T PNC **Z**J7552 97-001

限定資料

図書室

本資料は 年 月 日付けで登録区分 変更する。 東濃地科学センター 【研究調整グループ》

世界のウラン鉱山便覧 一アジア諸国―

(動力炉·核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

1997年2月

社団法人 資源・素材学会

本文の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ下さい。

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division

Japan Nuclear Cycle Development Institute 4·49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319·1184 Japan

©核燃料サイクル開発機構

(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。 〒509-51 岐阜県土岐市泉町定林寺字園戸959-31 動力炉・核燃料開発事業団 ・東濃地科学センター 技術開発課



世界のウラン鉱山便覧 ——アジア諸国——

社団法人 資源・素材学会1)

要 旨

1991年に西側諸国のウラン鉱山を網羅した便覧をこれまで取りまとめた。その後、東西冷戦の集結に伴い、旧共産圏のウラン鉱山についての情報が入手できるようになり、1996年度は、世界のウラン鉱山便覧-旧東側諸国-を取りまとめる事ができた。今年度は更にアジア諸国のウラン鉱山について、これまでに集めた情報をまとめて、便覧を作成することが出来た。

出来るだけ多くのウラン鉱山を取り挙げて、鉱山評価に必要な情報を盛り込むように努力した。用語の統一等に当初予定したよりも多くの労力を要したが、各編集委員の献身的な努力によって本便覧を完成することが出来た。西側諸国、共産圏に属した旧東側諸国および今回のアジア諸国の便覧により、ほぼ全世界を網羅できたことになる。

不備な点も有ると思うが、本便覧がウラン資源に携わる人々の座右の書となれば幸いである。

編集委員会名簿

委員長	武内 寿久祢	東京大学名誉教授(大手開発顧問)
委 員	岡 田 茂	(物PESOC)
"	小 林 直 樹	イズミ建設コンサルタント(㈱
"	肝 付 兼 弘	海外ウラン資源開発㈱
"	大 屋 尚 彦	カクタスリサーチ(株)
"	南 光 宣 和	三井金属鉱業㈱

契約番号;08C0567

事業団担当部課室および担当者; 東濃地科学センター技術開発課 高橋 修

¹⁾ 本報告書は、社団法人 資源・素材学会が動力炉・核燃料開発事業団 東濃地科学センターとの契約により実施した業務の成果である。

参考文献

- 1. 三 井 物 産 株 式 会 社; アジアのウラン鉱山・鉱床情報の収集 (1996年2月) PNC ZJ7183 96-001
- 2. 動力炉・核燃料開発事業団;中国のウラン鉱業 (1993) (1993年12月) PNC PN7420 93-013
- 3. 動力炉・核燃料開発事業団;インドの原子力(その2) ウランの採鉱・製錬 (1995年12月) PNC PN7510 95-006
- 4. 動力炉・核燃料開発事業団;平成7年度原子力交流制度に基づくインドネシア出張報告書(探鉱関係)(平成7年9月)PNC PN7600 95-004
- 5. 動力炉・核燃料開発事業団;海外出張報告書-ベトナム社会主義共和国-(1995年6月) PNC PN1600 95-004

目 次

1. 中国 中華人民共和国		1
1.1. ウラン鉱業事情		4
1.2. 劉 子坪鉱床		16
1.3. 騰沖		19
1.4. 衡陽製錬所		24
1.5. 郴県鉱山		35
1.6. 撫州生産センター/製錬所		40
1.7. 相山鉱山		44
1.8. 崇義生産センター/製錬所	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	52
1.9. 下庄鉱山	•••••••••••••••••••••••••••••••••••••••	56
1.10. 青龍		73
1.11. 連山関鉱山	······································	83
1.12. 藍田	······	88
1.13. 伊寧-烏魯木斉生産センター	······································	95
2. インド		02
2.1. ウラン鉱業事情		04
2.2. Jaduguda鉱山 ······	······ 1	10
2.3. Bhatin鉱山		17
2.4. Narwapahar鉱山 ······		19
2.5. Turamadih 鉱床	······ 12	21
2.6. Domiasat鉱床		23
3. パキスタン・イスラム共和国		40
3.1. ウラン鉱業事情		42
3.2. Dera Ghazi Khan 鉱山		45
3.3. Issa Khel 鉱山		48

4. タイ王国	156
4.1. ウラン鉱業事情	158
5. ベトナム社会主義共和国	163
5.1. ウラン鉱業事情	165
5. 2. Nong-Son	167
5.3. Binh Duong ·····	170
5. 4. Da Lat	173
6. マレーシア	179
6.1. ウラン鉱業事情	181
7. インドネシア共和国	185
7.1. ウラン鉱業事情	187
7.2. Kalan 地域	188
7.3. Upper Mahakam	193
7.4. Sibolga 地域 ······	194
8. フィリピン共和国	207
8.1. ウラン鉱業事情	209

1. 中国(中華人民共和国)

- 1.1 ウラン鉱業事情
- 1.2 剷子坪鉱床
- 1.3 謄沖
- 1.4 衡陽製錬所
- 1.5 郴県鉱山
- 1.6 撫州生産センター/製錬所
- 1.7 相山鉱山
- 1.8 崇義生産センター/製錬所
- 1.9 下庄鉱山
- 1.10 青龍
- 1.11 連山関鉱山
- 1.12 藍田
- 1.13 伊寧-鳥魯木斉生産センター
- 図1-1-1 中国の地形
- 図1-1-2 中国の主要なウラン鉱床区及び鉱床
- 図1-1-3 塞馬アルカリ岩底盤の地質図
- 図1-2-1

 劉子坪鉱床模式地質図
- 図1-3-1 騰沖(雲南省)の位置図
- 図1-4-1 衡陽(Hengyang)製錬所位置図
- 図1-4-2 衡陽製錬所フローシート(1)
- 図1-4-2 衡陽製錬所フローシート(2) 続き
- 図1-5-1 郴県(湖南省)鉱山位置図
- 図1-5-2 郴県鉱床模式断面図
- 図1-6-1 撫州(江西省)製錬所位置図
- 図1-7-1 相山(江西省)鉱山位置図
- 図1-7-2 相山カルデラ地質図
- 図1-7-3 邹家山鉱床模式地質図
- 図1-7-4 邹家山鉱床模式断面図
- 図1-7-5 横澗鉱床模式地質および断面図
- 図1-8-1 崇義(江西省)製錬所位置図

- 図1-9-1 下庄鉱山位置図
- 図1-9-2 下圧地区ウラン鉱床位置図
- 図1-9-3 下庄(Xiazhuang) ウラン地域地質図
- 図1-9-4 下庄(Xiazhuang) ウラン地域地質図
- 表1-9-1 貴東花崗岩体燕山期火成岩の岩相一覧
- 表1-9-2 下庄鉱化帯各期の熱水成鉱物のウラン含有量,形成温度,年代
- 表1-9-3 下庄鉱化帯のウラン鉱化作用と鉱物共生関係
- 図1-10-1 青龍(河北省)の位置図
- 図1-10-2 青龍鉱床地区地質構造略図
- 図1-10-3 青龍鉱床地区地質図
- 図1-10-4 嶺頭鉱床南北断面図
- 図1-10-5 嶺頭鉱床東西断面図
- 図1-10-6 干溝鉱床断面図
- 図1-10-7 干溝鉱床断面図
- 表1-10-1 青龍鉱田地質層序表
- 表1-11-1 連山関地区地質層序表
- 図1-11-1 連山関地区地質図
- 図1-11-2 連山関鉱床地質図
- 図1-11-3 連山関ウラン鉱床260 レベル地質図
- 図1-12-1 藍田(陝西省)粗製錬所の位置図
- 図1-13-1 伊寧-鳥魯木斉(新彊維吾爾自治区) 生産センター位置図
- 図1-13-2 ジュンガルー天山ウラン鉱床区の地質構造帯

1. 中華人民共和国

1.1. ウラン鉱業事情

1.1.1. 中国の地形概要(図 1-1-1)

東部は平野と丘陵からなる低地帯、西部は高原、山岳、内陸盆地からなる高地帯である。東部低地帯は東西に走る陰山(Yinshan) -燕山(Yanshan) 山脈と、黄河(Huang He)の南を走る秦嶺(Qinling) 山脈により、東北、華北、華南の3地域に分けられる。

西部高地帯は、南縁をヒマラヤ山脈、北縁を崑崙(Kunlun)・阿尓金(Aljin)・祁連 (Qilian)山脈とするチベットー青海(Tibet-Qinghai)高原および塔里木(Tarim)盆地・天山(Tianshan)山脈・准噶尓(Junggar)盆地・阿尓泰(Altay)山脈・内モンゴル(Nei Mongol)高原などからなる中国西北部の2区に分けられる。

1.1.2. ウラン鉱床区

准噶尔一天山、陰山一遼河、祁連-秦嶺、華東-華南、雲南西部の5主要ウラン鉱区がある。いずれも大陸台地とカンブリア紀以降の造山帯が接する地域にある(図1-1-2)。一般に、鉱床区ではカリに富む花崗岩、大陸型酸性火山岩類、アルカリ岩の火成活動が著しく、堆積(環境)は大陸棚の縁辺部、地溝、モラッセ帯が特徴的である。中国で発見されたウラン鉱床の大半は造山運動後期の引張環境下で形成されている。鉱床生成時期は14億年以降のものが多い。

(1) 准噶尔 (Junggar)-天山(Tianshan)鉱床区

准噶尔へルシニア褶曲帯、天山ヘルシニア褶曲帯および先カンブリア代地域と塔里 木盆地北縁の中生代-新生代沈降帯が含まれる。

- i)火山岩型: 鉱床は石炭紀の花崗斑岩とマイクロ花崗岩の接触帯, 二畳紀の石英 斑岩, 安山岩中に胚胎する。
- ii) 砂岩型: 石炭紀-二畳紀の中性~酸性火山岩やヘルシニア期の花崗岩を基盤とするジュラ紀盆地に分布する砂質岩中の含ウラン石炭層。含ウラン石炭層・灰色有機質砂岩層の上盤は赤色透水性アルコース砂岩,下盤は不透水性の泥質岩と基底礫岩からなる。塔里木盆地北縁の喀什(Kashi) 沈降帯には白亜紀の瀝青質砂岩中に鉱床が胚胎する。
- (2) 陰山(Yinshan) 遼河(Liaohe)鉱床区

内蒙古隆起帯、遼東地塊、内蒙古-大興安嶺褶曲帯(ヘルシニア期)が含まれる。

i) 遼東(Liaodong)地塊: 鉱化作用は連山関始生代ドームと原生代前期の蓋層の再活動作用に関係している。ドームの中心は緑泥石片岩,片麻状黒雲母花崗岩(2,420 Ma) およびカリ交代作用を受けた赤色混合花崗岩(1,940Ma) よりなる。ドーム縁辺

部は炭酸塩交代作用による白色混合花崗岩(ナトリウム交代変成岩), ドーム外縁 部は交代珪岩あるいは石英片岩よりなる。経済的鉱床の大半はナトリウム交代変成岩, ナトリウム交代珪岩, 石英片岩中に胚胎し, 鉱化年代は1,900 ~ 1,700Maである。トリウム, 希土類元素を含む塞馬(Saima) 鉱床は原生代後期のドロマイト質大理石に貫入した霞石閃長岩の縁辺部に胚胎する。

ii) 北河北(Hebei) 地域: 大興安嶺(Da Hinggan ling) - 燕山(Yanshan) 火山岩類が分布する。3鉱床型がある。

砂岩型: ヘルシニア期花崗岩を基盤とする白亜紀砂岩盆地に胚胎する。

火山岩型: 台地の縁辺部では、始生代後期のカリ混合岩を基盤とするジュラ紀後期の火山盆地に限って分布する。鉱床は流紋岩、粗面岩、凝灰岩中に胚胎し、多量のモリブデンを含んでいる。

- 砂岩型(亜種): ウラン含有量の高い花崗岩を基盤とするジュラ紀火山砕屑岩盆 地に限って分布している。鉱体は河川成チャンネルの有機物を含む砂岩または礫 岩層中に、一部は基底礫岩中にみられる。炭酸塩化作用、緑泥石化作用、粘土化 作用と関連してウランの再濃集に大きな役割を果した安山岩および安山岩質集塊 岩に覆われている。
- iii) 狼山(Langshan)地域:白亜紀の砂岩盆地に分布し、鉱床は有機質砂岩に関係している。鉱床の一部は盆地を規制する断層沿いに、あるいは珪化作用、赤鉄鉱化作用、粘土化作用と密接に関係する。
- (3) 祁連(Qilian) 秦嶺(Qinling) 鉱床区

阿拉善(Alashan) 地塊の竜首山 (Longshoushan) 褶曲帯、中国-朝鮮台地の泰華 (Taihua)変動帯、北部祁連カレドニア期褶曲帯、中部秦嶺中央山塊を含む北部秦嶺カレドニア期褶曲帯、南部秦嶺ヘルシニアーインドシナ期褶曲帯および揚子(Yangtze)台地の武当(Wudang) - 淮陽(Iluaiyang)中央山塊が含まれ、その延長は 1,500kmに達する。

古生代前期の末期頃、カレドニア造山運動は北祁連海を閉鎖、褶曲を生じた後、基 盤の再動によって竜首山東部で多くの花崗岩体を形成した。

古生代後期の沈降と褶曲の中心は秦嶺南部へ移動したが、ヘルシニア造山運動は竜首山東部および北祁連において、多くのナトリウム交代型、珪化脈型のウラン鉱床を形成した。ナトリウム交代型鉱床は竜首山東部ではシルルーデボン紀の砂岩・礫岩中に、カレドニア期花崗岩のみに関係して胚胎しているが、北祁連ではオルドビス紀前期の安山岩質凝灰角礫岩にも胚胎し、生成時期は 260~300Ma, 鉱化作用は赤色の曹長石化および赤鉄鉱化帯に限定されている。

南秦嶺の西部では、珪質石灰岩レンズを伴うシルル紀中期の砂岩・粘板岩層中に、

45~130Ma の鉱化年代の鉱床が胚胎している。

武当--淮陽中央山塊の東端部には、燕山期石英閃長岩を基盤とするジュラ紀アルコース砂岩中の断層に関連したウラン鉱床が知られている。

(4) 華東(Huadong) - 華南(Huanan)鉱床区

揚子台地の江南地塊と華南変動帯が含まれ、6鉱化帯に分けられる。

i) 九万大山(Jiuwandashan)—雪峰(Xuefeng)—九嶺(Jiuling) 鉱化帯

原生代前期~震旦紀のドロマイト質泥岩, 珪質泥岩, 黒色頁岩からなる揚子炭酸塩岩台地と湖南半深海盆地との漸移帯にあたる江南地塊の中・東部にある。堆積岩には50~300pmUのウランが含まれ、炭珪泥岩型鉱床のウラン供給源となっている。鉱化帯の西方には原生代後期、古生代前期、中性代の花崗岩が分布し、高品位ウラン細脈が発見されている。

ii) 籟杭(Ganhang) 鉱化帯

中国の代表的な火山岩型鉱床の分布地域で、揚子台地と華南変動帯との接合部に あたる。鉱化作用はジュラ紀後期の大規模なカルデラ内にあり、鉱化年代は白亜紀 - 古第三紀と推定されている。

iii) 武夷山(Wuyishan)鉱化帯

鉱化帯は武夷山先カレドニア隆起帯とほぼ一致し、火山岩型鉱床が胚胎している。 NE-SW系断層に沿って多数の白亜紀火山が配列しており、アルカリ流紋岩-安山岩 -粗面岩に鉱床が胚胎している。

iv) 贛越(Ganvue)鉱化帯

韓越後カレドニア隆起帯の南西部にあり、中国の代表的な花崗岩型鉱床地域である。カレドニア後期、インドシナ、燕山期の花崗岩とこれらを切る中性~塩基性岩脈が分布し、白亜紀一古第三紀断層盆地が発達している。鉱化年代は89Maと67Maのデータがある。

湘桂(Xianggui)古生代後期沈降帯には種々の鉱床型が分布している。炭酸塩岩ー角礫岩型が多く、母岩はデボンー石炭系である。二畳紀後期の珪質角礫岩にも鉱化が認められる。ほかに、花崗岩体外縁部および原生代後期・古生代前期基盤岩上の古第三紀陸成堆積岩中にも鉱化が認められている。

(5) 雲南(Yunnan)西部鉱床区

雲南ーチベット変動帯に属するガンジスーニェンチェンタングラ燕山後期褶曲帯に

挟まれる保山(Baoshan) 中央山塊にあり、西から東へ高黎貢(Gaoligong) 隆起帯、保 永(Baoyong) 沈降帯、瀾滄(Lancang) 隆起帯に分けられる。ヘルシニア期花崗岩は瀾 滄(Lancang) 隆起帯にのみ分布し、中生代の花崗岩は高黎貢(Gaoligong) 隆起帯に広 く、一部は瀾滄隆起帯に分布している。中生代になって多数の小規模な山間盆地が形 成され、含石炭砕屑岩中にウラン鉱化が認められる。鉱化年代は7~2.2Ma、一部の鉱 床にはゲルマニウムが濃集している。

1.1.3. 主要鉱床型

- (1) 鉱床の時空的特徴
 - i) 埋蔵量の大部分は、中国の中央部と東部に分布している。
 - ii)鉱化年代は比較的若い。大部分の鉱化作用は中生代末期および第三紀に生じている。
 - 益)鉱床は比較的集中して胚胎し、鉱床帯を形成している。
 - iv) 鉱体は主に脈状・レンズ状で、鉱床規模は中・小型、単位鉱体の埋蔵量は1,000 ~3,000tU 程度である。
 - v)鉱石のウラン品位は0.1~0.3 Wである。
 - vi) 重要な鉱床は、花崗岩、火山岩、砂岩、炭素質・珪質泥岩の中に胚胎している。

(2) 主要な鉱床型

- i) 花崗岩型: 総埋蔵量の39%を占め、平均品位は0.1 知以上、鉱体は脈状、レンズ状が多く、鉱石成分は概して単純である。
- ii) 火山岩型: 総埋蔵量の22% を占め、平均品位は0.1~0.5 %U、鉱体の形は複雑で、脈状、レンズ状、網状、鉱巣状を呈する。Th、Mo、Ag、P などを伴うことが多い。
- iii) 砂岩型: 総埋蔵量の18% を占め、平均品位は0.1 MJ, 石炭、珪藻、Geなどを伴う。
- iv) 炭珪泥岩型: 総埋蔵量の16% を占め、品位は0.1 M以上、鉱体は層状、脈状を呈する。鉱石成分は複雑である。
- v) 不整合関連型: 中国北部台地の北縁に沿って発見されている(例:連関山)が、 詳しい資料は限られている。

1.1.4. ウラン資源の探鉱と開発

中国では1955年以来、広範囲にわたるウラン探査が行われている。多くの異なった探査技術が様々な種類の火山岩、花崗岩、炭素質・珪質泥岩および砂岩ー泥岩中の鉱床を発見するのに利用されてきた。ウランは中国南東部では衡陽(Hengyang)(湖南省 Hunan Sheng)、崇義(Chongyi)(江西省 Jiangxi Sheng) および撫州(Fuzhou)(江西省)の少な

くとも3ヶ所の生産拠点で生産されている。中国中央部では藍田(Lantian)(陝西省Shaa nxi Sheng)中国北東部および北西部では新たに発見された青龍(Qinglong)(河北省Hebe i Sheng)と伊寧(Yining)(新彊維吾尓自治区 Xinjiang Uygur Zizhiqu)の両生産拠点から生産されている。中国南西部の騰沖(Tengchong)(雲南省 Yunnan Sheng)でもウランが生産されている。

中国におけるウラン探鉱では、総計数(gross count) および γ 線分光法による空中探査、ラドン測定、 γ 線検層および水文地化学測定が行われている。目下進行中の探査は下記の2 γ 所に集中している。

- ① 広西壮族自治区北東部の炭素質・珪質泥岩中の鉱床。
- ② 中国北東部、遼寧省のアルカリ火山岩中の鉱床。

1.1.5. 広西壮族自治区(Guangxi Zhuangzu Zizhiqu)

中国南部の炭素質・珪質泥岩型のウラン鉱床は1950年代半ばに初めて発見されたが、その後多くの鉱床が同地域で発見されている。これら約14の鉱床は江南背斜(Jiangnan Anticline)の縁に沿ったり、中国南部のヘルシニア・インドシナ凹地中に存在する。地理的にはこれらは広西壮族自治区の北東部に位置し、柳州(Liuzhou)市の東と北東の方向にあたる。

鉱床の多くは花崗岩体の近くか, "赤色盆地" として知られる酸化された砂岩と礫岩を伴う白亜系・第三系からなり, 断層で囲まれた盆地の近くに胚胎する。鉱床の母岩は共通成分としてリン酸塩と黄鉄鉱を伴う古生代の頁岩質石灰岩, ドロマイトおよび珪質および炭素質堆積岩である。母岩は変成作用を受けておらず, 岩相から2群に分けられる。

第1群は先カンブリア代後期とカンブリア紀前期に江南背斜を囲む浅海に堆積したシリカ,ウラン,粘土および有機質炭素に富む陸源砕屑物と火山源堆積物からなっている。これら堆積物は海水からウランを吸着し、中国南部で最も重要な含ウラン岩石を形成した。ウラン品位は6.6~70ppmUであるが、局部的には100ppmU に達する。ウランの源は江南地背斜の原生代含ウラン岩石と、花崗岩質マグマの貫入を伴った古生代後期造山運動によってつくられた陸源砕屑物、にあると考えられている。

第2群は花崗岩質マグマの貫入を伴った古生代後期の造構運動によってつくられた陸源砕屑物からなる。隆起と風化によってウランは海に運ばれ、砕屑性堆積物に吸着された。これら堆積物のウラン含有量は3~30ppmである。

ウラン鉱床の形成は断層を境界とする地溝および褶曲した岩石中の断列帯などの地質 構造によって支配される。鉱体の形態は層状、レンズ状、ホッパー状、入れ子状および 不規則形状を呈する。ウラン濃度の分布は常に岩相境界と一致するとは限らず、堆積岩 の層理と平行であったり、これを切っていたりする。熱水成再生鉱床のあるものは花崗 岩体に隣接するか、花崗岩の上位の堆積岩中にある。さらに、ウラン鉱化作用には輝緑岩、花崗斑岩とランプロファイアーの岩脈および温泉などの特徴が加わる。

地質的産状,鉱物の集合,ウラン鉱石,母岩の変質,鉱化温度および鉱化年代の特徴に基づいて,炭素・珪質泥岩型ウラン鉱床の成因は下記の3群に細分される。

- (1)ウランが堆積作用とそれに続く続成作用によって濃集した堆積 続成鉱床。
- (2)ウランが二次的溶出とそれに続く吸着によって濃集した溶出-沈積鉱床。
- (3)より古い含ウラン岩石や低品位鉱床からのウランの深熱水による溶出と対流に続く熱水再生作用によって濃集した熱水再生鉱床。

特徴的な鉱物の産状は各タイプ鉱床の重要な特徴である。堆積 - 続成鉱床では鉱石と 母岩で鉱物の産状は同じである。鉱化は主として粘土鉱物に吸着されたウランからなっ ており、ピッチブレンドは母岩の層理に沿って分布していたり、割目や結晶粒間を充塡 する微粒として、あるいは結晶粒境や母岩の層理を切る微細脈として産する。

溶出 - 沈積鉱床においては、浅成鉱石鉱物は少量の黄鉄鉱、閃亜鉛鉱および酸化鉄鉱に伴って存在する。脈石鉱物は方解石、粘土鉱物、およびオパールである。鉱石中のウランは主として粘土と有機物によって吸着されたもので、少量のピッチブレンドとコフィン石が検出されている。

熱水再生鉱床は、同伴鉱物として輝水鉛鉱、磁硫鉄鉱、紅砒ニッケル鉱、針ニッケル鉱、灰重石、砒四面銅鉱、含ニッケル黄鉄鉱、および硫安ニッケル鉱 (ulimanite)を伴い、中~低温熱水成と考えられる。ウランは0.1~5mm幅のピッチブレンド細脈として、また、粒径1mm以下の鉱染粒子として産する。ピッチブレンドは鉱物と母岩の砕片の間を膠結していることもある。鉱石は細脈状あるいは微細脈の網状鉱染組織を示す。

1.1.6. 塞馬(Saima)

塞馬アルカリ岩底盤は中国北東部の遼寧省(Liaoning Sheng)の北部に露出する。塞馬ウラン鉱床は東西方向の燕山(Yanshan) ー陰山(Yinshan) 構造帯と北北東方向のネオカタイシア(Neocathaysian) 構造帯の第二隆起帯との会交部に貫入している。この地域には原生代の変成岩、震旦(Sinian)紀の弱変成岩、カンブリア紀の石灰岩と頁岩、ジュラ紀の火山砕屑岩および石炭が分布している。北部と南部では燕山(Yanshan) 期花崗岩が露出し、中央部には約200km²の面積を占めて4アルカリ貫入岩体と、多数のアルカリ火山岩および半深成岩が分布している。この岩体の東部では、アルカリ岩は主として閃長岩とアルカリ閃長岩からなり、中央部では粗面岩、偽白榴石フォノライトおよびエジリン輝石一霞石閃長岩からなる。ウランを含む塞馬アルカリ岩底盤は、このアルカリ岩石区の最西端にある。塞馬底盤は、原生界と下部原生界からなる東西系短軸背斜の中核部へ貫入している(図1-1-3、1-1-4)。アルカリ岩は地表では約20km²の面積を占めるがその深さは試錐の結果から、1、000mを越えるものと推定される。

塞馬ウラン鉱床の鉱化は3タイプに分けられる。

- (1) 草緑色エジリン輝石 霞石閃長岩の活動に関連し、揮発性成分が重要な役割を演じ始める残留マグマ晶出期の最末期に形成されたウラン、トリウム、希土類およびニオブの大規模な複合鉱体のモサンドライト(Mosandrite、 $Na_2Ca_4CeTiSi_4O_{15}$ (F, OH)。〕 型。
- (2) アルカリ岩スカルン中の含ウラン・パイロクロア [Pyrochlore, (Na, Ca,)₂ Nb₂Oϵ(O, OH, F)] ーベタファイト [Betafite, (U, Ca)₂(Nb, Ta, Ti)₂Oϵ(OH)] 型。
- (3) 強い熱水変質を受けたアルカリ岩中の0.05~0.15 知を含有するピッチブレンド型。 塞馬ウラン鉱床の異なるタイプの鉱化作用の成因は、アルカリ岩マグマの完全な分化 と後マグマ性熱水の長期間の進化に関連している。底盤の特殊な構造地質学的環境、構 造運動の機構および石灰質母岩が鉱床生成にとって有利な条件であった。塞馬鉱床のウ ラン鉱化作用を規制する一般法則に基づいて、同様な鉱床を発見するための探鉱指針を 展開することができる。塞馬鉱床の発見は、霞石閃長岩がウラン鉱化作用と関連してお り、鉱床探査を実施する上で価値のある注目すべき事象であることを示している。

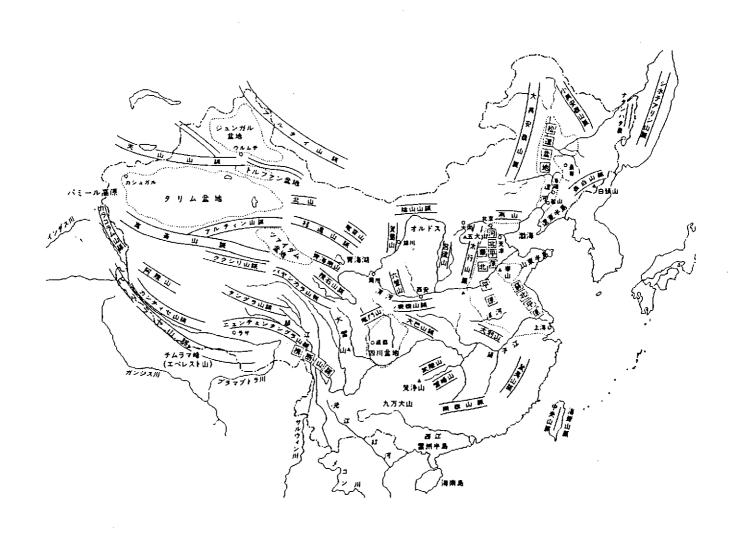


図1-1-1 中国の地形



図1-1-2 中国の主要なウラン鉱床区及び鉱床

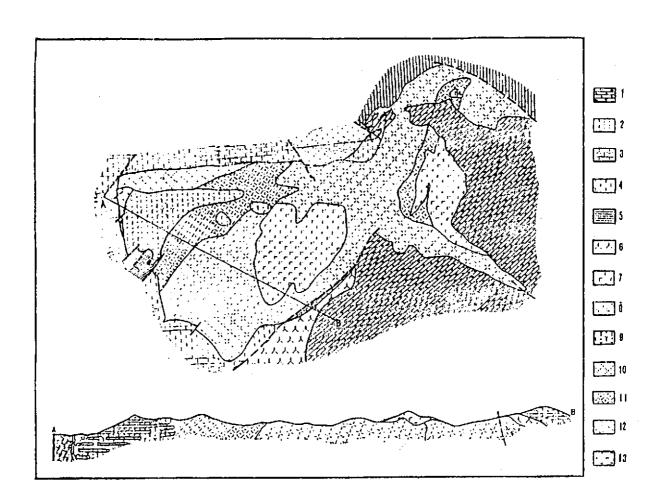


図1-1-3 塞馬アルカリ岩底盤の地質図

1. ジュラ紀礫岩、砂岩 2. カンブリア紀石灰岩 3. 震旦期珪岩 4. 先震旦期遼河(Liaohe) 層群大理石 5. 先震旦期遼河層群千枚岩 6. リューシトファイアー、偽白榴石フォノライト、凝灰質溶岩、凝灰岩 7. フォノライト、粗面フォノライト 8. 草緑色エジリン輝石一霞石閃長岩 9. 緑色エジリン輝石一霞石閃長岩 10. 黒柘榴石一雲母一霞石閃長岩 11. 黒色エジリン輝石一霞石閃長岩 12. 雲母-エジリン輝石-霞石閃長岩 13. ソーダ閃石 (arfyedsonite)岩

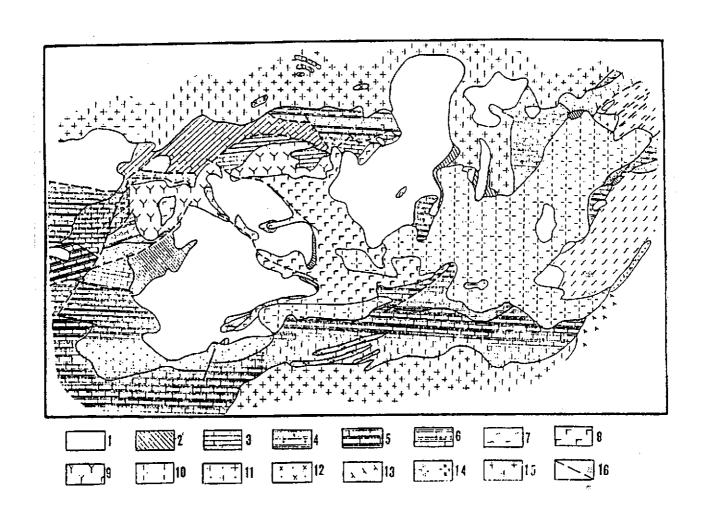


図1-1-4 塞馬アルカリ岩地域の地質図

- 1. ジュラ系 2. Beimiao 部層(下部ジュラ系) 3. カンブリア紀石灰岩 4. 震旦期珪岩 5. 先震旦期大理石 6. 大理石を挟む先震旦期千枚岩 7. ミグマタイト 8. アルカリ噴出岩 9. 霞石閃長岩を主とするアルカリ貫入岩 10. アルカリ閃長岩を主とするアルカリ貫入岩 11. 石英閃長岩 12. 準アルカリ花崗岩 13. 酸性噴出岩 14. ペグマタイト 15. 花崗
- 岩 16. 断裂構造

表1-1-1 塞馬底盤の主要岩石タイプ

r, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,	噴	出	相	リューシトファイアー, 偽白榴石ーフォノライト, フォノライト, 粗面フォノライト		
噴出岩	噴	火	相	リューシトファイアー-凝灰岩、凝灰岩、凝灰角礫 岩		
		縁辺相	同化系	黒柘榴石-雲母-霞石閃長岩		
				雲母-霞石閃長岩		
	第一噴出相			雲母-エジリン輝石-霞石閃長岩		
貫入岩		内部相		黒色エジリン輝石-霞石閃長岩		
其八石			分化系	暗緑色エジリン輝石-霞石閃長岩		
			771G#K	緑色エジリン輝石-霞石閃長岩		
	第二噴出相	残留マグマ		ユーディアライト-草緑色エジリン輝石-霞石閃 長岩		
			:	草緑色エジリン輝石-霞石閃長岩		
脈 岩	ア	プライト		関長岩-アプライト, 霞石関長岩-アプライト, 関長岩-斑岩		
	ランプロファイアー			ランプロファイアー (チングアイト)		
		スカルン		石灰質スカルン(透角閃石岩、金雲母 - 透角閃石 岩、金雲母 - 透輝石岩)		
交代変成岩	接触交代変成岩			マグネシウムスカルン(金雲母-ヒューム石-金 雲母-スピネル-苦土かんらん石スカルン)		
				アルカリスカルン(ソーダ角閃石,金雲母-ソーダ角閃石,霞石-黒柘榴石-エジリン輝石-普通輝石スカルン		
		フェナイト		金雲母-エジリン輝石-普通輝石-曹長石-微斜 長石フェナイト(千枚岩から変化),石英-金雲母 -微斜長石フェナイト(珪岩から変化)		
	熱水変質岩石			変閃長石		
				エジリン輝石変閃長石		

1.2. 剷 子 坪 (Chanziping) 鉱 床

(1) 交通・インフラ

剷子坪鉱床は、広西壯族自治区(Guangxi Zhuangzu Zizhiqu)の北部に位置する。広西 壯族自治区は中国最南端でベトナムと国境を接し、北緯20~26°である。剷子坪は、桂 林(Guilin)市の北北東110km にあり、車で2.5時間を要する。標高 400~600m。

気候は温暖。豊富な水に恵まれた地帯で、日本の山村の風景に非常に良く似た景観を 有する。

(2) 権利関係

本地域の探査を管轄するのは、桂林市の北東約50kmの興安県(Xingan Xian) にある中南地質勘探局(四川省広漢(Sichuan Sheng, Guanghan)) 興安地質大隊である。興安地質大隊は地質研究所を持ち、総勢約 2,000人の陣容で、ウラン資源探査および発電所建設予定地などの地盤調査を行っている。

そのうち、150 人が剷子坪に派遣され、現場事務所を設けている。

(3) 経緯·現状

1956年、ウラン鉱床の露頭を発見し、1965年に構造試錐を開始、 γ 線探査、水の地化学探査、電気探査を実施した。1970年、探鉱試錐を開始し、I P等を実施して1988年現在精査試錐を実施中である。これまでの累計試錐掘進長は150、000m(約400 孔)である。

(4) 地質概要

本地域の地質は震旦紀(600~850Ma)の珪岩を基盤に、カンブリア系、白亜系が分布する(図1-2-1、1-2-2)。

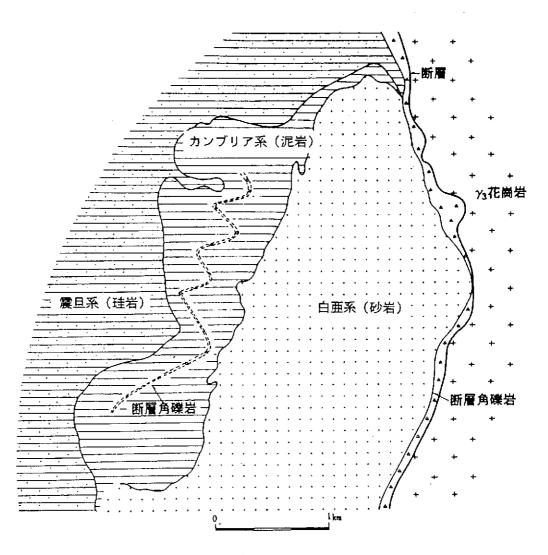
カンブリア系,白亜系の堆積盆の東端には南北方向の断裂系(断層角礫帯が発達し,カンブリア系はこの断裂に向かって,一般にほぼ30°東で傾斜している。ウラン鉱床は通常カンブリア系の中位の炭素質・珪質粘板岩および炭素質粘板岩の地層中に胚胎するが,この地層にも断層角礫帯がみられ,これは上記の断裂系によって切られている。

