境保護キャンペーンが必要と思われる。そこで、本研究では、フィリピン、モンゴル、タンザニアの産金地帯をフィールドとして選定し、環境試料中の総水銀値（一部メチル水銀含有量）を決定した。また、フィリピンについてはルソン島北部イトゴン市住民の意識調査を行った。さらに、補足的にイタリアの水銀産地を訪問し水銀汚染等にかかわる資料を入手した。

2. 研究目的

ゴールドラッシュの管理を適正に進めるためには、環境破壊の程度について正確なデータ取得と汚染の特徴把握が必要である。また、環境保護キャンペーンの対象となる地域住民の意識を踏まえた政策が必要である。そこで、環境試料のうち特に採取、運搬が簡単な毛髪と爪について迅速な分析法を検討するとともに、さまざまな環境試料の水銀含有量を測定し、ゴールドラッシュに伴う水銀汚染の特徴を抽出することを目的とした。

ゴールドラッシュにおける安全・衛生の問題と環境悪化問題に対して地域住民の認識がいかなるものであるかは未だ明らかではない。そこで本研究では、その認識把握を第二の目的とした。

3. 研究方法

主に初年度に毛髪分析法の検討、次年度に爪の分析方法の検討と環境試料分析を行い、最終年度に住民の意識調査と円卓会議を実施した。

①毛髪分析

有害元素への暴露状況を概査するため、フィリピンのイトゴン市、バギオ市周辺、パラカレ地区およびモンゴルのボロー地区で本人の同意を得た上で毛髪を採取した。分析は岩手医科大学サイクロトロンセンターのPIXE装置を用いて無調製無標準法で行った。最適化した分析条件を第1表に示す。本装置はエネルギー分散型検出器を使用するため、分析では総水銀値のみならず他の元素含有量も同時に決定できた。得られた分析値は現地の研究協力者を通じて本人に通知された。

第1表 岩手医科大学サイクロトロンセンターにおける毛髪分析条件

分析方法	PIXE (Proton Induced X-ray Emission)法
使用ビーム	2.9 MeV 陽子 ϕ 6 mm
検出器	重元素側 Si(Li) 0.0254 mm Be窓
	軽元素側 Si(Li) 0.008 mm Be窓
吸収体	重元素検出器に300 μ m マイラーをセット
解析ソフト	SAPIX (Sera and Futatsugawa, 2000) ¹⁾

②爪の分析

基本的に岩手医科大学の毛髪分析システムを応用する方向で実験を行った。フィリピンの鉱夫から同意を得て採取した爪を岩手医科大学に搬送しPIXE法を中心に分析方法の検討を行った。

③環境試料

毛髪以外の環境試料としては、タンザニア、ビクトリア湖南西部のルアマガザ鉱山の周辺から選鉱かす、ムグス鉱山下流で河川の底質、ビクトリア湖のヌグウエ湾で捕獲した魚類(ナイルパーチ、テラピアなど8種類)、およびムグス鉱山に近いゲイタ森林保護区の地衣類を、それぞれダルエスサラーム大学が採取した。これらは国立水俣病総合研究センターで分析され、総水銀値及びメチル水銀含有量が決定された。また、選鉱かすについてはメチル水銀が検出されたため、その溶出実験が行われた。地衣類については、2種類について、総水銀濃度と汚染源からの距離との関係を明らかにして水銀の汚染の指標として使いうるか否かを検討した。

④住民の意識調査

アンケート調査をフィリピン、ルソン島の産金地帯に位置するイトゴン市で行った。調査ではフィ

リピン大学地球科学研究所およびブグノセン鉱業社の協力を得て配布し、留め置きの後、回収した。最終的に228票を得た。サンプリング法はコンビニエントサンプリングである。住民の職業の詳細は未記入が多いため確定できないが、基本的には都市住民であることから、スモールスケールマイナーはほとんど含まれていなかったと推察される。

