

【各論-1】

マレーシアでのレアアース資源製錬過程による環境問題—エイジアンレアアース (ARE) 事件の現況とライナス社問題

Environmental Problems Caused by Rare Earth Refinery Processes in Malaysia:

Asian Rare Earth (ARE) Incident and Lynas Problem

和田 喜彦*

Yoshihiko WADA

はじめに

レアアース（希土類）鉱石には、多くの場合、トリウム 232 やウラン同位体等の放射性物質が含まれている。そのため、採掘や製錬過程において放射性物質を含む鉱滓（テーリング）が大量に発生する。したがって、廃棄物の管理は厳重に行われなければならない。廃棄物管理が適切に行われない場合は、深刻な放射能汚染が引き起こされる。

その典型例が、約30年前にマレーシア・ペラ州イポー市近郊の製錬工場で発生したエイジアンレアアース (ARE) 公害事件である。これには、日本企業の三菱化成工業(株)（現・三菱化学(株)）が関与していた。まず、その事件の概要と現状を説明する。

最近になって、世界で最大級の規模を誇るレアアース製錬工場がマレーシアの別の州パハン州クアンタン市近郊に建設された（図1参照）。2012年末より操業が開始されたが、以前から国際原子力機関（IAEA）や複数の研究機関から放射性廃棄物保管施設等の欠陥が指摘され、放射能汚染の発生が懸念されている。事業主体は、オーストラリアの鉱山会社・ライナス社である。日本政府も、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）を通じ、約250億円の出融資を行っており、深く関与している。数々の問題点が指摘されつつも操業は続けられており、マレーシア国内では推進側と反対側住民の激しい対立が続いている。

ライナス社の製錬工場の抱える問題点について、現

地調査に基づく報告を行う。

1. エイジアンレアアース (ARE) 公害事件

1.1 ARE 公害事件の概要

この事件は、三菱化成の子会社のエイジアンレアアース社 (ARE) がマレーシア・ペラ州イポー市近郊ブキ・メラ村とその周辺で引き起こした放射能汚染事件（1970年代後半～1990年代）である。加害企業とされる ARE と三菱化成は、放射性廃棄物の漏洩と癌などの病気や先天性異常との因果関係を認めず、また加害責任も認めていない（小島ら、1993）。法廷の場で責任の有無が争われたが、内外の医師・研究者たち、そして日本弁護士連合会公害対策・環境保全委員会の支援も虚しく、1993年の最高裁判決で加害責任は否定された。結果的に、被害者は企業や政府からの謝罪も十分な補償も受けることができないままの状態である。1994年になって ARE は、中国から輸入するほうが経済的という理由で、製錬工場を閉鎖した。その結果、トリウム 232 を14%程度含む大量の放射性廃棄物が放置されることとなった。放射性廃棄物の長期保管施設の建設と、廃棄物のこの施設への移転が実施されたのは、工場閉鎖から9年経った2003年から2005年のことであった。

1.2 「公害輸出」の典型

ARE 事件は、日本国内の放射性廃棄物管理に対する規制が厳しくなったことを契機として海外に工場を移転し、現地で公害問題を引き起こした事件であるので、「公害輸出」の典型とされる（小島、1990；日本弁護士連合会公害対策・環境保全委員会編、1991）。

*わだ よしひこ・同志社大学経済学部教授

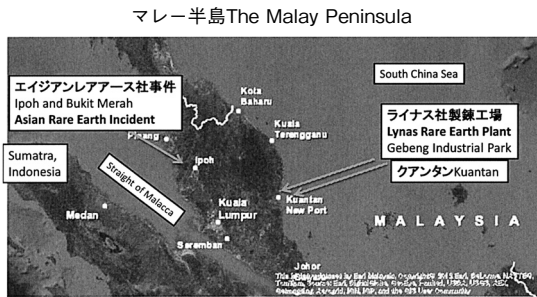


図1 調査対象地点

Map created by Mr. Noboru Zama (坐間 昇作成)