鉱床の厚さは $3\sim4$ m(最大12m)で、平均品位は0.1MU であるが富鉱部は $0.2\sim0.7$ MU に達する。埋蔵鉱量は数1000tUといわれるが、1989年版レッドブックの資料には確定鉱量として5.000tU が公表されている。

富鉱部はグラファイトの含有量の多い部分にあり、断層による滑り面が見られる。ウラン鉱物は葉理構造に沿って脈状に認められ、ピッチブレンドと思われる。随伴鉱物として黄鉄鉱および鉛とコバルトの鉱物を伴う。

鉱化帯の規模は $3.500m \times 1.500m$ であるが、鉱量としてまとまりのあるものは2鉱体で、深度は $400 \sim 450m$ (基盤までは約500m) である。

いわゆる層準規制鉱床であるが、中国では炭珪泥岩型鉱床と呼んでいる。



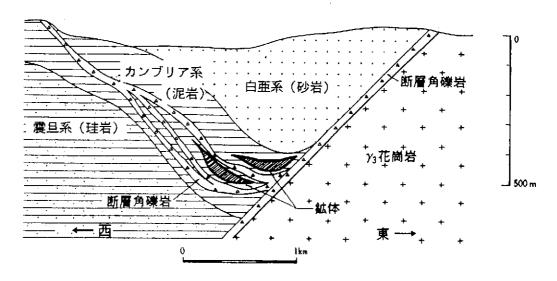


図1-2-2 劉子坪鉱床模式断面図

1.3. 騰沖(Tengchong)

(1) 交通・インフラ

位 置:騰沖施設は雲南省(Yunnan Sheng)の西部, ミャンマーとの国境から東70kmの所にある(図1-3-1)。騰沖は北緯25°, 東経98°に位置し, 横断山(Hengduan Shan) 山脈の東20kmにある。

交 通:中国内の空港では東へ400km 離れた昆明(Kunming) が最も近い。鉄道は昆明から大理(Dali), 鳳儀(Fengyi)へ北上してから騰沖へ南下する。最も近い空港は西へ約110km 離れたミャンマーのミッチーナ(Myitkyina) にあり, 道路で結ばれている。

連絡先: ・中国核子能工業総公司(China Nuclear Energy Industry Corporation-CNEIC) 私書箱 P.O.Box 822

海淀区(Haidian Qu)月壇北街(Yuetan Beijie)

北京(Beijing)100037

中華人民共和国(People's Republic of China)

Telephone: 86-1-8633219

Fax: 86-1-8512393

Telex: 22240

総経理(社長):周源泉(Zhou Yuanquan)

・中国核工業総公司(China National Nuclear Corporation-CNNC)

私書箱 P.O. Box 2102

北京(Beijing)

中華人民共和国

Telephone: 86-1-867784

Fax: 86-1-8512211

Telex: 222315

総経理(社長):蔣心雄(Jiang Xinxiong)

気 候: 当地の気象情報はない。東400km の昆明の気象では、月平均気温は12月~1月 の3℃から5月の26℃まで変化し、月平均降水量は1月の50mmから8月の500 mmまで変化する。

(2) 権利関係

「藍田」に同じ。

(3) 鉱業権益

「藍田」参照。

(4) 許認可関係

同 上

(5) 経緯・現状

1980年代初頭に雲南省のウラン鉱床についてインシチュ・リーチング(ISL) 法の実験が行われ、低い投下資本、短いリードタイム、適切な保安と環境保護など多くの経済効果が示された。その後、ISL 法は中国の南西部、北西部の砂岩型鉱床で行われるようになり、騰沖でISL 法操業が始められた1991年には中国の全ウラン生産量の約1%がISL法により生産された。

(6) 地質概要

雲南省西部のウラン鉱化地帯は中国のなかでは最も小さい地域である。本地域は雲南 ーチベット変動帯に属し、南北に伸びる中央隆起帯の両側には多数の小規模な新第三紀 堆積盆が分布している。燕山期後期花崗岩が貫入している。東部にはヘルシニア期花崗 岩類も認められている。ウラン鉱化作用は、玄武岩に覆われる石炭を挿んだ砕屑性第三 紀堆積岩層中に認められる。

(7) 採 鉱

梁河(Lianghe) 砂岩盆地におけるウラン生産にはインシチュ・リーチング(ISL) 法が採用されている。鉱床は地表から数10m から200mの間に賦存し、鉱床胚胎地層は透水性で被圧水で満たされている。予備試験では、地層の透水性、坑井の掘さく技術、坑井の構造と配置パターン、浸出液の注入・回収技術および浸出剤と酸化剤について研究された。

130mm 径の坑井を12本, 5.6mないし20m 間隔で掘さくした。直径91mm, 厚さ5mmの塩化ビニールパイプをケーシングとして坑井に挿入し, 坑壁との間隙はプラグとグラウトでシールした。鉱石帯では坑井の径を200mm ないし400mm に拡大し, この部分のケーシングは孔あきパイプとし, 間隙には礫を充塡してフィルターとした。鉱床胚胎層, 上位層および下位層の透水係数はそれぞれ0.19m/日, 0.029m/日および 0.102~0.14m/日と測定された。

半実規模試験では31本の坑井を掘さくした。連続浸出試験により浸出液中のウラン品位は150mgU/1に達し、以降2年間その値は変わらなかった。最終的なウラン浸出率は62

%に達した。尾液はより適切で新しい浸出剤と酸化剤を加えて再循環され、酸の約60%が節約できた。予備試験と半実規模試験を基礎に騰沖ウラン鉱床は開発され、現在生産体制に入っている。

(8) 製 錬

騰沖ISL プロジェクトは年産約19 tU/年の公称ウラン生産容量を有する。ISL 法によるウラン採取は酸浸出とイオン交換プロセスからなっている。

(9) 生産コスト

ウラン生産コストを産出するのに充分な生産統計は存在しない。

一般的に言えば、初期投資の償却費は鉱山と製錬所が操業を開始してから数年が経過しており(それぞれ1960年代半ばと1970年代以来)低下しているとすれば、総生産コストは主として採鉱費、輸送費および製錬費によって占められる。1993年におけるウラン鉱山労働者の平均年額賃金は1,800元であったと報告されている。しかし、1994年における元の大幅な切下げにより、1995年におけるUSドル換算(US\$1=8.3 元として)賃金レートは年額US\$ 217 である。中国通貨の切下げに伴って賃金レートの上昇が行なわれたものと思われるが、中国の賃金レートと生産者価格指数に関する最新の情報は入手できない。

元の切下げと、中国の鉱物資源産業は西側諸国におけるより労働集約型であるという 事実に基づいて、US\$に換算した中国のウラン生産コストは、現在では1990年代初頭の ものより低くなっていると考えられる。

Trade Tech社は、通常の採鉱法より労働集約的でない騰沖におけるウラン生産コストは US $$10\sim15/1$ bs. U $_3$ O $_8$ (US $$26\sim39/k$ gU)であろうと推定している。

(10) 生産体制,実績,計画

騰沖ウラン鉱山は、中国における最初のISL 鉱山である。騰沖におけるウラン生産は年間19.3tUの生産能力で始められた。

騰沖におけるウラン生産実績(含推定値)と計画生産能力は下記の通りである。 (tU/年);

年	生産	容量
1990	0	0
1991	4	4
1992	12	12
1993	19	19

- (II) 生産物の販売実績,計画 「藍田」に同じ。
- (12) 環境保全対策同 上
- (13) 政策 同上



図1-3-1 騰沖(雲南省)の位置図

1.4. 衡陽 (Hengyang) 製錬所

(1) 交通・インフラ

位 置:湖南省(Hunan Sheng)南部にあり、北緯27°, 東経 112°。省都長沙(Changsha) の南約150km, 広東省(Guandong Sheng)広州(Guanzhou) の北約420km にある (図1-4-1)。耒水(Lei Shui)を隔てて、九嶺(Jiuling Shan)山脈の衡山(Heng Shan) 峯 (海抜393m) の南側にある。

交 通:空港:約150km 北の長沙,約300km 南の桂林(Guilin)にある。

道路:広州, 桂林, 長沙へ主要道路が通じている。

鉄道:中国を縦断する京広線が衡陽を通っている。

521km 185km 1.589km 広州 — 衡陽 ——長沙 —— 北京

連絡先:1.3. 騰沖の項を参照の事

気 候:華中(Huazhong)の内陸部は比較的日本に似た気候といわれる。省都長沙の気温, 降水量は以下の如くである(理科年表 平成5年版)。

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
気温 (℃)	5. 1	6.4	11. 2	16.8	22, 3	25. 5	29. 2
降水量(mm)	52. 1	86. 5	156. 9	210.4	213.0	202.6	129.8
	8月	9月	10月	11月	12月		
気温(℃)	29. 2	24.4	18.5	12.5	7. 1	平均]	17.3
降水量(mm)	101.4	73. 1	88.5	82, 3	. 53. 6	合計]	1, 450. 2

(2) 権利関係

運営形態:中国政府が所有し、管理を担当するのはエネルギー省と中国核工業総公司 (CNNC) である。

CNNCは国務院(Council of State)に直属し、中国の核工業に責任を持っており、核工業省(Ministry of Nuclear Industry)の後継者である。 200以上の企業、会社、研究所で構成され、約30万人を雇用し、うち、7万人は科学者および技術者である。その責任範囲は原子力発電所の建設・運営、研究施設の維持・運営、原子力・電力・冶金工業用機器の設計・生産である。安全・環境・健康に係わる特別部門がある。ウランの探鉱、採鉱はCNNCの2部局、地質局(BOG)と砿冶局(BOMM)が管理している。 BOGの主要任務は、中国の現在および将来における原子力発電所の燃料として充分なウラン資源を発見することである。地質鉱産省(Ministry of Geology and Minerals)も同

様に中国のウラン産業に関係しており、その任務は新しいウラン鉱床の発見、開発に 対する外国投資や共同企業を誘致することである。

(3) 鉱業権益

最近、中国は外国資本への門戸開放をより推進する政策を採用したので、外国民間鉱業会社は中国政府と所有権交渉が出来るようになった。また、ごく最近までの安全度の低い意向書(letter of intent)は、幾つかのプロジェクトに関する鉱業権を海外企業に与える、より法的効果の高い中国政府と海外企業との協約(agreement) にとって代わられた。

例えば、日本の PNCは1994年9月、CNNCと下部〜中部原生界中の粘土化帯に高品位ウラン鉱床胚胎の可能性がある遼東(Liaodong)半島-瀋陽(Shenyang)の東におけるウラン共同探鉱協約の締結を公表した。

探鉱プロジェクトは政府とオープンに討議出来るであろう。しかし、「公的リスト」 に含まれていないプロジェクトに関する情報については、個人的接触が進展し、特定プロジェクトについて長期的関心を持続する強い意向があるとの印象を与えなければ、入手は難しい。

(4) 許認可関係

従来はCNNCの BOGがウラン資源の探鉱を総て行ってきた。BOG は1955年に設立されたウラン探査に関する国の中央調査・研究機関である。ウラン鉱床の探鉱および開発に必要なすべての費用は政府から供給される。中国のウラン鉱業は中央集権化されており、省はウランの探鉱・採掘に関しては独自に行動出来ない。(前項(3)鉱業権益の項を参照されたい。)

(5) 経緯·現状

中国のウラン探鉱は1955年核工業省によって開始された。ロシア国境に近い地域が最初に調査された。当時、ウランの探鉱・生産は軍事的要求に奉仕するのが唯一の目的であった。中国によるウランの商業的輸出および平和的利用は1980年代初期まで行われなかった。

探 鉱:

1955年~1960年代中期の探鉱は露出しているウラン鉱床を探すことを目的とした。この時期の成果は次の如くである。

・達拉地(Daladi)/蒙其庫尓 (Mengquiguer): 新疆維吾尓自治区 (Xinjiang Uyguer Zizhiqu)伊犁(Yili)盆地の含石炭砂岩層中のウラン鉱床。

- ・浦魁堂(Pukuitang) :湖南省。白亜系-第三系中の砂岩鉱床。
- ・白揚河(Baiyanhe):新疆ウイグル自治区。上部古生界(火山岩)中の鉱床。
- ・希 望(Xiwang):湖南省。1957年発見,中国初の花崗岩中の鉱床。

1960年代と1970年代の間は、鉱床成因論的研究と地質調査によって下記の鉱床が発見された。

- ・ 剷子坪(Chanziping): 広西壮族(Guangxi Zhuangzu)自治区。炭素質 珪質粘土岩中の鉱床。
- ・青 竜(Qinlong):河北省(Hebei Sheng)。砂岩中の鉱床。
- ・建 昌(Jinchang):遼寧省(Liaoning Sheng)。砂岩中の鉱床。
- ・中国北西部シルル系(珪質石灰岩)中の鉱床。
- ・江西省(Jiangxi Sheng)/広東省(Guangdong Sheng) の火山岩および花崗岩中の鉱床。
- ・雲南省(Yunnan Sheng)西部の第三紀後期砂岩,石炭層,磔岩中に胚胎した多くの鉱床。

1970年代中期から現在までは、土壌・ガス地化学探査、小孔径ダイヤモンド・ボーリング、コンピューターによる地質データ解析が用いられている。

・燕 遼(Yanliao) 鉱床帯:遼寧省。新しい鉱床モデルを用いて探査した結果、火山岩 および砂岩中にウラン鉱床を発見。

鉱山·製錬所:

中国におけるウラン鉱山および製錬施設建設は1958年にスタートした。

1963年までに郴州(Chenzhou)鉱山,大浦(Dapu)鉱山,衡陽製錬所が操業に入った。

1965年~1966年に撫州(Fuzhou)の4鉱山が生産を開始。撫州製錬所、伊寧(Yining)鉱山・製錬所は1976年に操業を開始した。

1980年に大浦、伊寧各鉱山、伊寧製錬所など多くのウラン鉱業施設が休止または待機となり、青竜など多くの計画が延期された(青竜は現在開発中で2000年までに完成する予定)。

1980年代初期,雲南省の鉱床でインシチュ・リーチング(ISL)法によるウラン抽出実験が行われ,投資が少ないリード・タイムが短い,充分な安全性および環境保全が得られるなど経済的利点が明らかになった。 ISL法は間もなく中国南西部および北西部にある砂岩型鉱床における生産手段となった。1991年には ISL法による生産は中国ウラン生産量の約1%に達し、1995年には8%に達すると期待されている。

1990年代中期に内蒙古および新疆維吾尓自治区で3,000tU を含むと評価された新鉱床が発見された。地質鉱業省は現在これら鉱床の共同開発事業に参加する外国投資家を探している。

(6) 地質概要

衡陽製錬所は、湖南省を縦走する鉄道(京広線)沿線から出る鉱石を処理する「地域」 製錬所である。しかし、主として郴県(Chenxian)鉱山および大浦(Dapu)鉱山の鉱石を処理してきた。このうち大浦鉱山は1980年に閉山しているので、地質鉱床については、主要鉱石供給源である「郴県鉱山」の項を参照されたい。

(7) 採 鉱

前項と同様「郴県鉱山」の項を参照されたい。

(8) 製 錬

衡陽ウラン製錬所は湖南省を縦貫する京広線沿線にある諸鉱山の鉱石を処理する地域 製錬所で、中国最大の規模をもつ。

- ・製錬方式:図1-5-2 衡陽製錬所のフローシート参照(以下フローシートへの注釈)
 - ①受入工程:粘土鉱,細粒塊鉱,粗粒塊鉱に区分する。それぞれ以後の工程が多少異なる。細・粗粒塊鉱は更に鉱石特性で分けられ,それぞれの貯鉱場に入れられる。各貯鉱場では秤量(電気秤),ウラン品位測定(放射能カウンターによる),水分測定用サンプル採取を行う。
 - ②破砕・粉砕工程:塊鉱と粉土鉱の破砕条件は殆んど同じである。
 - ③浸出工程:・前工程の最終段階(ハイドロサイクロン)からのアンダーフローは各系列の第1タンクに、オーバーフローは第2タンクに供給される。
 - ・第1タンクは浸出液を調整し、第2~第4タンクで浸出される。浸出時間は $4\sim5$ 時間。圧さく空気は底部から供給される。蒸気はタンク内温度を 70° でに保つために添加される。
 - ・鉱石中のウラン鉱物の大部分は二次鉱物なので酸化剤は必要ない。但し、ある種の鉱石には酸化剤(軟マンガン鉱)を必要とする。例えば(Tseusheng)鉱山の鉱石は炭素質頁岩で、酸消費量が多く、約60kg硫酸/鉱石 t である。 浸出工程実収率は90%±である。

④イオン交換工程(RIP工程) :

- ・各系統7基のコラムのうち、最初の4基はウラン吸着用、次の2基は溶離用、 最後の1基はオープンである。
- ・前工程からのパルプはコラム底から供給され、頂部にある0.4 × 0.4mmステンレス・スチール・ワイヤ・スクリーンを通って排出される。このスクリーンの役目は、浮遊している樹脂の流出を防ぐことである。コラム内での上昇

流速は 12m/hである。

- ・吸着コラム群の最後のコラムのパルプ品位が、5mgU/1より大きい程度になれば、樹脂は負荷されたとみなされる。最終コラムが完全脱離されると新鮮なコラムにとりかえられる。
- ・負荷された樹脂はNH4OHとNH4NO3によって硫酸塩イオンを除去され、更に10gU/1と硝酸を含む貴液をつくるために溶離される。
- ・Tseusheng 鉱石は、ウラン溶離後、硫酸塩溶離剤でMoを除去する。
- ・各コラム吸着の開始から溶離の終了までに約10日を要する。

⑤精製工程:

- ・この工程は、TBP-ケロシン抽出、ADU 沈殿、AUTC結晶および煆焼の各段階からなる。
- ・溶媒抽出コラムは、陶磁器リングでパックされている。貴液は上部から流下 し、逆流する有機相と接触する。有機相は連続供給される。
- ・Raffinite:ウランの溶媒抽出後に残された水溶液。溶媒抽出の尾鉱。(V.S. Bureau of Mines; A Dictionary of Mining, Mineral, and Related Terms, 1968, による)
- ・攪拌タンクへのNH₄OH の供給は酸度レベルが以下の段階になるよう調整される。

p H 2.
$$5-3$$
. 0 6. $5-6$. 8 6. $8-7$. 0

⑥製錬能力:

・公称生産能力:500tU/年(製錬所への給鉱量3,000t鉱石/日の場合)

実収率:85-88%

·人 員:約4,000人

・生産品の品位: U品位 UO2 87%

U₃O₈ 8 4 %

ADU 75%

不純物品位(U₃O₈の場合)

Fe 100ppm

S i 150ppm

0. 3 ppm

(9) 生産コスト

中国の政策では生産情報を公表しないので、生産コストを計算するための生産統計は 不充分である。

- ・起業費・減価償却費:鉱山および製錬所はそれぞれ60年代中期,70年代から操業しているので、非常に概括的に資本コストは既に償却されたと仮定すれば、生産コストに含まれるのは、採鉱、輸送および製錬コストである。

(10) 生産体制, 実績, 計画

衡陽製錬所は中国最初のウラン事業で、1963年にウラン生産が開始された。この複合体は中国最大で、年間231tUの生産を続けている。

3,000t/日の鉱石が供給された場合の製錬所の公称能力は500tU/年である。歴史的および将来の生産推定値と処理能力は以下の如くである。

年	生産tU	能力tU	年	生產tU	能力tU	
1 9 8 5	2 3 1	2 3 1	1991	2 3 1	2 3 1	97年以降は1996
8 6	2 3 1	2 3 1	9 2	2 3 0	2 3 0	年と同じ
8 7	2 3 1	2 3 1	9 3	2 3 1	2 3 1	
8 8	2 0 7	2 0 7	9 4	2 3 1	2 3 1	
8 9	2 3 1	2 3 1	9 5	2 3 1	3 4 6	
9 0	2 3 1	2 3 1	9 6	2 3 1	5 0 0	

(11) 生産物の販売実績,計画

中国核能工業公司(CNEIC) は1980年に核工業省によって設立され、同省の工場、研究 所等からの多様な生産や技術サービスの輸出入代理人であり、また、海外市場における 中国産ウランの販売を担当している。

西側諸国に対するウラン関連商談の概要は以下の如くである。

・1982年~1984年:日本へのウラン輸出(中国ウランの初輸出);50tU

- ・1980年代前期~中期:上海(Shanghai)付近,蘇南(苅南)(Sunan)に1,000MWe加圧水型の2原子力発電所連合(Kraftwerk Union)を建設する西独との見返り貿易交渉で、CNEIC は2000年までに6,000tU の供給を申し出た。しかし、1986年初期に中国政府はこの原子力発電所連合計画実施を延期し、この商談は失敗した。ただ次の商談は成立した。
- ・1980年代前期~中期:西独ネッカー原子力発電所共同体(Gemeinschafts Kern Kraf twerk Neckar; GKN)へのウラン輸出;100tU/年
- ・1986年4月~1990年: BDF(フランス電力庁) へのウラン輸出;量不明
- ・1987年9月~1995年:フィンランドTVO社へのウラン輸出;600tU(総計)
- ~1990年代後期:日本、中部電力および東京電力へのウラン輸出:
- ・1995年:インド原子力委員会へのウラン供給:
- ・ ~1995年:米国バージニア電力(Virginia)、パシフィックガス・電力会 社へのウラン輸出;
- 1993年:米国NUEXCO社へウランのスポット輸出(複数回);
- ~2000年:ベルギー、シナトム(Synatom)原子力研究グループへのウラン輸出;

以上のうち5件は何れもウラン量不明である。

なお、GKN、BDF、TVO のヨーロッパ諸企業への供給経路は次の2通りである。

- ・EDF 向け:転換のためフランスComurhexへ上海から出荷。
- ・GKN およびTVO 向け:転換および濃縮のためシベリア鉄道経由で,旧ソ連に送られ、 濃縮された UF。はそこから顧客の燃料工場に送られる。

将来の中国ウラン販売の大部分は、相当数の原子力発電所建設計画に対応するために 国内向けになるであろう。現在、CNEIC の最大の供給契約は、CNNCおよび広州原子力発 電共同企業体(Guandong Nuclear Power JV) とのもので、共に21世紀初期まで契約され ている。

(12) 環境保全対策

CNNCは原子力の安全性、環境および健康保護を担当する特別部門をもっている。

中国環境・開発国際協力評議会(China Council for International Cooperation on Environment and Development; CCICED)は1992年に設立され、環境および開発の分野で中国と国際社会の間の協力推進についての高レベルの諮問機関である。その結果、中国は環境監視および管理を強化することによって環境法(law) および令(regulation)をより厳密に実施するようになった。

(13) 政策

中国政府の原子力政策によれば、中国の原子力発電所で用いる総ての燃料は、国内産 ウランでまかなわれねばならない。更に、生産されたウランのある量は国際市場で売ら れるべきである。従って、相当量の天然ウランが毎年生産されねばならず、そのかなり の部分は低品位鉱石から生産されるウランで賄われる。

中国で唯一のウラン輸出入機関として、CNEICの任務は中国核工業公司(China Nuclear Industry Corporation; CNIC)産の総ての製品の輸出入活動を取扱うことである。CNIC は、中国エネルギー資源省に直属する機関である。

従来、中国の鉱物資源は国の世襲財産の一部と考えられており、鉱山業は一般的に外国投資家にとって「立入禁止」となっていた。しかし、国が「門戸開放」政策に移行したので国務院(State Council)は工業発展のための政策概要を公表した。これは、100以上の物品を海外投資に開放するとしたものである。地質鉱業省によると、非燃料鉱物資源探鉱のために合計28の中国-外国合弁企業が設立され、エネルギー分野の石油およびガス資源探査には60合弁企業が発足している。

現在、中国は計画経済システムから市場経済システムへ移行する過渡期にある。中国は、1995年後期に過去10年間で最大の貿易自由化計画を公表した。この計画は、中国が世界貿易機構(WTO) に接近する重要な段階を象徴するものである。その一部として、中国は1996年初めから輸入税の30%削減および約170 の輸入割当制廃止を公約している。また、通貨改革を開始したが、中国は世界で最も人口の多い市場であり、海外投資家にとって有利な経済活動が出来るようになるであろう。

・国際協定

中国は1984年1月1日に国際原子力機関(IAEA)に加盟した。中国のすべての核燃料生産物はIAEAの安全保障と規制および多くの国々との協力協定に基づいて供給される。1985年に米国と原子力平和協力協定に調印し、以降次の国と二国間協力協定を結んでいる。アルゼンチン、ベルギー、ブラジル、ドイツ連邦共和国、フィンランド、フランス、イタリー、日本、パキスタン、スイス、英国、米国。

これ等の協定は原子力分野でのより密接な協力を容易にしている。さらに中国はいくつかの国に、ウラン探鉱活動への参加を呼びかけている。

中国は包括的核実験禁止条約(CTBT)に関する討議(ジュネーブ軍縮会議特別委員会)に参加した5核兵器保有宣言国の一つである。1994年1月以来続けられていたCTBT交渉は、1996年6月議長案が提案され、この案をめぐる交渉が行われている。中国は1996年7月29日に罗布泊(ロプノル、Lop Nur)で行なわれた通算45度目の核実験を最後とし、7月30日以降核実験を凍結すると宣言した。8月9日現在、中国を含む核保有宣言5ヶ国は議長案に同意している。

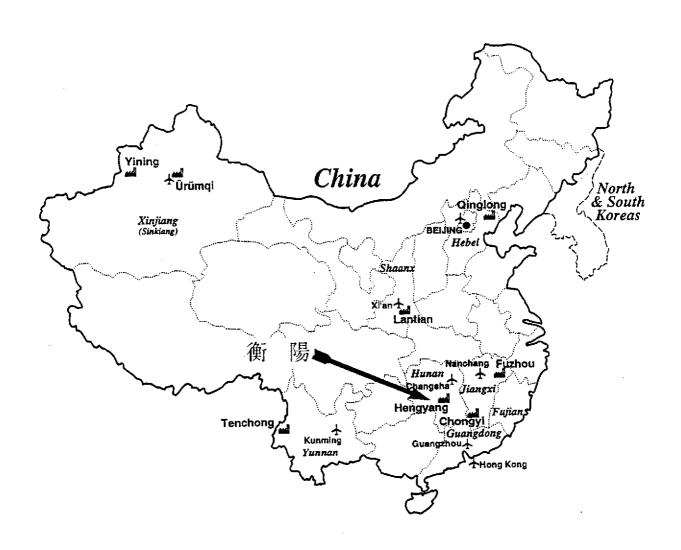


図1-4-1 衡陽(Hengyang)製錬所位置図

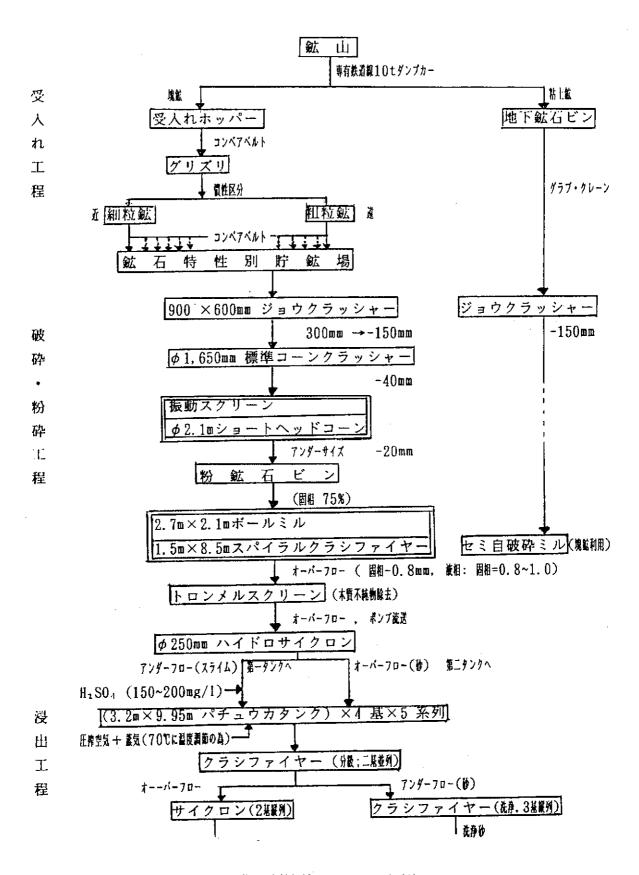
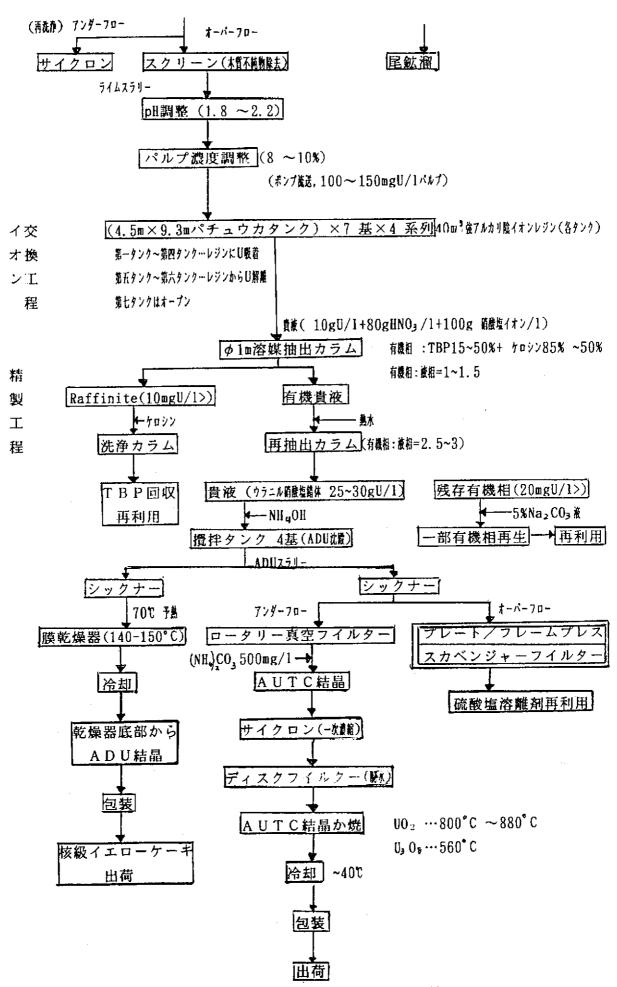


図1-4-2 衡陽製錬所フローシート(1)



| 図1-4-2 | 衡陽製錬所フローシート(2) 続き

1.5. 郴 県 (Chenxian) 鉱山

(1) 交通・インフラ

位 置: 東経 112°, 北緯25°55′, 標高は海抜 200~300mのなだらかな丘陵地帯にある。最寄りの町は湖南省衡陽製錬所から南130km の郴州(Chenzhou)である。鉱山は郴州のほぼ真北約20kmにある(図1-5-1)。

交 通: **郴**州から舗装道路を車で約30分で達する。鉱山わきを中国を縦貫する主要鉄道 京広線(北京-広州)が通っており、交通の便は良い。

連絡先:「衡陽製錬所」に同じ

気 候:湖南省南部にあり広東省に近く, 亜熱帯に属し, 気候は湿潤である。年間平均 気温は19℃。雨期は4月~6月で, 年間降水量 1,400mmの約40%は雨期に集中 する。

(2) 権利関係

「衡陽製錬所」 に同じ。

(3) 鉱業権益

同上

(4) 許認可関係

同上

(5) 経緯·現状

1955年:空中放射能探査で放射能異常を発見。

1958年:鉱山の建設を開始。

1963年:生産を開始した。

軍事用鉱山として開発され、中国最初の大型製錬所「衡陽」への鉱石供給を急いだため、発見から生産までのリード・タイムが非常に短い。当初は露天掘りで操業したが、現在は坑内掘りで操業している。1993年PNC 調査当時はウラン市況の低迷から粗鉱量を150,000t/年から120,000t/年に減産していた。

(6) 地質概要

地 質: 郴県鉱山地域には、デボン紀から第三紀までの地層が分布する。鉱床の母岩は、下部二畳系の丹重(Danchong)累層である。本層は下部からシリコライト

(Silicolite)*,微細粒砂岩,頁岩(上部は珪質頁岩)で構成され,有機物を含む(一部炭酸塩質)。本層の上位には石炭層があり、本鉱山周辺で採掘されている。

永貴(Yonggui) 複向斜構造が地域の主構造であり、方向N30°E。褶曲、衝上 断層などが発達する。

鉱 床:鉱床母岩は丹重累層の炭酸塩質珪質頁岩である。全体として鉱床は地層に整合 的であるが、部分的に地層を切る産状も認められる(図1-5-2)。

鉱化作用は主要断層から派生する背斜軸頂部の引張応力系の小〜微裂かを充填する型や、堆積岩の構成粒子を被覆する産状が認められる。鉱化部は強い破砕構造を示し、各割れ目は石英により充塡されている。鉱床の落しはS50°E、70°~80°である。単位鉱体の形状は不規則柱状、レンズ状、ポット状などを示す。鉱床母岩である丹重累層は平均17~26ppmUを含有し、重要なウラン源と考えられている。なお、年代別地層のウラン含有量測定結果は次の如くである。

母 岩	285 Ma
100ppmU 以下の岩石	265 Ma
100-200ppmU の岩石	149 Ma
500-3,000ppmU の岩石	67 Ma

3,000ppmU 以上の岩石 72.5Ma (測定数少く正確ではない)

液体包有物から推定された鉱床生成温度は 145℃~ 172℃である。年代測定に よれば、母岩は 265~285Ma,鉱化作用は61~69Maである。

変質は極めて弱く、細脈のごく限られた部分に脱色作用、赤鉄鉱化および黄鉄 鉱化作用が認められる程度で、探査上の重要指針とはなり得ない。

主要ウラン鉱物:ピッチブレンド

主要随伴鉱物: 黄鉄鉱

鉱 床 型: 珪質片岩(黒色頁岩)型,裂か充塡鉱床

鉱 量: 品位0.1%U, 埋蔵量約5,000tU(鉱量計算基礎不明)

鉱床規模 : 不明

(7) 採鉱

採鉱法: 坑内掘り, 上向き充塡採掘法。岩盤は良好なので支保は使用しない。1993年 PNC 調査時には第四立坑(坑口は海抜230m)の-80mレベルを採鉱中で, -250m

^{*} シリコライト:旧ソ連で使われていた岩石名で,シリカ分の多い生物科学的堆積岩の総 称。ここでは90%以上のSiO₂を含み細粒の堆積岩をシリコライトと称している。

レベルまで採掘の予定である。

生產量:能力 3,000t 鉱石/日。採掘実収率85~90%。

採鉱計画:不 明

その他:

① 坑内では水温約50℃の酸性地下水が湧出しており、30~40mgU/1(平均35mgU/1) のウランを含有している。このウランを回収するプラントが1965年以来操業している。

坑内水 pH: 2.5~3.0

水 量:夏は多く、冬は少ない(平均80m³/日)。

ウラン生産量:12~20tU/年(Y.C.100 t/yr);イオン交換コラムによる。

- ② 産出鉱石は衡陽製錬所へ貨車輸送されている。
- ③ 1960年代中期,本鉱山でヒープリーチング試験が行われ,金属ウラン回収率は 70%に達した。
- (8) 製 錬

「衝陽製錬所」に同じ。

(9) 生産コスト

同上

(10) 生産体制, 実績, 計画

坑内作業体制:6時間シフト(実働4時間)