質問紙の構成は以下ようになっていた。依頼状も含め、質問項目はすべて英語で記述されていた。

- － スモールスケールマイニング、地震、原子力、食品、テロ、交通事故、電気製品、医療についての印象を、SD方式の5段階尺度上で評定させた。
- － 日常生活の活動と、鉱山開発にかかわるリスク計40項目についてのリスク認知を4段階で評定させた。
- － スモールスケールマイニングによる水銀汚染に対して、複数の解決案を示し、これらに対する評価を4段階尺度で評定させた。
- － スモールスケールマイニングによる被害 (hazard) やリスクを26項目呈示し、それぞれがどの程度スモールスケールマイニングによって生じているかを5段階尺度で評定させた。
- － 上記と同一の項目を呈示し、それぞれがどの程度大規模開発 (ラージスケールマイニング、large scale mining) によって生じているかを5段階尺度で評定させた。
- － 社会的価値感に関わる項目を同意から不同意まで3段階で評定させた。これらの項目は基本的にはDake(1992)²⁾の尺度に基づいている。

なお、住民の意識の解析については、補足的研究を実施するため、イタリア中部の水銀産地アッバーディアを訪問して資料を収集した。アッバーディアはかつて水銀汚染を経験した場所だが、比較的資料が残っていた。今後これらを解析し、フィリピンの事例と比較する予定である。

⑤ 国際会議

「Round Table Meeting on Good Practice and Effective Methods on Risk Communication Between Mineral Property Developers and Local Communities」として2003年1月14-15日に円卓会議を開催し、13カ国より25名の参加があった(<http://unit.aist.go.jp/georesenv/mineral/muraol.htm>)。会議ではゴールドラッシュに伴う水銀汚染の防止等について、アマゾンの事例を検討するとともに、鉱業におけるリスクコミュニケーションの可能性について議論した。第2表に演題、演者を示す。

4. 結果・考察

- ① 鉱夫らの毛髪分析値は総水銀値が高いものから低いものまでさまざまであった。フィリピンでは濃度がWHOの限界許容量50 ppmを超えていることがあるが、毛髪中の総水銀含有量は無機水銀への暴露の指標にはならない可能性があるため、今後は尿の検討を行いたい。モンゴル国の鉱夫らについては、総水銀値はほぼ全員がゼロに近かったが、砒素濃度については高い値を示す者があり、48名中、1 ppm台が9名、2 ppm台が3名、3.3 ppmが1名であった。フィリピンで分析値を通知した際の鉱夫らの反応を第3表に示す。
- ② 爪は表面の汚染レベルが高く、特に鉱夫の場合、爪の傷に金属粉が埋まりこんでいる事例が多

いため、洗浄が困難である。そこで、蒸留水中での超音波洗浄と希塩酸中の超音波洗浄を組み合わせる方法を開発した。さらに、定量分析のために従来必要とされた複雑な試料調製を不要とする迅速な分析方法を毛髪用PIXEを応用して開発した。

- ③ タンザニアの環境試料ではルアマガザ鉱山の選鉱かすに乾重量あたり165-232 mg/kg前後と高濃度の総水銀が含まれていることが判明した。またメチル水銀も乾重量あたり600 µg/kgと高い濃度で存在していることがわかった。しかし底質-水系の9週間にわたる溶出水槽実験を行ったところ、その水への溶出性は低いことが判明した。ムグス鉱山下流の河川底質は乾重量あたり5-6 mg/kgを示したが、4 km下流では0.5 mg/kg以下となり、9 km下流では0.1 mg/kg

