

(4) インド、ジャドゥゴダ・ウラン鉱山周辺環境の放射能汚染

(京大原子炉¹、原子力安全研究グループ²、KRITIKA³、the Jharkhandi Organisation Against Radiation⁴)

小出 裕章¹、今中 哲二¹、川野 眞治¹、海老沢 徹²、小林 圭二²、Shriprakash³、Ghanshyam Birulee⁴

1. インドのウラン鉱山

インドは2000年5月に人口が10億を超えた大国である。また、1974年には「ブッダの微笑」と名づけた核実験を成功させるとともに、豊富なトリウム資源を生かすために古くから原子力発電の開発に取り組んできた。日本初の原子炉(JRR-1、50kWt)が臨界になったのは1957年8月であるが、インド初の原子炉(Apsara、1MWt)はすでにその前年1956年8月に臨界になっている。また、2003年現在14基272万kWの原子力発電所を稼働させている。14基のうち2基は米国から導入した沸騰水型炉(BWR)、2基はカナダから導入したCANDU炉、そして残りの10基は独自開発の沸騰重水冷却型炉(PHWR)である。さらにロシア型の加圧水型軽水炉(VVER)2基を含め建設中、計画中で9基の原子力発電所がある¹⁾。そうした核=原子力開発を支えるためのウランは、インド東部、ジャールカンド州にある3つのウラン鉱山で採掘されてきた。インドにおける核関連施設とジャドゥゴダ・ウラン鉱山の位置をFigure 1に示す。

Photo 1には、3つのウラン鉱山の位置が写った人工衛星写真を示す。1967年に操業を始めた第1ウラン鉱山がNarwapahar、第2ウラン鉱山がBhatin、そして第3ウラン鉱山がJadugodaである。採掘された鉱石はすべてJadugodaにあるインド国営ウラン会社(UCIL)の製錬工場に運ばれて製錬され、製品ウランはドラム缶に詰められた上、ラカ鉱山駅から鉄道で輸送される。インドはトリウム資源の豊富な国であるが、ウラン資源は貧弱である。ジャドゥゴダを含めたウラン鉱山で採掘されるウラン鉱石も著しく品位が低く、0.06%程度でしかない。ジャドゥゴダの製錬工場の能力は1日当たり鉱石1000トン、得られるウランの量は600kg、年間にして200トンでしかない²⁾。一方、製品のウランを取り除いた後に生じる鉱滓は1年間に30万トンを超え、現在までに3つ作



Figure 1 Nuclear related facilities in India and Jadugoda uranium mine.



Photo. 1 Satellite photograph of three uranium mine and tailing ponds.

られた鉱滓池に、液体状のままパイプラインを通して投棄されてきた。その上、ウランの含有量は少ないとはいえ鉱滓より1桁多い残土も生じ、それは周辺環境に野ざらしで山積にされている。

私たちがこの問題の調査を始めたのは、2000年の地球環境映像祭で大賞を受賞したビデオ映画「ブダの嘆き」³⁾を知ってからである。ジャドゥゴダのUCILの工場や鉱滓池から5kmの範囲には合計15の集落があり、約3万人の人々が生活している²⁾が、周辺集落の子どもたちを中心に多くの障害が発生していると「ブダの嘆き」は告発していた。

2. 調査方法と測定結果

天然ウランの主成分は質量数238で、その半減期は地球の年齢とほぼ同じ45億年である。そして最終的に鉛206で安定核種になるまで、「ウラン系列」と呼ばれる合計14種類の放射性核種に姿を変える。Figure 2の崩壊様式に示すように、崩壊の途上にはラジウムやラドンなど特異な危険性を持った核種もある。

ウランは天然の放射性核種であり、人間が生み出したものではない。しかし、地底に眠っていたウランを採掘という人為的な行為によって地表に出せば、崩壊によって現れる多様な放射性物質から被曝が生じる。近年、国連科学委員会(UNSCEAR)も国際放射線防護委員会(ICRP)もこうした天然放射性核種の人為的な取り扱いから生じる被曝を取り上げるようになり、TENR