採鉱場は自然通気で、高温の坑内湧水のため、坑内作業環境は悪い。

年間生産量: 115tUよりやや多い。

(11) 生産物の販売実績,計画

「衡陽製錬所」 に同じ。

(12) 環境保全対策

同上

(13) 政策

同上

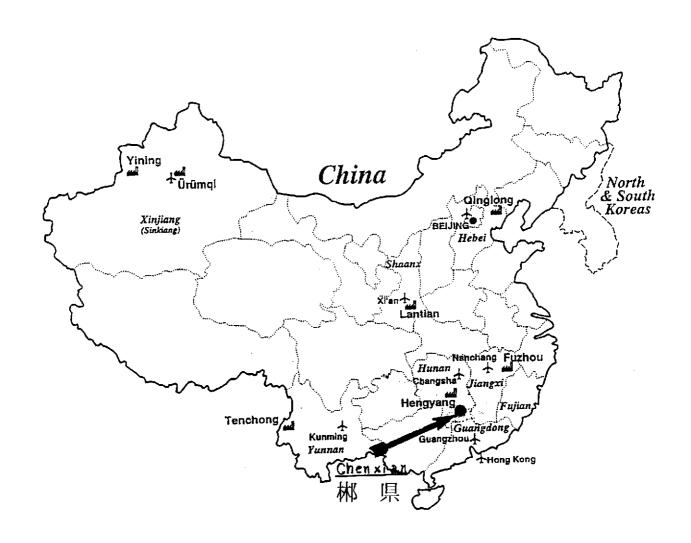


図1-5-1 郴県(湖南省)鉱山位置図

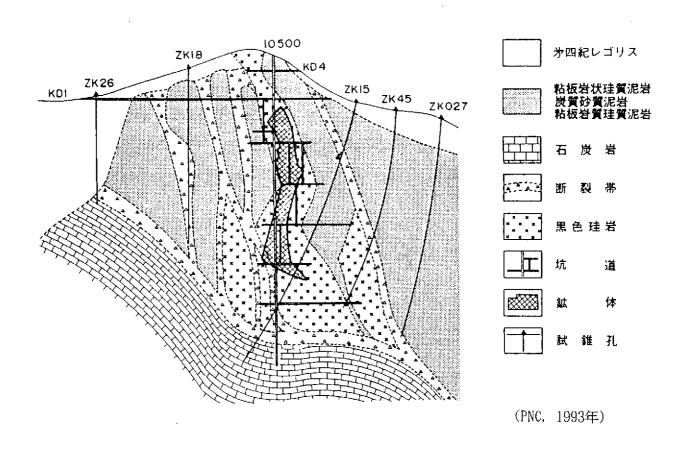


図1-5-2 郴県鉱床模式断面図

1.6. 撫州(Fuzhou)生産センター/製錬所

(1) 交通・インフラ

位 置: 撫州施設は江西省(Jiangxi Sheng) 中部にある。北緯28°, 東経116°15′, 省都 南昌(Nanchang)の南南西約120km に位置し、怀玉山(Huaiyushan)山脈の南麓にある (図1-6-1)。

交 通:最も近い空港は南昌にある。南昌-撫州間は自動車で約2時間である。

連絡先: 衡陽製錬所に同じ

気 候:南昌の平均気温は17.5℃。降水量は年平均 1,700mmで、4月~6月の雨期に約 1/2 が集中する。

その他:南昌付近の特産物は小麦,綿花などの農産物である。

(2) 権利関係

「衡陽製錬所」 に同じ。

(3) 鉱業権益

同上

(4) 許認可関係

同上

(5) 経緯·現状

撫州製錬所は1976年に完成した中国第2の規模のウラン製錬所である。この製錬所は相山(Xiangshan) ウラン鉱床地域の火山岩型ウラン鉱床の鉱石を処理するために建設された。

最近、本製錬所の名称が臨川(Linchuan)製錬所に変更されたと云う情報がある。 現在操業中。

(6) 地質概要

無州製錬所は上述のように、相山鉱床地域のウラン鉱石を処理してきた。地質、鉱床、概要については「相山鉱山」の項を参照されたい。

(7) 採 鉱

前項と同じく「相山鉱山」の項を参照されたい。

(8) 製錬関係

・製錬方式:酸リーチング/イオン交換によってウラン精鉱を生産。

・製錬能力, 生産量:

処理能力:700t鉱石/日(200,000t鉱石/年)

生産能力:300 ~ 308tU/年

実収率: 93~95%

·規模,施設:不明

・イエローケーキのスペックなど: 不明

(9) 生産コスト

Trade Tech社の推定によれば、撫州のウラン生産コストは US\$15 \sim 20/1bU $_{3}$ O $_{8}$ (US\$39 \sim 52/kgU)の間にあるであろう。

(10) 生産体制, 実績, 計画

撫州製錬所は公称能力 308tU/年で相山鉱床地域の露天掘り,坑内掘り鉱山で採掘される鉱石を処理している。しかし,生産実績は154 ~ 181tU/年に留まっていると思われる。

歴史的および将来の生産は次のように推定される。

年	生 産	能力
1 9 8 5	1 5 4 t U	154tU
8 6	1 5 4	1 5 4
8 7	1 5 4	154
8 8	1 3 7	1 3 7
8 9	1 5 4	154
1 9 9 0	1 5 4	154
9 1	1 7 3	173
9 2	1 8 0	180
9 3	1 8 1	1 8 1
9 4	1 8 1	181
9 5	1 8 1	1 8 1
9 6	1 8 1	192
9 7	1 8 1	2 3 1
9 8 以降	1 8 1	3 0 8

- (II) 生産物の販売実績,計画 「衡陽製錬所」 参照
- (12) 環境保全対策同 上
- (13) 政 策 同 上



図1-6-1 撫州(江西省)製錬所位置図

1.7. 相山(Xiangshan) 鉱山

(1) 交通・インフラ

位 置:江西省中部にある。北緯27°35′, 東経 115°55′。標高は海抜150m程度。最 寄りの町は撫州。撫州-鉱山間は水田地帯。鉱山付近はなだらかな丘陵地帯 (図1-7-1)。

交 通: 無州からは無舗装道路を車で約1時間30分(約70km)。道路は維持補修が良く 行われている。鉱山近くまで鉄道があり、機材、製品の輸送に使える。

連絡先:「衡陽製錬所」に同じ

気 候:気 温 -5℃~31℃, 年間平均気温は17.5℃ 降水量 1,700mm/年で, 雨期(4月~6月)に約 1/2が集中する。

(2) 権利関係

「衡陽製錬所」 に同じ。

(3) 鉱業権益

同 上

(4) 許認可関係

同上

(5) 経緯·現状

1957年空中放射能探査で異常が発見されて以来,地域内に5鉱床と多数のウラン鉱化帯が発見されている。本地域の鉱床は1957年発見当時から1965年頃まで,花崗岩型ウラン鉱床として取り扱われて来た。しかし、相山岩体に疑問点が生じ、1972年に調査研究グループが組織されて研究の結果,相山鉱床区はカルデラ盆地にあり、鉱床は火山岩型に属すると結論された。

この地域の鉱山は1960年代中期の4鉱山開設に始り1990年には坑内作業が報告されているが、現在は閉山している。

(6) 地質概要

・地 質 :火山岩中に胚胎する相山ウラン鉱床地域は贛杭(Ganhang)火山岩関連金属 鉱床帯中にある。この鉱化帯は南中国カレドニア褶曲帯と流溜(Hangzi)準台地の 間にある。ウラン鉱化作用は陥没型火山盆地(カルデラ)内に胚胎する。盆地の 基盤は震旦紀(Sinian)の低度変成岩(千枚岩,片岩)と三畳紀堆積岩(礫岩・砂岩)で構成され、上部ジュラ系により被覆されている。上部ジュラ系は下部から上部へ、紫色シルト岩、砂岩、礫岩、流紋岩質石英安山岩、結晶質・ガラス質凝灰岩、圧砕斑状流紋岩からなり、全体として流紋岩が卓越している。これらの岩石が東西約25km、南北18kmの楕円型カルデラを形成している(図1-7-2)。各岩種の平均ウラン含有量は、

基盤岩:石英-黒雲母片岩

5 ppm

カルデラ周縁部の環状岩脈

8 ppm

母岩の地質年代は火山岩が160 ~ 140Ma, 最も若い年代の火成岩は花崗斑岩の124Ma である。

- ・鉱化作用:ウラン鉱化作用はカルデラ構造に規制されている。鉱体は主として大規模 せん断断層に伴う張力割目,各種岩相の接触面およびその付近の割れ目に胚胎し ている。主要母岩は火山底性花崗斑岩,流紋岩質砕屑岩および流紋岩質石英安山 岩である。
- ・変 質:この地域では鉱化に先だつ広汎な先駆的変質(アルカリ曹長石化および強い酸性ディッカイト化)が認められる。ウラン鉱化作用は、赤鉄鉱化、加水雲母化、緑泥石化、蛍石化などの変質を伴っている。
- ・鉱 床:発見されたウラン鉱床は、熱水成火山岩型である。鉱床は主に細脈が集中して中数m~数100m,延長300m~400mの鉱化帯をつくり、それらが数条集まって鉱床を形成する。鉱床は、共生鉱物の関係から次の4タイプに分類される。
 - ① 赤鉄鉱-燐灰石タイプ:鉱化年代 120Ma.
 - ② 緑泥石タイプ:緑泥石を主とし、方解石細脈を伴う。
 - ③ 方解石タイプ:赤鉄鉱化,黄鉄鉱鉱染が顕著である。鉱化は方解石脈の境界 付近に巾2~4cm認められる。
 - ④ 加水雲母-蛍石タイプ:鉱化年代100Ma 。赤鉄鉱化した部分をこのタイプの 鉱脈が切っている。
- ・ウラン鉱物:ウランは主にピッチブレンドで時にブランネライト[(Brannerite, (U, Ca, Th, Y) (Ti, Fe) $_2$ 0 $_6$] やコフィン石[(Coffinite, U(SiO $_4$) $_{1-x}$ (OH) $_{4x}$] が認められ、随伴鉱物は蛍石、燐灰石、コロフェン(Collophane、 潜晶質燐灰石)、 黄鉄鉱や その他の硫化物である。
- ・鉱 量: 当地域の鉱量は、平均品位0,25%Vで総計26,000tVである。単位鉱体の鉱量 は平均500tVと云われており、50以上の鉱体が発見されている。

なお、当地域の主要鉱体の鉱量は概算次の如くである。

横澗(Hengjian)鉱体:平均品位 0.2~0.25%U, 鉱量約10,000tU

邹家山(Zhojiashan)鉱体:平均品位 不明, 鉱量約 6,540tU

- ・主要鉱体:相山鉱床区には代表的な鉱体として5鉱体あるが、そのうち2鉱体の地質・鉱床は次の如くである。
 - ① **邹**家山(Zhojiashan)鉱体: (図1-7-3, 図1-7-4)
 - ・No. 1鉱体:山腹斜面沿いに北東から南西に緩く傾斜する延長約300mの鉱体で、これを露天掘りで採掘したが、すでに採掘を終了している。ピット底は海抜 180mで、北東部が高品位で、南西部に向って品位が低下する。

脈 巾 : 数cm~数m(最大数10m)

傾斜延長:最大300m

品 位: 0,05~1,00%U(Th:U=1:4)

その他 :約 100条の鉱脈からなる。

・No. 3鉱体:現在露天掘り計画中。

- ・海抜600m細脈濃集部:高品位部(平均1%以上と云われる)を形成しており, 坑内掘りを予定。
- ・鉱化のタイプは、赤鉄鉱-蛍石に伴うU-Th鉱化作用と加水雲母-蛍石に伴う U鉱化作用の 2 タイプがある。
- ・母岩は主に流紋岩質安山岩とポーフィロクラスティック組織を示す溶岩である。母岩中に緑泥石化作用および加水雲母化作用が認められる。

少量の蛍石, 黄鉄鉱が存在し、暗色の蛍石の存在する部分はウラン品位が高くなっている。

- ・深部試錐探査の結果, 地表下約670mで平均品位1 NJ, 脈巾15m の高品位鉱に 着鉱したほか, 鉱化が地表下1,000mにも及んでいるのが確認され, 鉱量が増 大している。
- ② 横澗(Hengjian)鉱体: (図1-7-5 参照)
 - ・相山カルデラの北西端に位置する。以前は露天掘りで採掘していたが、現在 は坑内採掘を実施中。

鉱体の北部は海抜250mで緩く南に傾斜する。母岩は花崗斑岩,流紋岩-石英安山岩などで,鉱化作用は蛍石を伴うものと赤鉄鉱を伴うものの2種類が認められる。細脈(巾7~10cm)が集合し,巾数10mの鉱体を形成することもある。

・富鉱部は花崗斑岩の走向変化部,断層交会部に認められる。 鉱体北部の平均品位は0,2%U,南部の平均品位は0.5%U。

- (7) 採 鉱
 - ・採鉱法:坑内採掘:シュリンケージ法,充塡採掘法。斜坑・立坑による開坑。 露天採掘:ベンチ高, 6~10m。12t ダンプトラックによる鉱石運搬。 (細脈の集合した鉱体なので, ズリ:鉱石比は良くないと思われる)
 - ・採掘能力・生産量:生産量合計 700t 鉱石/日。採掘実収率 92%。
- (8) 製 錬 「撫州生産センター」 参照
- (9) 生産コスト 同 上
- (10) 生産体制,実績,計画 同上:
- (II) 生産物の販売実績,計画 「衡陽製錬所」 に同じ。
- (12) 環境保全対策同 上
- (13)
 政
 策

 同
 上

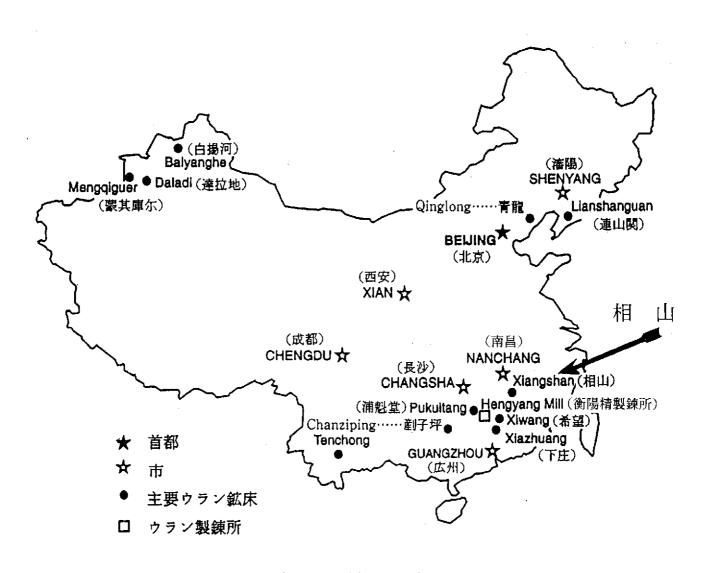
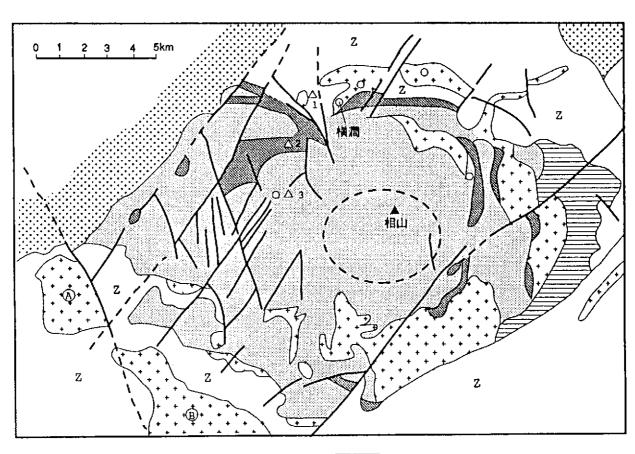


図1-7-1 相山(江西省)鉱山位置図 (NEA/IAEA 1993年レッドブックによる)



上部白亜系 紫色砂質碟岩

上部ジュラ系 上部Ehuling累層 ポーフィロクラスチック溶岩 (圧砕斑晶状溶岩)

上部ジュラ系 下部Ehuling累層及び Daguding累層の火山岩シリーズ

* * * * * 火山底性(地下浅所型)花崗斑岩

上部三畳系 Anyuan含石炭シリーズ

+ (图) + 印支花崗岩

・・・・・ カレドニア花崗岩

火口 (ランドサットの航空写真解析による)

断層構造

〇 ウラン鉱山(開発中)

△123 観測地点

(PNC, 1993年)

図1-7-2 相山カルデラ地質図

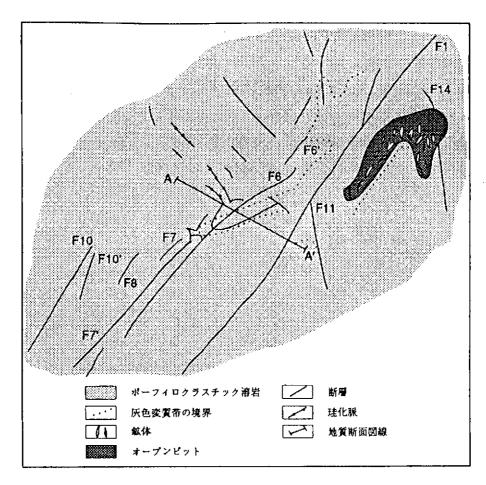
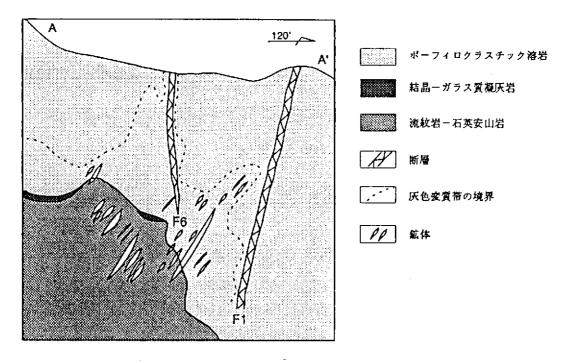
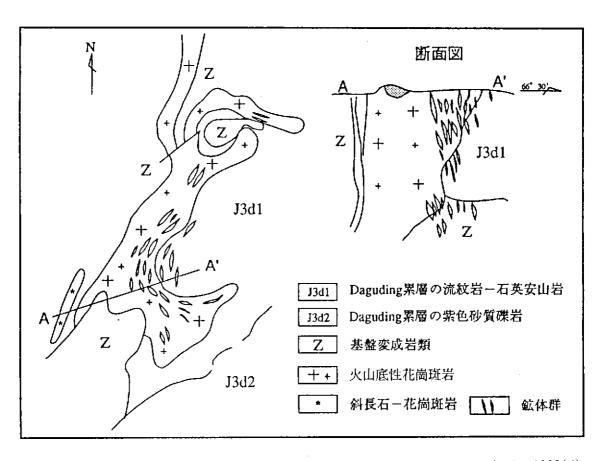


図1-7-3 邹家山鉱床模式地質図





(PNC, 1993年)

図1-7-5 横澗鉱床模式地質および断面図

1.8. 崇義(Chongyi) 生産センター/製錬所

(1) 交通・インフラ

位 置: 崇義製錬所は江西省南部にある。北緯26°, 東経 114°。南西の広州(Guanzho u)と北北西の長沙(Changsha)とはいづれも約320km 離れている。大余嶺 (Dayu ling) 山脈の北側に位置し、傾斜地にある (図1-8-1)。

交 通:空港:広州,長沙,南昌(Nanchang)にある。

道路:広州-韶関(Shaoguan)-崇義

南昌
翰州(Ganzhou) - 崇義

鉄道:南昌-贛州

連絡先:「衡陽製錬所」に同じ

気 候:長沙(北緯28°12′, 東経 113°4′)で代表させる。

気 温:最低1月 5.1 ℃, 最高7月 29.3℃

降水量:最低1月 52.1 mm, 最高5月 213.0mm,年間 1,450.2mm

(2) 権利関係

「衡陽製錬所」に同じ。

(3) 鉱業権益

同上

(4) 許認可関係

同上

(5) 経緯·現状

崇義製錬所は1979年以来操業している。当製錬所は当初、泰嶺(Qinlin)山脈北麓の低温熱水成鉱脈産ウランを抽出するために建設された。鉱山付近住民への環境的配慮から鉱石は鉱山から遙か離れた場所の製錬所に運搬された。発足から1988年までは在来法による坑内掘り鉱山の鉱石を処理してきたが、以後はヒープ・リーチングによる貴液処理に転換し、現在に至っている。

(6) 地質概要

崇義製錬所は南へ約120km 離れた広東省(Guangdong Sheng) 北東部の下庄(Xiazhuang) 鉱山の鉱石を処理してきた。地質・鉱床は「下庄鉱山」の項を参照されたい。

(7) 採 鉱

前項と同様「下庄鉱山」の項を参照されたい。

(8) 製 錬

崇義「製錬所」(Trade Tech 社のレポートでは "mill" を使わず"processing plant" としている) は前述のように1979年以来操業している。設計能力は350t鉱石/日である。公称生産能力は115.4tU/年である。

(9) 生産コスト

Trade Tech社は US\$20~25/1bU30g (US\$52~65/kgU) の間にあると推定している。

(10) 生産体制, 実績, 計画

報告されているところでは、崇義生産センターにおけるウラン生産は1979年生産開始 以来1988年までに、在来法による坑内掘り操業の鉱石処理で115tU/年の割合で生産して 来た。それ以後はヒープ・リーチング操業の貴液処理となり、生産量は減少した。しか し、年間生産能力は115tU/年と報告されている。

歴史的および将来の生産推定は次の如くである。

年	生産(年)	能力(年)
1 9 8 5	1 1 5 tV	1 1 5 tU
8 6	1 1 5 tV	1 1 5 tV
8 7	1 1 5 tV	1 1 5 tV
8 8	1 1 5 tV	1 1 5 tU
8 9	38.5tU	38.5tU
9 0	7 7 tV	7 7 tU
9 1	1 0 0 tV	1 0 0 tU
9 2	1 0 0 tU	1 0 0 tU
9 3	1 0 0 tV	1 0 0 tU
9 4	1 0 0 tU	1 0 0 tU
9 5	1 0 0 tU	1 1 5 tV
9 6 以降	1 0 0 tV	1 1 5 tV

- (11) 生産物の販売実績,計画 「衡陽製錬所」参照
- (12) 環境保全対策

同上

(13) 政 策

同上



図1-8-1 崇義(江西省)製錬所位置図

1.9. 下庄(Xiazhuang) 鉱山

(1) 交通・インフラ

位 置:広東省(Guangdong Shen)北東部, 江西省(Jiangxi Sheng) との省境付近にある。 北緯24°30′, 東経 114°15′。広東省韶関(Shaoguan)の南東約75km, 広州へは約 140kmの所にある(図1-9-1)。

交 通:空港;最も近い空港は広州空港。

道路;①広州-韶関-下庄鉱山事務所

②崇義(Chongyi) -大余(Dayu)-南雄(Nanxiong)-始興(Sixing)-埧仔(Bazi)-下庄鉱山事務所

などがある。

①の韶関-鉱山事務は約190km。なお、下庄鉱山事務所から各鉱山現場へは車でさらに20~30分を要する。

鉄道;京広線韶関駅が最も近い。広州-韶関は約240km。

連絡先:「衝陽製錬所」に同じ

気 候:下庄鉱山は広東省の最北端にあり、江西省に近い。

気候条件は長沙(江西省)と広州(広東省)の中間と思われる。

気温; 最低 1月 9℃ 最高 7月-8月 28.8℃降水量; 最低 1月 45mm 最高 5月-6月 245mm

(2) 権利関係

「衝陽製錬所」に同じ。

(3) 鉱業権益

同上

(4) 許認可関係

同上

(5) 経緯·現状

1956年に空中放射能探査による異常帯の地表調査によって発見された中国最初の本格的な花崗岩中の鉱脈型鉱床である(図1-9-2)。

鉱床には、竹山下(Zhushanxia)、石角囲(Shijiaowei)、下庄(Xiazhuang) の3鉱床がある。このうち、下庄鉱床がこの地域で最初に発見された。採鉱は露天掘りと坑内掘り

が行われているが、規模は小さい(1982年現在、従業員総数約300人)。

(6) 地質・鉱床の概要

本鉱山地域にはPNC 1993年と、Trade Tech社1996年の2種類の地質図があり、古生層の分布、貴東花崗岩の分帯等が異なっている。地質図は図1-9-3 と図1-9-4 として双方を示してある。

1) 地質

本地域の地質は背斜構造〔瑤嶺(Yaolin)背斜〕をもつ古生代堆積岩類と、これに貫入したジュラ紀の貴東(Guidong) 花崗岩底盤(燕山前期 135-180Ma)からなる。

古生層は貴東花崗岩体の南西部と南東部ではカンブリア紀とオルドビス紀の変質砂岩,北東部ではデボン紀と石炭紀の砂岩,泥岩,珪化粘板岩からなる。貴東花崗岩は,舌状底盤で,南方から北方に貫入し、分布面積は約1,000km²(東西68km,南北12~18km)である。

地域内には、カレドニア、ヘルシニアーインドシナおよび燕山期の3構造単位が認めらる。

カレドニア構造単位:弱変成砂岩,頁岩などを主とする厚い陸源砕屑性堆積物で、 局部的に石灰質頁岩や燐酸塩団塊層を夾在する。典型的な劣地向斜堆積物で、古 生代初期の堆積物である。平均含有量は3~6 ppmU。褶曲構造の方向はE-W~ NE-SWが卓越している。

<u>燕山構造単位</u>:露頭が局部的で,山間盆地では大部分が砂岩であるが,中性ないし酸性火山岩層を含む。盆地は断層によって沈降したが,堆積物の傾斜は20°未満である。

主要なマグマ活動は燕山初期に発生し、貴東花崗岩および火山底性石英安山岩 - 斑岩帯を形成し、E - W方向に分布する。燕山後期には、小規模な酸性岩体および中性 - 塩基性岩脈が貫入した。カレドニアおよびヘルシニアーインドシナ花 崗岩は下庄鉱床付近には露出しないが、周辺地域では認められている(表1-9-1)。

断層および断層帯は、一般にE-WおよびNE-SW方向を示す。E-W方向に伸びる花崗岩体もE-W方向の割れ目帯を持つのが一般である。基盤岩中の断層がNE-SWに走る褶曲軸に平行である場合は、NE-SW断層は新カタイシア(Neo-Cathaysia) 断層系に属する。この系は石英脈および珪化断層帯の分布を

規制し、これらはウラン鉱化作用と密接に関係している。

2) 鉱床地帯の地質

下庄鉱床地域は中国で最も重要なウラン鉱化帯の一つである。この地域のウラン鉱床は鉱脈型で、ピッチブレンドー微石英脈で特徴づけられ、母岩の粘土化-黄鉄鉱化変質と密接に伴っている。鉱床は貴東花崗岩底盤体内の断層沈降ブロック中に胚胎している。この花崗岩は殆ど完全な花崗岩分化と著しい自変成作用で特徴付けられている。花崗岩の地質年代は135Ma-185Maで、鉱床の年代は85Ma-75Maであり、ウラン品位は花崗岩内で最高である。ウランの起源は花崗岩と考えられる。

下圧ウラン地域には2つの主要断層(F_1 および F_2)があり,両者共走向 $N60^\circ$ ~80 $^\circ$ EでSEに急傾斜している。断層の規模は延長50km以上、巾は数10mである。北部断 層(F₁)帯は主として珪化した圧砕岩および白色石英からなり,南部断層(F₂)帯は 走向方向に辷った逆断層中の圧砕帯であって、断層は石英および時には赤色・灰色・ 黒色の微石英で充塡されている。白亜紀後期から第三紀前期の堆積盆は,断層帯の下 盤側に生成している。二つの断層帯間の距離は約20~22kmで,両断層間は陥没してい る。断層陥没中央ブロック内には二次断層および割れ目があり、その方向は、20°~ 40°, 60°~80°, 280°~300°に3区分出来る。これらの二次構造は数100mから 数㎞の長さがあり,珪化マリグナイト* ,角礫岩帯,加水雲母化・珪化圧砕岩,白色 石英、多くの色の微石英および蛍石からなる。粗粒、中粒、細粒石英は微石英より古 い。古い脈は西側に濃集し、より若い微石英脈は東側に濃集し、より深いレベルに達 しているようである。帯状分布も認められる。白色石英脈は深部で微石英脈に変化す る傾向がある。白色石英脈中の石英は、再結晶作用を受けており、母岩では長石が絹 雲母化作用,黒雲母が緑泥石化作用を受けている。微石英脈および母岩には強い加水 雲母化作用が認められる。微石英は褐色から赤色または灰色ないし黒色で,蛍石は黒 紫色である。時に方解石が産出し、ウラン鉱化作用を伴っている。.

下庄地域のウラン鉱床は燕山第1期 (γ_1) の中粒斑状黒雲母ないし両雲母花崗岩と燕山第3期 (γ_3) に貫入した細~中粒両雲母花崗岩の接触部付近に発達する割目を充塡した鉱脈型ウラン鉱床である。ウラン鉱物は割目を充塡する石英脈、輝緑岩岩脈およびこれらの交点に産する。

貴東花崗岩体ではマグマの分化と共にウランの濃集がみられ、燕山第1期 (γ ı)岩

^{*} マリグナイト(malignite):有色鉱物の多い「カスミ石閃長岩」から超塩基性の「輝岩」にいたるさまざまな岩石をさし、用法不定。例えば、エジリン輝石(50%),正長石(20%),カスミ石(20%)を主とする粗粒岩。黒雲母、黒ザクロ石を伴いカスミ石は自形。(地学事典、p.1.053)。

体のウラン濃度は $5\sim6$ ppmUであるが、燕山第3 期(γ_3)では20ppmUに達している。このような傾向は Na_2 0、 K_2 0 にもみられるが、Thは逆相関の関係にある。ウラン鉱化は K_2 0 の増加と密度に関係し、燕山第3 期(γ_3)の第2 亜貫入期に貫入した中〜細粒白雲母花崗岩の火成活動と密接に関係している。

ウラン鉱床に加えて、この地域には、タングステンおよび多金属鉱床が分布する。 ウランとタングステンは一緒に産出することがある。ウランは花崗岩の遷移相に伴う 傾向があり、一方タングステン鉱床は花崗岩貫入体のループペンダントや小規模花崗 岩の接触部近くに産出するが、多くの場合、変成岩中でかつ大規模花崗岩からあまり 離れていないところに産する。ウランを含む花崗岩はタングステン鉱化花崗岩とは時 代、規模および組成が異なる。多金属鉱床は、通常巨大な花崗岩体からあまり離れて いない古生代後期の堆積岩層中に胚胎し、あるいは小規模な燕山期花崗閃緑岩体に伴 っている。

含ウラン熱水成脈の分布は、前述のように2断層系(F₁およびF₂)間の断層陥没ブロック中に集中している。ウランが濃集している所は、WNW-ESE方向に貫入した中性ないし塩基性岩脈(輝緑岩~ひん岩)およびアルカリ交代岩がNNE-SSW(新カタイシア構造)方向の断層珪化帯中の微石英脈と交叉する部分である。鉱床規模は割目の交叉の数、珪化帯のタイプおよび岩脈の規模によって異なる。鉱床は中粒~細粒両雲母花崗岩と白雲母花崗岩の接触部付近にも胚胎し、接触のタイプが鉱床形成を規制している。この他、ウラン鉱床は珪化帯の走向・傾斜が変化する部分、雁行配列する珪化帯、二つの珪化帯が交叉する部分にも胚胎する。いずれにせよ、この地域の鉱床の大部分は主要花崗岩体の遷移相内に胚胎しており、その部分は強い白雲母化および加里長石化を受けている。花崗岩の内部相は易動性ウランが乏しく、ウラン鉱床を欠いている。

3) 鉱 床

鉱脈の鉱物組合わせとそれらの晶出期関係から熱水活動は3期に分けられる。主要鉱化作用は第3熱水期に起こった。その第3熱水期はさらに次の3鉱化期に分けられる。

- ① 第1鉱化期:白色細粒石英
- ② 第2鉱化期:紅色、黒色微晶質石英-ピッチブレンド
- ③ 第3鉱化期:暗紫色石英-炭酸塩鉱物-蛍石

このうち、第2鉱化期が主要鉱床形成期である。この期の石英は不純物が多く、 $0.01\sim0.1$ mm の粘土鉱物、硫化鉱物および赤鉄鉱を含んでいる。ウラン品位は数10ppm から数1,000ppmである。この第3熱水期はかなり長期にわたり、3群の鉱物組合せにより熱水活動の変化が推定される。

第1群:広汎に分布する紅色微晶質石英ーピッチブレンドーコフィン石 - 硫化鉱物群で、鉱化作用の最盛期を代表する。

第2群:黒色微晶質石英ーピッチブレンドーコフィン石 - 硫化鉱物組合せで、発達度 は第1群より劣り、ウランの二次濃集鉱化期を代表する。

第3群:暗紫色螢石-(方解石)-ピッチブレンドで構成され、分布がさらに限られ、 粒度も小さい。

ウラン鉱床は脈状,レンズ状,板状,柱状または網状の形態をとる。鉱床内のウラン平均品位は0.1~0.5 Mで,鉱体規模はかなり変化する。鉱床中の単位鉱体の上下方向の規模は通常 300~500mである。

初成のウラン鉱物はピッチブレンドとコフィン石である。ピッチブレンドは塊状、いば状集合体または鉱染状である。通常、コロフォーム構造が発達している。塊状ピッチブレンドは破砕されていることが多い。脈状およびいぼ状ピッチブレンドはコロフォーム輪状構造を示す。鉱染状ピッチブレンドは球状、輪状および雲状構造を示す。ピッチブレンドの組成では Fe_2O_3 とSとの間に相関がある。Feは主としてFeS の形で存在し、少量の赤鉄鉱も含まれているであろう。

UO_2	34.61 ~ 54.08%	TiO2	$0.0 \sim 1.67$
UОз	$30.31 \sim 47.43$	Mu O	$0.08 \sim 0.79$
Th O $_2$	$.0051 \sim .0152$	CaO	$1.40 \sim 5.38$
Re_2O_3	0.0 ~ 0.66	K ₂ O	$0.0 \sim 0.06$
PbO	$1.26 \sim 3.76$	Na_2O	$0.0 \sim 0.16$
SiO_2	0.60 ~ 2.06	$\rm H_2O^+$	$0.38 \sim 0.66$
Fe_2O_3 .	$0.40 \sim 2.71$	$H_2 O^+$	$1.05 \sim 2.08$
Al_2O_3	0.0 ~ 0.66	UOx	$2.35 \sim 2.35$

コフィン石も広汎に分布するが量は少なく、大部分はピッチブレンドおよび黄鉄鉱の周辺に沈殿しているが、ピッチブレンド内部の割れ目にも沈殿している。コフィン石は一般にピッチブレンドより若く、白鉄鉱と共生している。

(母岩の鉱物・化学組成)

ウラン鉱床の母岩は多種の花崗岩類と中性〜酸性岩岩脈である。最も重要な母岩 は中粒斑状両雲母花崗岩とスペッサルタイト*である。

(地学事典 p. 555)

^{*}スペツサルタイト: spessartite:普通角閃石または輝石に富む斜長石ランプロファイアー。緑~褐色角閃石,透輝石質輝石および斜長石(中性長石)を主成分とし,少量の正長石・石英・黒雲母・カンラン石等を含む。石基は完晶質で,時に石英・正長石の微文象連晶がみられる。日本のランプロファイアーの多くはこれである。

下庄(Xiazhuang) 鉱山

<u>中粒斑状両雲母花崗岩</u>は、酸性長石(25.3%),微斜長石(32.9%),石英(33.5%) および 少量の黒雲母(4.8%)、白雲母(3.5%)からなる。シリカ、カリに富み、Alが過飽和な酸 性岩で下記の化学成分をもつ。

主要成分	SiO ₂	72.30%	MgO	0.34%
	TiO ₂	0. 17	CaO	0.71
	A1203	13. 97	Na ₂ O	3.00
	Fe_2O_3	1.04	К ₂ О	5. 08
	FeO	2. 14	$P_2 O_5$	0.12
	Mn O	0.06	H_2 O	0.80
微量成分	U	28.7ppm	Cu	9 ppm
	Th	31. 2	Pb	16
	Zr	71	Zn	43
	La	37. 9	Мо	1
	Се	72. 3	Ве	8
	Pr	8. 3	Ba	177
•	Nd	44. 7	Sr	38
	Sm	11.0	V	14
	Eu	0.54	Ni	28
	Tb	1. 19	Nb	35
	Yb	2. 38	F	70
	Lu	0.30	S	30
	Y	26. 0		

副成分鉱物: 燐灰石, ジルコン, 黄鉄鉱, 電気石, イルメナイト, 閃ウラン鉱。

関ウラン鉱は花崗岩中に6.3g/tも含まれる。これは造岩鉱物間の間隙粒として産する。関ウラン鉱の粒径は 0.025~0.090mm の範囲で変化する。比重8.97、酸素係数 (0xygen coefficient)は2.12。花崗岩中の関ウラン鉱の化学組成は以下の如くである。

$\mathrm{U}\mathrm{O}_{2}$	78. 17%	Fe_2O_3	1. 07%
U O a	11.30	Mu O	0.046
ThO 2	2. 31	MgO	0.05
Re ₂ O ₃	1.55	CaO	0.34
PbO	2, 67	K ₂ O	0.169

SiO2	1.77	Na_2O	0.13
TiO ₂	0. 24	H_2 O	0.67
A1203	0, 56		

暗緑色スペツサルタイトは等粒状または斑状構造である。主要鉱物は角閃石(52.6%)中性長石(33.1%)と少量の石英(2.8%)である。副成分鉱物は燐灰石,イルメナイト,黄鉄鉱および緑簾石である。

花崗岩およびスペツサルタイトの変質は鉱化作用と関連しており、熱水活動の産物である。鉱脈際の花崗岩変質には2通りの変質鉱物組合せが認められる。

珪 化 — 赤鉄鉱化

粘土化 —— 黄鉄鉱化(卓越している)