実際、1968年の日本の原子炉等規制法改正により、放射性廃棄物の投棄や保管には厳重な管理が必要となった。結果的に1972年までにモナザイトからのレアアース抽出工程が日本からなくなっている。

1.3 放射能汚染による被害の実態

AREでは、ピーク時で年間328トンのトリウム廃棄物が発生したとされる。ウラン酸化物は13トン、バリウム、ラジウムが40~80トン、全体で毎年平均400トンの廃棄物を発生させていた。

ARE製錬工場は、操業時点で放射性廃棄物の保管倉庫を持たず、袋に入れて地面に野積みしたり、工場の裏手にあった池や近隣に違法投棄していたという。批判を浴びた後はドラム缶に入れるようになったが、屋根のない場所に保管されていた。ずさんな廃棄物管理の結果、通常の730倍の放射線量が計測された場所も発見された(1986年時点：市川, 2005)。結果的に、近隣住民や従業員やその家族に健康被害が現れた。異常出産率は、全国平均の3倍となり、子どもたちの白血病や癌の発症率は全国平均の40倍以上であった(小島, 1992)。

三菱化成とAREは、裁判終了後、「三菱ブランド」のイメージダウンを防ぐため、地元の小学校の児童用の奨学金基金を設立したり、放射性物質の除染と汚染物質の移設と保管業務のために資金を提供している(Bradsher, 2011a)。ただし、被害者への謝罪と補償は行ってはいない。被害者らは、日本の市民やNGOが作った基金から支給されているわずかな見舞金を受け取っているに過ぎない。

1.4 放射性廃棄物未除染箇所が存在

AREが違法投棄したとされる放射性残土や廃棄物はすべて回収され、長期保管施設に移送されたことに

なっている。しかし、筆者が2012年11月末に実施した第一回目の現地調査の中で、現地の研究者や住民たちから、事件から30年あまりを経た現在でも未除染の場所が残されている可能性が指摘された。彼らによれば、公判の過程で、関係者からの証言に基づき違法投棄場所が明らかにされたが、その証言から漏れた場所が複数あるというのである。この点の真偽を明らかにするため、2013年11月末に第二回目の現地調査を実施した。マレーシア・クアンタン市出身のフリーランスの環境研究者であるJade Lee氏が事前のアレンジを整えてくれた。ドイツ人研究者で産業公害の歴史を掘り起こしているDr. Luitgard Marschall、マラヤ大学教授(政治的な配慮から匿名としておく)、そして地元住民のRay Ng氏らが加わった。

まず、放射性廃棄物の違法投棄を会社から委託されたことがあるという男性に面会した(11月25日夜)。その人物は、かつてAREからの指示により、闇夜にまぎれて、廃棄物をトラックで搬送し、道路脇に投棄したことが何度もあると証言した。そしてついに未除染と思われる場所3箇所について教えてくれた。この人物に現場への同行を求めたが拒否された。周囲の目を気にしているようである。翌26日に指摘された場所をわれわれだけで訪ねた。ガンマ放射線検知器を片手に未除染とされる場所を歩いた。

1箇所目(「地点A」とする)は、牧草地に隣接する新興住宅地区であるが、とくにガンマ線がバックグラウンド値とほぼ同じ値であった。この付近のバックグラウンド値は、マレーシアのほかの箇所よりやや高めであり、 $0.13\sim 0.19\ \mu\text{Sv/h}$ 程度である。

2箇所目(「地点B」とする)は幹線道路と湿地の境目である。ガンマ線計測器の値はバックグラウンド値と比較して高い値を示した(平均値: $0.34\ \mu\text{Sv/h}$)。ここでは土壌を16サンプル採取した。