(Technologically Enhanced Natural Radiation、人為的に高められた自然放射線)として関心を集めている。

ウラン鉱山周辺環境での被曝経路には、以下の3種類がある。鉱滓池や野ざらしにされている残土に近づくことによる線被曝、汚染された水などを通してウランとその娘核種を体内に取り込むことによる内部被曝、空気中のラドンを吸入することによる内部被曝。こうした被曝を考えるために私たちは以下の3つの調査を行った。

A. 空間線量率測定:

TLD(松下電器産業(株)、UD-200SおよびUD-110S)を現地に配置、約3ヵ月後に回収して、原子炉実験所の放射線熱蛍光線量計(松下電器産業(株)、UD-5120PGL)を使って積算の被曝量を測定した。携行あるいは輸送中の被曝量については、Jamshedpurまで携行してホテルに放置した試料、原子炉実験所に放置した対照試料および通常予想される航空機中の線量率データ(3μSv/h)

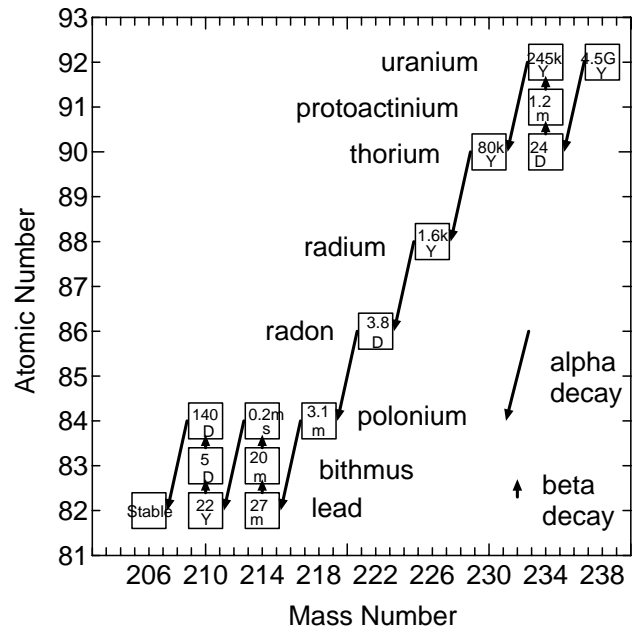


Figure 2 Decay scheme of uranium series.

Table 1 Comparison of air gamma dose rate between Jadugoda area and control points.

Place	μSv/hr
Jadugoda	
Village (Tilaitand, Mecuwa, Bhatin etc.)	~ 0.1
(Dungridih)	0.3 ~ 0.4
Tailing Ponds	~ 1
Road etc.	~ 0.7
Ranchi (Provincial Capital)	~ 0.2
Kumatori, JAPAN	0.046

Ranchi is the provincial capital of Jharkhand located away about 150km from Jadugoda.

などを考慮して減算した。さらに、現地でサーベイメータ（堀場製作所PA-100、ORIENT製PSD06021、ベラルーシ製PDM-2）による直接測定も行った。TLDによる測定と現地でのサーベイメータによる測定はおおむね良好な一致を示したが、それらの結果を整理してTable 1に示す。このうち「Road etc.」と表示したものは、ウラン採掘残土が道路や川の堤防、あるいは住居の庭の整地などに使われている場所であり、ホットスポット的に高い線量率を示す。

B. 表層土中の放射性核種の含有量測定

現地住民あるいは報告者が現地で採取した試料を日本に郵送し、原子炉実験所のGe半導体検出器（ORTEC社製リバースエレクトロード型高純度Ge半導体検出器、相対効率34%、半値幅1.8keV）による線スペクトロメトリで定量した。試料は合計42個測定したが、土試料中のウラン濃度の概要をTable 2に示す。

