

PIXEによる資源と環境ガバナンス構築の支援

村尾 智¹、世良耕一郎²、ニッ川章二³

¹ 産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門
〒305-8569 茨城県つくば市小野川 16-1

² 岩手医科大学サイクロトンセンター
〒020-0173 岩手県岩手郡滝沢村滝沢字留が森 348-58

³ 日本アイソトープ協会
〒113-8941 東京都文京区本駒込 2-28-45

1 はじめに

地球環境を論ずる時、鉱山開発による影響は無視できない。ところが、1990年代後半まで、鉱業が議論の主要テーマとして取り上げられる事はほとんどなかった。その一因は、1992年開催の「環境と開発に関する国際連合会議（地球環境サミット）」が出したアジェンダ 21 に鉱業関係の文言が全く入らなかった事である。

この欠陥に気づいた国際社会は、10年後に開催された「持続可能な開発に関する世界首脳会議（ヨハネスブルグ・サミット）」では、鉱業、金属、鉱物資源を議題として取り上げ、成果文書であるヨハネスブルグ実施計画でも以下のように記述した。

46. Mining, minerals and metals are important to the economic and social development of many countries. Minerals are essential for modern living.

Enhancing the contribution of mining, minerals and metals to sustainable development includes actions at all levels to:

(a) Support efforts to address the environmental, economic, health and social impacts and benefits of mining, minerals and metals throughout their life cycle, including workers' health and safety, and use a range of partnerships, furthering existing activities at the national and international levels among interested Governments, intergovernmental organizations, mining companies and workers and other stakeholders to promote transparency and accountability for sustainable mining and minerals development;

(b) Enhance the participation of stakeholders, including local and indigenous communities and women, to play an active role in minerals, metals and mining development throughout the life cycles of mining operations, including after closure for rehabilitation purposes, in accordance with national regulations and taking into account significant transboundary impacts;

(c) Foster sustainable mining practices through the provision of financial, technical and capacity-building support to developing countries and countries with economies in transition for the mining and processing of

minerals, including small scale mining, and, where possible and appropriate, improve value -added processing, upgrade scientific and technological information and reclaim and rehabilitate degraded sites.

この文章は、鉱業が人間社会にとって必要であることを再確認するとともに、環境や社会に十分配慮し地域社会や先住民を排除しない開発を求めている。これ以降、資源開発論は大きく変貌し、それまでのような政府と鉱山会社を中心とした政策（government）を支持する考えは影を潜めている。すなわち、利害関係者の意見を広く募って、参加型の開発を策定し実施する方が望ましいという考えが主流になりつつある。ここで言う利害関係者とは、ある問題に興味を持つすべての人を指す。たとえば、ある国の鉱山開発を他国の NGO が監視しているならば、その NGO は利害関係者である。

参加型の開発を議論し、推進（あるいは中止）するためには、政府や大手鉱山会社のスタッフだけでなく、地域住民にも情報を入手する手段と解析・判断する能力が必要となる。特に、環境に対する負のインパクトが懸念される場合、高度な知識や資金力がない一般市民でも、環境試料分析を依頼、その結果について相談できる場所が必要となる。本稿では、そうした場面で PIXE を用いてきた筆者の経験を、簡単に紹介したい。

2 ガバナンスとは

上で紹介したように、2000 年以降の世界は「資源開発は国際機関や政府が一方的に決める政策から脱却できるか」という命題を突きつけられていると言ってよい。しかし、国際機関や政府のみならず、地域住民や先住民など多様な利害関係者を参加させ、異なるグループの間を橋渡しして、協力関係を構築したり、政策へ収斂させる作業は容易ではない。

この問題は「ガバナンス」をキーワードとして論じられる傾向にある。ガバナンス（governance）とは、管理、支配、統治などと訳される言葉だが、資源環境論やビジネス論では、集団が自らを健全に統治することをいう。多様な主体（規模の大小や性格の公私に関わらず）が、共通の課題に取り組むさまざまな方法を取り込んだ、継続的プロセスである。条約や法令による拘束力を行使した上からの統治、つまり「ガヴァメント」、とは対照的な概念である。ただし、ガバナンスと言っても、特定の制度、あるいは一連の決まったプロトコルがあるわけではない。教科書的な手順があるわけではないので、場面ごとに、その場にふさわしい形が模索されるべきだが、アジアにおける資源開発の場面では、まだ十分に機能していないと思われる¹⁾。

3 PIXE の担う役割

アジアにおいては各国政府のガバナンスに関する取組が必ずしも顕著ではない。したがって、人的・技術的資源を持つ研究機関が、ガバナンス構築に役立つツールを積極的に提案して行く必要があると思われる。