鉱体の中心は暗赤色砕砕帯で細粒および微晶質石英で膠結,充塡されている。スペマサルタイトは、主として珪化帯の交叉部に発達し、多段階熱水溶液と初期に強い破砕と変質を受けたスペツサルタイトによって形成された石英-赤鉄鉱-加水雲母鉱物組合せが、よく発達した帯区分を示している。強く珪化、赤鉄鉱化および加水雲母化を受けたカタクラスティック(低温・低圧脆性破断)帯は岩石組織の破壊で特徴づけられる。即ち、石英、加水雲母および少量のダフナイト*で完全に交代された岩石、赤鉄鉱による強い汚染などが認められる。この帯は巾 0.1~0.2mで鉱体の一部になっている。

4) 主要鉱床の概要

① 竹山下(Zhushanxia)鉱床

本鉱床は下庄鉱床帯の最北部、貴東花崗岩体の北東部に位置し、輝緑岩岩脈 (NN W)とF102断裂系 (新華夏構造 = NNE方向)の交点に胚胎し、現在は露天掘りと坑内掘りが続けられている。

ウラン鉱化は輝緑岩脈 $(N70^\circ \sim 80^\circ \text{W})$ と花崗岩の割目中にみられ、高品位部は珪化帯に規制されている。鉱体の走向傾斜は一般的には $N65^\circ \text{W}$, 68°NE であるが、垂直から南落しになる所もある。鉱体規模は延長240m, 巾 $1\sim10\text{m}$, 深さ $40\sim60\text{m}$ である。鉱化作用には2 タイプが認められる。

i) ウランー曹長石化作用ー赤鉄鉱タイプ

ウラン鉱物:ピッチブレンド

共生鉱物 :赤鉄鉱, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱, 黄鉄鉱, 黄銅鉱

^{*} ダフナイト (daphnite): 緑泥石の一種。Fe含有量多く, 4 配位にAlの多いもの。 (地学事典 p.660)。

変質作用 : Na交代作用, 赤鉄鉱化作用

母 岩 : 石英閃長岩, SiO₂含有量は低い。

i)ウラン-微晶質石英タイプ(主要な鉱化型式)

ウラン鉱物:ピッチブレンド

共生鉱物 :黄鉄鉱,赤鉄鉱,白鉄鉱,輝水鉛鉱,黄銅鉱

変質作用 : 珪化作用, 絹雲母化作用, 赤鉄鉱化作用

鉱石は、母岩の種類によって次の3種類に分けられる。

石英閃長岩型: 0.07 ~0.10 %U

珪化花崗岩型: 0.10 ~0.17 W

珪化輝緑岩型: 0.155~0.205%U

② 石角囲(Shijiaowei)鉱床

本鉱床は下記の位置に胚胎する。

- ・燕山第1期 (γ ₁)中粒斑状黒雲母花崗岩ないし両雲母花崗岩中(主体)。
- ・中〜細粒両雲母花崗岩と細粒白雲母花崗岩岩脈の交点(一部)。
- ・輝緑岩脈と断裂系の交点(一部)。

鉱化作用は白色石英、珪化破砕花崗岩および輝緑岩の上、下盤際に認められる。 試錐およびトレンチ作業によって探査が進められている。

鉱化作用には次の2タイプが認められるが、鉱物組成はあまり変わらない。

- i) ウランー灰色微晶質石英型
- ii) ウランー方解石型

ウラン鉱物:ピッチブレンド

共生鉱物 : 黄鉄鉱, 白鉄鉱, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱

脈石鉱物 : 石英、螢石、方解石、玉髓

母岩変質 : 珪化、赤鉄鉱化、絹雲母化、緑泥石化、カオリン化、炭酸塩化。

平均ウラン品位: 0.10 といわれている。

③ 下庄(Xiazhuang) 鉱床

燕山第1期中粒斑状黒雲母花崗岩(γ_1)と,同細粒黒雲母花崗岩(γ_{18})が広く 分布し,これらに貫入した輝緑岩脈と珪化割目(N20°~45°E, 75°SE)の交点付 近に鉱体が胚胎する。

輝緑岩脈の巾は約40m でN80°Wに伸び、75°~90°N落ちである。石英脈は輝緑岩と花崗岩類を切る。ウラン鉱化は輝緑岩中の珪化、角礫化部で著しく花崗岩中では弱くなる。

主要鉱脈は延長120m, 脈巾2~10m,深度30~40m の規模,平均ウラン品位は0.10 知で、2 鉱脈が存在し、鉱化作用は紫黒色螢石-ピッチブレンドー微晶質石英の組 合せである。

ウラン鉱物:ピッチブレンド(膠状,球粒状,ブドウ状,ジンゾウ状)

随伴鉱物 : 黄鉄鉱, 少量の白鉄鉱・方鉛鉱・黄銅鉱・輝銅鉱

脈石鉱物 : 石英, 方解石, 螢石, 玉髓

鉱石の形状:脈状,塊状,鉱染状,角礫状

母岩変質 : 珪化、赤鉄鉱化、絹雲母化、緑泥石化、カオリン化、炭酸塩化

露頭部:少量のウラノフェン、燐銅ウラン石、燐灰ウラン石

5) 鉱量

下庄(鉱山)地区の確認埋蔵量 (≒RAR+EAR-I。コスト区分なし) は12,000tU(199 3 年版レッド・ブック)。

(7) 採 鉱

- ・下庄鉱山からの産出鉱石は、周辺住民への環境的配慮から遠くはなれた(直距120km 北方)崇義製錬所で処理されている。そのため、運搬コストが高く、生産コストは非 常に高い。生産コストを削減するために、地上のヒープ・リーチングおよび地下採鉱 場でのヒープ・リーチング試験が行なわれた。
- ・地上ヒープ・リーチング: 0.1 ~0.17 MJで, 1,000tの鉱石を硫酸溶液で浸出し,84~94%のウランが浸出され,最終的に76.1~84.2%のウランが回収された。地上ヒープ・リーチングによって生産コストは相当削減される。
- ・更にコストを削減し、環境保全にも良いのは坑内採掘場でのヒープ・リーチングである。準フィージビリティ試験では、-100mmの破砕鉱石を採掘場に高さ10.5m に置き、酸溶液で90% のウランが浸出された。鉱石の平均品位は 0.109%U。43日間の浸出でウラン92% が抽出された。酸消費量は25kg/鉱石 t である。このヒープ・リーチング操業実験は1993年に完了したはずである。

(8) 製 錬

「崇義製錬所」 に同じ。

(9) 生産コスト

「衡陽製錬所」 に同じ。

(10) 生産体制, 実績、計画

1992年には約300人で採鉱と探鉱がおこなわれていた。採鉱は、露天掘りと坑内掘りで行われているが規模は小さい。

- (II) 生産物の販売実績,計画 「衡陽製錬所」 に同じ。
- (12) 環境保全対策同 上
- (13) 政 策 同 上

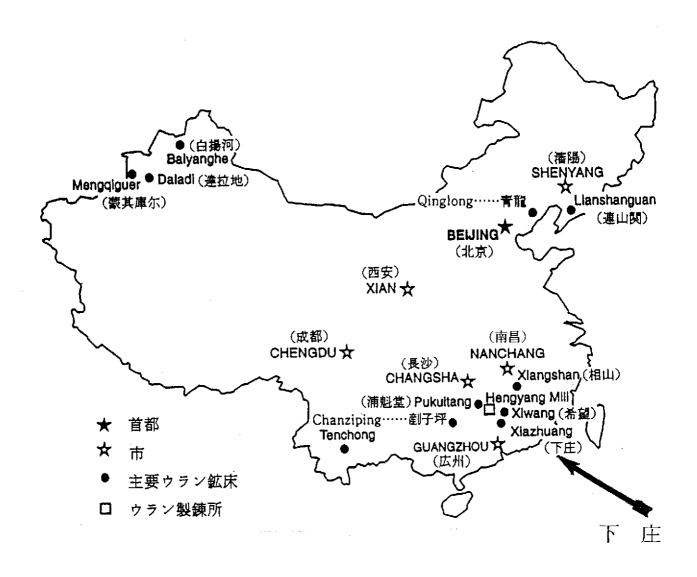


図1-9-1 下庄鉱山位置図

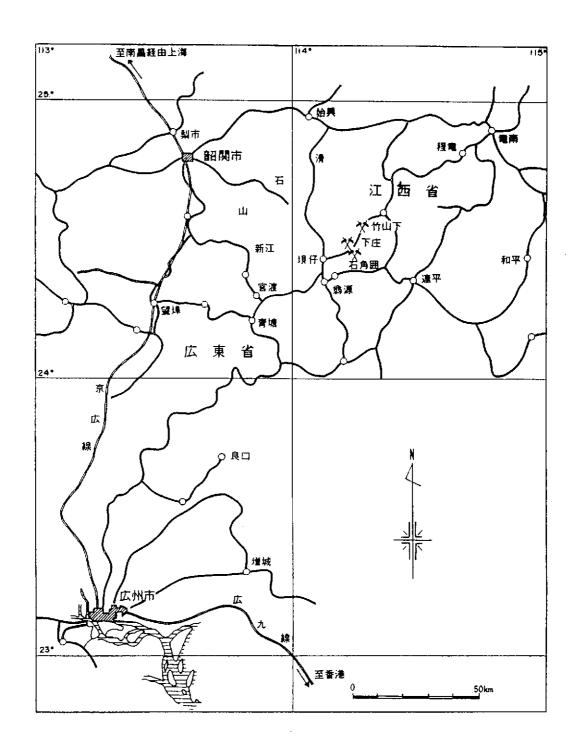
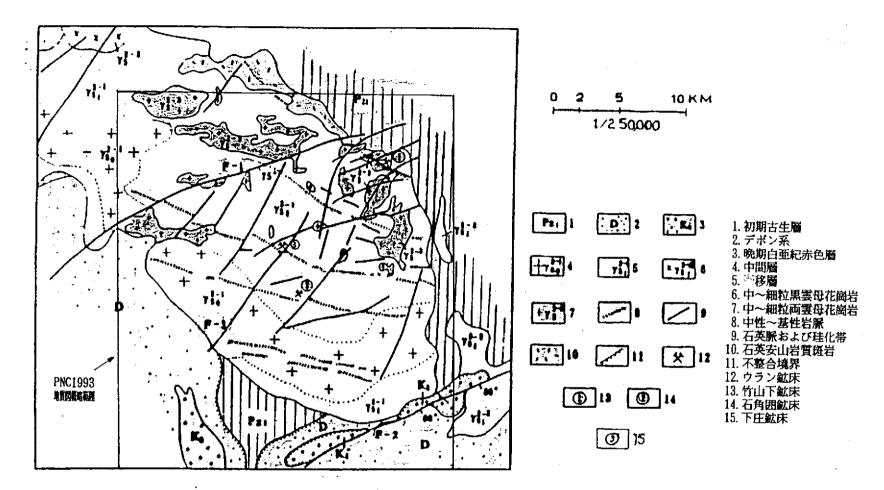


図1-9-2 下庄地区ウラン鉱床位置図(PNC, 1993)



Geological map of Xiazhuang uranium district. 1. Early Palaeozoic;
2. Devonian system; 3. Late Cretaceous red bed; 4. internal phase; 5., transitional phase; 6. medium-fine grained biotite granite; 7. medium-fine grained two-mica granite; 8. intermediate-basic dike; 9. quartz vein and silicified zone; 10. dacite-porphyry; 11. unconformity boundary; 12. uranium deposit; 13. Zhushanxia deposit; 14. Shijiaowei deposit. 15. Xiazhuang deposit

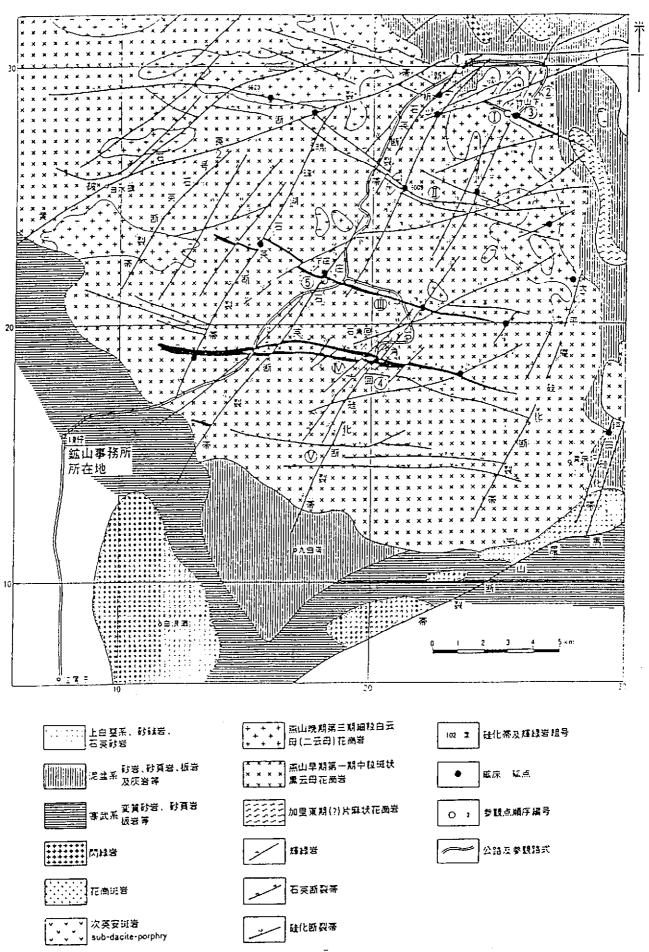


図1-9-4 下庄(Xiazhuang) ウラン地域地質図(PNC, 1993)

表1-9-1 貴東花崗岩体燕山期火成岩の岩相一覧(PNC, 1993年)

時代		貫入時期		産状			同位体年代	備 考			
	nd I.	`	期	段	階	Æ1\	10 工安石和			ИН 15	
	_			<u>-</u>		Ē		輝緑玢岩			
	白亜	早			中性	岩		内緑玢岩	Ì		
1		白白	-#t-	脈	岩岩			内斜煌斑岩	ĺ		
	紀	亜	燕	岩	脈	脈		斑れい斑岩]		
1	<u></u>	紀	山第	段	7.01	, <i>p</i> (x					
	燕山	100	y; 四	階	睃			アプライト・ペグマタイト		"	
i	晚	5	期		酸性岩脈	1		花崗斑岩]		
	JII	135	2∜1		脈			石英斑岩]		
	-	Ma				岩岩		細粒閃長岩			
巾]		脈株		中粒石英閃長岩			
生		晩ジュ	燕山		2捕 貫入	岩岩 脈株		細粒白雲母花崗岩	128-146Ma 平均值140.6Ma	5試料平均值	
ᄑ		ラ 世 135 ~ 155		郭	 2初	岩		中粒白蟹母花崗岩	135-151Ma	2試料平均值	
			第三	九事	人質	株		中粒両套母花崗岩	平均值143Ma		
代			期			岩		細粒黒雲母花崗岩	16614-		
	ジ	Ma	781			株		中細粒黒雲母花崗岩	- 155Ma		
_	ᄀ	中	_								
燕山期)	ラ紀(燕山	ジュラ世 152 172				and the state of t				下庄ウラン鉱 田で欠除して いる	
	早	Ma									
	期	早					边緑	和粒 黒雲母花崗岩			
	~	ジ	燕				相	細粒白雲母花崗岩	1		
		ュラ	山				底	剩	中粒斑状黒雲母花崗岩	160-193Ma	- 7試料の
		世 170	第一			182	移相	中粒斑状両雲母花崗岩	平均179Ma	平均値	
		190	聊			ı anı	内部	粗粒斑状黑雲母花崗岩			
		Ma					相相	粗粒巨斑状黒雲母二長花崗岩	1		

注)中国語地質記載を可能な限り翻訳

表1-9-2 下庄鉱化帯各期の熱水成鉱物のウラン含有量,形成温度,年代

表別とはは		表 しい むしびお	Qit May 47 €Ar	平均U含有		形成温度	鉱物生成
熱水期		熱水段階	鉱物名称	試料数	含有%	爆裂法℃	年代(Ma)
第一熱水期			白色塊状石英	2	0.00135	328	
第二熱水期			曹長石			306	
	ウラン鉱化前		細微晶石英	4	0.00494	285	
	ゥ	第一鉱化作用	灰色石英			270	
	ラ	第二鉱化作用	紅色微晶石英	29	0.0442		86,84.5,79,78
	ン		黒色微晶石英	8	0.23		71
Ave 44 1, 441	鉱 化	第三鉱化作用	黄鉄鉱			200	
第三熱水期	時		紫黒色螢石			235	
	圳	第四鉱化作用	淡紅色方解石			276	62,59.5
		I <u>-</u>	淡緑色螢石	<u> </u>		181	
	ď	ララン鉱化後	方解石			230	
!			乳白色微晶石英	6	0.00079	241	

注) 中国資料を翻訳

(PNC, 1993年)

〔Trade Tech, 1996〕の鉱化期の区分、鉱物名などとは多少の相違がある。

表1-9-3 下庄鉱化帯のウラン鉱化作用と鉱物共生関係

The state of the s	DI M	虾 二	次然水	活動		M =	次 熱	水活	1.)	
紅物 #	10 8	U 成 紅 前	以成 鉱 期	U成鉱后	U成鉱的		U ML	ta M		U成城后
	_	A 10 46 4 1	ピッテノレント	ほ色万州石	*1.色白玉髓	ピッチブレンド	ピッチブレンド		ピッチブレンド	白色状石英
197 \	\ ^{'''}	闪虫的肌	赤 蚊 粒		方 於 林 内蚕蛤属	灰黑色玉	紅色五類	照色五旬 数 数	浅红色方	浅色萤石
E V	1k/	異鉄鉱 (中		អា ជា ច	郑水的缸	摊	放弃线机	紫黑色質	新石	白色方が石
#		(BA)	具 鉄 林		異 鉄 駄	黄鉄鉱	张黑色赏石	石		
二次首長	₹ 15		7/120							
以更新	試									
方 的	žt.	<i>₫</i>								
如 水 的	試									
チタンは	ţ ML									
異鉄	拡	-di701	allianailli.	70000	_	<i>1000</i>	<i>littiittituu</i>	anniniiiiina	1	
丼 蝌	粒		TAKE				***************************************	:023		
ピッチブレ	ンド		Tillinotten.				Decodilliti	nantiililiin	cm///	
赤鉄	缸		All transmiss							
白色微晶	石英				ATTITUTE .					
灰黑色斑点	石英							-million		
пемп	石英						antillitiin.			
打 泥	石		Modulio		_antiimmi	yllillillinin marii	taninaana)	7/100-0-000	Шинт	_
M B	Ą		-	one of the		and the same of th	Tulianian.		Witten and	Territo.
方 M	石	Ī		antilliliin.					-1011111111111111111111111111111111111	
黄	石						-mananan	ntillillin		

註:中国資料をほん訳

(PNC, 1993年)

〔Trade Tech, 1996〕の鉱化期の区分, 鉱物名などとは多少の相違がある。

1.10. 青龍(Qinglong)

(1) 交通・インフラ

位 置:青龍鉱化帯は北京(Beijin)の東20km, 河北省(Hebei Sheng) 青龍県(Qinlong Xian) にあり、遼寧省(Liaoning Sheng)との省境に近い (図1-10-1)。 北緯40°30′, 東経 119°30′にある。

交通は河北省秦皇島(Qinhuangdao) から車、または遼寧省興城(Xingcheng) から建昌(Jianchang) 経由で車による。最寄りの町の干溝(Gangou)まで約120km,車で3時間を要する。

本地域の標高は海抜324m, 薄い堆積物に覆われた低い山陵地域(比高約240m)である。

連絡先:1.3. 騰沖の項を参照の事

気 候:海に近いため、湿潤、温暖で年間平均気温は8~15℃、北京の気候で示せば月平均気温は1月の-9℃から7月の32℃まで変化する。年間降水量は約700mmで、月平均降水量は11月と12月の50mmから7月の325mm まで変化する。

(2) 権利関係

「藍田」に同じ。

(3) 鉱業権益

同上

(4) 許認可関係

同上

(5) 経緯・現状

1965年に鉱床露頭を発見し、1985年まで地質調査、物理探査、地化学探査、試錐・坑道探鉱が行われ、総探鉱費30、000、000元(1985年時価)が投入された。1984年10月、中国核工業部から日本に対し、青龍鉱化帯の共同探鉱・開発とウラン引き取りの提案がなされた。日本は現地視察団を派遣し、その提案を検討した。1986年7月、日中共同事業化の可否検討のため日中共同経済性評価の実施を決めたが、1989年2月、鉱床規模が小さく、経済性が無いという理由で中国側から中止の申し入れがあった。1988年9月には動燃事業団と中国核工業総公司地質局との間に、青龍鉱化帯周辺地区(建昌ー北票地区)の共同探鉱契約が締結された。

(6) 地質概要

本地域の地質構造は3帯に区分され、北部は内蒙古隆起断裂帯(Ⅲ)、南部に山海関隆起帯(Ⅰ)があり、これら2隆起帯に挟まれて燕遼沈降帯(Ⅱ)が分布する(図1-10-2)。

隆起帯では、構造運動の過程で侵蝕を受けた震旦紀の変成岩類、混成岩類、貫入岩類が露出しており、燕遼沈降帯には原生代末~中生代の堆積岩が堆積している。特に、燕山造山運動期(ジュラ紀~白亜紀)には、活発な火山活動があり、東西系の火山盆地が形成された。干溝盆地はその時代に断層によって形成された盆地である。

青龍地区は山海関隆起帯と燕遼沈降帯との接触部にあり、干溝盆地に位置している (図1-10-3)。干溝盆地はほぼ東西系の断層に挟まれた断層盆地で、この地溝帯の規模 は巾約 1 km, 延長約16kmである。

本地区には、呂梁造山運動期の斑状黒雲母花崗岩を基盤とし、これを覆ってジュラ紀の海房溝累層と藍旗累層が分布している。鉱床は海房溝累層下部の花崗岩質礫岩層および中~上部の凝灰質砂岩~礫岩中に賦存する(表1-10-1)。

鉱床は地層と調和して層状に分布し、地層中の酸化・還元帯境界に位置している。鉱 化部は炭質物、黄鉄鉱に富んでおり、岩石の色調は淡色である。鉱床は母岩の堆積後、 含ウラン地下水の循環によりまず一部のウランが母岩中に固定された後、更にその後の 火成活動に関連した含ウラン熱水により富化された砂岩型鉱床とみることができる。

構造的には地溝盆地を形成した東西方向の断裂構造により一次規制を受け、引き続いて生じた北東方向の断裂構造により二次規制されている。

ウラン鉱物はピッチブレンド, コフィナイト, 二次鉱物としてりん灰ウラン石が確認 されている。

主要鉱床は以下のとおりである。

1) 嶺頭鉱床

母岩は海房溝累層の中部層と上部層の凝灰質礫岩である。凝灰質礫岩の礫は凝灰岩と花崗岩が主で、他に少量の砂岩、粘板岩の礫を含み、マトリックスは凝灰質である。層厚は30~50mで、河川成~湖成層である。鉱化作用は炭質物を伴う凝灰質礫岩中に集中しており、鉱床の形態はほぼ層状で、その深度は 150~130mである。

主鉱体の規模は走向方向に800m, 厚さ0.22~21.92m (平均4.66m)で傾斜方向に450m 連続している (図1-10-4, 1-10-5)。

1991年11月, 地質局は日中専門家会議にて鉱量2,670tU, 品位0.16MUと公表している。

1976年から開発のための立坑、斜坑の掘進、関連設備の建設などの準備に着手したが、1980年に中止した。

2) 干溝鉱床

嶺頭鉱床の西方5kmに位置し、1986年に探査を終了した。

母岩は海房溝累層下部層の花崗岩質礫岩である。花崗岩質礫岩は岩石の色により紫色花崗岩質礫岩と淡色花崗岩質礫岩に分けられ、鉱床は後者の中にのみ存在する(図 1-10-6, 1-10-7)。

花崗岩質礫岩は河川成で一部にレンズ状の砂岩層を挟んでいる。角礫〜円礫の花崗岩が主で、礫の大きさは一般に15〜25cm、最大のものは1mに達する。礫の含有量は65〜70%で、基質は泥質、砂質で多量の鉄分を含んでいる。

鉱床深度は 300~500mで、地層の酸化・還元帯の境界分布と一致している。鉱床は層状~レンズ状で、走向に延長1,000m、厚さは0.08~15.69m(平均4m)で、傾斜方向に 300~400m連続している。

1991年11月, 地質局は日中専門家会議にて鉱量 4,790tU, 品位0.16%Uと公表している。

3) 石蓋子鉱床

千溝鉱床の更に西方 4 kmに位置し、1988年からの動燃事業団との共同探鉱によって鉱量が増大した。

鉱床は干溝鉱床と同じ層準にあり、鉱化条件も干溝鉱床に似ている。

1991年11月, 地質局は鉱量 415tU, 品位0.17%U, 厚さ2.26m と公表している。

(7) 採 鉱

青龍(河北省)や連山関(遼寧省)などのウラン鉱山が計画されているが、開発作業は遅れている。Trade Tech社ではこれらのプロジェクトの開始は1998年頃と予想している。

(8) 製 錬

青龍ウラン粗製錬所について入手できる情報は無い。開発作業は遅れており、粗製錬 所完成の時期ははやくても1998年頃と予想される。

(9) 生産コスト

ウランの生産コストを計算するのに充分な情報は入手できないが、 $Trade\ Tech社は青龍におけるウラン生産コストは US$15~20/1bU<math>_3$ O $_8$ (39~52/kgU)であろうと推定している。

(10) 生産体制

青龍におけるウラン生産は1998年頃、308tU/年の生産容量で始まると予想される。 ウラン生産と生産容量は下記のように予想される。

	生産量(tU/年)	生産容量(tU/年)
1998年	2 3 1	2 3 1
1999年	3 0 8	3 0 8
DIRA I	T 1	

以降同上

(II) 生産物の販売実績,計画 「藍田」に同じ。

(12) 環境保全対策

间 上

(13) 政策

同上

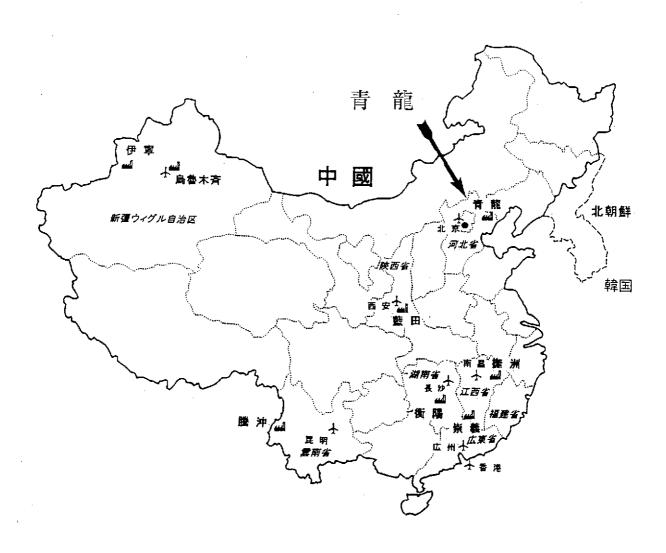


図1-10-1 青龍(河北省)の位置図

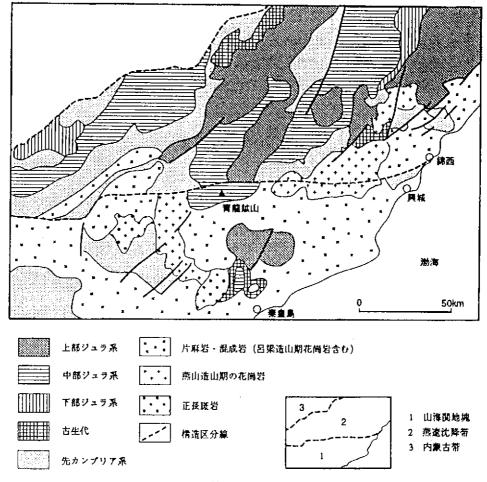


図1-10-2 青龍鉱床地区地質構造略図

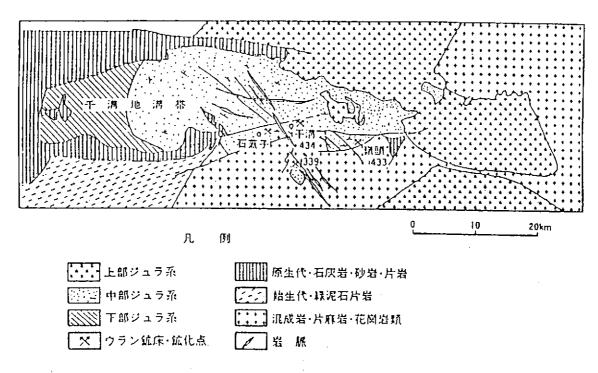


図1-10-3 青龍鉱床地区地質図

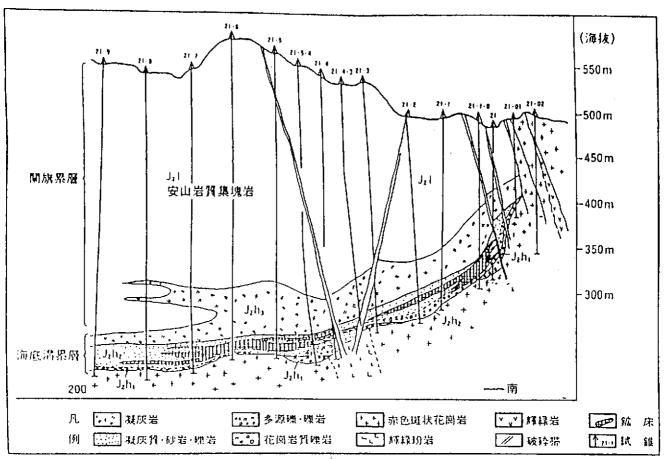


図1-10-4 嶺頭鉱床南北断面図

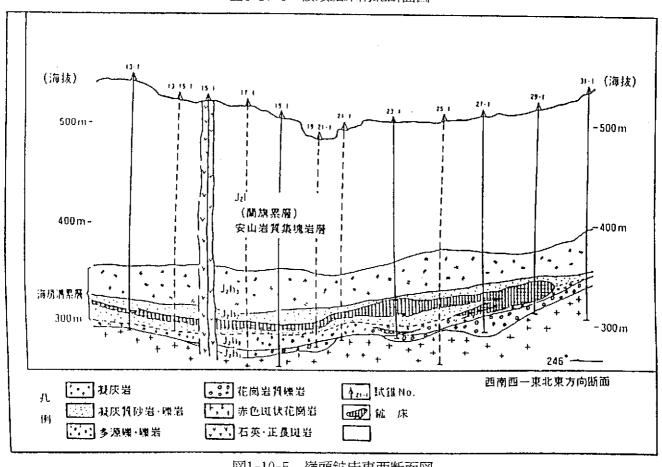


図1-10-5 嶺頭鉱床東西断面図

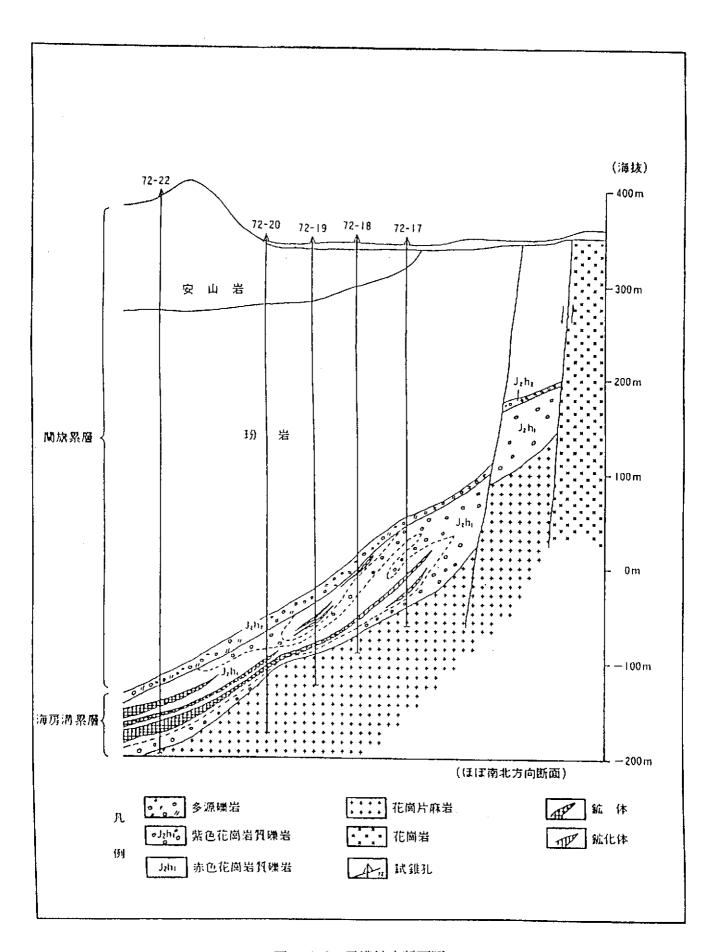


図1-10-6 干溝鉱床断面図

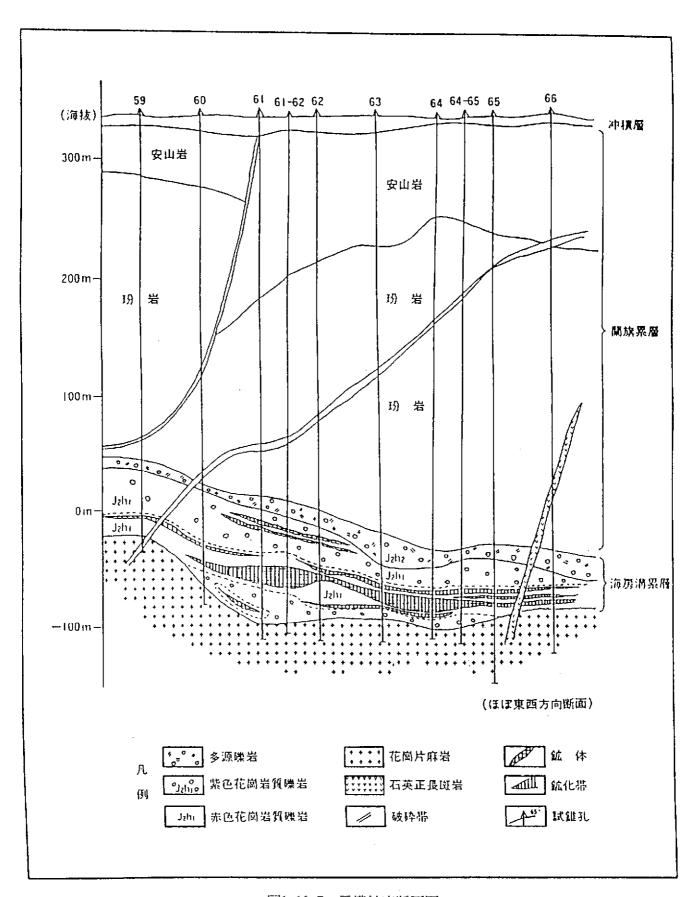


図1-10-7 干溝鉱床断面図

表1-10-1 青龍鉱田地質屬序表

		Ī —				<u> </u>			
地名	23名		岩種および地層名	柱状	岩相	周 厚 _m	岩石粒度 細←→大	火山物質 小←→多	ウラン 鉱 化
	run	\$	7 山 岩	V V	火山噴山	200 (1,000		,	
	旗	3 .1	灰質砂岩	4. 8. 4. 2		50			
	絮	安	山岩~玢岩	A A A	火山帆出	400			
t ja	燈	规	灰質多源機岩	0 * 0 " 0	河川相	20_50		ر ا	
	J,J	安	山岩~安山岩集塊岩	, v	火山噴出				
	į	凝	程灰岩-程灰質砂岩	# > // *	M 40		/		
部		灰岩岩	租粒凝灰岩	" . "					
	; 79		和拉 赛灰岩	以	<u>.</u> :	50			
		疑		经经验	湖				
ジ		灰角	凝灰角礫岩	// 4 // 4	相	'			
	ĪĴ;	弾	含碟凝灰岩	1011011		150	[
		岩	凝灰角 礫岩	# 0 # 0 #	_				
ב		J _z h,	及八月味石 凝灰質砂岩	A # A #)	
	清	凝灰質	廷庆賢砂岩 泥 質 砂 岩	4	:W 10				î
_		質多源	雜岩一相粒砂岩 含炭質物·凝灰質細噪岩			18			(計 計 頭 底 床
ラ		· 源 . · 理 · · 岩	含炭質物 凝灰質中噪岩	0000	河川相	15 			Œ
	桨	ख राम्	多源噪岩	0000	河川 ~ M/IO	10		(
系		花	淡灰色凝灰質·花崗岩質噪岩	0" 0.0.					
		園	紫色花崗岩質雕岩	10 0 0		70			!
	層	岩	(粗粒砂岩を挟在) 	0000	山				
		質	淡赤色花崗岩質礦岩	0 0 0 0	河川	1			₩ 1
	J _t l1	礫	(砂岩を快在)	0000	相	110			(干) (干) (干) (干) (干)
		岩		000	" -)		
<u> 7.E−</u>		Jah	紫灰色花崗岩質礫岩 (砂岩を挟在)	0000					
先カンブリア系			白色~淡赤色斑状花崗岩 岩·砂岩·片岩·石灰岩	Min's					
リック		1	海片麻岩 - 南片麻岩	11.11:1					
派								<u> </u>	