C. 空気中ラドン濃度の測定

京都大学原子炉実験所でラドンに対する吸着性能を校正⁴⁾した活性炭（ツルミコール社製TC-2GS）を現地に配置、約1日暴露した。ラドンの半減期は3.8日であり、試料を郵送などしては、その間に減衰してしまう。そのため、報告者自身が現地に行き、ラドンを捕集した活性炭を直ちに日本に持ち帰る必要があった。日本に持ち帰った活性炭試料は上に記したGe半導体検出器でラドン娘核種（Bi-214, Pb-214）を測定することで定量した。第1回目の訪問時には予備的に3箇所ラドン濃度を測定した。その結果、予想通り鉱滓池での濃度が高かったし、特に坑道の排気口で高かった。その坑道の排気口では地底からの冷たい空気が吹き出てくるため、夏になれば住民たちがその場に集まってきて、涼を取っていた⁵⁾。第2回目の訪問では14箇所について評価した。それらの結果をまとめてTable 3に示す。この結果は以下のことを示す。

ジャドゥゴダ周辺はジャールカンド州の地域的な地殻特性から、ごく一般的な環境に比べれば空気中のラドン濃度が高い。

鉱滓池が汚染源でラドンは広く拡散している。

ただし、鉱滓池に入ったり、あるいは坑道の排気口に近づいたりしなければラドン濃度の高さはそれほど深刻なものでない。

Table 2 Comparison of uranium concentration in soils between Jadugoda area and control points.

Place	Bq/kg
Jadugoda	
Village (Tilaitand, Mecuwa, Bhatin etc.)	20 ~ 50
(Dungridih)	100 ~ 600
Tailing Ponds	500 ~ 7000
Road etc.	300 ~ 1300
Rakha Mine Station	64000
Ranchi (Provincial Capital)	210
Kumatori, JAPAN	29

Table 3 Radon Concentration in Air.

Place	Radon Concentration [Bq/m ³]
First Measurements : Measurements in December, 2001	
Tailing Pond No.1, Inner	260
Village, Tilaitand	45
Bhatin Gallery	2400
Second Measurements: Measurements in April, 2003	
Tailing Ponds	
No.1 entrance	65
No.1 Inner	59
No.2 entrance	20
No.2 Inner	80
No.2 path	15
Villages	
Dungridih 1	26
Dungridih 2	24
Chatikocha, Dam Side	8
Tilaitand	23
Bhatin, entrance	23
Bhatin, inner	16
Micuwa, entrance	13
Micuwa, Inner	12
Rakha Mine Station	9
Normal Environment	
	3 ~ 20

3. 測定結果が示す問題

A. 鉱滓池の汚染

ジャドゥゴダ周辺のウラン鉱山のウラン品位が低いため、鉱滓池の線量率やウラン濃度は驚くほどの高さでない。それでも、鉱滓池での空間線量率、土壌中のウラン濃度が高いことは、鉱滓が投棄されている限り当然のことである。また、空気中ラドン濃度も高い。Table 1 に示したように、そこでの線量率は $1 \mu\text{Sv/h}$ に達し、放射線の管理区域として管理すべき場所である。しかし、報告者が放射能測定用試料を採取するために鉱滓池内部に入った時も、2人の女性が頭に薪を乗せて鉱滓池を横切って行った。住民たちは長い間自然に寄り添うようにして生きてきたが、鉱滓池はその住民たちの生活の場所を奪って作られたものである。彼らは今でも生きるために鉱滓池に立ち入らざるを得ない。それでもやはり、鉱滓池は危険な場所であり、住民をその場に入れない措置をとらねばならない。現在、曲がりなりにも張ってある鉄条網はいたるところで切断されている。これを張り直すだけでなく、住民に鉱滓池の危険性を明示するとともに、そこに立ち入らなくても生活が成立する条件を作る必要がある。

B. 住民のラドン被曝を防ぐ

坑道の排気口は先に述べたように夏になれば住民が集まって涼をとっていた。しかし、報告者が2001年暮に訪れた時には、その場はすでにコンクリートの建造物で囲われていた。もちろん、排気を逃がすために上方は開口していたが、排気口の周囲はコンクリートの建屋が立てられ、入口は施錠された鉄の扉がついていた。報告者はラドン捕集用の活性炭を鉄の柵に設置するために、穴の開いた上方の開口部から内部に飛び降りたが、その場は冷たく湿った空気が猛烈な勢いで噴出していた。遅きに失したとはいえ、コンクリート建屋の設置は当然なすべき措置であった。ただ、鉱滓池からはラドンが現在でも周辺に拡散しており、そのラドンについても監視されなければならない。