資源開発の多くの現場では「スモールスケールマイニング（artisanal/small-scale mining）」という乱掘が合法的な採鉱と共存する。これは、発展途上国の貧困層によって行われ、環境破壊を伴う採鉱形態である²⁾。関係者が冷静な議論と意思決定をしようとするれば、科学的に正確なデータが必要となるが、スモールスケールマイニングの問題を抱えるため、資源と環境のガバナンス構築については、多種多様な環境試料の分析が必要となる。また、場合によっては周辺住民の健康リスク評価を行う必要性が生じる。

日本アイソトープ協会滝沢研究所仁科記念サイクロトロンセンター(NMCC)の PIXE は、前処理不要で迅速な定量分析方法を確立しており、国際環境協力にも数多くの実績を有する。従って、こうした複雑な状況に対応できる、極めて優秀な装置である³⁾。

4 実例

4.1 フィリピンのスモールスケールマイニング

ではここで、金のスモールスケールマイニングについて、どのようにPIXEのデータを取得し、ガヴァナンスの議論に活用したか、具体例を概観したい。

フィリピンでは各地でスモールスケールマイニングが行われている。一説には40の地域で30万人が関わっているとされており⁴⁾、少なからず地域経済の活性化に貢献している。しかし、金の採掘と処理においては、ほとんどの場所で水銀や青化物を使用、しかも、その取り扱いがずさんなため、深刻な汚染を引き起こしている⁵⁾。場所によっては児童労働があり、総じて事故も多い。地元の強い要請もあり⁶⁾、この問題のためには、政府も国際機関も膨大なエネルギーと予算を費やしてきたところである⁷⁾。

同時に、先住民や地域住民が、かなり前から鉱物資源開発に関するガヴァナンス構築につながる取組を行っており、請願等を頻繁に提出してきた^{8,9)}。これを受けて、政府はミナハンバヤン（共同で採掘できる土地）と称する特別区画を策定するなど、地域社会とともに資源を管理する意向は持っている。また、今年は、スモールスケールマイニングについて、支援強化に乗り出す事を決定してはいるが、2種類ある法令 -PD1899 と RA7076- の関係が整理されていない事もあり（Jasareno, private communication）、先行きは不透明である。

4.2 精錬後の金

まず、問題なのは、精錬後に回収される金の品質が不明な事である。商品の価値を正確に評価できないため、生産者たちはブローカーから買い叩かれている。そこで、現場で入手した金粒子の測定を行った。金粒子はたたきのぼして薄いフィルム上にした上で陽子線を照射、定量を行った。

Table 1 Chemical composition of a gold bullion determined by PIXE at NMCC

Element	Concentration (ppm unless otherwise noted)	Error
Au	86.9%	2.6 %
Ag	10.9%	4.3%
Fe	3.6%	1.2%
Ni	28	21
Cu	1351	63
Ru	1257	419
Pb	2792	356
Ca	188	79

照射条件はp 2.9 MeV、ビーム電流1 nA、300 μm Mylar フィルムを吸収体として測定を行った。その結果、銀を10%程度含有することが明らかになった。また、懸念材料である水銀の含有も多量の不純物もないことが判明した（Table 1）。

4.3 尾鉱

次に、尾鉱（選鉱後の廃石）の中に、どの程度、金粒子が残留しているかについて、生産者が把握していないという問題があった。尾鉱は土嚢に袋づめされ、周辺の鉱山会社に二東三文で搬入されていた。生産者側は試金の技術を持たず、中央官庁や大学への情報のアクセスも困難な状

態で、価格交渉ができないでいた。そこで、サンプルを数点持ち帰り、分析を行った。その結果、最大 30 ppm という、先進国の金山ならば捨石どころか優良な鉱石として扱われる量の金が、残留していると判明した¹⁰⁾。この結果に基づき、筆者らは、関係者に対して、共同利用できる簡易分析センターの設立を勧告した。

4.4 精錬後の灰とタール状物質

金鉱を精錬する現場は、粗末な掘っ立て小屋に、炉や煙突など、最低限の装置を備えたものである。内部を観ると、床や炉の周辺には灰が集積、天井や壁面にはびっしりとタール状で黒色の汚れが付着している。これらには精錬作業に用いた水銀が気化して濃縮していると予想されたので、所有者の同意を得た後、試料を採取、帰国後、NMCC で硝酸灰化し、内部標準として In を 1000ppm 加えてターゲットとし、p 2.9 MeV、ビーム電流 50 nA、300 μ m Mylar フィルムを吸収体とする照射・測定条件下で分析を行った。