1.11. 連山関(Lianshanguan)鉱山

(1) 交通・インフラ

連山関地区は遼寧省の省都瀋陽(Shenyang)市の南120km, 本渓(Benxi)市の南40kmに位置する。北緯40°59′,東経 123°30′。交通は鉄道で瀋陽市から丹東(Dandong)市へ向かう瀋丹線の途中駅下馬塘(Xiamatang)まで約2時間,さらに連山関鉱山の現場事務所まで車で2時間を要する。

連山関地区の西方および北方には製鉄で有名な鞍山(Anshan)市や本渓市が所在する。 この両市の周辺には弓張嶺(Gongchangling)鉱山などの鉄鉱山や炭鉱が存在する。

連山関地区は上記の鞍山、本渓両市から40~60km離れており、標高差 100~400mの山 陵地帯であるが、沢に沿って農耕地がみられる。

気候は温帯に属するが、 -17° C \sim 36 $^{\circ}$ C(年平均気温 $4\sim$ 10 $^{\circ}$ C)である。年間降水量は約1,000mm である。

(2) 経緯·現状

中国全土で組織的調査が行なわれた1960年代から遼東半島地区のウラン探査か行われてきたが、連山関地区では1975年にγ線測定で得られた放射能異常地域におけるラドン法調査の結果、地表にて鉱黴が発見された。その後、大規模なトレンチ調査が実施され、1978年には試錐探査が開始されて1981年末までに 139孔、34,000m(50m×50m グリツド試錐)が掘さくされた。1982年には、開坑のための斜坑が掘進された。

1990年に核工業総公司地質局は、連山関地区のウラン鉱床を中国で初めて発見された不整合関連型鉱床として、1990年代の主要探査ターゲットの一つに掲げた。1991年から採掘を開始するという話もあったが、1992年に斜坑口が閉鎖された。

(3) 地質概要

遼東半島地区には、始生界、下部原生界、中〜上部原生界が分布し、それぞれ不整合関係にある(表1-11-1)。これらの不整合は、それぞれ鞍山運動(2,500Ma前後)、 呂梁運動(1,900Ma)に関連する。始生界と下部原生界は東西系の背斜構造を存し、これを北東-南西系の断層が切っている(図1-11-1)。

始生界は花崗岩(主にミグマタイト)と緑色岩(鞍山層群)からなる。鞍山層群は中性-塩基性火山岩類と泥質・粘土質岩よりなり、17,000mの層厚を有し、鉄鉱層を伴う。ウラン含有量は3~13ppmUである。

下部原生界は遼河層群と呼ばれ、緑色片岩相から角閃岩相の変成を受けており、ウラン含有量は4~14ppmUで、不整合面直上では高い。下部層は砂岩、泥岩、火山岩類から

なる浪子山(Langzishan)累層である。

連山関地域の鉱化作用は、始生界と下部原生界の不整合付近、あるいはそれに沿って 認められる(図1-11-2、1-11-3)。

連山関鉱床の母岩は、始生界との不整合面直上の下部原生界の基底である浪子山累層 基底部の著しく変質(絹雲母化)した珪岩と、不整合面直下の脱色変質(絹雲母化、曹 長石化、珪化)した始生界のミグマタイト質花崗岩である。浪子山累層下部の珪岩上部 にも弱い鉱化作用が見られるが、これは変質を受けておらず、主鉱化帯から約 50m上位 に位置する。

鉱化作用は不整合関連型と変成型に分類される。変成型鉱体は浪子山累層下部の珪岩上部に認められ、層準規制鉱床である。黄鉄鉱、炭質物(石墨)を伴い、石英、黒雲母、ザクロ石を含む。平均品位は 0.1~0.3%U で、1鉱体100tU 程度である。

連山関鉱床の主要鉱体は不整合関連型で、不整合面と北東系断層の交差部に、絹雲母化珪岩および絹雲母化・珪化ミグマタイト質花崗岩を母岩として、断層に沿って分布し、背斜構造に規制されている。その分布は背斜軸部および軸部近くの両翼に走向ENE-WSWで急傾斜をなし、ピッチブレンドの網状細脈を伴うレンズ状ないし紡錘状の複数の鉱染状鉱体から成っている。深部方向へは500m程伸長する。鉱石は閃ウラン鉱ーピッチブレンドーコフィナイトー石英およびピッチブレンドー石英ー絹雲母の2種類が認められる。絹雲母化作用、珪化作用を伴うが、著しいものではない。各鉱体は、それぞれ約700til、平均品位0.5%以上、最大1.0%Uで、最低5鉱体は存在する。連山関鉱床の鉱化作用は複雑なものであろう。低品位のウランを含む浅海成の砕屑性堆積物が広域変成作用を受けた際に、ウランの移動、濃集が生じ、初期の鉱化作用が行なわれた。さらに、その後の熱水作用によりウランの再移動が行われ、不整合面、断裂帯などの地質構造に規制されて高品位のウラン鉱床が形成された。

二次ウラン鉱物としては、グンマイト[Gummite、ウラン鉱物集合体]、 ウラノフェン [Uranophane、 $Ca(UO_2)_2(SiO_3)_2(OH)_2 \cdot 5H_2O]$ 、カソライト[Kasolite、 $Pb(UO_2)SiO_4 \cdot H_2O]$ 、りん灰ウラン石、りん銅ウラン石その他が認められるが、量は少ない。黄鉄鉱、磁硫鉄鉱、黄銅鉱、方鉛鉱などの硫化鉱物が伴う。

鉱化年代は、変成型鉱体からは 2,085Ma、不整合関連型鉱体からは 1,871~1,829Ma が得られている。

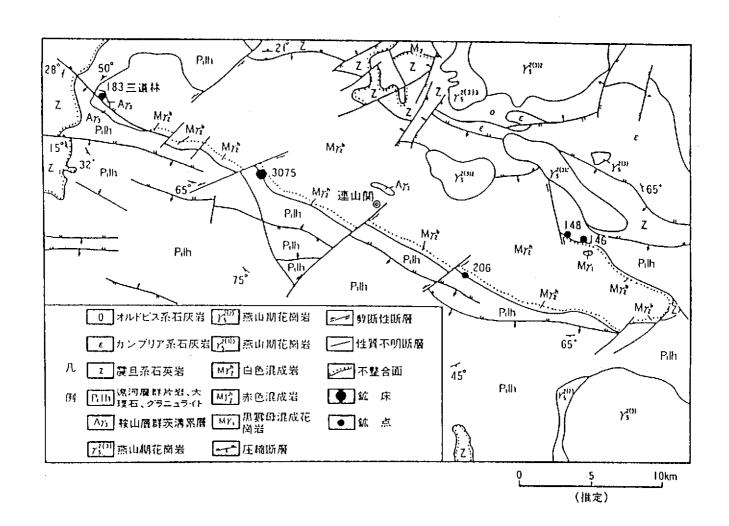


図1-11-1 連山関地区地質図

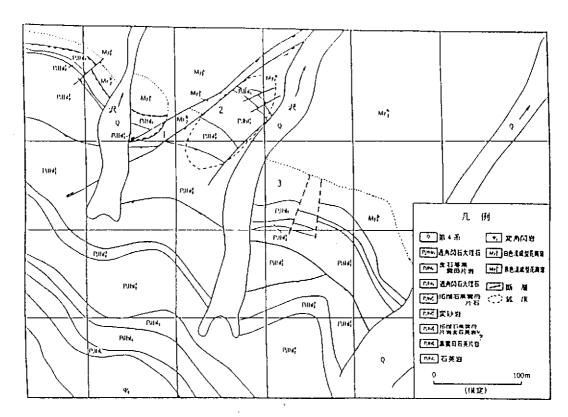


図1-11-2 連山関鉱床地質図

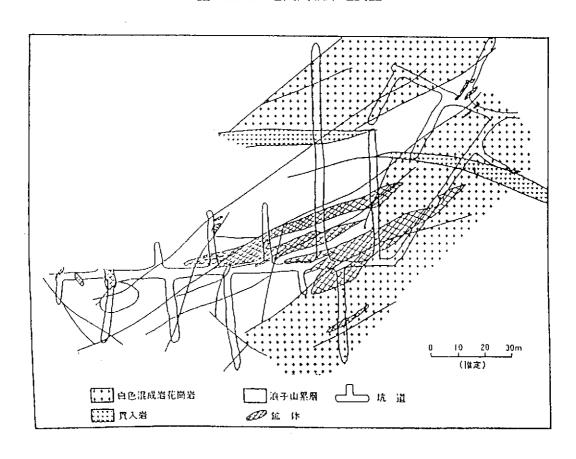


図1-11-3 連山関ウラン鉱床260 レベル地質図

表1-11-1 連山関地区地質層序表

上部原生界		震旦系		白色石英岩,泥灰岩,頁岩互屬				
			藍県累層	千枚岩				
		大石橋累層高家峪累層		大理石,泥質大理石,千枚岩,砂質板岩,黒雲母片岩, 透角閃石大理石				
下				千枚岩,砂質板岩,透角閃石大理石				
部	遼		爾峪累層	透角閃石大理石、レプタイト、大理石				
原	- 河層		四段42m	千枚岩黒雲母片岩,含石墨片岩,含石墨黒雲母片岩, 混成型石英片岩				
生生	群	浪子山累層	子山累	子 山	三段21m	透角閃石大理石,大理石		
界					山	山	二段170m	絹雲母片岩, 石英岩, 混成岩, 柘榴石雲母片岩 (ウラン鉱化)
				一段30m	白雲母片岩,角閃片岩,緑泥石角閃石片岩,石英岩,レプタイト,磁鉄石英岩、片麻状黒雲母花崗岩 (ウラン鉱化)			
始生界	鞍山層群	安 山		斜長角閃岩, 角閃片岩, 緑泥石角閃石片岩, 石英岩, レプタイト, 磁鉄石英岩, 片麻状黒雲母花崗岩 (ウラン鉱化)				

1.12. 藍田(Lantian)

(1) 交通・インフラ

位 置:藍田は陝西省(Shaanxi Sheng) の省都西安(Xian)の東方20kmに位置し、北緯34°, 東経 109°。藍田は渭河(Wei He)のすぐ南、秦嶺(Qinling) 山脈の北約50kmにある(図1-12-1)。

交 通:西安との間は道路と鉄道で結ばれており、最寄りの空港は西安。渭河は少し下流で黄河(Huang He)に合流する。

連絡先:1.3. 騰沖の項を参照の事

気 候:当地の気象情報は無い。参考として、南西へ約 600km離れた重慶(Chongqing) の気候は、月平均気温は1月の5℃から8月の35℃まで変化し、降水量は1月と2月の 100mmから5月と10月の 325mmまで変化する。

(2) 権利関係

運営形態:中国のウラン生産センターは中国政府によって所有され運営されるが、直接の指示・監督はエネルギー省と中国核工業総公司(CNNC)によってなされる。CNNCは国家評議会の直轄下にあり、旧核工業部の後継機関で300,000人の人員(うち科学者と技術者70,000人)を擁し、200以上の企業、会社、機関を含んでいる。CNNCの主な役割は次の通りである:

- ○原子力発電所の建設と運転
- ○研究施設の維持
- ○原子力、電気、冶金の各産業分野における機器の設計、生産。 CNNCの特別な部局は保安、環境・健康管理を所轄している。

中国におけるウラン産業のうち、ウラン探査はCNNCの地質局、ウラン採掘は同じく 採鉱冶金局によって監督されている。一方、地質鉱産省の役割は新たに発見されたウ ラン鉱床開発の外資と合併先を導入することである。

(3) 鉱業権益

外国からの投資に対する中国の"門戸開放"政策の採用により、最近、民間鉱山会社と所有権の話合いに入るケースが見られる。外国の会社に国内の様々なプロジェクトに係わる鉱業権を与える法的拘束力の強い中国政府との協定が、従前の信頼性の低かった趣意書(letters-of-intent)と置き換わりつつある。

例えば、動燃事業団(PNC) は1994年9月に、遼東半島(Liaodong Peninsula) (瀋陽 (Shenyang)の東) でウラン探鉱をCNNCとの合併で行う協定を結んだ。この地域には中部

原生界と下部原生界の間の粘土変質部に胚胎された高品位ウラン鉱床が分布すると目されている。

鉱業プロジェクトは政府とオープンに論議できる。しかし、"公式リスト"に載せられていないプロジェクト情報へのアクセスは、個人的接触の発展の結果として、特定のプロジェクトについて長期的な関心を持っているという真剣な意図を表明することによってのみ叶えられる。

(4) 許認可関係

中国核工業総公司(CNNC)の中国ウラン地質局(前身は中国核工業部地質局)がウラン資源探鉱の重責を担っている。ウラン地質局は1955年に設立されたウラン地質と探鉱に関する国立の研究機関である。ウラン鉱床の探鉱と開発に要する資金は総て政府から支給される。中国のウラン産業は中央集権化されており、省が独自にウランの探鉱と採掘を行うことは許されていない。

ウラン地質局は次の3研究機関によって支えられている:

- 1)探鉱研究所
- 2) 北京ウラン鉱石処理研究所
- 3) 河北省にある鉱山計画・設計研究所

また、ウラン地質局には下記の6ヶ所の地方地質・探鉱局がある:

核工業華東地質勘探局:江西省南昌市

核工業中南地質勘探局:湖南省長沙市

核工業西北地質勘探局:陝西省西安市

核工業東北地質勘探局:遼寧省沈陽市

核工業華南地質勘探局:広東省韶関市

核工業西南地質勘探局:四川省広漢市

(5) 経緯・現状

中国におけるウラン探鉱は1955年に核工業部(現エネルギー部)の下で始まった。最初の探鉱対象地域はソ連との国境近くにあった。その当時のウラン探鉱と生産は軍事目的に限られており、ウランの商業輸出と平和利用が中国で始まったのは1980年代はじめである。

1960年代の半ばまでの探鉱は露頭のあるウラン鉱床を発見する目的で行なわれた。その結果、北西中国の伊犁盆地(Yili)の石炭を胚胎したジュラ系の中で達拉地(Daladi)と豪其庫尔(Mengquer)を含む砂岩型ウラン鉱床が発見された。1960年代に発見された鉱床にはこの他に、湖南省の白亜系-第三系中の浦魁堂(Pukuitang)砂岩型鉱床と新彊地方

の古生代後期火山岩中の白揚河(Baiyanhe)鉱床がある。希望(Xiwang)鉱床は1957年に確認された、中国で最初に発見された花崗岩中のウラン鉱床である。

1960年代から1970年代にかけては鉱床学的研究と探鉱により広西壯族自治区の炭素質 - 珪質泥岩中の剷子坪(Chanziping),河北省の砂岩中の青龍(Qinlong) 鉱床,遼寧省の砂岩中の建昌(Jianchang) 鉱床,中国北西部に位置するシルル紀珪質石灰岩中の鉱床,江西・広東両省の火山岩および花崗岩中の鉱床,ならびに雲南省西部にある砂岩,石炭および礫岩中の第三紀後期の鉱床など多数の鉱床が発見された。

1970年代半ばから今日までは、探鉱には土壌ガス測定、小孔径ボーリングおよび電算化された地質データ研究が含まれる。北部中国台地における未公認の鉱床モデルに基づいてウラン探鉱作業が行われた結果、燕遼(Yanliao) 鉱化帯において火山岩および砂岩中の鉱床が追加して発見された。中国南部地方でも、最近新たな鉱床が発見されている。

中国のウラン鉱山と製錬施設の建設は1958年に始まった。1963年までに湖南省の衡陽 (Hengyang)粗製錬所建設と共に郴州(Chenzhou),大浦(Dapu)両鉱山が操業を開始している。江西省の撫州(Fuzhou)と新彊自治区の伊寧(Yining)の鉱床開発と粗製錬所の建設も続いて行われた。撫州の4鉱山は1965年から1966年にかけて鉱石の生産を開始し、撫州粗製錬所は、新彊自治区にある伊寧粗製錬所と同様に、1976年に操業を開始した。

1980年には鉱山と粗製錬所の多くは、大浦、伊寧両鉱山および伊寧粗製錬所を含めて、閉山か一時休止を余儀なくされた。青龍(Qinglong)の開発計画も他の有力な生産センターと同様に延期された(青龍は現在のところ2000年までに開発される見込みである)。1980年代初めに、雲南省の鉱床でインシチュ・リーチング(ISL) 法でウランを採取する試験が行われ、より少ない投資、より短い開発期間、適切な保安と環境保護を含む経済的利点が明らかにされた。 ISL法は中国南西部と北西部の砂岩型ウラン鉱床の生産方法として採用され、1991年には中国産ウランの約1%を生産している。

1980年代の初期から半ばにかけて、中国環境保護庁(Chinese National Environmental Protection Agency) は、中国北東部の平野と南東部の低地で土壌中のウランとトリウムの濃度を調査した。全部で 860の地点からサンプルを集め、分析の結果、中国全土で 0.42~21.1mg/kgのウランと 0.003~100mg/kgのトリウム濃度を記録した。

推定3,000tのウランを含む新鉱床が、1990年代半ばに内モンゴル(Nei Mongol)と新疆 (Xinjian) 両地域で発見された。現在、中国の地質鉱物資源部はこれら鉱床を開発するために、合併事業に参加する外国の投資企業を探している。

(6) 地質概要

祁連-秦嶺(Qilian-Qinling)ウラン鉱床区は中国中央部にあり、北西-南東方向の走行を有する一連の狭い褶曲帯で三つの明瞭なウラン鉱化期を含んでいる。

西竜首山(Longshou Shan) にペグマタイトーアラスカイトが存在する。この地域の最初のウラン鉱化期の地質年代は 600~700Ma である。

ヘルシニア期のNa交代作用(曹長石化作用)と珪化を伴う鉱脈型鉱床がこの地区の中央部に存在する。交代型鉱床は主として東竜首山のカレドニア期花崗岩底盤地域のシルルーデボン紀の砂岩・礫岩中に胚胎する。このタイプの鉱化作用の地質年代は200~300 Maである。いくつかの鉱化作用が多数の花崗岩体とその周辺部の若干に認められる。これらの鉱化作用の地質年代は約96Maである。珪化した鉱脈型ウラン鉱床は南部の古生代火山砕屑岩地域に胚胎している。

石英閃長岩の周りのジュラ紀の砂岩型ウラン鉱化作用はこの地域の最東端部に認められる。

(7) 採鉱

藍田鉱山では年間生産容量31t $U(80,000 * 1b. U_8 O_8)$ のヒープ・リーチングを含む操業が1984年に開始されたこと以外には採鉱法に関する情報は無い。

(* 註訳:原報では80million lb U_3O_8 となっているが、80thousand lb U_3O_8 の誤りと考えられる)

(8) 製 錬

藍田粗製錬所で用いられている製錬プロセスに関する情報はない。

(9) 生産コスト

ウラン資源と生産に関する包括的情報の公開を差控えるという中国の政策により, ウラン生産コストを計算するのに十分な生産統計は存在しない。

情報不足のため、Trade Tech社は藍田におけるウラン生産コストを、 $1b~U_3O_8$ 当たり US\$20 と US\$25の間と推定してる。

(10) 生産体制, 実績, 計画

藍田におけるウラン生産は1984年に開始されたと信じられる。過去および将来における年間のウラン生産量と生産容量はおよそ31tUであると推定される。

(11) 生産物の販売実績,計画

1980年に核工業省によって中国核子能工業総公司(CNEIC) が設立された。CNEIC は核工業省のプラントや研究所から生まれる様々な製品やサービスに関する輸出入代理業者である。CNEIC はまた外国における中国産ウランの販売も掌っている。

西側諸国へのウランの輸出は1982~1984年の間に50 t のウランが日本へ送られたのが最初であった。さらに上海(Shanghai)の近くの蘇南(Sunan)における1000MWe(100万kW)圧力水型(PWR)原子力発電所設備2基の建設に関係したバーター貿易の話合いにおいて、CNEIC は2000年までに6,000tのウランをドイツの電力会社へ供給する申し入れを行った。しかし、1986年初めに中国政府が原子力発電所の建設計画を延期したため、関連のウラン販売協議は失敗した。しかし、ドイツのGemeinschafts Kernkraftwerk Neckar (GKN)だけが1980年代半ばまで、毎年約100tのウランの供給を受ける契約を結んだ。

この他のヨーロッパの電力会社との契約が続いて行われた。1986年4月にはEDFは1990年までウランの供給を受けるCNEICとの契約に調印した。1987年9月には、フィンランドのTVOは8年間に総量で600tのウランの供給を中国から受ける契約を締結した。EDFは最初のウランを転換のために上海からComurhexへ出荷させたが、GKNとTVOは別の供給パターンをとっている。ウラン精鉱はシベリア横断鉄道を経由して転換と濃縮のためにソ連へ運ばれ、ここから濃縮UF。は西欧の委託燃料加工プラントへ送られる。それ以来、CNEICは1990年代後期までウランを出荷する販売契約を日本の中部電力(㈱および東京電力(㈱と締結:インドの原子力委員会とは1995年に出荷する販売契約を締結:米国のVirginia Power and Pacific Gas and Blectric Co. とは1995年まで出荷する販売契約を締結すると共に、1993年にはNUEXCOへ若干のスポット出荷をする契約を結び:Synatomとは2000年までの出荷契約を結んだ。

将来における中国のウラン販売の大半は、中国原子力の計画的成長へ供給するため国内に向けられると見られる。

CNEIC の最大の供給契約は中国核工業総公司(CNNC)と広東(Guangdong) 原子力発電JV に対するものであり、いずれも2000年を越えて結ばれている。

(12) 環境保全対策

中国核工業総公司は核の安全、環境および健康保護の問題を掌る特別な部門を有している。

環境と開発に関する中国国際協力審議会(CCICED)は1992年に、環境と開発の分野における中国と国際社会の間の協力と交流を強化する高レベルの諮問機関として設立された。その結果、中国は環境の監督と管理を強化することにより環境法規の執行に関し、より厳重になりつつある。

(13) 政策

・ウラン産業に関する政府の一般的政策

中国政府の原子力政策によれば、中国の原子力施設で使用する総てのウラン燃料は

国内の生産によって賄われねばならない。さらに、ウラン製品のある量は国際市場で 販売される。従ってかなりの量の天然ウランを毎年生産する必要があり、そのかなり の部分は低品位鉱から抽出されるだろう。

中国核子能工業総公司(CNEIC) は1980年に中国政府によって設立された。中国唯一の輸出入機関としてCNEIC の役割は、中国エネルギー部(省)直轄組織である中国核工業総公司(CNIC)の総ての輸出入活動を扱うことである。CNEIC は中華人民共和国と世界中の諸国との間の総てのウランと核燃料取引の管理とマーケッティングを掌る。しかし、国が"門戸開放"政策へ向うにつれ、中国国家評議会は産業振興のための政策大綱を発表し、これにより100以上の商品が海外投資に効果的に開かれた。地質・鉱物資源部(省)によれば、全部で28件の中国ー外国JVが非燃料鉱物資源の探査のために形成され、石油・天然ガスのエネルギー資源部門では60のJVが開始された。この国は現在、中央計画経済から市場指向経済への転換期にある。1995年の終わり近くに、中国は過去10年間で最大の貿易自由化計画をを打ち出した。この計画は世界貿易機構(World Trade Organization)への中国の加入につながる重要なステップである。計画の一部として中国は輸入関税の30%削減を1996年に開始する約束を行い、また、170の輸入割当を廃止する予定である。また中国は通貨改革計画を実施するが、これにより世界で最も人口の多い市場における外国からの投資が若干促進されると思われる。

・国際協定

中国は1984年1月1日に国際原子力機関(IAEA)に加入し、1985年には米国と平和的核協力協定を締結した。中華人民共和国の総での核燃料産物はIAEAの保護と規制および様々な国との核協力協定の下で提供される。中国はアルゼンチン、ベルギー、ブラジル、ドイツ、フィンランド、フランス、イタリア、日本、パキスタン、スイス、英国および米国を含む多くの国と二国間協力協定を結んだ。これらの協定は原子力の分野においてより密接な協力に道を拓くものである。さらに、中国はウラン探査活動に参加するよう若干の国に要請している。



図1-12-1 藍田(陝西省)粗製錬所の位置図

1.13. 伊寧(Yining)-鳥魯木斉(Urumqi)生産センター

(1) 交通・インフラ

位置:伊寧-鳥魯木斉生産センターは新彊維吾爾自治区(Xinjiang Uyguer Zizhiqu) 西部にある(図1-13-1)。

伊寧(伊宁)はほぼ北緯44°, 東経82°にあり、カザフスタン(Kazakhstan)国境から約75km東の婆羅科努(Borohoro)山脈の南麓に位置する。

烏魯木斉はほぼ北緯44°, 東経88°にあり、伊寧の東約460km, 博格達 (Bogda) 山脈中にある。同山脈の最高峰は博格達峯(Bogda Feng, 海抜1, 860m) で烏魯木 斉の東約35kmにある。

交 通: 鳥魯木斉には空港があり、ここから道路を南西に約160km で巴命台(Balguntay)、 さらにそこから北西に転じ約440km で伊寧に至る。

連絡先:「衡陽製錬所」に同じ。

気 候:伊寧の気候を西南西約 360km, カザフスタンのアルマティ(Almaty)で代表させる。

月平均気温 低 -14℃ (1月)

高 27℃ (7月,8月)

月平均降水量 低 10.16mm (9月)

高 30.48mm (4月)

(2) 権利関係

「衡陽製錬所」 に同じ。

(3) 鉱業権益

同上

(4) 許認可関係

同上

(5) 経緯·現状

伊寧製錬所は1964年に完成したが、鉱山の操業は1970年に開始され、達拉地(Daladi)、 蒙其庫尓(Mengqiguer)両鉱山からの鉱石を処理した。これは在来法による採掘と破砕で あったが、現在は操業が中止されている。

達拉地、蒙其庫尓鉱山は1955年に発見されたが、資源涸渇のため在来法による操業は

数年前に終了した。No.512 鉱山で1989年に実験が完了した ISL法による操業が1995年から行われることになっている。

「鳥魯木斉施設」についての情報は全くない。

(6) 地質概要

伊寧-烏魯木斉センター(以後伊寧生産センター)は北西中国に位置し、准噶爾(ZhungelまたはJunggar)-天山(Tianshan またはTienshan)ウラン鉱化地域にある。この鉱化地域は2本のヘルシニア褶曲帯から構成される。すなわち、北には走向NW-SEの准噶爾褶曲帯があり、東准噶爾、西准噶爾および中央山脈に3区分される。南には走向E-Wの天山褶曲帯があり、北天山、南天山および中央隆起帯に3区分される。

准噶爾-天山褶曲帯は北のカレドニア阿爾泰(Altay) 褶曲帯と南の塔里木(Tarim) 台地の構造的接触部に位置している。

塔里木台地北縁は喀什(Kashi) 沈降帯, 柯坪(Keping)地塊, 庫車(Kuche) 沈降帯および庫魯克塔格(Kulugetake)地塊からなる。「地塊」は先カンブリア界, 「沈降帯」は中生界-新生界である(図1-13-2)。

この地域の露頭岩の44.4%は中生代と新生代の砂岩である。

- ・鉱化作用:この地域の主要ウラン鉱化作用は火山岩型と砂岩型である。
 - ① 火山岩型鉱化作用:
 - ・西准噶爾区:石炭紀酸性火山岩と微花崗岩質斑岩の割れ目や裂か中に胚胎する。白 揚河(Baivanhe)鉱床がこの例。
 - ・北西天山区:火成活動は、二畳紀の石英斑岩である。
 - ・北東天山区:火成活動は、安山岩質斑岩で、二畳紀陸成含燐酸塩砂岩中に貫入している。
 - ② 砂岩型鉱化作用:
 - ・中央隆起区および南天山区:ジュラ紀砂質盆地では砂岩層中に含ウラン石炭層が含まれる。

上 位 層 : 透水性赤色アルコーズ砂岩

含ウラン層: 含石炭灰色砂岩(上位層の最下部層)

下 位 層 : 不透水性粘土質岩, 礫岩

基盤岩: 石炭紀/二畳紀中性-酸性火山岩/ヘルシニア期花崗岩

達拉地(Daladi),蒙其庫尓(Mengqiguer)鉱床はこの型である。

・鉱 床:達拉地,蒙其庫鉱山のウラン鉱床は平均厚さ4m,平均品位0.052%Uである。ウラン鉱床は透水性(または滞水性)砂岩層の下部にあたり,暗灰色粗粒砂を泥質物が膠結しており,透水係数は0.7~1.5m/日(8×10⁻⁴-1.7×10⁻³cm/sec)である。ウラン鉱床を含む透水性砂岩層下位の暗灰色砂質粘土岩の透水係数は0.1m/日(1.2×10⁻⁴cm/sec)である。これは ISL操業に適当な環境である。ウラン鉱物については不明であるが、伊寧南東約 300km、塔里木盆地の北縁の第三紀鮮新世陸成堆積岩中に胚胎する砂岩型の日達里克(Ridalik) 鉱床のウラン鉱物はチュヤムン石,カルノー鉱、ウラノフェンでいずれも二次鉱物である。

チュヤムン石[Tyuyamnite, $Ca(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot nH_2O$] カルノー鉱 [Carnotite , $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$] ウラノフェン[Uranophane, $Ca(UO_2)_2(SiO_3)_2(OH)_2 \cdot 5H_2O$]

(7) 採 鉱

達拉地、蒙其庫尔鉱山がある。

- ・採鉱法:数年前まで坑内掘り(在来法)であったが、1995年から ISL法による操業を 予定している。
- ・採鉱能力, 生産量:不明。在来法の時代は鉱石処理80,000t/年, ウラン生産50tU/年・採鉱計画:1995年からISL操業。
- ・ISL によるウラン採鉱の実地試験

准噶爾-天山ウラン鉱床地域ではNo.512 鉱山(天山地区にあるジュラ紀砂岩中の砂岩型ウラン鉱床)で ISL法によるウラン採鉱の実地試験が行われ、1989年に終了した。 試験の概要は以下の如くである。

- ① 対象鉱床:砂岩型ウラン鉱床。詳細は「地質概要」の項参照。
- ② 試験施設:土地30,000m²

坑井: 25m×25m グリットで43本掘削。下位の不透水層数mで掘り止め。

-99.7m~坑底 径110mm } コア・ボーリング

- ・鉱床部仕上げ:径75m/m(厚さ 8mm×123mm 長)PVCケーシング+3.89m長スクリーン+3.3m 坑底管(下底部閉塞)。
- ・上部仕上げ:径150mm 坑井の底部のケーシング外側に支持リングを設置 し、ケーシングと坑井壁間のギャップは支持リングから坑 井口までセメント・グラウトで充塡する。
- 洗 净:6~12時間後セメントが固結したら坑井を洗浄する。最初

伊寧(Yining) — 烏魯木斉(Urumqi)生産センターはエア・リフトで $4 \sim 6$ 時間汲みあげる。次いでプランジャー・ポンプによって吸い込み洗浄する。

・坑井の種類:坑井は注入井,生産井あるいは探査井(鉱量評価の確認度をあげるためのもの)のどれにでも使える。グリット配列した坑井のうち5坑井のグループで注入,揚水試験が行われた。生産井は中心にあり、四隅に注入井がある。

③ 試 験:

- ・浸出液はポンプによって $2\sim3$ 気圧で坑井に注入され、貴液は生産井からエア・リフトで揚水される。浸出液の硫酸濃度は当初 2%、漸次 8%にまで増加される。過酸化水素濃度は0.55g/1。40日間の浸出後に吸着液が浸出液に加えられる。92日間で $9.828m^3$ の浸出液が注入され $11.664.4m^3$ の貴液がポンプで揚水された。33日後の貴液のウラン濃度は $40\sim59mgU/1$ であった。
- ・貴液はウラン回収のためパイロット・プラントに送られた。ウランは吸着、溶 離、沈殿によって重ウラン酸アンモニユウムとして回収された。

④ 試験終了後:

・試験結果をさらにリファインするために研究、開発が行われた。1992年の課題は:

坑井の最適配置パターン・間隙の決定 浸出液組成の最適化 処理過程の各パラメーターの改善

(8) 製 錬

伊寧製錬所は1964年に完成し、ウランの生産は、在来法の採鉱、製錬によって1970年に開始されたが、これ等の操業は中止されている。現在および将来の生産はすべて ISL 法による。

(9) 生産コスト

生産コストの情報は乏しいが、 $Trade\ Tech社は、伊寧製錬所でのコストは、通常法による採鉱より労働集約度が低いので、<math>US$10~15/1bU_3O_8$ (US\$26~39/kgU)の間にあると推定している。

(10) 生産体制, 実績, 計画

1995年以降に予定されている ISL操業による伊寧生産センターの生産予測は以下の通りである。

伊寧(Yining)ー烏魯木斉(Urumqi)生産センター

 生産
 設備能力

 1995年
 38.5tU
 38.5tU

 1996年以降
 50 "
 50 "

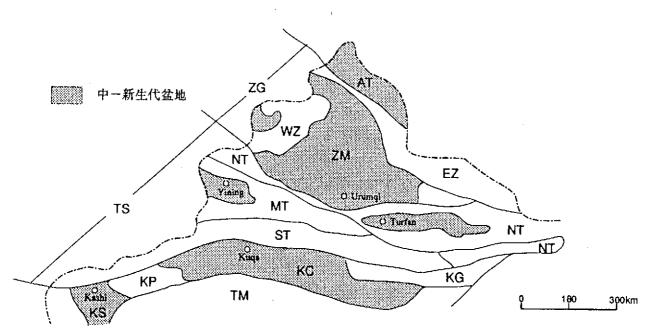
- (II) 生産物の販売実績,計画 「衡陽製錬所」 に同じ。
- (12) 環境保全対策同 上
- (13) 政策 同上

Yining/Ürümqi

- 1. 達拉地(Daladi)鉱山
- 2. 蒙其庫 (Mengguer) 鉱山
- 3. 白揚河 (Baiyanghe)鉱山



図1-13-1 伊寧-鳥魯木斉(新彊維吾爾自治区) 生産センター位置図



AT:阿尔泰カレドニア褶曲帯

ZG:ジュンガルヘルニシア褶曲帯

EZ:東ジュンガル

WZ: 西ジュンガル

ZM:ジュンガル中央山塊

TS: 天山ヘルニシア褶曲帯

NT:北天山

ST:南天山

MT:中天山隆起带

TM: タリム台地

KS:カシュガル沈降帯

KP:柯坪地塊 (Keping)

KC:庫車沈降帯 (Kuche)

KG: 庫魯克塔格地塊 (Kulugetake)

図1-13-2 ジュンガルー天山ウラン鉱床区の地質構造帯

2. イ ン ド

- 2.1 ウラン鉱業事情
- 2. 2 Jaduguda鉱山
- 2.3 Bhatin鉱山
- 2.4 Narwapahar鉱山
- 2.5 Turamdih鉱床
- 2.6 Domiasat鉱床
- 図2-1 インドの推定ウラン鉱化地域
- 図2-2 インドのウラン鉱床区。
- 図2-3 Dumhath 地域の位置図, 地質図
- 図2-4 Guddapah 盆地南西部の地質図とウラン産出地
- 図2-5 Jaduguda 位置図
- 図2-6 Singhbhum ウラン鉱床帯の主要地質構造図
- 図2-7 SINGHBHUM 衝上断層帯(STB) の地質図
- 図2-8 JADUGUDA HILL の横断面図
- 図2-9 Jaduguda 製錬所のウラン製錬フローシート
- 図2-10 NARWAPAHAR 鉱床の試錐断面
- 図2-11 Domiasat 鉱山の位置図

2. インド

2.1. ウラン鉱業事情

2.1.1. Madhya Pradesh (マディア プラデシュ)州(中央インド・ウラン鉱床区、CIUP) Madhya Pradesh州の中央インド鉱床区には、原生代初期の変成岩類を母岩とする鉱脈型ウラン鉱床が、Bodal(ボダル)、Bhandaritota(バンダリトタ)、Parsodi(パルソディ)ーBaghnadi (バグナディ)、Jangalpur (ジャンガルプル)に存在する (図2-1, -2)。ウラン鉱化作用は構造的・岩質的規制を受けている。特に、Bodal 地域の母岩の変玄武岩の複雑な進化は、鉱化作用がDongargarh (ドンガルガル) 花崗岩底盤に関連した熱水により数回にわたって行われたことを示している。