C. 集落の汚染

ジャドゥゴダ周辺の集落地図を Figure 3 に示す。集落のうち Dungridih と Chatikocha の両集落は、鉱滓池を作るために集落を追われた住民たちが鉱滓ダム直下に住みつけた集落である。そこは洪水になれば鉱滓池からの水が流れ込み、乾季になれば鉱滓池から細かい粒子の鉱滓が風で運ばれてくる場所である。両集落での土壌中のウラン濃度は高い (Table 2 参照) し、それにつれて空間線量率も高い (Table 1 参照)。しかし今のところ、その他の集落での空間線量率や土壌中ウラン濃度は地域の地殻特性の範囲を出ておらず、鉱滓池起源の汚染は生じていない。今後も、鉱滓を野ざらしで鉱滓池に投棄するのであれば、両集落の住民をジャドゥゴダ周辺の別の場所に移住させることが望まれる。

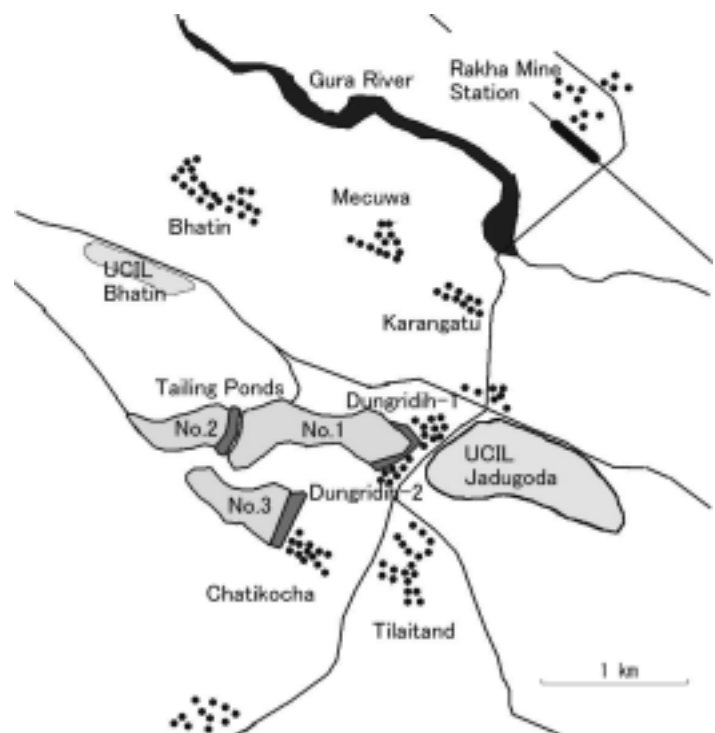


Figure 3 Village map around Jadugoda.

D. 鉱滓や残土の利用による汚染

現時点で言う限り、Dungridih と Chatikocha 両集落を除けば、その他の集落は基本的に汚染されていない。しかし、Table 1, Table 2 に示したように集落内の道路などには、土壤中のウラン濃度が高く、その場での空間線量率がホットスポット的に高い場所がある。これは、鉱滓や残土が道路などの建設資材に使われているためであり、このような汚染の拡散は鉱滓池から離れた集落でも見られる。住民の証言によれば、建設用の資材が欲しいと UCIL に伝え、ダンパーに何杯もの残土を運んできたとのことである。おそらく UCIL としては厄介物の量を少しでも減らしたいということであろうが、そんなことで減らせる量は知っている。住民の中心的な生活の場である集落内部に残土を持ち込むことや、道路や住宅の建設資材に残土を使うことは直ちに止めるべきである。