3箇所目(「地点C」とする)については、下水処理場に隣接している住宅地区であるが、バックグラウンド値とほぼ変わりなかった。

土壌分析は大阪大学大学院理学研究科化学専攻分析化学研究室・福本敬夫氏に委託した。

図2には、左から、大阪大学付近の猪名川河畔の土壌サンプル、「地点B」から採取したサンプルの中か

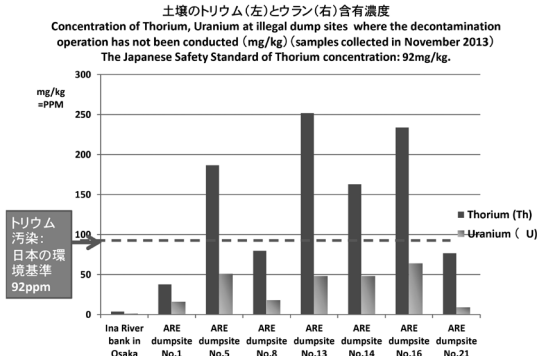


図2 「地点B」, 「地点C」の土壤サンプル分析結果

ら6つのサンプル (No.1, No.5, No.8, No.13, No.14, No.16) について、および「地点C」の1サンプル (No.21) についての分析結果を示している¹⁾。日本のトリウム濃度の環境基準は、92ppmである (小出, 2013) が、「地点B」の6サンプルの内、4サンプルが基準を上回る高濃度の値を示している。この場所は明らかに除染が実施されていないと判断できる。また、「地点C」のNo.21の分析結果も決して低すぎるとい値ではない。ARE, 三菱化学 (旧・三菱化成), そしてマレーシア政府は、これらの地点において除染・汚染土壌の回収作業を早急に実施すべきであると考える。

「地点B」からは30~50mほどの間に、3世帯の家が点在している。また「地点C」から約40m離れた場所には中層の団地が立地している。これらの居住者の健康への影響が懸念される。

2. ライナス社レアアース製錬工場の環境問題

2.1 ライナス社製錬工場問題の概要

マレーシアのライナス社レアアース製錬工場 (図3) の正式名称は、Lynas Advanced Materials Plant (LAMP) という。ライナス社がオーストラリア国内のマウントウェルド鉱山でレアアース鉱石を採掘・選鉱し、マレーシアまでコンテナ船で搬送している。放射性廃棄物の環境基準が厳しく、国民の環境意識が高いオーストラリアでは製錬工場の稼働は収益面だけでなく政治的にも困難を伴う。そのため、当初は中国に設置する計画が立てられたが、中国政府が環境規制を突然厳しくしたため、マレーシアに変更されたという経緯がある。



図3 ライナス社レアアース製錬工場遠景
撮影) 筆者 (2013年11月27日)

LAMP については放射性廃棄物保管施設の不備などが複数の研究機関から指摘されてきた。工場責任者は、「現在作ってある鉛層 (粘土層と HDPE 層, 放射能漏えい検知器が付いている) で充分管理できる」と主張している。しかし、ドイツの研究所の Oeko-Institut (2013) の指摘では、「粘土層はわずか30cm, HDPE は1mmの厚みしかない。ドイツでは一般有害廃棄物でも許可が降りない粗末な構造である」とのことである。また、「通常の運転でも周辺の地下水に放射性物質や有毒物質が漏えいする」と厳しく批判している。オーストラリアの Gavin Mudd 博士からは、「このような場合、3重の層にする上、万一の漏洩の際に時間稼ぎを可能にするために、それぞれに砂層も追加するのが普通である」とする指摘があった (Mudd, 2013)。

住民による反対運動が2009年から始まったが、反対運動が本格化したのは、2011年3月である。2011年3月、LAMPの建設に携わる複数のエンジニアが、工事の杜撰さを内部告発した。内部告発を受けとったニューヨークタイムズの記者が記事を二度にわたり掲載した (3月8日: Bradsher, 2011a, 6月29日: Bradsher, 2011b)。これを契機とし、住民運動が力を増していった。住民組織は複数存在するが、その中でも、「Save Malaysia Stop Lynas, SMSL」が、この運動の中心的存在である。

国際原子力機関 (IAEA) も、2011年に長期的放射性廃棄物管理施設の問題点など11項目の問題点を指摘し、改善勧告をマレーシア政府に提出した (IAEA, 2011)。ライナス社もマレーシア政府もこの勧告を守ると公的な場で約束したが、改善対策が実際に施され