第2表 円卓会議の発表論文と演者

氏名	所属	演題
吉川肇子	慶應義塾大学	Risk communication in mining
Geiger, Mansur	Kalimantan Gold Corporation Ltd., Indonesia	Kalimantan gold corporation limited, a junior exploration company trying to do it right
Neale, Trevor	Melanesian Resources Ltd., PNG	Community partnership in resource developments - the issues
鈴木清史	帝塚山学院大学	Aboriginal people in the mining town of Australia
Fan, Lun	産総研地圏資源環境研究部門	Factors at Red Dog mine program to get consent from local community
Tshikalange, H. B.	National Union of Mineworkers, South Africa	Multi-stakeholder engagement process in the mining industry: South African experience of engagement between mineral developers and affected stakeholders
Aryee, B. N. A.	Mineral Commission of Ghana	Government participation in risk communication between mineral project developers and local communities: the Ghana case
Kaniteng, L.	Igorot Small-Scale Miners and Panners Foundation, Philippines	Mining project consultation: an indigenous community experience with a major gold mining company in the Philippines
Wurie, A.	Ministry of Mineral Resources, Sierra Leone	Communication between mineral property developers/local communities/government: Sierra Leone perspective
Chaparro Avila, E.	UN ECLAC	Notes about the experiences with local authorities in mining towns
Villas Bôas, R.	Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), Brazil	CETEM experiences in dealing with the introduction of amelioration techniques into garimpo areas and communities
Wotruba, H.	Aachen University of Technology, Germany	The Los Rojas project - an example for successful co-operation between large scale and small scale mining
Jasareno, L.	Mines and Geosciences Bureau, Philippines	Mining company-community relations: Philippine government experience and policy

の正常値となった。底質中水銀の粒度分布を調べたところ、最大濃度の水銀は212 μm以下の最小粒径分画に含まれていることがわかった。魚類では総水銀値は湿重量あたり2-34 μg/kgと低く、メチル水銀の占める割合は65-97%であった。しかし草食のテラピアに比べると肉食のナイルパーチで比較的高い傾向があり、生物濃縮は起きていると思われる。

二種類の地衣類については、総水銀として0.10-3.10 mg/kg（乾重量あたり）の広範囲で比較的高い値を示したが、メチル水銀は検出されなかった（検出限界：0.1 μg/kg）。また、水銀値は鉱業地域からの距離が大きくなるにつれて低下することが明らかになった。したがって地衣類は水銀汚染の指標として使いうると期待される。

第3表 フィリピン鉱山地球科学局CAR支所の担当官がまとめた鉱夫らの通知に対する反応

Relative to the results of the analysis of human hair presented, the following are questions asked:

1. What is the tolerable limit of Hg in the human body ?
 2. Is there a tolerable limit of Hg among children, adult, male, female or in differing ages?
 3. Is there a Hg test also in blood or urine?
 4. What Hg test has a better result, in hair, blood or urine?
 5. Does the value of the other elements have significance on one's health?
 6. Does it have any interference/reaction with a high Hg value in a person?
 7. Among all the elements indicated, what element does present significance to human health aside from Hg?
 8. Say the Hg content is above the threshold limit, does the person already show Hg toxicity in his health?
 9. There are health complains given, are theses already symptoms of mercury intoxication?
 10. Are there medical means of curing them from it?
 11. Are there detoxifying means ?
 12. What is the cost?
 13. Can we expect assistance from the gov't. of Japan.
-

④ アンケートの集計解析結果は次のとおりである。

【リスク認知】

対象として呈示したリスクについての評定値を第4表に示す。もっともリスク認知(risk perception)の高いものから順に、核兵器、テロ、原子力発電所、地滑り、水銀、があげられている。これに対してリスク認知の低いものはハイキング、バスケットボール、ワクチン接種、スポーツとしての狩猟、ボクシングであった。

リスク認知の高いものは2種類に分類できると考えられる。それらは、テロや、核兵器、原子力

第4表 さまざまなリスクに対する認識

対象としたリスク	平均	SD
1.Alcoholic beverages	2.67	0.81
2.Radiation therapy	2.78	0.75
3.Small-scale mining	2.28	0.89
4.Coal/oil fired power plant	2.76	0.77
5.Crime	3.11	0.85
6.Economic crisis	3.00	0.90
7.Hiking as sports	1.65	0.69
8.Hunting as sports	1.83	0.73
9.Boxing as sports	1.93	0.71
10.Basketball	1.71	0.68
11.Car racing	2.68	0.78
12.Hydroelectric power plants	2.55	0.95
13.Mercury	3.02	0.78
14.Motorcycles	2.44	0.66
15.Terrorism	3.54	0.76
16.Nuclear weapons	3.59	0.72
17.Bicycles	1.93	0.65
18.Flying as airline passenger	2.26	0.66
19.Herbicide	2.41	0.68
20.Pesticide	2.62	0.72
21.Motor vehicles	2.20	0.60
22.Coal mining	2.47	0.75
23.Commercial aviation	2.30	0.64
24.Tractors	1.89	0.70
25.Food preservatives	2.12	0.77
26.Food colouring	2.18	0.76
27.Genetically modified food	2.16	0.72
28.Antibiotics	2.06	0.79
29.Nuclear power plant	3.33	0.84
30.Railroads	2.28	0.76
31.Water/ship transport	2.27	0.71
32.Vaccination	1.79	0.73
33.Large scale mining	2.95	1.61
34.Open pit mining	2.92	0.96
35.Underground mining	2.79	0.92
36.Mineral processing	2.59	0.83
37.Mine tailings dams	2.69	0.82
38.Open pit excavations	2.83	0.85
39.Mined-out areas	2.85	0.84
40.Land slides	3.09	0.75