また、この地域には原生代初期の礫岩と燐灰土および二畳紀の砂岩中にもウラン鉱床が見られる [Kolarghat(コラルガート)-Kaleragarh (カレラガル)、Mardeora(マルデオラ)、Bhawra(バウラ)]。二畳紀砂岩中の堆積型鉱床は、古期の岩石中からウランが移動してきて濃集したことを示し、この地域がウラン資源に関し、有望であることを證している (表2-1)。

Madhya Pradesh州の東インドウラン鉱床区にもウランの鉱化作用が認められ、Jajawal (ジャジャワル)、Chowrdhawa(チョウルダワ)、Dumhath(ドウムハス) などが原生代中期の花崗岩、片麻岩を主とした地域にある〔Sarguja(サルグジャ)地区〕(表2-2)。

(1) Dumhath 地区

Madhya Pradesh州 Sarguja地区の北部には、長さ80kmにおよぶ破砕帯に沿って、ウランおよびトリウムによる放射能異常がところどころに見られるが、これらは1971年から1973年までの空中放射能予備調査で発見されたものである。Madhya Pradesh州 Sarguja 地区の中心地Ambikapur(アンビカプール) の北方約70kmでは地表調査によってDumhath 地区も含めて、数か所のウラン鉱化地が確認された。Ambikapur からPratappur(プラタププール) までは全天候型道路があり、そこからは季節道路によってDumhath の部落へ到達する(北緯23°28′30″、東経83°8′13″)(図2-3)。

広域的に見ると、Sarguja地区の中央部と西部を占める Dumhath地区は幅約10~30km, 長さ80km以上の舌状の先カンブリア時代の地層が分布している。 先カンブリア時代の岩石は、古期の珪岩、片岩類、角閃岩からなり、ミグマタイト化作用、花崗岩化作用を受けている。

Dumhath 地域では、鉱化の形状から、富鉱部はせん断葉状構造や破断へき開によって 規制されていることがわかる。富鉱部は激しく破砕されており、品位は0.05~1.7㎞ で Th/U比率は1.0 以下である。ウランの一次鉱物は富鉱部でのみ確認されており、地表部 で見られる放射能異常は浅成富化作用によるものである。富鉱部は緑泥石, 黒雲母, 石英, 長石, 鉄閃石, 方解石, 不透明鉱物類からなっている。富鉱部の岩石は, 縞状構造をもち, 微小褶曲構造, 微小破砕構造を示している。黒雲母は, これら岩石の縞状構造に平行して現れるが, 黒雲母を交代して生成した緑泥石は, 縞状構造に平行に配列したものと, それと交わる方向のものとがある。

関ウラン鉱の粒子の一部と煤状のピッチブレンドは鉄閃石の破砕粒子の表面を被覆して産する。

地質構造的特徴とウラン鉱化作用との間の時間的・空間的関係から, ウラン鉱化作用 は以下のように3タイプに分けられている。

- ① 褶曲運動に関連したウラン鉱化作用
- ② せん断節理に伴うウラン鉱化作用
- ③ 構造に無関係なウラン鉱化作用

ウラン富鉱部の形成は構造規制を受け、せん断節理、破断へき開などをもつせん断帯が富鉱部形成の場になっている。せん断帯では品位が 1.7~8.5% に達する部分もあるが、平均品位は0.05~0.07%である。鉱体は連続性が無くレンズ状であり、それぞれの鉱体の間は200ppmU 以下の含有量を示す岩石となっている。これらレンズ状の鉱体はせん断節理に平行して、一直線上に並んでおり、せん断活動後の断層や破断へき開によって切られている。

(2) Bisgod地区

ウラン・トール石[Uranothorite, ThuSiO4], ブランネル石[Brannerite, (U, Ca, Th, Y) (Ti, Fe) $_2$ O6], トール石[Thorite, ThSiO4], チュコライト[Thucolite], モナズ石[Monazit e, (Ce, La, Nd)(PO4)], ジルコン[Zircon, ZrSiO4] からなるウラン・トリウム鉱化作用が、ほぼ等量のウランとトリウムを含む含磁硫鉄鉱黒雲母石英片岩中に見られる。この岩石は、板状磁硫鉄鉱を伴う石英・方解石の薄層と互層した多数の黒雲母層からなる。やや円味を帯びた不規則な形をしたブランネル石、ウラン・トール石、トール石と、円磨されたモナズ石やジルコンの様な砕屑性の重鉱物の共存や、ウラン・トリウム鉱物の周囲にみられる黒雲母と石英により示される片理の湾曲は、Bisgodの鉱化作用が砂鉱床起源のものであることを示している。

2.1.2. Karnataka(カルナタカ) 州(南インド・ウラン鉱床区, SIUP)

南インド・ウラン鉱床区は、主として先カンブリア時代の地質からなり、楯状地の東縁および西縁に沿って、白亜紀、第三紀および第四紀の岩石が分布している(図2-1,-2)。主なウラン産出地は、Karnataka 西部にあり、① Walkunji (ワルクンジー)-Chikma gulur(チクマグルール)の始生代後期の石英礫礫岩と、② Arbail (アルバイル)-Bisg

od (ビスゴド)の原生代後期の変砂岩の中にある。これらの岩石は、Chitradurga(チトラドウルガ) 片岩帯の基底部をなしている。Arbail-Dabguli (ダブグリ) とBisgodのウラン鉱床は火成岩中の砕屑型鉱床である。

Arbail-Dabguli地区

KarnatakaクラトンのShimoga(シモガ)盆地では、Karwar(カルワル)の東約60kmに ウラン鉱床が胚胎している。この鉱床のウラン鉱化の母岩は含炭酸塩絹雲母-石英片岩(変砂岩)で、時として、脈石英や、まれに珪岩礫を含んでいる。鉱石中の放射性鉱物は、トリウムを多く含む閃ウラン鉱(Th品位は最高9.5%Th)、ウラン・トール石(U7%、Th 70%)およびチュコライトである。これらの鉱物には多量の黄鉄鉱あるいは磁硫鉄鉱などの硫化鉱物や、ジルコン、モナズ石、金紅石などの砕屑性重鉱物が随伴している。閃ウラン鉱とウラン・トール石は分離して、常に円磨された粒子(径0.03~0.2mm)として産する。これらの粒子は、ケロゲン質固形炭化水素によって被覆されたり、脈状に切られたり、交代されたりして、"粒状チュコライト"として知られている重合物を形成している。これは、南アフリカのWitwatersrand(ウイットウォータースランド)に産出するものと、ほとんど同じものである。

2.1.3. Siwaliks (シワリクス) 地域 (ヒマラヤ・ウラン鉱床区, HUP)

ヒマラヤ山脈の山麓丘陵に位置しているSiwaliks地域でのウラン探鉱は1970年に原子力鉱山部(AMD)によって始められた。1971年にHaryana(ハリアナ)州 Ambala(アンバラ)地方のPinjore(ピンジョア)地域でウラン品位 0.009~0.29%Uという高い放射能異常が発見され、以降、この地域における探鉱が活発に行われた。地表での放射能調査、エアーボン調査、カーボン調査、水による地化学探鉱、河川堆積物の採取、植物による地化学探鉱、試錐、坑道探鉱などが行われた。延べ90km以上の試錐と2.660mに及ぶ坑道探鉱によってSiwalks におけるウラン鉱床の実態とその有望性とが明らかにされた。坑道探鉱はHamirpur(ハミルプール)盆地のAstotha(アストサ)、Andalada(アンダラダ)、Khya(キャ)で行われた。

広大なヒマラヤ地域には多数の小規模なウラン鉱徴地が発見されている(図2-1, -2)。これら鉱徴地は、Kisthwar(キスワール〔Jammu(ジャム)およびKashmir(カシミール)〕の北西端からUttar Pradesh(ウタールプラデシュ)州のChhinjira(チンジラ)、Uttar Kashi (ウタールカシ)、Brijranigad (ブリリヤニガド)、Pokhra(ポクラ)、Berinag (ベリナグ);Himachal Pradesh (ヒマチャルプラデシュ)州のKashpat(カシャパト)を経て、東部ではSikkim(シキム)とArunachal(アルナチャル)州までの範囲で発見されている。衝上断層がある場合には、その上盤と下盤の両側に関ウラン鉱の鉱脈が認められる。母岩は先カンブリア時代の珪岩、片岩、片麻岩、塩基性変成岩である。大きな

破砕帯を形成した大規模な構造運動は、ウランを移動させることなく、これら鉱脈型鉱 床の生成に好ましい場所を提供した。

特別な関心をもたれているのは、Himachal Pradesh州のAsthota-Khya-Loharian(ロハリアン) およびRomehra(ロメラ) とHaryana 州のMorni(モルニ) のSiwalik 堆積岩(第三紀)のモラッセ中の堆積型(砂岩および礫岩)ウラン鉱床である。Siwalik 地帯はインド地質調査所、石油・天然ガス委員会、Wadia Institute of Himalayan Geology(ヒマラヤ地質ワジア研究所、WIHG)、その他いくつかの大学によって研究されている。

Siwalik 堆積岩は、ヒマラヤ隆起帯の南縁に沿って東はAssam(アッサム)山脈から西はSulaiman(スライマン)山脈にいたる約 2,500kmにわたって、線状に伸びて堆積したものである。厚さ6,000mの地層は主として砂岩と頁岩からなり、一部には河川性堆積環境で生成した礫岩チャンネルが見られる。 Siwalik堆積岩は下部、中部、上部に分けられ、下部層は灰色、緑灰色および紫色の砂岩と粘土岩、中部層はかなりアルコース質の中粒ないし粗粒の砂岩、上部層は粗粒の砂岩を挟む塊状の礫岩と暗赤色、褐色およびオレンジ色の粘土岩である。Romehra(試錐延長1,649m, 23孔)とMorni(試錐延長1,916m)のウラン鉱化部はSiwalik 堆積岩の下部層中に胚胎している。Kangoo(カングー)盆地(試錐延長16,211m, 129孔)、Sarada(サラダ)盆地(試錐探鉱を開始)およびDabbar(ダッバー)向斜(試錐延長247m、3 孔)のウラン鉱化部はSiwalik 堆積岩の中部層中に胚胎している。Hamirpur盆地(試錐延長32,290m および1,797mの坑道掘削)、Soan(ソアン)盆地(試錐延長12,786m、102孔)およびYamuna(ヤムナ)盆地(試錐延長17,670m、152孔)のウラン鉱化部はSiwalik 堆積岩の上部層中に胚胎している。

ウラン鉱化作用に好ましい岩質的特徴は.

- ①未成熟な長石質, 雲母質砂岩,
- ②古チャンネル, 多孔質, 透水性障壁の存在,
- ③炭質物、黄鉄鉱のような環元物質が多量に存在すること、

である。構造的にはSiwalik 堆積岩は、全体として北西-南東の方向性をもち3構造帯に分けられている。すなわち、緩斜褶曲からなる外帯、その内側の緩斜褶曲と北傾斜の逆断層によって限られた単斜構造からなる中間帯、密に分布する走向断層群と北東側を"Main Boundary Fault(主要境界断層)"によって区切られた急斜褶曲からなる内帯、からなる。

上記3つの層準のそれぞれでは、ウラン鉱化作用は 100~250mの層厚のところに限られており、小規模で、地層に平行なレンズ状鉱体を形成している。鉱体の平均厚さは、鉱体によって1m以下から4mまで、さまざまである。鉱石品位は0.017%U から0.05%Uまでである。Astotha およびMorni のような、ごく一部の地域では、鉱石品位が0.085%U に達するものもある。

2.1.4. Guddapah (グッダパ) 盆地(Andhra Pradesh 州)(南インド・ウラン鉱床区, SIUP) Andhra Pradesh (アンドラプラデシュ) 州南部の Guddapah 盆地は原生代中期の堆積盆地で、経済的ポテンシャルの大きな地域であり、ダイヤモンド、石綿、重晶石、銅などの鉱床が知られており、ウランについても有望な地域と考えられている。この盆地におけるウランによる放射能異常の最初の発見は、インド地質調査所の地質技師が下部Guddapah累層群Papaghni (パパニ) 層群中のVempalle (ベンパル) 累層にある燐酸塩層を調査した時であった。1986年に原子力鉱山部(AMD) が詳細な探査と放射能調査を行い、低品位であるが大鉱量が期待される炭酸塩岩中の層準規制ウラン鉱化帯が140km にわたって帯状に分布することが明らかになった(図2-1, -2, -4)。

さらに、Guddapah盆地の南西縁に沿った詳細な調査によって、この結晶質岩石中の盆地のすぐ外側のRayachoti(ラヤチョティ)の近くで、構造規制を受けたウラン鉱化帯が発見された。

Guddapah盆地の南西部では、ウラン鉱化作用に2型が観察される。すなわち

- ①Papaghni層群Vempalle累層の不純物の多いドロマイト中の層準規制型
- ②変形された基盤花崗岩中の構造規制型である。

炭酸塩岩を母岩とする層準規制型は、西の Reddipalle (レッドパーレ)から東の Maddimadugu(マッディマドウグ)まで140km にわたって帯状に分布している。優勢な鉱 化作用はTummalapalle (トウンマラパーレ)、Rachakuntapalle (ラチヤクンタパーレ)、Gadankipalle (ガダンキパーレ)に見られる。この鉱化帯は、下部の塊状石灰岩と上部の頁岩・チャート質石灰岩の間にはさまれて産する。鉱化作用を受けた炭酸塩岩は、ストロマトライトを伴う珪質ドロマイトで、不純物を含むドロマイト、珪岩、チャート、千枚岩、礫岩および輝緑岩と玄武岩貫入岩を伴っている。ウラン鉱化作用は層理面、炭酸塩岩と燐酸塩岩の接触面に沿って、主として非常に微細なピッチブレンドと少量のコフィン石ならびにウラン・チタン複合体の形で産する。随伴する鉱石鉱物は黄鉄鉱、輝水鉛鉱、黄銅鉱、斑銅鉱、ダイジェナイト、銅藍である。鉱化作用を受けた炭酸塩岩のウラン品位は0.0085~0.27‰である。

構造規制型鉱床はRayachoti(ラヤチョティ)(Guddapah盆地の南西縁の外側)で、基盤 花崗岩中の多くの破砕帯の中で、T. Sundpalle(スンドパーレ)とSanipaya(サニパヤ)の間にあるものが有望であり、走向方向に約16km延びている。この鉱床は鉱脈タイプの 熱水成後生鉱床で、コフィン石、ピッチブレンド、ウラン・チタン複合体とウランの二次鉱物からなる。ウラン品位は0.0085~0.35粒である。

2.1.5. Rajasthan(ラジャスタン) 州(西インド・ウラン鉱床区, WIUP)

西インド・ウラン鉱床区にあるウラン鉱床の多くはRajasthan 州に産出する(図2-1,-2)。"GreatBoundary Fault"の西に位置するこの北西 - 南東に延びる地域は、主として始生代の縞状片麻岩複合岩と、Aravelli(アラベリ)累層群とDelhi(デリー)累層群のような若い地層から成っている。Rajasthan では大部分のウラン鉱床は、原生代初期および中期の黒色千枚岩、黒雲母片岩、燐灰土中の鉱脈タイプのものである。このタイプの既知ウラン鉱床は、Umra(ウムラ)-Udaisagar(ウダイサガール)、Khetri(ケトリ)-Siswali(シスワリ)、Ghteshwar(グテシュワー)-Khandela(カンデラ)、 Kundla(クンドウラ)-Narwas(ナルワス)、Dholan(ドーラン)、 Dariba(ダリバ)、 Kerowli(ケロウリ)に産する、原生代後期のカーボナタイトとペグマタイトもまた、Newania(ネワニア)と Bhunas(ブナス)に産する。KhetriとDaribaではウランは卑金属鉱床中に随伴して産する。

2.2. Jaduguda (ジャドウグダ) 鉱山

(1) 交通・インフラ (図2-5)

位置、交通:インド中央部の東、Bihar(ビハール) 州にあり、Calcutta (カルカッタ) の北西約100km, 北緯22°39′, 東経86°27′に位置する。最寄りの空港は Ranchi (ランチ) にあり、Calcutta の Howrah(ハウラ) 駅ーBombay (ボンベイ) 間の鉄道が Jaduguda(ジャドウグダ) の西25kmの Tatanagar (タタナガール) を通っている。

連絡先: Uranium Corporation of India Ltd.(UCIL)

PO Jaduguda Mines

Singhbhum District, Jaduguda City

Bihar 832-102 India

電話:91-657-25253

テレックス:626285

社長:Mr. M.K. Batra

気 候: 平均温度は、12月~1月の13℃が最低で6月の36℃が最高である。雨の多い季節は6月から9月までで、月間降水量は330mm ないし 460mmである。

(2) 権利関係

インドの原子力産業は、インドの首相によって直接管理されており、原子力委員会 (Atomic Energy Commission-ABC)が政策決定を行い、原子力省 (Department of Atomic Energy) が政策の実施を担当し、ウランの探鉱、生産のほかに、研究開発、燃料要素の設計・加工、原子力発電所の設計、建設、運転も行っている。

特に、1976年に原子力省の100%子会社として設立されたインドウラン公社(Uranium Corporation of India Ltd-UCIL)はウラン鉱石の採鉱と選鉱、製錬を担当しており、現在、Jadugudaに鉱山と製錬施設を持っているほか、Bhatin(バティン)に小さな鉱山をもっている。インドウラン公社によって生産されたウランの最終製品は、核燃料に成形加工するために、核燃料コンビナート(Nuclear Fuel Complex-NFC)へ送られる。ウランの探鉱と調査は原子力省の下部組織である原子力鉱山部(Atomic Minerals Division)によって行われている。

(3) 鉱業権益

インドにおける鉱物資源の管理は、中央政府および州政府の管轄のもとにある。この分野を規制している法規は1957年の鉱業法(Mines and Minerals Act-MMRD) に述べられ

ている。この鉱業法には、鉱物採掘権規則(Mineral Concession Rules-1960) が含まれており、インドにおける探鉱権、採掘権の取得、更新あるいは譲渡のための必要条件が述べられている。

この鉱業法には、また、インドの国有地をリースするときに、鉱山会社が支払わなければならない探鉱料、地表借地料、ロイヤルティについても述べられている。税金に関してはインドと他の多くの外国と結ばれている協定(Treaties、30以上)によって、会社がこれら外国から二重課税されるのを防いでいる。これらの協定は国連のモデルをベースにして作られている。

(4) 許認可関係

インドにおける鉱業活動は、1957年の鉱業法にもとづいて許可され、国有地あるいは 私有地で実施することができ、その鉱業権には2種類がある。その一つは、探鉱権 (Prospecting License)で、探鉱権所有者は、特定の土地で探鉱を行うことが許される。 探鉱権の有効期間は3年間で、3年後には更に5年間延長することができる。もう一つ は採掘権(Mining Lease)で、20年ないし30年有効である。この採掘権は最大10平方キロ メートルまでカバーすることができるが、後になって拡張することも可能である。

インド原子力省の原子力鉱山部は、インドの原子力計画に必要な核原料鉱物すべての 探鉱を担当している。

(5) 経緯・現状

- ・インドではウラン探鉱は1949年から開始され、Jaduguda鉱床は、その初期の段階で発見された。鉱山開発は1962年から始められ、製錬所は1968年から操業を始めた。現在、地表下300mレベルより深部で採掘が行われている。1992年には、地表下500mレベルから900mレベルまでの新しい立坑の開さくが始められ、1994年に完成した。
- ・Jaduguda鉱山および製錬所は、インドウラン公社の主要生産センターであり、1992年には Mosaboni(モサボミ)、Rakha (ラカ)、Surda (スルダ) 銅鉱山の鉱滓から115tのウランを回収している。また、財務上の理由で、1993年にTuramdih (トラムディ)製錬所の建設が中断されて以来、Narwapahar (ナルワパハール)鉱山からの鉱石もJadugula製錬所へ送られて処理されている。生産されたイエローケーキは Hyderabad (ハイデラバド)にある核燃料コンビナートへ送られている。インドウラン公社は他の鉱山からの鉱石を処理することができるようにするため、Jaduguda製錬所を拡張することを計画している。

(6) 地質概要

地質鉱床: Jaduguda鉱床は、インド東部Bihar(ビハール) 州の北西から東南に約200km 続くSinghbhum(シングブム) 衝上断層帯中に胚胎している。この断層帯の地質は原生代前期ないし中期の変堆積岩からなっており、断層帯の南西部には始生代の花崗岩が広く分布している。鉱床の母岩は、緑泥石-黒雲母片岩である(図2-6,-7)。

本鉱床は熱水成鉱脈型鉱床で、上盤鉱脈と下盤鉱脈からなり、両鉱脈は約60~100m隔っている。下盤鉱脈は南東-北西方向へ約800m伸びている。上盤鉱脈は長さわずか200~300mで、鉱床の東部にだけ限られている。鉱脈の厚さは平均3~4mであるが、一部では20~25mのところもある。下盤鉱脈の方が鉱況が優れ、ウランのほかに銅、ニッケル、モリブデンの硫化物の鉱化が見られる。両鉱脈の平均傾斜は約40~45度である(図2-8)。

Jaduguda鉱体は地表下約800mの深さまで確認されているが、更に深部まで続くと考えられている。ウラン鉱物は閃ウラン鉱である。

Jaduguda鉱床の埋蔵量は、近くにあるBhatin、Narwapahar、Turamdihの各鉱床と合わせて47,600tUで、ウラン品位は 0.034~0.085%U である。

(7) 採 鉱

- ・採鉱法:カット・アンド・フィル法が採用されており、破砕された鉱石はLHDで積込、運搬が行われる、充塡物の選鉱尾鉱は、直径75mmのボーリング孔を使って、地表から坑内へスラリー輸送される。
- ·採鉱能力:1,000t鉱石/日,採鉱実収率80%
- ・機械設備:ジャック・レグ・スタンド,グランビー鉱車(3.5t),アリマック・クライマー. ワゴンドリル
- ・坑内施設:主要レベルは65m の垂直間隔で設けられており、最下レベルは555mである、 主要レベルの坑道のサイズは2.4m×2.5mで軌間610mm の軌道を敷設している。通気 のため3,000m³/分の P.V.160型軸流扇風機が鉱山の東端と西端にある通洞No.2, No. 5 に設置されている。

(8) 製錬

- ・製錬方式: 図2-9 および表2-3の通り
- ・製錬能力:1,370t/日(2,000t/日へ拡張中)
- ・製錬方式:鉱山から運ばれた鉱石は、破砕工程、粉砕工程を経て、-200メッシュ60% の粉状鉱石となる。この粉鉱は中間シックナーを経て、60%濃度のスラリーに調整 されて、空気を吹き込んだパチューカタンクにポンプで送られる。ここで硫酸と二

酸化マンガンが加えられ、pH 1.6~1.7、emf~480mv、温度36℃~38℃で12時間保持される。パチューカタンクは13基、9 系統あり、スラリーは一次のパチューカから溢流して次のパチューカに入り、合計12時間の浸出工程で、最後のパチューカタンクから出るまでにほぼ95%のウランが浸出される。

浸出後のスラリーは真空ドラムフィルターで濾過され、濾液は更にプレコート濾過機にかけられ、一次貴液が作られる。この貴液はイオン交換樹脂によって品位を上げるとともに不純物が除去される。吸着されたウラニル硫酸塩は、1規定の塩溶液で溶離される。この溶離液に石灰を加えてpHを3.8 にして硫酸第二鉄と石膏を沈殿させ、オーバーフローに酸化マグネシウムを加えて、重ウラン酸マグネシウムあるいはイエローケーキを沈殿させる。

その後、固液分離、洗浄、濾過、乾燥の工程を経てドラム缶に詰められる。イエローケーキ中のU含有量は $U_3D_874\%(U63\%)$ である。

- ・廃棄物処理:製錬の全工程を通じて2種類の廃棄物が発生する。濾過の工程から発生する不用沈殿物とイオン交換システムからの廃液である。廃液はpHを10.5まで中和し、マンガンなど溶解物質を沈殿させる。不用沈殿物スラリーは磁鉄鉱プラントへ送って、磁鉄鉱を回収した後、中和された廃液と一緒にハイドロサイクロンで分級する。粗粒のものは坑内に送って充塡に使用し、細粒のものは鉱さい堆積場へ送られて沈殿、堆積され、清澄な上澄水は放流される。鉱さい堆積場の上澄水には時折、規制値より多量のマンガンやラジウムを含むものが認められるが、最終的な放流水は他の流水で希釈されて規制値以下になっている。
- ・副産物の回収:製錬所へ運ばれる鉱石には銅,モリブデンの硫化物が少量含まれているので、ウランを回収する前に副産物として回収している。浮遊選鉱により回収された硫化物精鉱からモリブデンと銅が分離される。

この地域の銅鉱山の鉱石中にはウランが含まれているので、インドウラン公社は、3か所の銅鉱山の選鉱場のすぐ近くにウラン回収のための選鉱場を作り、銅鉱石の選鉱のあと、比重選鉱を行ってウラン鉱石を回収し、これをJaduguda製錬所へ送って副産物としてのウランを回収している。

(9) 生産コスト

US\$23,50/1b U₃O₈(US\$61/kgU)

(1991年現在, 採鉱、製錬, および殆ど償却済みの資本費を含む, 但し, Narwapahar 鉱山の開発費は除く)

(10) 生産体制, 実績, 計画

・生産実績(但し、Bhatin鉱山、Narwapahar鉱山からの鉱石を含む)

1	9 :	8 5年1 4 8 tV	1	9	9	0年187tU
1	9	8 6年1 6 0 "	1	9	9	1年174″
1	9	87年182″	1	9	9	2年173″
1	9 :	88年204″	1	9	9	3年173″
1	9 :	89年204″	1	9	9	4年173″

・生産計画(tU)

1995年·····153tU

1996年から2005年まで……192tU/年

(11) 生産物の販売実績

インドの国内産ウランはすべて、インドの原子力計画の需要を満たすために、原子力 省に直接引渡される。インドは掛値なしにウランの輸入国であり、過去にフランスから 燃料を購入するための契約をしている。インドからのウランの輸出についてはこれまで 報告がない。

(12) 環境保全対策

インド国内のすべての核燃料施設および原子力発電所における放射線防護、健康問題、安全性を監督する機関として、1983年に原子力規制委員会(Atomic Energy Regulatory Board-AERB) が設置された。AERBは5人の常勤委員からなり、そのうちの1名は医学専門家である。また、AERBはスタッフとして科学、技術の専門家をかかえているが、1994年現在、その数は85名である。AERBは原子力関係以外で、放射性同位元素を扱っている医療施設、工業施設をも監督する。

AERBの主な役割として次の3つがあげられる。

- ① 原子力および放射線に関する安全性のコード、指針、基準、技術上の規制を策定すること。
- ② それぞれの原子力施設に対する許認可のプロセスと内訳を管理監督し、サイト評価、建設、操業、デコミッショニングなど、それぞれの段階で許認可を与えること。
- ③ 建設中および操業中の施設における放射線の危険性を調査すること。

以上の活動を行うために、AERBには次の5つの技術部門が置かれている。

原子力安全部 (Nuclear Safety Division)

工業安全部 (Industrial Safety Division)

プラント操業安全部(Operating Plant Safety Division)

放射線安全部 (Radiation Safety Division)

科学・技術サービス部 (Scientific and Technical Service Division)

AERBは、許認可を与えるに際して必要な多くの検討、評価を行うために、原子力省のバーバ(Bhabha)原子力研究センターからの技術的支援を受けている。また、AERBは放射線防護諮問委員会(Advisory Committee on Radiation Protection)と原子力安全性諮問委員会(Advisory Committee on Nuclear Safety)から助言を受けている。

(13) 政策

1947年の独立以来、インドでは電力その他の重要産業における私的所有権を制約してきた。しかし、最近になって政策の変化が現れ、大きな政治的論争が起こっている。新しい経済政策では、外国からの投資の督促とインド民間会社の拡大が求められている。その結果として、インドにおける電力供給事業および原子力産業は、民営化の方向へ向かって動いている。

インドでは、原子力産業に外国が参入するのを拒んでいるので、原子力技術の面でも、原子力に必要なウラン供給の面でも自立せざるを得ない。1989年に原子力省から発表された原子力計画によると、2000年までにインドの原子力発電設備容量は10,000MWe のレベルに達することになっている。この計画によりインドの原子炉用のウラン燃料の需要が増大することとなり、将来のウラン必要量のすべてを供給するために、インドウラン公社の生産活動が活発になるものと予測されたが、財政上の理由で、Turandih鉱山の大規模な採鉱製錬施設の開発は1993年に中断せざるを得なかった。

国際協定

インドは核不拡散条約(NPT) の開始年である1968年以来この条約は核兵器保有国と非保有国との間の差別を作り出す不平等条約であるとの理由から、同条約に調印することを拒否している。また、インドは国際原子力機関(IAEA)の保障措置協定の受入れも拒否している。

しかし、1994年になって、インドは原子炉の安全性に関しては米国と協力することに合意した。1994年にはインドは原子力安全性に関するIAEAとの協定にも調印しており、これにより、以前には立入不能であった原子力施設に対する国際的な安全査察が可能になるであろう。

インドが NPTあるいはIABAの保障措置を受入れない大きな理由として、パキスタンおよび中国との地域的な緊張状態がとりあげられている。 NPTあるいはIABAの規制を完全に受入れることは、中国の核兵器に対する抵抗力を弱めることになり、 NPTに調印して

いないパキスタンは、核兵器を開発する能力がある、とインドは主張している。

この問題について、これら近隣諸国が討議するために1995年に、インドのゴア(Goa)でインド、パキスタン、中国、米国の政府関係者およびアナリストによる会議が開かれ、総ての核兵器保有国が最初に核兵器を使用しないこと、および非核兵器保有国に対して核兵器を使用しないことを誓約する協定に調印することを勧告する文書を採択した。

2.3 Bhatin (バチン) 鉱山

(1) 交通・インフラ(図2-5)

位置,交通:インド中央部の東方, Bihar(ビハール) 州にあり, Calcutta(カルカッタ) の北西約100km, 北緯22°40′東経86°27′に位置し、Jaduguda鉱山の北西約4 kmの地点にある。最寄りの空港はRanch(ランチ)にあり、最寄りの鉄道駅はBhatinの西約20kmのTatanagar(タタナガール)にある(2.2. Jaduguda鉱山の項を参照)。

連絡先: Jaduguda鉱山と同じ 気 候: Jaduguda鉱山と同じ

(2) 権利関係

Jaduguda鉱山を参照

(3) 権利関係

Jaduguda鉱山を参照

(4) 許認可関係

Jaduguda鉱山を参照

(5) 経緯·現状

Bhatin鉱床は、Jaduguda鉱床と同じくSinghbhum 衝上断層帯中にあり、インドにおけるウラン探鉱の初期段階に発見された。Jaduguda鉱山に隣接しており、採掘された鉱石はJaduguda製錬所に運ばれて処理されている。

(6) 地質概要

・地質鉱床: Bhatin鉱床はJaduguda鉱床から約4km離れて同じ地質構造帯中にあり、地質はJadugudaと同様で鉱床母岩はJadugudaと同じ緑泥石・黒雲母片岩である。鉱床タイプは熱水成鉱脈鉱床で鉱脈幅はおよそ2mから10m、 傾斜は約30~40度である。

(7) 採鉱

・採鉱法:カット・アンド・フィル法

(8) 製 錬

採掘された鉱石はダンプカーで、Jaduguda製錬所へ運ばれて処理される。

(9) 生産コスト

US\$ 23.50/IbU $_3$ O $_8$ (US\$61/kgU)(Jaduguda鉱山と同じ、Jaduguda鉱山の分と合わせて計算されている)。

(10) 生産体制, 実績, 計画

生産実績: Jaduguda鉱山を参照。

(11) 生産物の販売実績

Jaduguda鉱山を参照。

(12) 環境保全対策

Jaduguda鉱山を参照。

(13) 政 策

Jaduguda鉱山を参照。

2.4. Narwapahar(ナルワパハール)鉱山

(1) 交通・インフラ(図2-5)

位置・交通:インド中央部の東、Bihar(ビハール) 州にあり、Calcutta(カルカッタ) の北西約100km、 北緯22°41′, 東経86°26′に位置し、Jaduguda鉱山の北西約10kmの地点にある。最寄りの空港は Ranch (ランチ)、 最寄りの鉄道駅は Narwaphar の西約15kmのTatanagar(タタナガール) にある(2.2. Jaduguda鉱山の項を参照)。

連絡先: Jaduguda鉱山と同じ。 気 候: Jaduguda鉱山と同じ。

(2) 権利関係

Jaduguda鉱山を参照。

(3) 鉱業権益

Jaduguda鉱山を参照。

(4) 許認可関係

Jaduguda鉱山を参照。

(5) 経緯・現状

Narwaphar 鉱床は、約200km の長さをもつ大きな地質構造帯(Singhbhum衝上断層帯) の中にあり、インドにおけるウラン探鉱の初期段階に、近くにある Jaduguda 鉱床と共に発見されている。現在、 Narwapahar 鉱山として開発中であり、採掘された鉱石は Jaduguda製錬所で処理されることになっている。

(6) 地質概要

Narwapahar 鉱床の地質はJaduguda鉱床と同じく鉱床母岩は緑泥石-石英片岩で、鉱床は熱水成鉱脈鉱床である。ウラン鉱物は関ウラン鉱である。鉱体の最大走向延長は約2,100m, 垂直方向の最大深度は600mである。ウランを胚胎する鉱脈(または鉱層)として次の6つがある(図2-10)。

- (1) Main Band I, (2) Main Band II, (3) Band No. 3, (4) HW Lode West of Fault,
- (5) Khundungri I , (6) Khundungri II $_{\circ}$

鉱体の平均傾斜は北東へ30~35度で、扁平レンズ状鉱体として産する。鉱体の厚さは

2.5mないし20m である。

(7) 採鉱

開発計画:本鉱山の開発計画は350m深の立坑1本と、トラックレス採鉱のための傾斜-7度の斜坑で行うことになっている。

立坑は1995年5月現在,深さ200mまで掘削が進んでいた。-7度の斜坑の掘下り掘削は,2連油圧ドリルジャンボによっており,バケット容量1.78m³のLHD,13t および23t 積のダンプトラック(LPDT)を用いている。

鉱体の小さい部分に対する採掘は房柱式採掘法によることとしており、主要斜坑 とランプ坑道によって切羽に連絡する。鉱体の広い部分に対してはカット・アンド ・フィル採掘法が用いられることになろう。

立坑が完成するまでは、鉱石は斜坑によって地上に運ばれ、Jaduguda製錬所へトラック輸送されることになっており、立坑完成後は、鉱石はスキップによって地上に捲き揚げた後、Jaduguda製錬所へトラックで運ばれることになっている。

(8) 製錬

鉱石はJaduguda製錬所で処理される(2.2. Jaduguda鉱山を参照)。

(9) 生産コスト

US\$23.50/1bU₃O₈ (US\$61/kgU)

(Jaduguda鉱山と同じ、Jaduguda鉱山の分と合わせて計算されているが、Narwapahar 鉱山の最近の開発費は含まれていない)

- (ld) 生産体制,実績,計画 1995年現在,鉱山開発中である。
- (11) 生産物の販売実績,計画 生産実績なし、Jaduguda鉱山を参照。
- (12) 環境保全対策 Jaduguda鉱山を参照。

(13) 政策

Jaduguda鉱山を参照。

2.5. Turamdih (トウラムディ) 鉱床

(1) 交通・インフラ (図2-5)

位置,交通:インド中央部の東、Bihar(ビハール) 州にあり、北緯22°44′, 東経86°24′に位置する。最寄りの空港はRanch(ランチ)、 最寄りの鉄道駅はTuramdih の西25kmのTatanagar にある(2.2. Jaduguda鉱山の項を参照)。

連絡先:Jaduguda鉱山と同じ。

気 候: Jaduguda鉱山と同じ。

(2) 権利関係

Jaduguda鉱山を参照。

(3) 権利関係

Jaduguda鉱山を参照。

(4) 許認可関係

Jaduguda鉱山を参照。

(5) 経緯・現状

インドにおけるウラン探鉱は、1949年に開始され、当初は鉱脈型鉱床を主要対象として行われ、Bihar(ビハール) 州にある大きな地質構造帯のSinghbhum 衝上断層体に沿って探鉱が行われた際、Jadugudaその他の鉱床とともに発見された。1989年以来、鉱山開発が進められてきたが、財政上の理由から、1992年5月に開発が中止になり現在に至っている。