Table 2 Trace elements determined for ash from a smelting hut, Philippines

Element	Concentration (ppm)	Error
Hg	117	7.4
As	8.2	0.9
Ag	7.4	1.5
Ti	23	1.5
Mn	413	25
Fe	986	60
Cu	12	0.8
Zn	43	2.6
Pb	117	7.4
Sr	83	5.2
Na	854	64
Mg	2531	175
Al	1263	89
Si	1570	109
P	498	36
S	591	42
Ca	8631	523

分析値からは深刻な水銀汚染が起きていると判断された。灰では 100ppm 以上、タールでは 7000ppm もの水銀が検出され (Tables 2 and 3)、加えて、砒素や鉛の濃集も明らかになった。この結果は、当事研究チームに属していたフィリピン鉱山地球科学局に直ちに伝達したが、同局は地元担当者を出向かせ、説明を行った。説明を受けた労働者たちは衝撃を受け、これ以降、精錬小屋の清掃を徹底的に行うようになった。また、児童が入らぬように、出入りの制限を始めた。水銀使用を中止する段階までには至らなかったが、作業の危険性を認識させる上では、一定の意味がある分析支援となった。

4.3 毛髪

NMCCにおいて、毛髪は最も効率よく測定できる試料の1つであり¹¹⁾、その定量方法は発展途上国の関係者から大きな期待を集めている。国際機関も注目しており、先日バンコクで行われた国連環境計画(UNEP)の会議でもNMCCのPIXEが議題の1つであった¹²⁾。

Table 3 Mercury and other elements detected in tar-like material from a smelting hut, Philippines

Element	Concentration (ppm)	Error
Hg	7,002	284
As	6.9	1.1
Ti	5.0	1.3
Mn	14	0.7
Fe	86	3.5
Ni	0.9	0.3
Zn	2,984	121
Pb	137	6.5
Fe	86	3.5
Ca	254	11

スモールスケールマイニングの現場から多く出てくるのは毛髪分析の依頼である。複雑なプロトコルを必要とせず、すぐに結果が出るNMCCの分析方法は、現場から多大な支持が寄せられている¹³⁾。フィリピンにおいても、筆者らはくり返し測定を行っているが¹⁴⁾、水銀を使用して精錬する現場では、時に深刻な結果を見ることとなった。たとえば、ルソン島北部では、女性や子供の毛髪に大量の水銀が蓄積されている例が見つかった¹⁵⁾。坑内で採掘を行う成人男性よりも、自宅厨房で水銀を用いた精錬を行う女性と、屋内にいる児童の方が、水銀に対する曝露量が多いことを明確に示したこの結果も、フィリピン鉱山地球科学局から、該当する採掘集団に伝達された。それから、しばらくの間、この集団は水銀を一切使用しなかった。

5 終わりに

発展途上国をターゲットにした環境試料の分析結果は、地元に戻元されない事がよくあり、外国人の研究者チームが締め出される理由の1つになっている。筆者らは、学会等で公表の前に、必ず地元の結果を送付しており、また、地元民との対話集会等で、できる限り説明を行うよう、心がけている。

フィリピンにおける一連の研究結果については、2度、対話集会を開催し、イトゴン市宛に報告書を送付した。市側は受理直後の2004年1月28日に、市長名による感謝状を発行している¹⁶⁾。小規模な集会の報告書であったにもかかわらず、市長のサインが入った手紙が発出された事は、このような地道な関係構築が、大変重要であると示唆している。

ガヴァナンスは、特定の指導者層だけでなく、すべての人が主体的に関わり、ルール作りを含めて課題に取り組む、言わば相互協力に基づく管理運営方式である。その構築には、科学技術へのアクセス、情報公開、そして、関係者間のきめ細かなやりとりが必要である。発展途上国の貧困層でもアクセスできるNMCCのPIXEは、これまでは情報から阻害されていた階層をも取り込んで、幅広い議論が行われる下地を作ったと言ってよいであろう。少なくとも資源と環境の分野では、国際機関や政府系機関の協力もあって、ガヴァナンス構築に一石を投じている。さらな

る発展を期待したい。

謝辞

本稿で紹介した研究の一部には、環境省の地球環境研究総合推進費および日本学術振興会の科学研究費補助金を用いた。フィリピン共和国 環境天然資源省 鉱山地球科学局のハサレノ局長には 同国のスモールスケールマイニングについて 最新の情報をいただいた。篤く御礼申し上げる。