注：4段階評価（非常に危険:4~危険でない:1）

第5表 スモールスケールマイニングによる
水銀汚染問題を解決するのに有効な方策

有効な対策	平均	SD
1.Local governments to conduct effective public information dissemination	3.24	0.76
2.Local goverments to create other job opportunity for local residents	2.87	0.88
3.Mining companies to employ local small-scale miners	2.92	0.84
4.National government to create other job opportunity for local residents	2.79	1.01
5.Mining companies to educate on hazards and handling of mercury	2.98	0.91
6.Local communities to prevent small-scale miners from using mercury in teir operations	2.53	1.03
7.Goverments to ban the use of mercury by small-scale miners	2.47	1.02
8.National government to tighten the regulations on small scale mining	2.37	1.00
9.Local Government to tighten the regulations on small-scale mining	2.45	0.99
10.Government to introduce technological practices not to use mercury for small-scale mining	3.01	0.92
11.Goverment to regulate the importation of mercury to country	2.55	1.04
12.Government to ban the sale of mercury in small-scale mininng communities	2.32	1.13

注：4段階尺度（4:非常に有効~1:有効でない）

第6表 ハザードへの寄与(平均値の比較)

ハザードへの寄与度	SSM	LSM
1.Subsidence*	2.90	3.76
2.Water source deplrtion*	2.98	3.92
3.Deforestation*	3.01	3.96
4.River siltation*	3.08	4.02
5.River pollution*	3.16	4.02
6.Removal of vegetation cover*	2.87	3.75
7.Accidents*	2.90	3.49
8.Air pollution*	2.82	3.57
9.Noise pollution*	2.67	3.63
10.Forest fires*	2.59	3.06
11.Lung related diseases*	2.91	3.42
12.Prostitution*	2.08	2.75
13.Crime*	2.54	3.01
14.Alcohol problem*	2.90	3.32
15.Gambling*	2.84	3.27
16.Tax evasion	2.65	2.84
17.Illegal trading	2.62	2.70
18.Child labor*	2.49	3.59
19.Labour exploitation*	2.60	3.64
20.Corruption*	2.52	2.89
21.Labour practice violation*	2.13	3.10
22.Unnecessary migration	2.85	3.03
23.Local/ethnic relation problem*	2.65	2.99
24.Land ownership issues/problems	3.02	3.22

注：5段階評価の平均値。数値が大きいほど寄与が高いと評定されている。SSM:スモールスケールマイニング、LSM：ラージスケールマイニング（大規模開発）

発電所のように大規模なものと地滑りや水銀という非常に身近に存在するものである。

これに対して、スポーツに関するリスクは低く見積もられていた。これは従来のリスク認知研究の結果と一致する（たとえば、Slovic, 1987）³⁾。

【スモールスケールマイニングによる水銀汚染の低減策】

スモールスケールマイニングによる水銀汚染を低減する方策の評価としては、政府による広報活動がもっとも有効であると評価されていた。また、水銀に代わる技術を政府が導入するという政策もこれに次いで支持されていた。このほか、鉱山会社がスモールスケールマイナーを雇用すること、鉱山会社が水銀の害と取り扱いについて教育するという方策も評価されていた（第5表）。

スモールスケールマイニングによる水銀汚染に対する対策としては、政府や開発会社による介入が相対的には有効と判断されていた。特に教育や啓蒙活動が有効な方策と見なされていた。こ