(6) 地質概要

Turamidih 鉱床は、北西-南東方向に延びる大きな衝上層帯に沿ってJaduguda鉱床の北西約20kmにある。その地質はJaduguda鉱床と同じく鉱床母岩は原生代中期の緑泥石片岩で、鉱床は熱水成鉱脈鉱床である。ウラン鉱物は閃ウラン鉱である。Turamdih鉱床の埋蔵量はちかくにある Bhatin、Narwapahar、Jaduguda の各鉱床と合わせて、 合計47,600tUで、品位は 0.034~0.085紅 である。

(7) 採 鉱

1989年に政府による鉱山開発の承認を受けて以来、開発が進められていたが、財政上

の理由で、1992年5月に開発が中止された。当初の計画では鉱石処理容量は1,500t/日であった。

Turamdih鉱山と同製錬所および近くのNarwapahar鉱山の開発のための全コストはUS\$ 190,000,000 と見込まれていた。

(8) 製錬

Turamdih鉱山で採掘される鉱石(15,000t/日)と、Narwapahar鉱山で採掘される鉱石(15,000t/日)を処理するために、Turamdih製錬所(鉱石処理能力3,000t/日)の建設が提案されたが、1992年5月に建設中止が決まった。

(9) 生産コスト

約 \$25/1bU3O8(US\$65/kgU) (Trade Tech 社の試算による)

- (10) 生産体制,実績,計画 生産計画は未定。
- (11) 生産物の販売実績,計画 生産実績なし、Jaduguda鉱山を参照。
- (12) 環境保全対策 Jaduguda鉱山を参照。

(13) 政策

Jaduguda鉱山を参照。

2.6. Domiasat (ドミアサト) 鉱床

(1) 交通・インフラ

位置・インフラ:インド東北端のMeghalaya(メガラヤ) 州にあるが、この州は、北西に伸びたバングラディシュ領土によってインド本土からほとんど分断されたような形になっている。Domiasatはおおよそ北緯26°、東経91°に位置する(図2-11)。Domiasatの北東約100km にはShillongがある。最寄りの空港はShillong(シロン)の北約50kmのDispur(ディスプール)にあり、Shillong-Dispur 間には鉄道が通っている。この地域の最高標高は、Mawphlang(マウフラング)山の588mである。

連絡先: Jaduguda鉱山と同じ。

気 候: Jaduguda鉱山と同じ。

(2) 権利関係

Jaduguda鉱山を参照。

(3) 権利関係

Jaduguda鉱山を参照。

(4) 許認可関係

Jaduguda鉱山を参照。

(5) 経緯・現状

インドのウラン探鉱は、1949年から始められたが、当初は鉱脈型、ペグマタイト型鉱床が主要探査対象であった。1970年代に入ってから、砂岩型ウラン鉱床が発見されるようになり、1980年代に入って、典型的砂岩型鉱床の2鉱床が発見された。その一つはMeghlaya州West Khasi Hill(ウエスト・カシ・ヒル)のMahadek(マハデク)累層(白亜紀)中の砂岩型ウラン鉱床で、比較的高品位で中規模のものである。もう一つはHandhra(ハンドラ)州Cuddapah(クッダパ)盆地のVempalle(ベンパル)累層(原生代中期)中の砂岩型ウラン鉱床で、低品位大規模のものである。

1991年になってインド原子力省の原子力鉱山部は、インド東北部の Meghalaya州 Domiasatで、現在のところインドで最大のウラン鉱床を確認したと発表した。1995年現在、ウラン採取のためのパイロットプラントが設置されている。

(6) 地質概要

Meghalaya州南部の地質は、先カンブリア時代の花崗岩、片麻岩および変堆積岩を基盤とし、その上にジュラ紀の火山岩類が分布し、さらにこれらを不整合におおって白亜紀後期ないし第三紀初期の堆積岩が分布している(表2-4)。基盤花崗岩はウラン含有量40ppmを示す部分もあり、当地域ウラン鉱床のウラン供給源と考えられている。

ウラン鉱床は白亜紀後期のMahadek 累層下部のアルコース質砂岩中に層状、塊状、鉱脈状の形で胚胎している。ウランは炭質物に伴って産出し、ウラン鉱物は関ウラン鉱とコフィン石である。ごく微量であるが関亜鉛鉱、白鉄鉱、イルメナイト、磁鉄鉱がみられる。鉱床は10km²以上の範囲にわたって分布しており、鉱床深度は地表から5~50mで、品位は高いところでは0.34‰に達するものもある。埋蔵量は約8.500tUである。

(7) 採鉱

1997年までに開発を始める計画であるが、その前に原子力省と Meghalaya州との間で 環境問題の論争を解決する必要がある。

(8) 製 錬

Domiasatウラン鉱床の鉱石を処理するため製錬所の建設が提案されているが、その許認可はMeghalaya 州との環境問題に関する論争の解決にかかっている。

(9) 生産コスト

US\$ 15~20/1b. U₃O₈(US\$39~52/kgU) (Trade Tech 社の試算による)

(10) 生產体制, 実績, 計画

Domiasatウラン鉱床の開発はまだ行われていないが、開発されればDomiasatウラン鉱山は、Jaduguda鉱山に次ぐインドのウラン生産センターになると思われる。

(11) 牛産物の販売実績,計画

生産実績なし、Jaduguda鉱山を参照。

(12) 環境保全対策

Jaduguda鉱山を参照。

(13) 政策

Jaduguda 鉱山を参照。

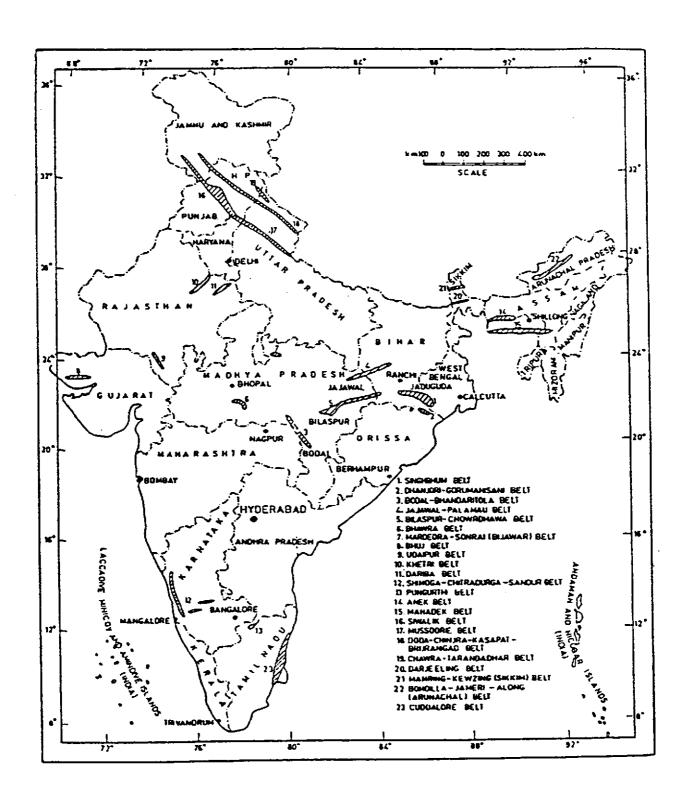


図2-1 インドの推定ウラン鉱化地域

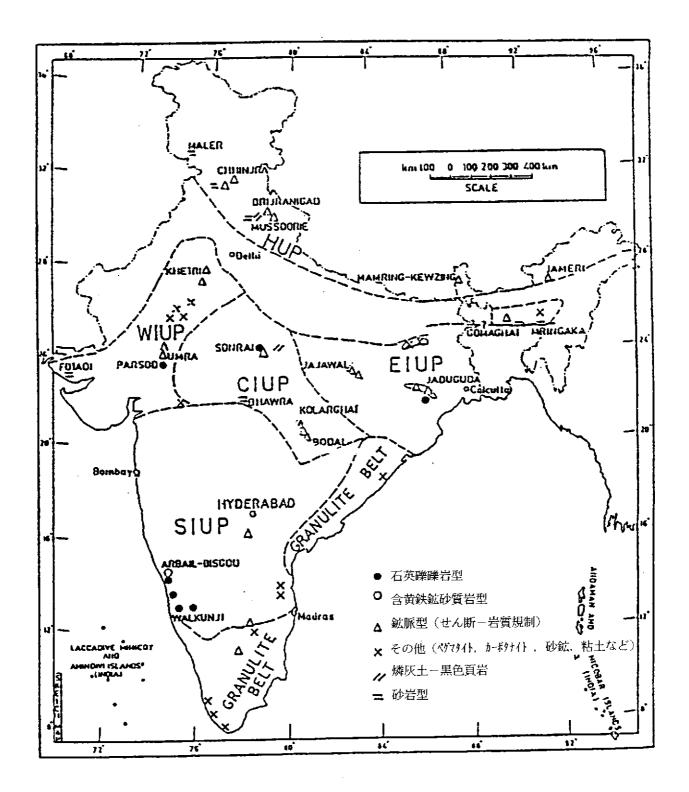


図2-2 インドのウラン鉱床区

SIUP: 南インド鉱床区、CIUP: 中央インド鉱床区、EIUP: 東インド鉱床区

WIUP: 西インド鉱床区, HUP: ヒマラヤ鉱床区

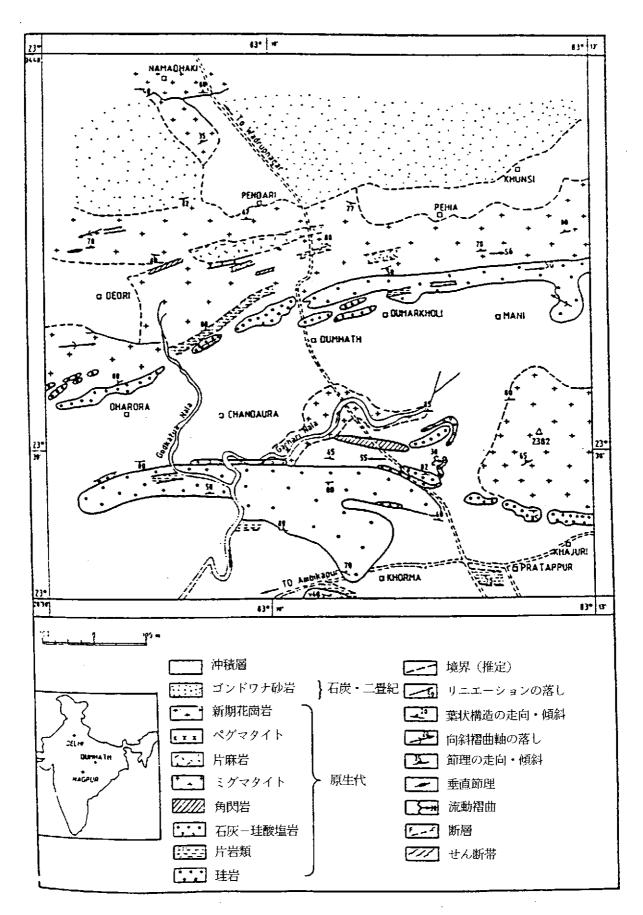


図2-3 Dumhath地域の位置図、地質図

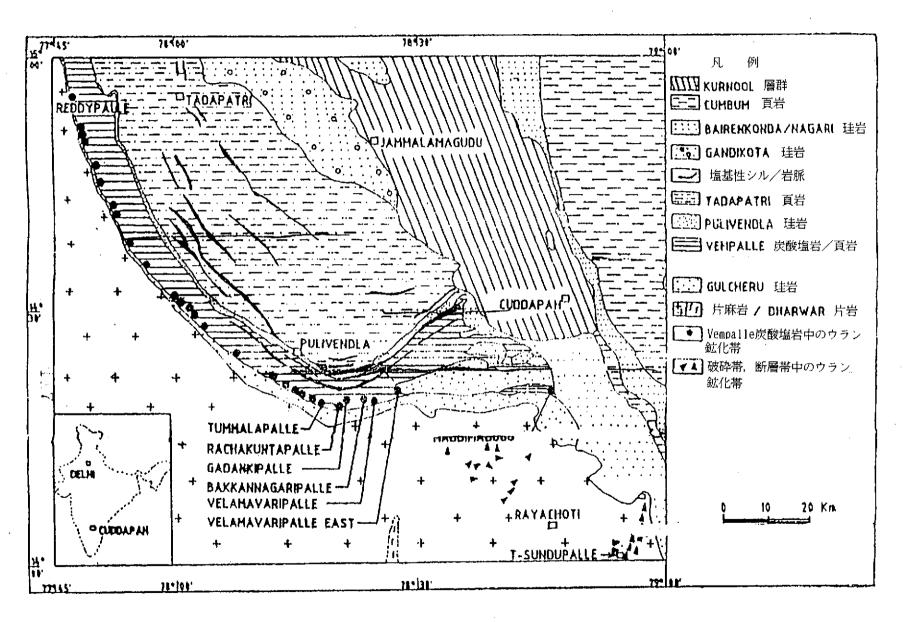


図2-4 Guddapah盆地南西部の地質図とウラン産出地

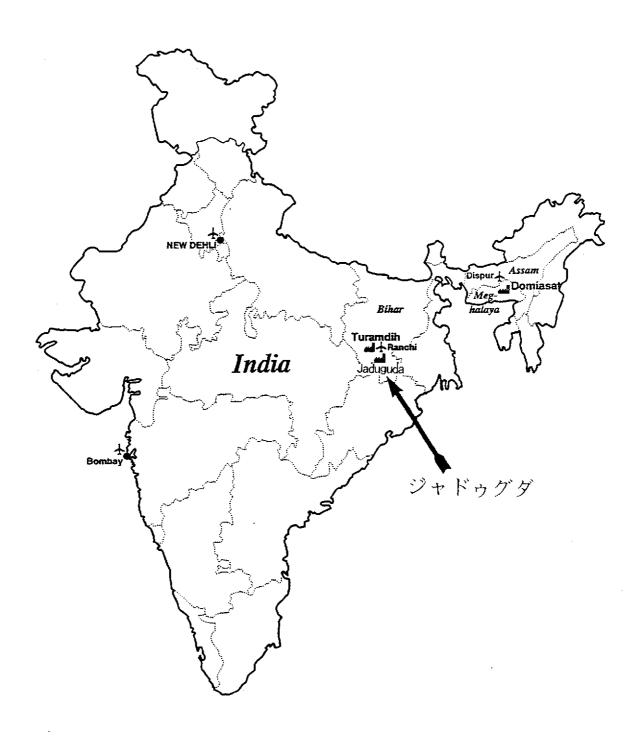


図2-5 Jaduguda位置図

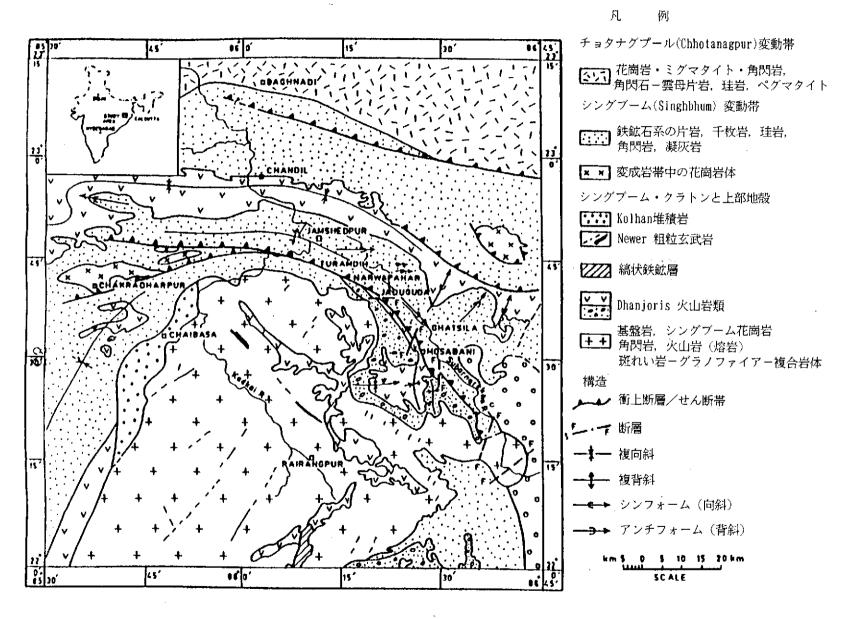


図2-6 Singhbhumウラン鉱床帯の主要地質構造図

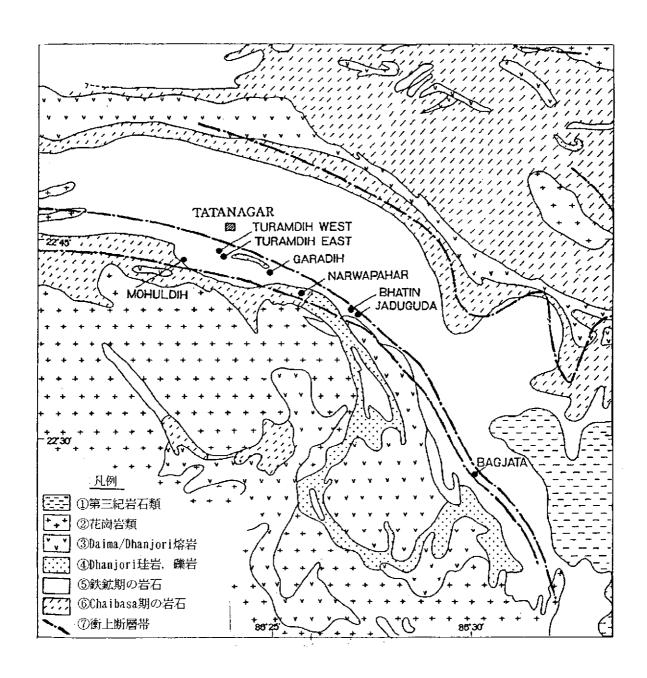


図2-7 SINGHBHUM衝上断層帯(STB) の地質図

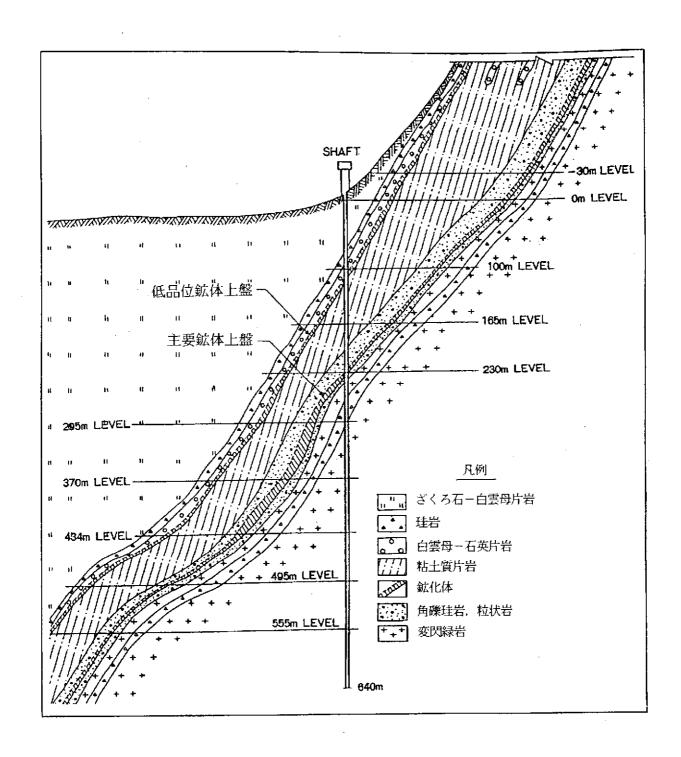


図2-8 JADUGUDA HILLの横断面図

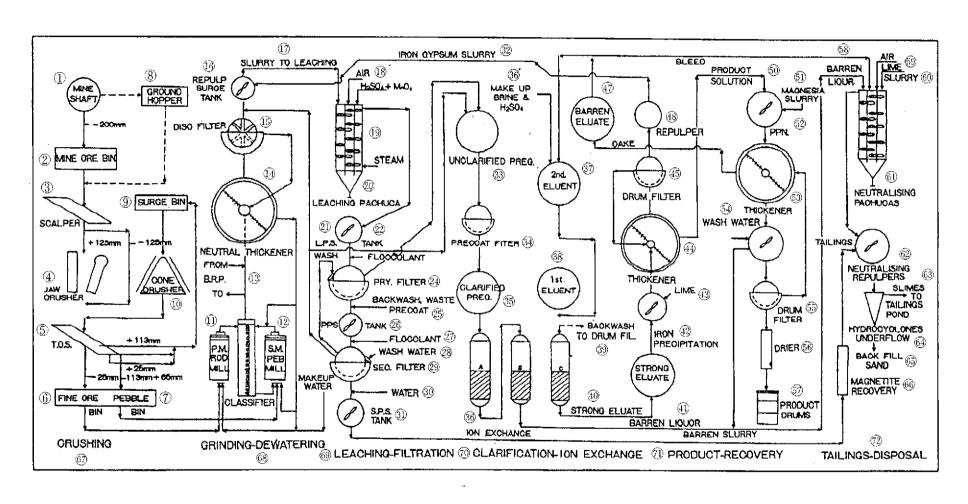


図2-9 Jaduguda 製錬所のウラン製錬フローシート (表2-3を参照)

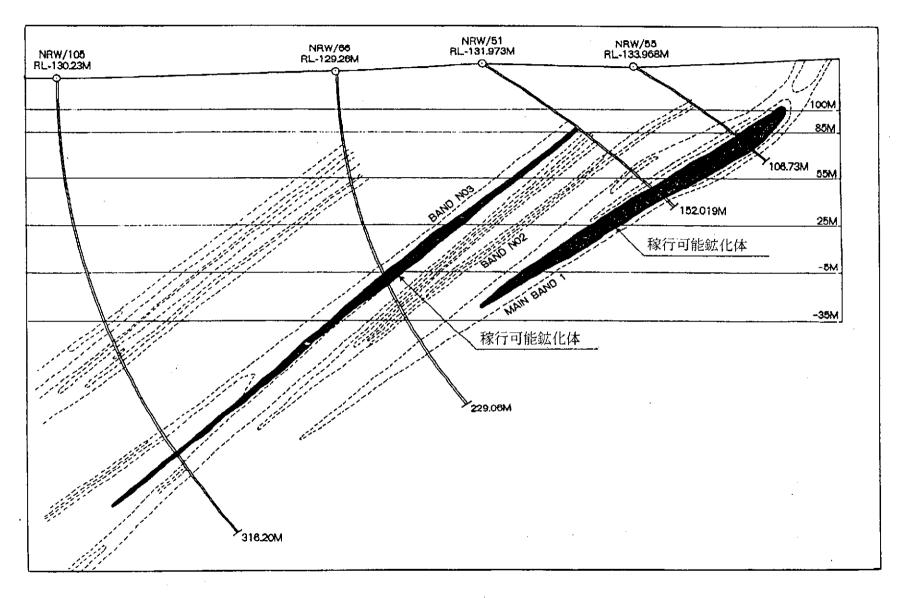


図2-10 NARWAPAHAR 鉱床の試錐断面



図2-11 Domiasat 鉱山の位置図

表 2-1 インドのウラン鉱床区におけるウラン鉱化作用とその地質時代との関係

顕	地質時代	期間(100万年)	1	ヒマラヤ			
野村			EIP	СІР	SIP	WIP	造山帯
生	新生代	0-63	= X	×	×	×	= 🛆
代	中生代	63 – c. 240	×				//
1	古生代	c. 240 – c. 590		=	×		//
先	後期原生代	c. 590 — 900	∧ ×	×	Δ ×	\triangle \times	Δ
カンゴ	中期原生代	900- 1600	△ ×	×	Δ×	ΔΧ	Δ
ブリマ	前期原生代	1600 - 2500		△//	0 ×	Δ //	
ア代	後期始生代	≥ 2500	•	•	•	•	

●石英礫礫岩型

×その他(ヘクマタイト,カーホナタイト,砂鉱,粘土等)

○含黄鉄鉱砂質岩

//燐灰土-黒色頁岩

△鉱脈型(せん断 - 岩質規制) =砂岩型

表2-2 東インド・ウラン鉱床区の鉱床

産 出 地	母 岩	地質時代		
鉱	脈型	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,		
Jaduguda. Bihar	緑泥石-黒雲母片岩	前期~中期原生代		
Narwapahar, Bihar	緑泥石片岩	前期~中期原生代		
Bhatin, Bihar	緑泥石-黒雲母片岩	前期~中期原生代		
Turamdih, Bihar	緑泥石片岩	前期~中期原生代		
Binda-Nagnaha, Bihar	アラスカイト	中期原生代		
Anek, Meghalaya	花崗岩, 片麻岩	中期~後期原生代		
Jajawal, Madhya Pradesh	花崗岩,片麻岩	中期原生代		
Dhabi-Dumath, Madhya Pradesh	閃長岩質岩	中期原生代		
Chowrdhawa, Madhya Pradesh	片麻岩、アラスカイト	中期原生代		
Sung Valley, Meghalaya	カーボナタイト , アルが輝岩	ジュラ紀		
砂	岩 型			
Gomaghat, Domiasat Meghalaya	砂岩	白亜紀		
Umryngka-Pedengkshap, Meghalaya	砂 岩	白亜紀		

表 2-3 Jaduguda製錬所のウラン製錬フローシートの説明

1	鉱山立坑	37	第二溶離液
2	貯鉱舎	38	第一溶離液
3	グリズリー	39	逆流洗浄、ドラム・フィルターへ
4	ジョー・クラッシャー	40	強溶離液
5	T. D. スクリーン	41	廃 液
6	細鉱ビン	42	水酸化鉄の沈殿
7	塊鉱ビン	43	石 灰
8	地上ホッパー	44	シックナー
9	サージ・ビン	45	ドラム・フィルター
10	コーン・クラッシャー	46	固形物
11	PMロッド・ミル	47	廃溶離液
12	SMペブル・ミル	48	リパルプスラリー
13	B. R. P	49	余剰廃棄溶離液
14	中間シックナー	50	生産溶液
15	ディスク・フィルター	51	マグネシア・スラリー
16	リパルプ・サージ・タンク	52	沈殿
17	スラリー浸出へ	53	シックナー
18	空 気	54	洗浄液
19	スチーム	55	ドラム・フィルター
20	浸出パチュカ	56	乾燥機
21	一次ろ過機	57	生産物ドラム缶
22	タンク ・	58	廃 液
23	凝集剤	59	空 気
24	乾燥、ろ過	60	石灰スラリー
25	逆洗プレコート廃棄物	61	中和パチューカ
26	一次パルプ・サージ・タンク	62	中和リパルプ・スラリー
27	凝集剤	63	スライムは貯泥池へ
28	洗浄水	64	ハイドロサイクロン底部排出物
29	二次ろ過機	65	バック・フィル・サンド
30	水	66	磁鉄鉱の回収
31	二次パルプ・サージ・タンク	67	破 砕
32	鉄・石こうスラリー	68	粉砕,脱水
33	未清澄貴液	69	浸出-ろ過
34	プレコート・フィルター	70	清澄-イオン交換
35	清澄貴液	71	生産物の回収
36	イオン交換	72	尾鉱処理
36′	塩類溶液と硫酸を調整		

表 2-4 Meghalaya 高原の地質層序

地質時代	層 群 名	累層 名	岩質	
漸 新 世	Garo	Chengpara	砂岩、シルト岩、粘土、泥灰岩	
中新世		Baghmara	長石質砂岩,礫岩,粘土	
始 新 世	Jaintia	Kopile/Rewak	頁岩,砂岩,泥灰岩	
		Shella .	砂岩と石灰岩の互層	
暁 新 世	:	Langpar	石灰質頁岩,砂岩,不純石灰岩	
後期白亜紀	Khasi	Mahadek	上部の粗粒、アルコース 砂岩(紫色)(190m)	
			下部の細粒〜粗粒砂岩(灰色)(25〜60m)	
		Jadukata	砂岩と礫岩の互層	
		· 不 整 í	À	
ジュラ紀	Sylhet Trap		玄武岩, アルカリ玄武岩, 酸性凝灰岩, アルカリ岩, 炭酸塩岩	
		不整	<u></u>	
後期原生代	Maylliem花崗岩		斑状花崗岩、ペグマタイト、アプライト、 石英脈、変閃緑岩、粗粒玄武岩	
中期原生代	Shillong		基底礫岩を伴う千枚岩と珪岩	
		· 不 整 í	\$	
始生代	片麻岩類		黒雲母片麻岩, 花崗片麻岩, ミグマタイト, 雲母片岩, 珪線石 – 石英片岩, 角閃岩, 含輝石グラニュライト	

3. パキスタン・イスラム共和国

- 3.1 ウラン鉱業事情
- 3.2 Dera Chazi Khan 鉱山
- 3.3 Issa khal 鉱山
- 図3-1 Dera Ghazi Khan 鉱山の位置図
- 図3-2 Issa Khel 鉱山位置図
- 図3-3 Issa Khel 付近の地質構造図
- 図3-4 注入井の構造
- 図3-5 インシチュ・リーチングの貴液からのウラン回収フロー・シート

3. パキスタン・イスラム共和国

3.1. ウラン鉱業事情

(1) 権利関係

パキスタンの原子力産業は、すべへて1955年に設立されたパキスタン原子力委員会 (Pakistan Atomic Energy Commission-PAEC) の管轄下にある。

連絡先:住所 Pakistan Atomic Energy Commission P.O. Box 1114 Islamabad 電話 92-51-811-030 Fax 92-51-811-031 Telex KR 2602 代表者 PAEC委員長 Dr. Ishfaq Ahmad

(2) 鉱業権益

パキスタンは鉱業プロジェクトへの外資導入を促進するために、最近鉱業法規上の鉱業権を以下の4種類とした。

- ①調査権 (Reconnaissance License- RL) :対象面積 100~10,000km² 。有効期間 1 年間、排他権ではなく更新不可能。申請費15,000P,Re(1US\$=32P,Re) 。
- ②探鉱権 (Exploration License-EL) : 対象面積1,000km²以下。有効期限3年間,3 年毎2回の更新が可能であるが,更新の都度対象面積を50%削減しなければならない。申請費および更新費は夫々50,000P. Re。年間土地使用料250P. Re/km²。
- ③鉱床保有権(Mineral Deposit Retention License-MDRL):有効期限1地域当り2年間,本来更新不可能であるが,対象金属の価格低迷などの不利な経済状況の場合に限り1年間の延長条項がある。申請費および更新費は夫々100,000P.Re。年間土地使用料3,000P.Re/km²。
- ④採掘権(Mining License-ML) : BL またはMDRL段階の作業終了時に交付される。対象面積 $250 \, \mathrm{km}^2$ 以下。有効期限30年間,10年間または終掘時までの更新可能。申請費 100,000P. Re。年間土地使用料3,000P. Re/km 2 。

(3) 許認可関係

1984年施行の原子力安全および放射線防護に関する法令 (Pakistan Nuclear Safety and Radiation Protection Ordinance) により、PAECが放射性物質と原子力施設の許認可に関する立法責任者である。 PAEC 委員長のもとで、原子力安全・放射線防護管理局 (Directorate of Nuclear Safety and Radiation Protection-DNSRP) が、その実施に関して法的規制を行う。

10名のDNSRP 監督官から成るチームは、原子力発電所の安全操業、放射線防護、放射線医学および医療物理の専門家集団であり、視察のために施設のあらゆる場所に立入ることが出来、且つ記録を調べることが出来る。

主として原子力発電所関係の設計基準および安全基準は、国際原子力機関(IAEA)の

安全規則および安全基準に従って決められている。操業許可証の取得前に,事業者は以下に関する詳細な資料を提出しなければならない。

①操業方針および原則,②放射線防護措置,③緊急時対策,④運開時試験と全出力試験の結果。

(4) 生産物の販売実績, 計画

パキスタン産のウランが国外に販売されたという情報はない。パキスタンのウラン生産はそもそも営利事業ではなく国営事業であるので、生産物は研究用として国内利用するために、政府が全量保有しているものと考えられる。

(5) 環境保全対策

鉱業プロジェクトへの外資導入の促進計画は、パキスタンの環境保全計画に脅威を与える恐れがある。外国の鉱業権申請者は、パキスタンの環境保全局(Environmental Protection Agency)と許認可庁(Licensing Authority)が定める環境に関する法規を遵守することを義務ずけられる。

(6) 政 策

鉱業への外資導入のため、1995年9月18日ベナジル・ブット(Benazir Bhutto)首相はパキスタン初の鉱業政策に署名した。行政上の障害を除去し、許認可手続きを効率良くし、連邦政府と州政府の連携を改善するための多くの対策が実施された。鉱業プロジェクトへの国家の参加はもはや絶対条件ではなく、コスト節減という営利事業としての誘因が働き始めている。

パキスタンでは鉱物は州政府の管轄事項であるので、各州の州政府首相は鉱業投資促進機関(Mineral Investment Facilitation Authority—MIFA)を設立する。MIFAは鉱業関係の大臣、すべての関係省庁の次官、ならびに環境保全の代表者1名と財界の代表者2名から成る。

MIFAの目的は意思決定を容易にし、効率的に事業を組織することである。各MIFAは鉱業活動の指導、援助、監督を行い、また法制および管轄官庁の認可状況を検討する。また地域の産物と役務を使用することを奨励して、二次三次の経済的波及効果を促す。

更に、州政府間の政策協議の場として、連邦政府によってブット首相が主宰する鉱業投資促進協議会(Mineral Investment Facilitation Board-MIFB)が設置される。MIFB は新政策の実施状況を監視し、且つ外国の投資家および経済援助機関が適切な投資配分が出来るように州政府を指導することによって、鉱業部門の円滑な投資を助長する。

連邦政府のパキスタン地質調査所(Geological Survey of Pakistan-GSP)は、地質調査、物探、化探の図面を作成し、データを集積して、その普及を図るのが任務である。 GSPは強化されて、国内全土の探査を再度実施して図面の発行を促進し、且つ民間部門または州政府と費用分担する二者協定の共同作業を推進する。刊行されていないデータも投資家が利用出来るように、資料公開制度が導入される。

PAECは1995年パキスタン原子力規制委員会(Pakistan Nuclear Regulatory Board)を設立し、また職場訓練協会と非破壊試験センターも設立した。

(7) 国際協定

1994年米エネルギー省のハゼル・オレアリ(Hazel O'Leary) 長官がエネルギー業界の代表者80名と共にパキスタンを訪れたが、この使節団には原子力産業の代表者は含まれておらず、米国とパキスタンの会社間で締結された15件のエネルギー協定にも原子力分野の案件はない。パキスタンが核拡散防止条約(Nuclear Non-proliferation TreatyーNPT)の調印を拒否している限り、パキスタンと米国間で原子力分野での取引が行われる余地はない。また、米大統領が「1)パキスタンが核兵器を所有していないこと、2)援助によってパキスタンに核兵器の取得を思いとどまらせることが出来ることを保証するまでは、経済援助または武器の販売を禁止するプレスラー法(Pressler law)も有効である。同法は、ジョージ・ブッシュ(George Bush) 大統領がパキスタンの核兵器開発能力を断定した1990年に発効した。このため、年間6億\$以上の米国の対パキスタン援助が凍結され、パキスタンが購入ずみのF-16戦闘機38機の引渡しも中止されている。カナダもパキスタンが NPTに参加していないために、パキスタンとの原子力分野での取引はないが、原子力安全を確保するための最小限の援助を行っている。パキスタンは、核兵器の製造能力はあるが、製造する意図はなく、原子力計画は原子力発電計画に限っていると主張している。

パキスタンは1995年4月の核拡散防止条約再検討・延長会議(NPT Review and Extension Conference)にオブザーバーとして出席したが、インドが本条約に調印するまではパキスタンも調印しないとしている。1995年インドのゴアにおいて米国、パキスタン、インド、中国による核不拡散会議が開催された。本会議では、核兵器の先制不使用と消極的安全保障を誓約する協定書に調印することをすべての核保有国に促すとの声明書が採用された。

米国はパキスタンとインドに対して、核兵器開発計画の中止を夫々が一方的に宣言するように示唆したが、インドが同意しないこととインドが大量の核兵器を保有しているのではないかという危惧から、パキスタンもこの示唆に対して明確な返答をしていない。パキスタンは現在ジュネーブ軍縮会議にて交渉中の包括的核実験禁止条約(Comprehensive Test Ban Treaty — CTBT)には賛成している。

パキスタンは原子力発電計画においてIAEAの核査察と保障措置を受け入れた。

3.2. Dera Ghazi Khan(デラガジカーン) 鉱山

(1) 交通・インフラ

Dera Ghazi Khan(デラガジカーン) はPunjab (パンジャブ) 州Multan (ムルタン) の 西約80kmに位置する。Bagalchur(バガルチュル) 鉱山は Dera Ghazi Khanの町の北西40 kmにあり、鉱山と町の間は30kmのアスファルト舗装道路と55kmの未舗装道路にて結ばれ ている。Multanには空港があり、Dera Ghazi Khan までは道路が通じている (図3-1)。