たかは疑問である。この点は曖昧のまま、2012年12月初旬、操業が開始された。ライナス社は、最初の3ヵ月は年率1万1000トンを生産した。2013年からは年率2万2000トンで操業予定となっていたが、予定どおりの産出量となっているかは不明である。

JOGMECを通じ、日本政府は第二フェーズの建設資金として、ライナス社に対し約225億円の融資を実施し、約25億円を出資している。双日(株)とJOGMECそしてライナス社との間で、年間8500トン（日本国内のレアアース需要の約3割相当）のレアアース供給を10年間行なうという契約が成立している（2011年4月）。ちなみに、この出融資は、工場建設費総額の約3割を占める。

2.2 ライナス社製錬工場稼働1年後の汚染状況

2013年12月の時点で、暫定的操業免許による操業開始後1年が経過したのであるが、周辺環境でのトリウム汚染が進んでいることが示唆される土壌・水分析結果が出た（図4、図5、表1、表2）。

図5は排水放出口から約5km離れた河口で2013年11月27日に採取した泥のデータであるが、1年前に同じ箇所採取した泥（トリウム Thが4.0mg/kg, ウラン Uが0.6mg/kg）と比較してトリウム・ウラン濃度は約7倍となっていた。ちなみに、地殻中の平均含有値は、トリウムが10.5 mg/kg, ウランは2.7 mg/kgである（Rudnick and Gao., 2003）。

表1には、同地点の泥中における金属類・希土類・放射性物質（トリウムとウラン）の含有濃度を示している（参考値として大阪市猪名川河畔の泥サンプルの値も示している）。操業開始前と操業開始後1年経過後では、チタン（Ti）、セリウム（Ce）の濃度が8~9倍程度に、マンガン（Mn）、ヒ素（As）、バナジウム（V）などは、5~6倍程度に増加している。さらに、ランタン（La）、ネオジウム（Nd）、ガドリニウム（Gd）、ジスプロシウム（Dy）、ビスマス（Bi）、鉛（Pb）などの元素は、操業前は検出されなかったが、操業後1年経過した時点で、微量ながら検出されている。

次に、操業開始1年後（2013年11月27日）に工場廃水排出口から約25mの地点2箇所採取した水サンプルの鉛、トリウム、そしてウランの含有濃度を表2で示す。残念ながら操業開始前の水を採取できな

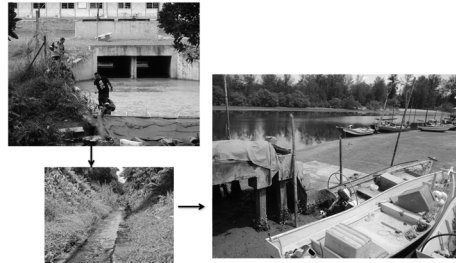
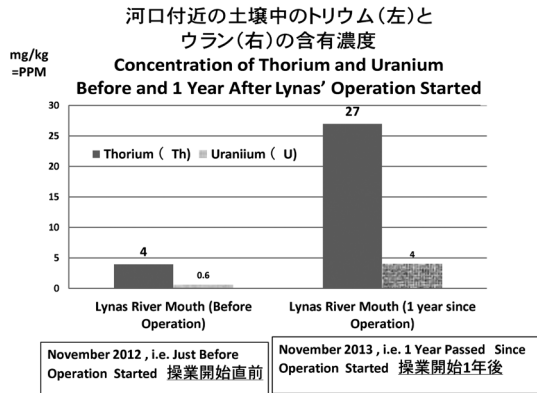


図4 ライナス社製錬工場排水口(左上)と5 km下流の河口にある漁村(右)



日本のトリウム濃度環境基準:92ppm

図5 ライナス社製錬工場の工場廃水排出口から約5km下流の河口付近(漁港)の泥中のトリウム・ウラン含有濃度(操業開始前が左、操業開始後1年が右)