のことは、現実には多く水銀が利用されながら、そのリスクに対する真の理解や知識が欠けているという問題意識にもとづくものと推測される。

【ハザードに対する寄与の評価】

スモールスケールマイニングと大規模資源開発（鉱山会社による開発）とが、それぞれハザードにどのように寄与しているかを評価させた結果を第6表に示した。それぞれの項目について、対応のあるt-検定をしたところ、多くの項目で有意な差を得た（表中の*のある項目、5%水準）。差異のあるすべての項目でスモールスケールマイニングの方がハザードへの寄与が低いとされていた。

スモールスケールマイニングの方がハザードに対する寄与が、大規模開発による寄与よりも、多くの項目で低いと評定されていた。すなわち、スモールスケールマイニングの方がおおむね安全あるいは環境に負荷がより少ないと見なされていた。客観的には環境を汚染していることは間違いないが、伝統的なスモールスケールマイニングに対して人々は寛容であるように見える。一方、大規模開発に対しては、否定的な態度が多くの項目で表明されている。

両方で差のない項目をあげると、「脱税」、「不正貿易」、「賄賂」、「移住」であった。

⑤ 円卓会議

円卓会議では水銀汚染地帯の管理について「anthropology of technology」という技法が有効である旨、ブラジル鉱物資源技術研究センター（CETEM）の元所長より指摘があった（Villas Bôas, 2003）⁴⁾。これはアマゾンでの経験に基いてまとめられたもので技術者が汚染地帯に入って技術指導を行う際のコミュニケーション技術である。以下にその要点を記す。

【交渉の準備】

水銀汚染防止キャンペーンでは対象となる地域社会の特性を調べることから始める。農業の伝統があり社会が組織化されている地域は交渉が比較的容易である。これに対して秩序のない新興採掘地域は交渉が難しい。地域の特性を把握したら、次に、キャンペーンを支援してくれる組織を探す。ブラジルではライオンズクラブとロータリークラブが整備されており大きな助力となる。また、法令の遵守が基本となるので、裁判官、検察官の支援が不可欠である（事前に打合せをしておく）。

【交渉の開始】

交渉には4-5人のチームで赴く。年輩の人物、話好きで聞き上手な人物をチームに入れると良い。話をする相手は限定しない。NGOや市民団体も視野に入れなければならない。相手の信頼を得ることが第一歩である。目的を正直に話すことが重要である。目的を過大に述べてはならない。

相手からよく出る質問は次の通りである。

- このプロジェクトの目的は何か。
- なぜここに来たのか。
- あなた方は何者か。
- あなた方は管理規制するのか。それとも助けてくれるのか。
- 助けるなら、なぜ助けるのか。
- 誰か背後にいるのか。
- (チームに外国人が入っている場合)なぜ、外国人がここにいるのか。

- (同上)外国人が入ってくるほど重要な問題は何か。

キーパーソンが誰であるのかは慎重に見極める必要がある。キーパーソンの同定を誤ると成功しない。そこで集落の1軒1軒を訪問して知り合い、集落全体の顔ぶれがわかるようにしなければならない。この段階で住民同士の利害関係も把握してゆく。

【交渉の進展】

キーパーソンの説得から始める。キーパーソンが従うと周囲もそれに倣うことがある。最初の会合の結果は吟味し、次回以降に役立てる。会合はできるだけ定期的に行う。また、プレスを呼ぶなどして会合に公的な色彩を持たせることが大切。会合の結果について地域全体へのフィードバックも定期的に行うこと。

円卓会議では以上に加えて次の点が明らかになった。

- ① 鉱山会社は環境保護や地域社会との共存を実現するための自主ガイドラインを制定する方向にあり、このガイドラインはベストプラクティスという言葉で表現されている。
- ② 鉱山会社と地域住民ではリスク認知が大きく異なる。したがってベストプラクティスに期待する内容が双方で異なるが、関係者の間でこの点に関する考察が不十分である。
- ③ 鉱山会社や公的機関が資源開発に伴う各種問題について地域住民と対話する方法は双方向のコミュニケーションを目指している場合が多く、リスクコミュニケーションは強く意識されてはいないが実務レベルではすでに一部で実現されている。