参考文献

1. 村尾 智, “変貌する世界の鉱業界とアジアの課題—モンゴルの事例を含めて—”, 産業技術総合研究所—大東文化大学合同研究報告会「市場経済移行国の資源開発をめぐるガバナンス」, 2012.1.5, 産業技術総合研究所 臨海副都心センター (2012)
2. 村尾 智, “スモールスケールマイニング”, *地球科学* **54**, 348-349 (2000)
3. K. Sera, T. Yanagisawa, H. Tsunoda, S. Futatsugawa, S. Hatakeyama, Y. Saitoh, S. Suzuki and H. Orihara., “Bio-PIXE at the Takizawa facility (Bio-PIXE with a baby cyclotron)”, *Int'l Journal of PIXE* **2**, No.3, 325-330 (1992)
4. BusinessMirror, “DENR pushes rationalization for small-scale miners”, Jan. 20 (2012)
5. T. J. Corpus, C. P. David, S. Murao, V. Maglambayan, “Small-scale Gold Mining in the Ambalanga Catchment, Philippines: Its Control on Mercury Methylation in Stream Sediments”, *Int'l Journal of Env. Sci.*, **2**, No. 2 1048-1059 (2011)
6. たとえば、バルバラ市より鉱山地球科学局 CAR 支局長あて要請書。Republic of the Philippines, Province of Kalinga, Municipality of Balbalan, Office of the Municipal Social Welfare & Development, August 31 (1999)
7. 村尾 智, “スモールスケールマイニングに対する国際的取組み -ILO の事例-”, *地質汚染-医療地質-社会地質学会誌* **5**, 41-45 (2009)
8. E. J. Caballero, “Position Paper For Senate Bills 1200 and 560”, Philippine Social Science Center, Submitted to the Governor of the Province of Benguet, Oct. 16 (1996)
9. Republic of the Philippines House of Representatives, Fifteenth Congress First Regular Session, House Bill 4315, “An Act Re-opening The Philippine Mining Industry, Ensuring The Highest Industry Development Standards, And For Other Purposes”.
10. S. Murao, S. Futatsugawa, K. Sera and V. B. Maglambayan, “Trace Element Analysis of Tailings from an Indigenous Mining Community, Benguet, Philippines”, *Int'l Journal of PIXE* **12**, No.1 & 2, 61-69 (2002)
11. K. Sera, S. Futatsugawa and S. Murao, “Quantitative Analysis of Untreated Hair Samples for Monitoring Human Exposure to Heavy Metals.”, *Nucl. Instr. and Meth.* **B 189**, 174-179 (2002)
12. UNEP, “UNEP-GREEN/AIST Workshop for Responsible Production and Industrial Risk Management”, March 24-25, Bangkok (2011)
13. CCOP, “CASM-Asia Workshop on State-of-the-Art of Science and Technology to Protect the Environment and People”, Nov. 27-29, Bandung, Indonesia (2006) Retrieved Feb. 2, 2012. from http://casm-asia.ccop.or.th/activities_detail.php?activity_id=13.
14. E. Clemente, K. Sera, S. Futatsugawa and S. Murao, “PIXE Analysis of Hair Samples from Artisanal Mining Communities in the Acupan Region, Benguet” Philippines.”, *Nucl. Instr. Meth.*, **B219-220**, 161-165 (2004)
15. S. Murao, E. Daisa, K. Sera, V. Maglambayan and S. Futatsugawa, “ PIXE Measurement of Human Hairs from a Small-scale Mining Site of the Philippines.”, *Nucl. Instr. Meth.* **B189**, 168-173 (2002)
16. Republic of the Philippines, Province of Benguet, Itogon Office of the Municipal Mayor, Jan. 28 (2004)

PIXE at the forefront of the governance promotion in mining and the environment

S. Murao¹, K. Sera² and S. Futatsugawa³

¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology,
16-1 Onogawa, Tsukuba 305-8569, Japan

²Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
Takizawa, Iwategun, Iwate 020-0173, Japan

³Japan Radioisotope Association
Honkomagome, Bunkyo, Tokyo 113-8941, Japan

Abstract

Scientific instruments can help increase transparency, strengthen legitimacy, and foster broader public interest through the provision of reliable data and information. PIXE at Nishina Memorial Cyclotron Center (NMCC) presents a success story on the management and governance in terms of mining and the environment in that (1) it is a robust and versatile tool to quickly and precisely determine toxic elements in different types of environmental specimens; and (2) the obtained result can base good discussion and spur cooperation among stakeholders.

Keywords : Artisanal/small-scale mining, Governance, PIXE, Philippines