E. ずさんな取り扱い

鉱滓や残土による汚染を防ぐことはすでに述べたように重要である。一方、製品として得たウラン自身もずさんに取り扱われてきた。Table 2 にはラカ鉱山駅で採取した試料中のウラン濃度が異常に高いことを示した。その試料は現地住民が採取したものであったが、報告者自身がラカ鉱山駅で採取した試料とともに、ウラン系列の核種ごとの濃度を Table 4 に示す。この表に示したとおり、この試料中のラジウムおよびそれ以降の娘核種濃度は親核種である U-238 に比べて桁違いに低く、放射平衡が成り立っていない。このことは、この試料が製錬で得たウランそのもので汚染されていることを示している。採掘し、製錬して得た製品ウランはイエローケーキ (U_3O_8) としてラカ鉱山駅から運び出されるが、輸送用のドラム缶の中には腐食で穴が開いているものがあり、ラカ鉱山駅にはイエローケーキが散乱している。ウラン鉱山および製錬所はもちろんウランを得るためである。UCIL からすれば、苦労して得たウランが無駄になり、住民から見れば、これにより不要な被曝を強いられる。

Table 4 Concentration of U-Series Nuclides in the Samples of Rakha Mine Station.

Nuclides	Bq/kg	Bq/kg
U-238	64000	1200
Ra-226	940	25
daughters	30	44

4. 問題の所在

核分裂のエネルギー密度は高い。そのため、発電所に搬入する燃料は石油や石炭に比べて圧倒的に少量でよいといわれ、原子力の利点であると主張されてきた。しかし、Figure 4 に示すように、ウラン鉱山で生じる鉱滓や残土の量は龐大である。そして、鉱滓中には製錬で分離し損ねたウランと、8 万年の半減期を持つトリウム 230 およびそれ以降の娘核種のすべてが含まれている。また、残土は比較的濃度が低いために鉱石としては利用されなかったものだが、ウランとその娘核種の全量が含まれている。根本的に必要なことは鉱滓や残土を野ざらしにしないことであるが、世界中どこでも、これらの廃物は野ざらしにされてきた。その上、適切な管理をしないのであれば、住民が被曝することは避けられない。

原子力 (= 核) 利用による被曝はあちこちで生じる。Figure 5 に国連科学委員会による評価⁶⁾を示すが、過去に人類が受けた被曝のうち、およそ 4 分の 1 は原子力利用の最上流であるウラン鉱山での汚染から生じている。その上、この汚染は半減期 45 億年のウランから生じているため、長期間の被曝を考える場合には、人類にとって最大の被曝源になる。

日本ではかつて人形峠においてウランの試掘が行われた。しかし約 10 年の歳月を通して得られたウランは総量でも 84 トンで、採算に合わない鉱山は閉山された。その後には 8 万トンの鉱滓と 45 万 m^3 の残土が残された。結局、現在の日本の原子力を支えるウランはすべて海外から輸入されている。現在、

日本の原子力発電の設備容量は約 4600 万 kW で、インドのその約 20 倍である。したがって、日本の原子力開発は、ここで例示した被曝の 20 倍の被曝を海外に押し付けていることになる。

最後に付け加えておけば、ジャドゥゴダも含め、鉱山労働者の被曝こそ最大の問題であろう。今後、十分な調査がなされ、結果が公表され、そして必要な救済処置が取られることを望みたい。

参考文献

- 1) <http://www.jaif.or.jp/ja/news/2003/0410-doko.htm> など。
- 2) Scott Ludlam, Nuclear India, A Report on the No Nukes Asia Forum 1999 (March, 2000)
- 3) KRITIKA, "Buddha weeps in Jadugoda"(2000)、日本語版「ブッダの嘆き」
- 4) 小出裕章、活性炭受動型ラドンモニタの特性と応用、京都大学原子炉実験所第 26 回学術講演会報文集 (1992)P.9-16.
- 5) Sk.Azizur Rahman, Living in Death's Shadow, SUNDAY 4-10 April 1999, p32-43 (1999)
- 6) UNSCEAR 1993 Report, "Sources and Effects of Ionizing Radiation"(1993) ANNEX B Table 58