5. 本研究により得られた成果

本研究では、まず岩手医科大学サイクロトロンセンターの分析装置が毛髪と爪中の総水銀含有量を決定するのに極めて有効であることを確認した。ついで、ゴールドラッシュ地域における有害元素への暴露の状況と水銀汚染の実態を明らかにした後、社会調査を用いて、スモールスケールマイニング活動とそれにかかわる諸活動に対する意識を、リスクへの意識を中心に検討した。また、円卓会議を開催して、資源開発と環境について地域社会と対話する方法を検討した。

有害元素への暴露については、フィリピンで毛髪中総水銀値が極めて高い場合があることが確認されたほか、モンゴル国(外モンゴル)において、一部の住民に砒素中毒の起きている可能性のあることが判明した。外モンゴルで砒素汚染の可能性が指摘されたのはおそらく世界ではじめてである。

タンザニアをフィールドとした研究では、選鉱かすに総水銀、メチル水銀がともに高い濃度で含まれること、そのメチル水銀の水への溶出は小さいこと、魚類には食物連鎖を通じて水銀の生物濃縮が起きている可能性があること、底質の水銀濃度は採掘現場から離れるに従って減少すること、地衣類を汚染の指標として使うことなどを明らかにした。

住民の意識の研究では、その実態把握ができたことで、今後の環境計画策定に際して、行政側がコミュニティに対して事前にとらなければならない手順を検討する手がかりが得られた。フィリピンの研究対象地区では住民のスモールスケールマイニングに対する意識がニュートラルに近いことが判明したが、これは従来の予想に反する結果である。このように根拠のあるデータが得られたことで、今後の内発的発展への道筋が見えてきたといえる。いずれの国においても、地域の住民意識の活性化に対する配慮がなければもはや開発は進まなくなっているし、また環境問題も解決されない。本研究では真に地域住民のニーズに配慮した開発と環境保全のために住民の意

識調査を行う必要性を改めて示したといえるだろう。

6. 引用文献

- 1) Sera, K. and Futatsugawa, S. (2000) Spectrum analysis taking account of the tail, escape functions and sub-lines (SAPIX version 4), International Journal of PIXE 10, 101-114.
- 2) Dake, K. (1992) Myth of Nature: Culture and the Social Construction of Risk. Journal of Social Issues, 48, 21-38.
- 3) Slovic, P. (1987) Perception of risk. Science, 236, 280-285.
- 4) Villas Bôas, R. (2003) CETEM experiences in dealing with the introduction of amelioration techniques into garimpo areas and communities, Round Table Meeting on Good Practice and Effective Methods on Risk Communication Between Mineral Property Developers and Local Communities, Jan 14-15, Tsukuba.

7. 国際共同研究等の状況

国際連合の許可を得てハラレガイドラインを和訳、公表した。モンゴル国の研究の過程で指摘された砒素汚染の可能性について、現地知事と今後の対応について協議中である。同国のスモールスケールマイニングについてはカウンターパートが国際協力事業団より平成15年度の調査を委託された。世界銀行のExtractive Industry Review (EIR)に対して鉱業とリスクコミュニケーションについて意見提出を行った。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上发表 (学術誌・書籍)

<誌上发表 査読あり>

- ① Murao, S., Daisa, E., Sera, K., Maglambayan, V.B. and Futatsugawa, S.: "PIXE measurement of human hairs from a small-scale mining site of the Philippines" Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B189, 168-173 (2002)
- ② Sera, K., Futatsugawa, S. and Murao, S.: "Quantitative analysis of untreated hair samples for monitoring human exposure to heavy metals" Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B189, 174-179 (2002)
- ③ Ikingura, J.R. and Akagi, H.: "Lichens as a good bioindicator of air pollution by mercury in small-scale gold mining areas, Tanzania" Bull. Environ. Contamin. Toxicol. 68/5, 699-704 (2002)
- ④ Sera, K., Futatsugawa, S. and Miura, Y.: "Application of a standard-free method to quantitative analysis of urine samples" International Journal of PIXE 11, 149-158 (2002)
- ⑤ Akagi, H. and Ikingura, J.R.: Analytical techniques for speciation and analysis of mercury in the evaluation of environmental factors influencing mercury dynamics in aquatic systems, Fresenius J. Anal. Chem. (in print)
- ⑥ Sera, K., Futatsugawa, S., Murao, S. and Clemente, E.: "Quantitative analysis of untreated nail samples for monitoring human exposure to heavy metals" International