表1 ライナス社製錬工場の工場廃水排出口から約5km下流の河口付近(漁港)の泥中の金属類・希土類・放射性物質の含有濃度

	猪名川(大阪)	河口(操業開始前)	河口(操業開始1年後)	変化率(%)
	含有値(mg/kg)	含有値(mg/kg)	含有値(mg/kg)	
チタン (Ti)	357.0	47.0	424.0	902
クロム (Cr)	15.0	34.0	47.0	138
マンガン (Mn)	240.0	107.0	621.0	580
亜鉛 (Zn)	63.0	29.0	151.0	521
ストロンチウム (Sr)	-	78.0	-	-
バナジウム (V)	18.0	11.0	57.0	518
銅 (Cu)	32.0	16.0	54.0	338
ヒ素 (As)	6.0	11.0	63.0	573
セリウム (Ce)	13.0	8.5	75.0	882
ランタン (La)	6	-	31.0	-
ネオジウム (Nd)	5	-	27.0	-
ガドリニウム (Gd)	1	-	5.0	-
ジスプロシウム (Dy)	2	-	3.0	-
ビスマス (Bi)	1	-	6.0	-
鉄 (Fe)	-	8030.0	-	-
鉛 (Pb)	17.0	-	106.0	-
トリウム (Th)	4.0	4.0	27.0	675
ウラン (U)	1.0	0.6	4.0	667

ったため、変化率を求めることはできない。参考までに、大阪市猪名川の水サンプルの含有濃度（4試料の中間値）を示す。もちろん単純な比較は意味がないが、LAMPのサンプルが相対的に高い値を示している。しかし、これをもってLAMPからの有害物質の漏洩を断定することもできない。ここでは、参考データとして提示する。

以上の結果から、有害汚染物質がLAMPから環境中へ漏洩している可能性が示唆される。住民たちが懸念してきた放射能汚染の問題が現実となりつつある可能性がある。客観的で徹底した詳細な環境調査が必要であると思われる。

2.3 日本の責任

JOGMECは、「HSE方針」を堅持している。HSEとは、H（労働者の健康）、S（安全）、そしてE（環境）のことである。「HSE方針」は、それらを護るとするJOGMECが世界に向けて発信した公的な宣言である。「HSE方針」には、「…資源機構では、これらの事業がHSEに関する著しいリスクを内在していることを認識し、人身事故、健康障害、環境汚染等の回避のため、直接業務のみならず、出融資・債務保証先等の企業が実施する間接事業についてもこれらの企業と協働してリスクを低減します」と書かれている（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構、2013）。

しかし、以上のような状況から判断すると、この方針は、遵守されていない可能性が高い。

2.4 2014年の新たな動き

2012年にマレーシア原子力発電認可局（Atomic Energy Licensing Board: AELB）からライナス社に発給されていた2年間の暫定運転免許（Temporary Operating Licence: TOL）は2014年9月2日に失効期限を迎えた。同日、AELBは、ライナス社に対して2年間の期限付きの本格運転免許（Full Operating

Stage Licence: FOSL）を付与した（Ng, 2014）。このことは、何を意味するか。2年間に限定した免許しか付与しなかったということは、マレーシア政府が、ライナス社の廃棄物管理体制は問題を抱えていると認識している証拠ではないかと思われる。

翌月10月になると、IAEAが、ライナス社製錬工場にフォローアップチームを派遣し、現地調査を行った。10月17日にその調査結果が簡単なプレスリリースとして発表された（IAEA, 2014）。報告書本体は12月4日時点で開示されていないため詳細は不明であるが、プレスリリースから読み取れる内容は、①2011年のIAEA勧告に対して、ライナス社は改善を行いつつある、②しかし長期放射性廃棄物管理計画が非現実的で、とくに最終処分場をどこにするかが未定であることが問題である、③また、廃水等の環境モニタリング方法が改善されなければならない、④長期的な廃棄物管理、工場の廃棄を適切に行うための財政的基盤についての情報を明確に開示すべきである、⑤公衆や利害関係者とライナス社との間における問題認識のギャップを埋める努力が必要である、等の問題点である。