H.KOIDE, T.IMANAKA, S.KAWANO, T.EBISAWA, K.KOBAYASHI, SHRIPRAKASH, GHANSYHAN BIRULEE

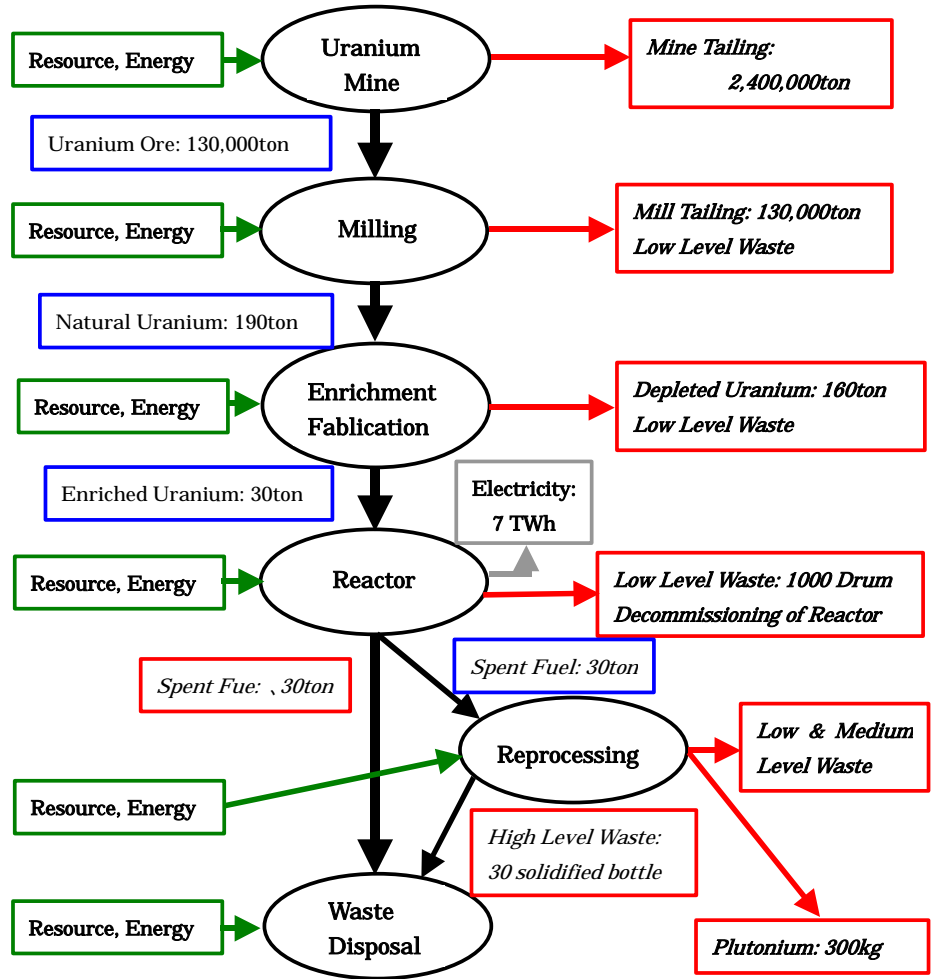


Figure 4 Process flow and radioactive disposals produced from 1000Mwe·y nuclear power generation.

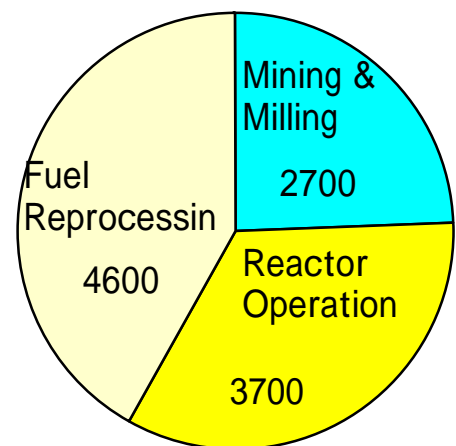


Figure 5 The committed dose equivalent from the use of nuclear power generation up to the present estimated by UNSCEAR⁶⁾. Unit of the figures is person·Sv.