Journal of PIXE 12 (in print)

- ⑦ Murao, S., Sera, K., Maglambayan, V.B., Daisa, E., Futatsugawa, S., Yukawa, M., Takeda, S. and Imaseki, H.: "The role of PIXE in environmental monitoring and education of small-scale miners of gold" International Journal of PIXE (in print)

<書籍>

Murao, S., Maglambayan, V.B. and De La Cruz, N.: "Risk Communication Between Mineral Property Developers And Local Communities" Mining Journal Books, London (in press)

<報告書類等>

- ① 世良耕一郎:「毛髪が語るあなたの履歴と健康」産業と放射線 86, 16-21 (2000)
- ② 村尾 智:「ハラレガイドライン -国連が定めた中小鉱業のための指針-」地質ニュース 553, 47-49 (2000)
- ③ 村尾 智 ニッ川章二 世良耕一郎 丹野恵一:「ゴールドラッシュ地域における水銀汚染の監視体制構築へ向けて」NMCC共同利用研究成果報文集 7, 125-129 (2000)
- ④ Sera, K: "Progress of nation-wide common utilization of PIXE at NMCC and the latest achievement in various research fields" Proc. 1st Seminar on Applications of Accelerator Radiation, Dec. 26-27, Hsinchu, Taiwan 2001, 247-262 (2001)
- ⑤ Maglambayan, V.B.: "What ails the Philippine minerals industry?" Public Policy V, 75-88, University of the Philippines (2001)
- ⑥ Tsuji, M., Murao, S. and Tumenbayar, B.: "Distribution study of Mongolian soils for sustainable development" Digest of the Sustainable Development of Mongolia and Chemistry, Mongolian National University, 10-13 (2002)
- ⑦ 世良耕一郎:「生物試料の測定・定量法 - 測定条件と無標準定量分析法」RADIOISOTOPES 連載総説 Bio-PIXE その利用と応用 第3章 49-10, 494-504 (2001)
- ⑧ 世良耕一郎 ニッ川章二 村尾 智:「重元素による環境汚染・体内暴露モニタリングのための無調製毛髪定量分析法」NMCC共同利用成果報文集 8, 217-226 (2001)
- ⑨ トメンバヤル B 村尾 智 世良耕一郎 ニッ川章二 温品廉三 グレイソン R. マイダー T.:「モンゴル国におけるスモールスケールマイニング」地質ニュース 564, 49-51 (2001)
- ⑩ 山崎美恵 村尾 智 山本真司:「イタリア中部モンテ・アマータ地区の水銀鉱業史概観」地質ニュース 580, 50-56 (2002)

(2) 口頭発表

- ① Cabria, H. and Maglambayan, V.B.: "The realities of small-scale gold mining in Baguio district, Philippines" 1st National Conference on Cordillera Research, 招待講演, Baguio (2000)
- ② 村尾 智 ニッ川章二 世良耕一郎 丹野恵一:「ゴールドラッシュ地域における水銀汚染の監視体制構築へ向けて」NMCC共同利用成果発表会 盛岡市 (2000)