水俣病が1956年に公式発見された後、日本政府は問題を認識しつつも12年間にわたり、危険物質を排出していると疑われたチッソ水俣工場の稼働を継続させ、また排水のたれ流しを黙認した。これは「産業力ナショナリズム」に感化された政府による能動的な政策決定の結果であったとする指摘がある（栗原, 2000）。水俣で起こったことと同じことが、マレーシアにおいて、当該政府とIAEA、そして日本政府によって繰り返されているのではないか。人間の存在基盤や生命のリスクを認識しつつも、経済的収益を上げることを優先させるという価値観の下克上が起こっているのではないか。人類は悲惨な過去の歴史から学ぶ能力を退化させてきているのであろうか。

おわりに

1) エイジアンレアアース事件による放射能汚染の被害者は、30年を経た現在でも救済されないままである。そのうえ、未除染箇所が住民が住む地域内に残されていることが判明した。放射能被曝による新たな被害者を生まないために、早急な除染作業が必要である。

表2 操業開始1年後の工場廃水排出口付近の水サンプルの鉛、トリウム、ウラン含有濃度

	猪名川 (大阪)	排出口付近 No.3	排出口付近 No.5
	含有値 (ppb=10 ⁻⁶ g/L)	含有値 (ppb=10 ⁻⁶ g/L)	含有値 (ppb=10 ⁻⁶ g/L)
鉛 (Pb)	0.20	0.90	2.00
トリウム (Th)	0.05	0.40	0.40
ウラン (U)	0.01	0.20	0.20

2) ライナス社レアアース製錬工場の周辺で採取したサンプルの分析により、操業前と操業後1年経過後では、放射性トリウムやウランの濃度が有意に増加していることが判明した。ライナス社は、操業を一端停止し、詳細かつ客観的な環境モニタリングを実施し、その結果を公開すべきである。

3) 日本政府・経産省・JOGMECは、出融資者の責任として、ライナス社とマレーシア政府に上記の点を真剣に要求すべきである。とくに、JOGMECは自身のHSE方針を誠実に遵守すべきである。

4) 消費者であり、納税者でもある日本国民も間接的ながら、マレーシアでの放射能汚染に加担している可能性がある。その責任を果たすために、日本国政府とマレーシア政府、ライナス社、双日㈱に対して、実態の解明と事態の改善を強く要請することが必要であると考えられる。

5) JOGMECは、自らのHSE方針が形骸化しているのであればその看板を取り下げ、それに替わる実効的な「環境社会配慮ガイドライン」を策定すべきである。

6) 日本政府は、JOGMECの業務案件、ならびに日本の鉱山開発企業が海外で実施する鉱山開発案件に対し、厳しい環境社会配慮を課す法律を制定すべきである。

7) ライナス社の製品を購入し、利用しているハイテク産業、電子産業各社は、ライナス社に対し、放射性廃棄物保管が適正に実施されているのかについて、情報開示を要求すべきである。

8) 鉱物資源が、環境社会的に配慮されて採掘・製錬されているのかについての国際的な認証制度が導入されるべきである。環境汚染による健康被害や生態系の破壊、先住民や反対派住民への迫害・不当逮捕・虐殺、強制移住等の人権侵害が発生していないかなどが判断基準として必要であろう。

補 注

1) サンプルの処理方法と測定方法:

(1) 土壌サンプル

1. 土壌サンプルをホットプレート上で乾燥させる。
2. 乾燥させたサンプルを一定量秤量して、ピーカーに入れ

る。

3. 濃硝酸および濃塩酸を一定量加えた後、ホットプレート上で7~8時間加熱してサンプル中の金属を溶解する。
 4. 放冷後、5Bろ紙を使ってろ過する。
 5. ろ液をメスフラスコに移した後、ピーカーをイオン交換水で数回洗浄する。洗浄液もメスフラスコに移す。
 6. イオン交換水を用いてメスフラスコの標線にあわせる。
 7. メスフラスコより一定量分取した後、別のメスフラスコに移す。イオン交換水にて標線に合わせてサンプルを希釈する(100倍、500倍など)。
 8. 希釈した溶液をICP-MSで測定する。
- (2) 水サンプル
1. 水サンプルを5Bろ紙紙を用いてピーカーにろ過する。
 2. 以下は上記の5.以降と同じ操作を行う。
- (3) 測定装置等
- Agilent社製 ICP-MS 7500 (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer: 誘導結合プラズマ質量分析装置)。ガスはアルゴンガスを使用した。定量は既知濃度の溶液より検量線を作成して行った。

参考文献

- Bradsher, K. (2011a) Mitsubishi Quietly Cleans Up Its Former Refinery. *New York Times*, March 8. <<http://www.nytimes.com/2011/03/09/business/energyenvironment/09rareside.html>> 2013.9.5. 参照.
- Bradsher, K. (2011b) The Fear of a Toxic Rerun. *New York Times*, June 29. <<http://www.nytimes.com/2011/06/30/business/global/30rare.html?pagewanted=all>> 2013.5.25. 参照.
- (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (2013) HSE方針. <http://www.jogmec.go.jp/introduction/act_005.html>, 2013.9.17 取得.
- 市川定夫 (2005) ロザリー・バーテル博士と私. ロザリー・バーテル著, 中川慶子・振津かつみ・稲岡美奈子訳『戦争はいかに地球を破壊するか』, 緑風出版, pp. 21~30.
- IAEA (International Atomic Energy Agency) (2011) Report of the International Review Mission on the Radiation Safety Aspects of a Proposed Rare Earths Processing Facility (the Lynas Project) 29 May-3 June 2011, Malaysia. NE/NEFW/2011. <<http://www.iaea.org/newscenter/news/pdf/lynas-report2011.pdf>> 2012.11.15. 参照.
- IAEA (International Atomic Energy Agency) (2014) IAEA Concludes Follow-up Review of Malaysia Rare Earth Plant (press release) October 17. <<http://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-concludes-follow-review-malaysia-rare-earth-plant>> 2014.11.29. 参照.
- 小出裕章 (2013) 電子メールによる回答, 5月14日 9:05 着信.
- 小島延夫 (1990) 公害輸出—その実態と法的問題点. 法学セミナー, 422号, pp. 48~51.
- 小島延夫 (1992) 日系企業 ARE による公害の悲劇: マレーシア. 土生長徳・小島延夫編『アジアの人びとを知る本① 環境破壊とたたかう人びと』, 大月書店, pp. 45~65.
- 小島延夫他 (1993) アジア地域の環境保全と日本の課題. 第13回日本環境会議パネルディスカッション, 環境と公害, 23(2), pp. 24~38.
- 栗原 彬編 (2000) 証言 水俣病 (岩波新書). 岩波書店, 東京, 216pp.

- Mudd, Gavin (2013) Personal communication on June 4.
- Ng, Eileen (2014) Lynas Gets Full Operating Licence before TOL Expiry Date. *The Malaysian Insider*. September 8. <<http://www.themalaysianinsider.com/malaysia/article/lynas-gets-full-operating-licence-before-tol-expiry-date>> 2014.12.1. 参照
- 日本弁護士連合会 公害対策・環境保全委員会編 (1991) 日本の公害輸出と環境破壊—東南アジアにおける企業進出とODA. 日本評論社, 東京, 225pp.
- Oeko-Institut (2013) Description and Critical Environmental Evaluation of the REE Refining Plant LAMP near Kuantan/Malaysia. <<http://www.oeko.de/oekodoc/1628/2013-001-en.pdf>>, 2013. 2. 22 参照.
- Rudnick, R. L. and Gao, S. (2003) Composition of the Continental Crust. H. D. Holland & K. in K. Turekian (eds.), "Treatise on Geochemistry", Vol. 3 of 9, Chap. 3.01, 64 p., Elsevier Pergamon.
- 和田喜彦 (2014) レアアース製錬に伴うトリウム等の放射性廃棄物管理に関する一考察—エイジアンレアアース (ARE) 社事件, ライナス社問題を事例として. *経済学論叢* (同志社大学), **65**(3), pp. 241~263.