- ③ Sera, K., Futatsugawa, S. and Murao, S.: "Quantitative analysis of untreated hair samples to monitor heavy metal contamination" PIXE2001, Guelph, Canada (2001)
- ④ Sera, K., Murao, S., Futatsugawa, S. and Tumenbayar, B.: "Determining mercury concentration of human hairs by means of Particle Induced X-ray Emission (PIXE) analysis" 6th ICMGP, Minamata (2001)
- ⑤ Murao, S., Daisa, E., Sera, K., Maglambayan, V.B. and Futatsugawa, S.: "PIXE measurement of human hairs from a small-scale mining site of the Philippines" PIXE 2001, Guelph, Canada (2001)
- ⑥ Murao, S., Yamasaki, M., Yamamoto, Y., Maglambayan, V.B., Clemente, E., Lanticse, L. J., Diaz, J.M., Sera, K., Futatsugawa, S., Hayakawa, S., Nishiyama, F., Daisa, E. and Waza, T.: "Risk management of secondary mercury in small-scale gold mining communities in Benguet, northern Luzon, Philippines, 14th GEOCON, Manila (2001)
- ⑦ 世良耕一郎 ニッ川章二 村尾 智 畠山 智 齊藤義弘: 「環境調査研究のための無調製毛髪試料定量分析法の確立 NMCC共同利用成果発表会 盛岡市 (2001)
- ⑧ 世良耕一郎 ニッ川章二 村尾 智: 「有害元素体内暴露評価のための無調製無標準法の開発 第18回PIXEシンポジウム 千葉市 (2001)
- ⑨ 世良耕一郎 村尾 智 ニッ川章二 齊藤義弘: 「"Pure-Ge"検出器を用いた三検出器同時測定システムの開発」 第19回PIXEシンポジウム 秋田市 (2002)
- ⑩ 世良耕一郎: 「多試料分析のための定量法の開発 -NMCCにおける定量法-」 第19回PIXEシンポジウム 秋田市 (2002)
- ⑪ Tumenbayar, B., Murao, S., Sera, K. and Futatsugawa, S.: "Elemental distribution of human hairs in small scale mining site of Mongolia" The Sustainable Development of Mongolia and Chemistry, Ulaanbaatar (2002)
- ⑫ Tsuji, M., Murao, S. and Tumenbayar, B.: "Distribution study of Mongolian soils for sustainable development" The Sustainable Development of Mongolia and Chemistry, Ulaanbaatar (2002)
- ⑬ 村尾 智 トメンバヤル B 辻 正道 ニッ川章二 温品廉三: 「モンゴル国のスモールスケールマイニング調査報告」 NMCC共同利用成果発表会 盛岡市 (2003)
- ⑭ Fan, L. and Murao, S.: "Factors at Red Dog mine program to get consent from local community, Round Table Meeting on Good Practice and Effective Methods on Risk Communication between Mineral Property Developers and Local Communities, Jan. 14-15, Tsukuba (2003)
- ⑮ Kikkawa, T: "Risk communication in mining" Round Table Meeting on Good Practice and Effective Methods on Risk Communication between Mineral Property Developers and Local Communities, Jan. 14-15, Tsukuba (2003)
- ⑯ Sera, K.: "Determination of mercury and arsenic concentration in human hair, nail and urines by means of Particle Induced X-ray Emission Analysis" Symposium on Environmental Problems, 招待講演, Mexico City (2003)
- ⑰ Murao, S., Sera, K., Maglambayan, V.B., Daisa, E., Futatsugawa, S., Yukawa, M., Takeda,

S. and Imaseki, H.: "The role of PIXE in environmental monitoring and education of small-scale miners of gold" Bio-PIXE Symposium, 招待講演, Mexico City (2003)

- ⑱ Murao, S., Sera, K., Tumenbayar, B., Tsuji, M., Futatsugawa, S. and Waza, T: "Finding of high level arsenic for Mongolian villagers' hair through PIXE technique" IBA2003, Albuquerque (2003)
- ⑲ Clemente, E., Sera, K., Futatsugawa, S. and Murao, S.: "PIXE analysis of hair samples from artisanal mining communities in the Acupan region, Benguet, Philippines" IBA2003, Albuquerque (2003)

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

- ① Mercury contamination in the Boroo River, *The Mongol Messenger* Feb. 14 (2001)
- ② 「資源開発とリスクコミュニケーションに関する円卓会議開催報告 産総研 IGC NEWS (2003)
- ③ CCOP第39回年次総会及び第40回管理理事会報告 産総研 IGC NEWS (2003)

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

国際機関であるCCOPの第39回総会において、わが国の代表が本研究の成果を一部踏まえて、試論として、資源開発におけるリスクコミュニケーションの必要性を発表した。シエラレオネの鉱山大臣より円卓会議主催に対して謝意の表明があった。