Dera Ghazi Khan はIndus(インダス) 川に近く, 西側にはSulaiman (スライマン) 山脈が連なる。起伏に富んだ地形で, 標高は海抜500mから1,000mに及ぶ。気候は半乾燥の砂漠型で, 年間平均降水量は 120mmである。気温は夏は極端に暑く, 冬は極端に寒い。地域の住民は少く, 教育レベルは低い。

(2) 経緯・現状

ウランは1963年Bagalchur にて発見された。その後、①鉱化作用の成因の研究、②鉱化作用の範囲の確定、および③鉱物学的研究用および製錬試験用試料の採取のために、若干のトレンチ掘さく、ピット掘さくおよび坑道探査が行われた。

これらの予備調査の有望な結果により、小規模な試錐探鉱が始められた。最初はらくだ以外に材料の輸送手段がなかったので、可搬式試錐機を使用せざるを得なかったが、1971年に国連開発計画(UNDP)の援助により自動車道路が建設され、トラックまたはスキッド搭載の試錐機が導入された。既知鉱床の精査および新規鉱床発見のための試錐作業は現在も続けられている。

試錐探鉱の結果2ヶ所の古チャネルに鉱化作用が確認された。その1ヶ所では小規模な露天掘採掘が始められ、もう1ヶ所については坑内掘採掘が計画されている。

1985年,年間生産容量30tUのDera Ghazi Khan 製錬所が操業を開始した。

(3) 地質概要

Dera Ghazi Khan 地域の岩石は、中新世中期から更新世前期に及ぶ Siwalik (シワリク) 系に属している。 Siwalik系は下部、中部および上部の 3 層群に分類され、中部層群に鉱化作用が認められる。

中部層群は陸成層と考えられる灰色の中粒〜粗粒不均質アルコース砂岩層から成り, 灰色および褐色の頁岩が夾在している。

ウラン鉱化作用は、局地的にBagalchur 砂岩として知られている砂岩層中に限定されている。この岩層は厚さ60~75mで、下位の灰色の頁岩層と上位の褐色を帯びた赤色の頁岩層に挟まれている。

一般的にBagalchur 砂岩層の下盤際には、レンズ状の礫岩質グリット(泥質砂岩)が存在し、その厚さは通常 0.6~1.0mであるが、局部的には3mに達する。この礫岩質グリットは、砂質、シルト質または粘土質マトリックスと珪岩および石灰岩の円礫ないし亜円礫から成る。グリツトのレンズは東西の方向性を有し、古チャンネルの川底を示している。

2つの古チャンネルがこの地域に発見された。チャンネル1の1~25km西側にチャンネル2が在り、チャンネル1はチャンネル2よりも層序的に約 25m上にある。これらのチャンネルは相互に交叉しており、多くの小分流が発達していた様子を示している。

探査試錐は最初 16m×16m グリッドにて行われたが、後に 32m×16m に変更された。 試錐探鉱によって次のような情報が得られた。

- 1) 堆積構造、すなわち砂岩の古チャンネルによって、ウラン沈積が規制されている。
- 2) 岩層傾斜は南東へ約9°,鉱体は南へ約6°傾斜している。
- 3)鉱化作用は散在し不規則である。その厚さは数cmからチャンネル1では1mまで、チャンネル2では $2.0\sim2.5m$ までである。
- 4) 鉱化作用の厚さおよび品位は急激に変化する。
- 5)鉱化作用はいろいろな層準中に賦存し、非鉱化または僅かに鉱化した砂岩が夾在する。
- 6) ウラン鉱物は地下水面上ではチューヤムナイト [Tyuyamunite, $Ca(UO_2)_2(VO_4)_2$ ・ nH_2O] の形の酸化鉱、地下水面下の非酸化ゾーンでは閃ウラン鉱およびコフィナイト [Coffinite, $U(SiO_4)_{1-x}$ ・ $(OH)_{4x}$] である。
- 7)酸化鉱は放射平衡にないために、実際の化学分析による品位は放射分析による品位よりも約25%高い。
- 8)鉱石に対するずりの比率はチャンネル1は10.1~15.1であるが、チャンネル2ではもっと大きい。

(4) 採 鉱

チャンネル1-露天掘採掘

古チャンネル1のオーババーデンは、厚さ0~3mと0~6mの2層の堅硬なレンズ状砂岩を含む膠結度の悪い砂岩層で、その総厚は0~13mである。現在の水流によってえぐられて、多くの区域に分断された地形を示している。鉱床もそれに従って分断されており、そのオーババーデンの大部分は水流の底面よりも高い位置に広がっている。このため通常のピットを掘さくする方式ではなく、2つの水流の間に盛上っているオーババーデンを切り崩すような剝土作業が行われた。

剝土作業は一部は請負業者により、一部はPAECによって行われた。場所によって亀裂

が発達しているため発破は有効でなく、ブルドーザによるリッピングが行なわれた。

オーババーデンが剝土された後、1.5m×1.5mグリッドの穿孔が行われ、鉱床の品位、厚さおよび形状を確認するために、ガイガーミューラ計数管にて検層を行う。ずりの部分はブルドーザによって注意深く取り除かれる。鉱体が露出すると鉱床が厚い場合はブルドーザにてリッピングする。鉱床が小規模で薄く、リッピングではずり混入が避けられない場合は、圧気動ブレーカにて掘さくする。掘さくされた鉱石は、フロントエンド・ローダによって9tダンプ・トラックに積込まれ、その品位に従って夫々の品位別貯鉱場に運ばれる。トラックには5ヶ所に放射線検知器が備えられ、その読みの平均値を積込まれた鉱石の品位とする。低品位鉱床であるので、品位コントロールが重要であり、採掘作業中のずり混入と鉱石の遺漏に注意しなければならない。

チャンネル2-坑内掘採掘

チャンネル 2 は非酸化性鉱床で比較的深部に賦存し、そのオーババーデンの厚さは30~300mである。本鉱床の開発には坑内掘採掘が計画されている。開坑は、断面2.7m×2.7mの連搬用と入気用の 2 本の斜坑、ならびに排気用兼緊急時避難用の斜坑の計 3 本によって行われ、これらの斜坑は古チャンネルの傾斜に沿った沿層坑道によって結ばれている。 採掘法は後退式の短壁式採掘法である。支保は坑木打柱で、切羽内のずりは採掘跡に充塡される。鉱石および坑内で利用出来ないずりは、ゴムタイヤ式2tトラックにて坑外まで運搬する。

(5) 製 錬

Bagalchur の鉱石は、年間容量30tUのBera Ghazi Khan 製錬所にて製錬される。

(6) 生産コスト

Dera Ghazi Khan のウランの生産コストを試算するためには、情報が不足である。

(7) 生産体制, 実績, 計画

Dera Ghazi Khan の年間生産量の実績および計画は以下のように見積もられる。

	生産量	生産容量		生産量	生産容量
1986年	2 0 tU/年	2 0 tU/年	1990年	2 0 tU/年	2 0 tU/年
1987年	4 0 "	4 0 "	1991~1995年	5 0 "	50 "
1988年	50 "	5 0 "	1996~2005年	5 0 "	70 "
1989年	50 "	50 "			

3.3. [ssa Khel(イサケール) 鉱山

(1) 交通・インフラ

Issa Khel(イサケール) はパキスタンの北部のNorthwest Frontier (北西辺境) 州内にあり、Dera Ghazi Khan の北約300km である。ほぼ北緯33°, 東経71°に位置する。最寄りの空港はIssa Khel の北約90kmのPeshawar (ペシャワール) にある。Peshawarから南下し、Bannu(バンヌ)から東に転じてIssa Khelに到る道路がある。州都Islamabad(イスラマバード)は北東135km にあり、良好な空港施設を有する。Islamabad からの道路はMianwali(ミヤンワリ)まで南西に進み、そこから北上してIssa Khel に到る(図3-2)。

Issa Khel はIndus(インダス) 川に近く位置し、遙か南西にSulaiman(スライマン) 山脈の1,000m級の山々を望む。この地域の地形は低い走向山稜のゆるやかな起伏を示し ている。年間降水量は150mm 以下で乾燥した気候である。夏季の晝間気温は50℃に達す る。

(2) 経緯・現状

Issa Khel では1990年代末の生産開始を目途に、インシチュ・リーチングの試験が行われている。

(3) 地質概要

パキスタンではSiwalik(シワリク)系の中新世中期から鮮新世までの河成堆積層がウラン鉱床の母岩として有望であると考えられている。これらの岩層は東のKashmir(カシミール)からPotwar(ポトワール)台地とBannu(バンヌ)盆地を経て西のSulaimantli脈に及び、更に南方にゆるやかな勾配で連続して同じ岩種の浅海成層に移行する(図3-3)。

Issa Khel 鉱床の母岩は、中新世中期ないし後期のDhok Pathan 層の一部である。 Dhok Pathan 層は砂岩と厚さ4mまでの頁岩の互層であり、地表には入組んだ水路が発達している。ウラン鉱化作用は厚い砂岩層中に賦存するが、頁岩層の表面に沿って再沈殿したウラノフェーン[Uranophane、 $Ca(UO_2)_2(SiO_3)_2(OH)_2*5H_2O$]が頁岩層の上部にも存在する。

砂岩層は淡灰色の細粒~中粒砂岩で、石英、長石、雲母、角閃石、柘榴石、磁鉄鉱、緑簾石および粘土鉱物から成り、適度な粗密度を有するが、膠結度は極めて悪い。いろいるな層準に縞状の堅硬な石灰質砂岩がある。層準の傾斜は20°~30°である。

(4) 採 鉱

多数の小規模ウラン鉱床が、パキスタン北西部のBannu 地方のSiwalik 中部層群中に並んで存在する。

母岩の砂岩は脆くて膠結度が極めて悪く、圧縮強度も剪断強度も小さいので、坑道探査中の岩盤保持に苦慮した。カットアンドフィル採掘法だけが適用出来ると考えられたが、それでも能率上、保安上およびコスト的に問題があるであろう。

一方,母岩は良好な間隙率と透水性を有し,厚さは2~15m(平均7m以上)で,地下水面下に浸出可能なウラン鉱床を胚胎している。地層の傾斜は30°以内で,鉱床の上部は不透水層によって閉塞されていないが,上記の条件からみて,インシチュ・リーチングの適用性を確かめるために,現場試験を行った。

試験では"5点モデル"を採用し、四辺形の頂点に19m 間隔で注入井を、その中心に 生産井を掘さくした。注入井の構造は図3-4に示されている。

浸出液は Na_2CO_310g/I と $NaHCO_3$ 5g/I の混合液で、生産井に対して動水勾配を正に保つように、注入量は汲上量よりも僅かに少な目とした。酸化剤としては、酸素より高価であるが取扱いが容易であるために、過酸化水素 H_2O_2 を用いた。酸素は浸出液に対して溶解度が低かった。

当初,過酸化水素は1.5g/1の割合で浸出液と一緒に注入された。それによって貴液中のウラン濃度は25ppm から65ppm に増加した。3g/1にふやした結果,ウラン濃度は最大160ppmまで増加したが、炭酸カルシウムの沈殿も増加して、しばしばポンプの作動不良の原因となった。

生産井の貴液のpHは注入開始7日後に上昇し始め、同時にウラン量も増加し始めて25 ppm にて安定した。回収された貴液は現場の貯留タンクに集められ、イオン交換プラントにポンプにて送られた。

(5) 製 錬

生産井から回収された貴液は、製錬プラントに供給する前に、砂層フィルタにて不溶解物を除去する。製錬プラントは 4 基の直列のイオン交換塔から成り、そこで 3 カルボニル・ウラン錯陰イオンが粒状樹脂に吸着され、樹脂に吸着されたウラン錯イオンはNa CI溶液によって溶離される。 $10\sim12 {\rm gU/I}$ を含む溶離液は、ウラン沈殿工程に送られて過酸化水素を加えられ、ウランは ${\rm UO_4 \cdot 2H_2O}$ の形にて沈殿する。沈殿物は濾過・乾燥される(図 3-5)。

(3) 生産コスト

Issa Khel のインシチュ・リーチングによる将来の生産コストを試算するためには、

情報が不足である。

(7) 生産体制, 実績, 計画

見積もりによれば、1997年に40tU/年、1998年以降70tU/年の生産容量となり、1999年以降40tU/年の生産を行う。

Dera Ghazi Khan

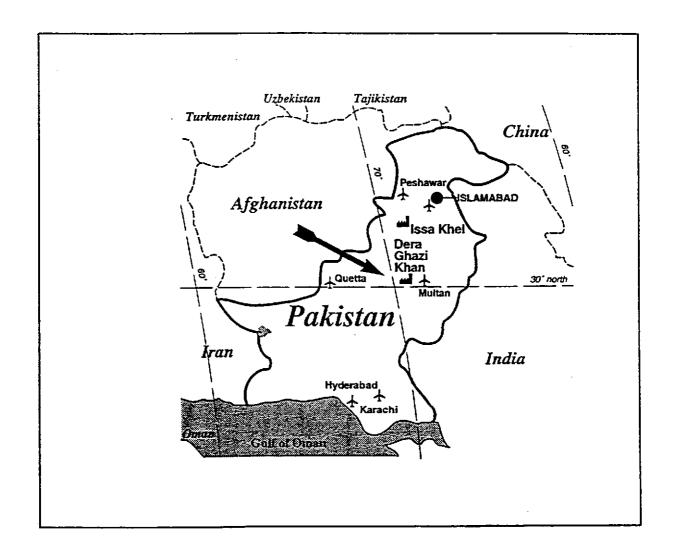


図3 1 Dera Ghazi Khan 鉱山の位置図

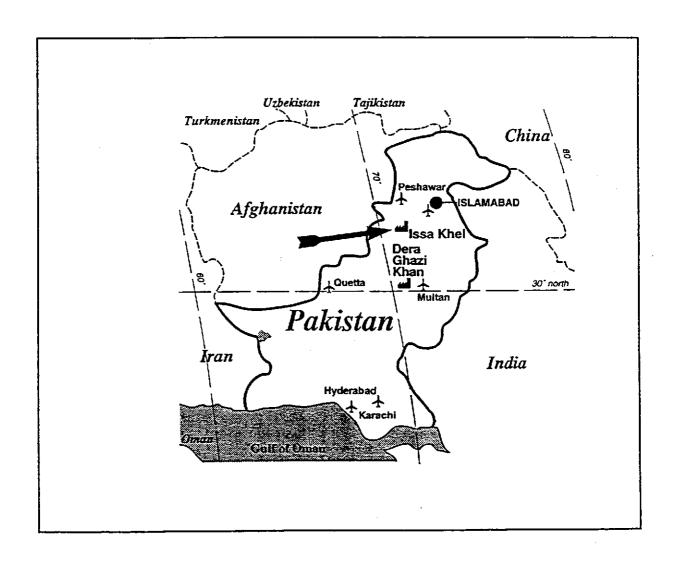


図3-2 Issa Khel 鉱山位置図

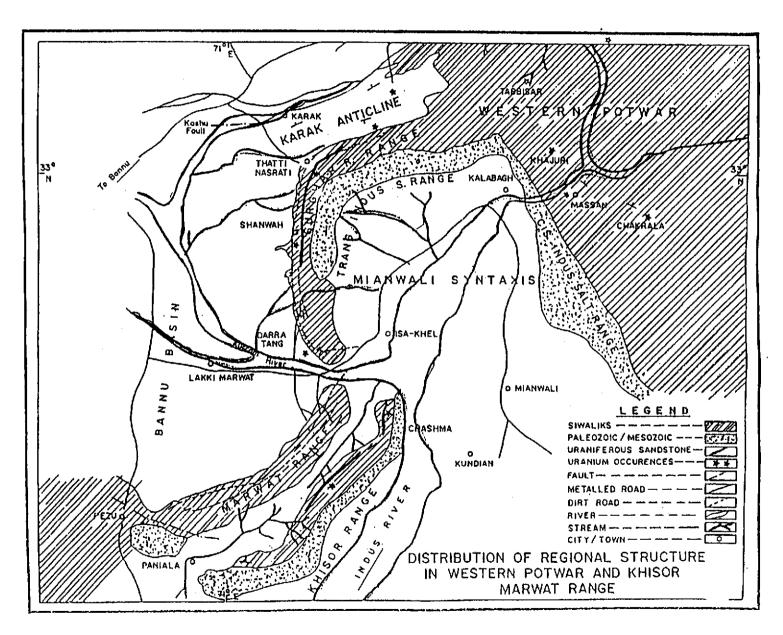


図3-3 Issa Khel 付近の地質構造図

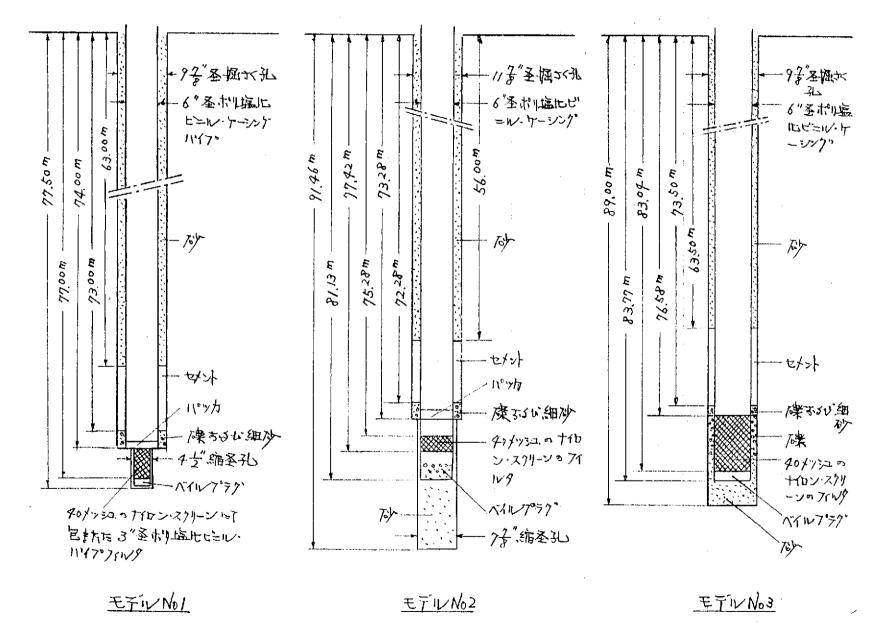


図3-4 注入井の構造

-155-

図3-5 インシチュ・リーチングの貴液からのウラン回収フロー・シート

4. タ イ 王 国

4.1 ウラン鉱業事情

図4-1 コラート高原におけるウラン鉱化帯の探鉱地域

図4-2 北部タイで調査された第三紀堆積盆

図4-3 北部タイの模式化された第三紀堆積盆の岩相分布

4. タイ王国

4.1. ウラン鉱業事情

(1) 探鉱地域

1970年代初期に、Royal Thai Department of Mineral Resources (タイ鉱物資源局、DMR)がウラン探鉱を開始し、国内の地質環境の異なった数箇所でウランの鉱徴を発見した。

1979年, the United States Geological Survey(アメリカ地質調査所, USGS) の援助を受けたDMR はIAEAおよびthe Free University of Berlin(ベルリン自由大学) と共同でタイ北部の Khorat(コーラート) 高原で探鉱活動を行った。

1985~1987年には、Canadian International Development Agency(カナダ国際開発公団、CIDA) と共同で、全国的な広域探鉱計画が実施された。この探鉱計画ではKenting Sciences International Limited Canada(ケンティング国際科学社)による空中地球物理調査も行われた。

1990年以降のタイ国のウラン探鉱の年間探鉱費は約US\$62,800 である。

(2) Phu Wiang(ブー ウィアン)

1970年にKhon Kaen(コーン カエン) 州、Phu Wiang 地方のKhorat(コーラート)高原でウラン鉱化作用が発見された。ウラン鉱化作用はSao Khua(サオークア)ジュラ紀層のBユニット河床の砂岩内に発見された(\boxtimes 4-1)。

航空機搭載空中分光計によりPhu Wiang 地方のラテライト質土壌の数個所にアノマリーが発見され、続いて1個所について地質-地化学合同調査が行われた。

調査には、柱状図、マッピング、放射能調査、沢砂調査(126サンプル),水調査(地表水80、井戸水および湧泉 397サンプル)が実施された。酸化環境におけるウランの高い溶解度および地下水中の易動性は、地下の潜頭鉱化作用の探査に井戸水調査が有効な手段であることを示している。

Bユニット層準は Phu Wiangから Udon(ウドン) 地方への80kmにおよぶNE-SW方向の組紐状古河川系の堆積物である。しかし、Bユニット砂岩の経済的ポテンシャルは、その堆積学的特徴からプロジェクト地域内では低いと思われる。

IAEAは、Phu Wiang 地域のUS\$130/kgU以下のコストで回収できる確定および推定追加鉱量(RARおよびEAR)は、カット・オフ品位0.04別として約1.5tU と推定している。

(3) Doi Tao(ドイ タオ)

Doi Tao 地域は北タイのChiang Mai(チェンマイ)州に位置する(図4-2)。

この地域のウラン鉱徴は、蛍石鉱床に成因的関連のある花崗岩に関係している。国内 で調査された11の第三紀堆積盆のうち、部分的あるいは完全に花崗岩に囲まれた4つの 山間堆積盆がウラン鉱床生成に好ましいと考えられた。北タイの数個所の花崗岩についてウラン供給岩としてのポテンシャルが調査された。第三紀堆積盆の近くにある三畳紀斑状黒雲母花崗岩が高いバックグラウンドを有し、ウランの源岩であると考えられる(図4-3)。これは、北タイ西部の数個所からの32の硬岩サンプル(バックグラウンド6.1ppmU)およびWiang Pao(ウィアンパオ)地域の Fang(ファン)花崗岩からの 208サンプル(バックグラウンド 12.3ppm.U)の分析結果によるものである。部分的には、128 ppmUの花崗岩がある。Amphoe Pai(アンホエ パイ)地域の三畳紀の花崗岩のバックグラウンドは6.6ppmU である。

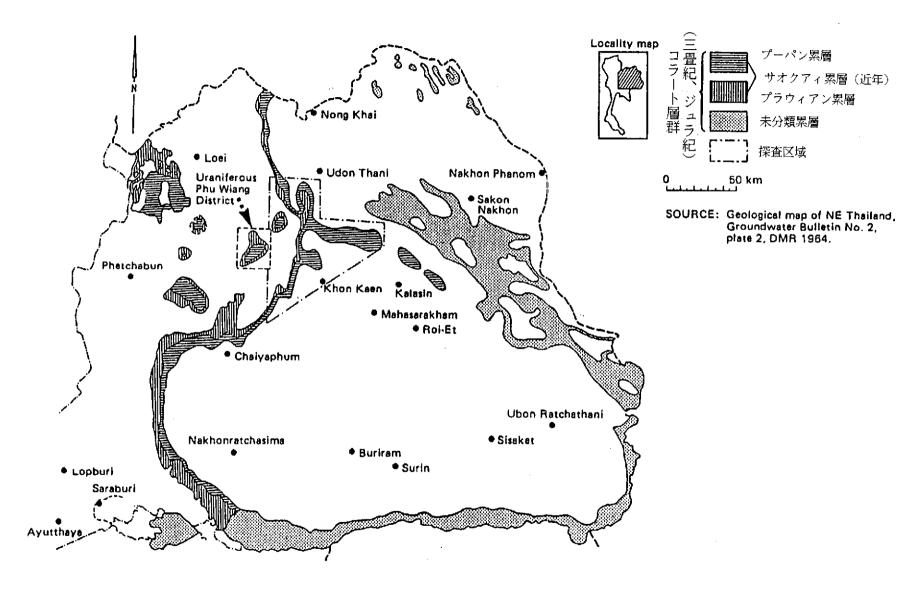


図4-1 コラート高原におけるウラン鉱化帯の探鉱地域

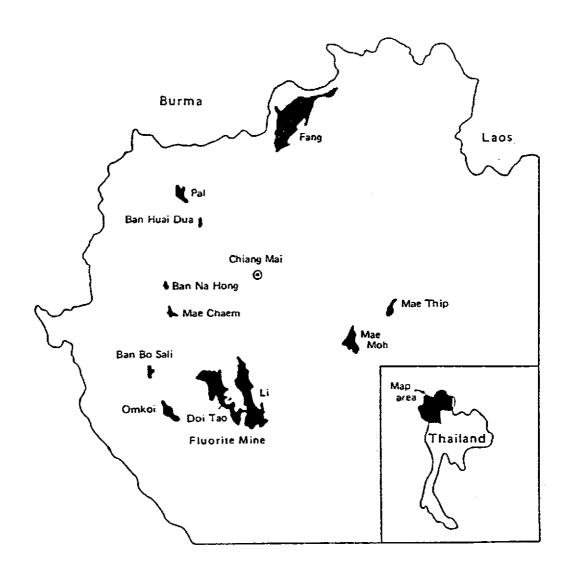


図4-2 北部タイで調査された第三紀堆積盆

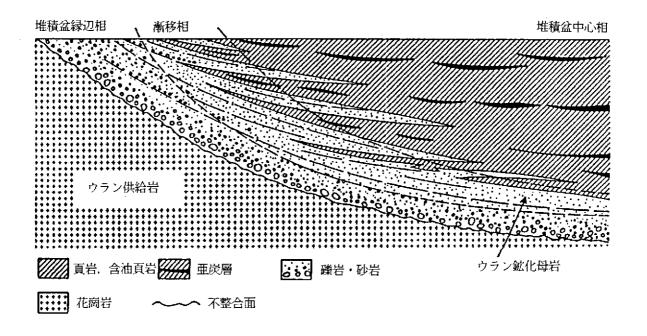


図4-3 北部タイの模式化された第三紀堆積盆の岩相分布

5. ベトナム社会主義共和国

- 5.1 ウラン鉱業事情
- 5. 2 Nong Son
- 5.3 Binh Duong
- 5. 4 Da Lat
- 図5-1 ベトナム原子力委員会(VINATOM) の組織図 I
- 図5-2 ベトナム原子力委員会(VINATOM) の組織図Ⅱ
- 図5-3 ベトナムのウラン鉱床分布図
- 表5-1 ベトナム原子力委員会要人リスト

5. ベトナム社会主義共和国

5.1. ウラン鉱業事情

(1) 探鉱地域

ベトナムのウラン探鉱と採鉱の政府機関は、Vietnam's Ministry of Heavy Industries、Geological Survey of Vietnam、Geological Division No. 10(ベトナム重工業省、地質調査所、地質部No. 10)とVietnam National Atomic Energy Commission(ベトナム原子力委員会、VINATOM)、特にInstitute for Technology of Radioactive and Rare Elements(放射性・希元素技術研究所、ITRRE)である(図5-1、-2、表5-1)。

IABAによれば、ベトナムのウラン探鉱は、1955年に開始され、1978年に系統的な地域探鉱計画が策定された。国土の約95%が1/200,000のスケールで地表放射線測定(地表 γ 線測定)法によって調査された。また、国土の約7%以上に空中および地表放射線/磁気測定(1/25,000)が導入された。そして、かなりの数の異常帯について、75,000mの試錐と坑内探鉱を含む精密調査が行われた。IABAの推定では、1993年の国の探鉱費は、総計 6孔、1,000mの試錐で、US\$319,000であった。これは20孔、3,188mの試錐を行った 1990年の活動からみれば大幅な落ち込みである。

最近の探鉱活動はDa Nang(ダナン) 州の Nong Son(ノンソン) 堆積盆地, 北部のBinh Duong (ビン ドゥオン) および南部のDa Lat (ダ・ラト) 地域に集中している (図 5 -3)。

(2) ウラン開発に関する規制および計画

・ウラン鉱床の所有 国家の所有としない。独立会社による開発を考えている。 ウランは鉱業法上非金属と同じ扱いとする。

開発時の形態

ベトナムの独立会社と外国企業との共同開発を考えている。権利比率はベトナム側 に優先的に与えるが、独立会社と外国企業が取り決める。

ベトナム側の役割:資本金の借入(Capital loan),株式の発行(資金の調達)。

外国企業の役割: 資金の供与(ただし、開発時の価格に投資額を折り込んで優先的に返却する), 技術供与。

投資環境

外資導入は100%認める。投資法、鉱業法、会社法に基づく税金等が存在する。

・ウランの利用

将来の国内原子力発電用の燃料とする。濃縮加工は海外で行う。

- ・開発の時期と対象鉱床 Nong Son鉱床で2000年以降を予定。
- ・ウラン埋蔵量 期待鉱量を含め、全鉱床の埋蔵量は約170,000tU(精度不明)。
- 製錬(パイロットプラント)

放射性・希元素技術研究所(ITRRE) は、ハノイの北西18kmにウランおよび希元素の 回収試験用パイロットプラントを各1基づつ所有している。

ウラン回収用パイロットプラントは 150kg鉱石/バッチの能力を持っていたが、1990年に改造し、現在は酸化亜鉛製造用(ゴム産業用)に使用している。

·政治体制

ベトナムは、一応社会主義体制をとっているが、殆んどそれを感じない。

5.2. Nong-Son (ノン ソン)

(1) 交通・インフラ

位置:ベトナム中部、Da Nang(ダナン) 市の西南西約50kmの標高200m前後の山間部に 位置する。

交 通:道路は未舗装で途中に橋梁が無く、船による簡易橋梁を渡る必要がある。キャンプ地までDa Nang から車で約2時間、キャンプ地から露頭まで徒歩で約1時間30分を要する。

鉄道は、Hanoi(ハノイ) 市からHo Chi Minh(ホーチミン) 市に至る幹線鉄道 から約40km離れている。

空路は、 Hanoi市からDa Nang 市まで約1時間の飛行機便がある。

気 候: 熱帯モンスーン気候で樹林は深い。5~10月が雨季, 11~4月が乾季。3月下 旬は気温は約35℃, 蒸し暑い気候である。

(2) 権利関係

・オペレーター: Ministry of Heavy Industries, Geological Survey of Vietnam, Geological Division No. 10(ベトナム重工業省,地質調査所,地質部 No. 10)

・オーナー:不明だが、開発時はITRRE が担当。

(3) 経 緯

1986年:エアボーンにより鉱床発見。

1989年以降:1994年まで5年間探査を実施した。ロシア地質技師の援助があった。

1994年以降:実質作業なし、取りまとめのみ実施した。

地質・物理探査等の調査概要

- ・1/50, 000スケール(範囲2, 000km²)の地質図を作成,空中 γ 線測定,地表 γ 線測定(100m ×100mグリッド調査,平均 $25\,\mu$ R/h, 最大 3, $000\,\mu$ R/h)を行い有望地の抽出を行った。
- ・1/10,000スケールで同様な図面を一部作成し、合わせて試錐を導入している。
- ・約30~40本程度の試錐(平均掘削深度200m, 試錐間隔 300~500mと粗い)が行われている。
- ・鉱石30t(トレンチから採取、平均品位0.7MI)の製錬試験も実施されている。

(4) 地質概要(表5-2)

・概要

上部原生界の変成岩(PR2) と中生代のカリ長石に富む花崗岩(Que Son Complex)を基盤として、これを三畳紀 Nong Son Suite(T3ns) の堆積岩が不整合に覆う。本堆積盆地には、石炭が胚胎する。Nong Son Suiteは大きく 2 層に細分され、その下部層中の砂岩にウラン鉱床が分布する。

・地質構造および鉱床

Nong Son Suite(T3ns)の堆積盆地は、東西が約50km、南北が約25kmの楕円型をしている。EWないしENE-WSW 系の盆地を切る断層が認められる。地層の一部には緩やかな褶曲構造が認められる。

鉱床は、堆積盆地中の砂岩層に3~4層の薄い鉱層として存在する。ウラン胚胎層の厚さは3m、鉱化はマクロでは板状の薄層(試錐間隔が粗いのを無理につなげているが)、ミクロでは一次鉱物と考えられる黒色脈が破砕部に沿って脈幅2~3cmの脈状を呈する。黄色や淡緑色の二次鉱物は、砂岩の割れ目に沿って認められる。品位は 0.017~0.68㎞(最大1.44‰)。

鉱床の規模は、 $1 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ 、厚さ $1 \sim 4 \text{ m}$ の薄層が $3 \sim 4$ 層あり、そのうち上位3 層が品位良好。深度は地形にもよるが、浅いところでは30 m 前後、深いところでは150 m以上となる。

• 時代

鉱床母岩:三畳紀Nong Son Suiteの砂岩。 ウラン鉱化年代:不明。

・主要ウラン鉱物

ピッチブレンド[Pitchblende], ナストラント,コフィナイト[Coffinite, U(SiO₄)₁ $_{-x}(OH)_{4x}$], 燐灰ウラン石[Autunite, Ca(UO₂)₂(PO₄)₂•10~12H₂O],燐銅ウラン鉱 [Torbernite, Cu(UO₂)₂(PO₄)₂•12H₂O]。

・随伴金属鉱物

不明(硫化物等はあまりない)。

鉱床タイプ

砂岩型(ただし、堆積盆地中の砂岩層に $3 \sim 4$ 層の薄い鉱層をなす。詳細は不明であるが、堆積盆地基底部に鉱床が分布するわけでもなく、また、ロールフロント、古河川型のいずれとも特徴を異にする)。

• 埋蔵鉱量

期待鉱量も含む埋蔵量に関する数字は多数存在する。以下の①~③までは、これまでのロシアの技術援助により計算された数字である。④は、Dr. Nguyen Van Hoai による計算結果である。

① 200, 000tU

② 120,000tU

③ 40,000tU ④ 80,000tU

IABAによれば、US\$40/kgU 以下のEAR-カテゴリーIIで約5,000tU と推定されている。 概略のウラン埋蔵量は、カットオフ 0.06%で8,100tU, 一層当り、約850tU, カットオフ0.025%で15,300tUと推定されている。

- (5) 採 鉱露天掘を考えている。
- (6) 製 錬 硫酸浸出-固液分離を考えている。
- (7) 生産コスト 不明。生産は経済的に成り立つと期待している。
- (8) その他 Nong Son堆積盆地に胚胎するウラン鉱床
 - 1) Tien An 鉱床

位 置: Quang Nam ~ Da Nang Province (クアンナムーダナン州) Nong Son鉱床の東部に位置する。

母 層:原生代の変成岩中の不規則な黒鉛体。

鉱床タイプ:変成岩型。

鉱 量:品位0.01~0.05粒で2,000tU 以下,US\$130/kgU以下の EAR・カテゴリーⅡは 約200tU。

黒鉛の埋蔵量は2,000,000t, 品位は20%以下。

2) Nong Son堆積盆地(石炭)

位置: Quang Nam - Da Nang Province。

母 層:Nong Son堆積盆地中の石炭。

鉱床タイプ:石炭に伴うウラン。

鉱 量:石炭5,000,000t中に、品位0.005刈 のウランが知られている(埋蔵量250tU)。 また別資料では、0.02刈 の品位で500tU が推定されている。

回 収:石炭灰からの回収が検討されたが、珪素が残留し、ウランの分離は難しい。

5.3. Binh Duong (ビン ドゥオン)

(1) 交通・インフラ

位 置:北ベトナム, Cao Bang (カオ バン) 市の西約40kmの標高1,000m前後の山間部 に位置する。

交 通: Cao Bang周辺のNguyen Binh(ギエン ビン) 村から未舗装道路を車でキャンプ 地まで約2時間、キャンプ地から露頭まで徒歩で約10分を要する。鉄道、空路は無い。

気 候:温帯モンスーン気候、樹林はまばらである。四季の区別あり。 $5 \sim 9$ 月が雨季、 $1 \sim 3$ 月には気温が0 $\mathbb C$ 前後まで下がる。3 月下旬は気温約10 $\mathbb C$ 前後と過ごしやすい気候である。山岳民族が多数住んでいる。

(2) 権利関係

- ・オペレーター: Ministry of Heavy Industries, Geological Survey of Vietnam, Geological Division No. 10。
- ・オーナー:オペレーターと同じ。
- 許認可関係:不明。

(3) 経 緯

1945年以前:フランスが発見。

1958年以降:1961年までロシア地質技師の援助で、ベトナムが調査を実施。その後、実作業なし。

地質・物理探査等の調査概要

- ・1/50,000 (範囲2,000km 2)、1/10,000,1/2,000,1/1,000,1/500スケールの地質図を作成、地表 γ 線測定、トレンチ調査を行い、有望地の抽出を行った。
- ・試錐調査では数100 本程度の試錐(平均掘削深度100m, 試錐間隔20~40m)が行われている。
- ・分析 2,800件(試錐,トレンチの試料)。

(4) 地質概要

- ・概要: 蛍石鉱床を胚胎するデボン紀石灰岩と白亜紀花崗岩からなる基盤を,新生代の の 産錐堆積物が不整合に 覆う。 本堆積岩中に ウラン鉱床は 分布する。
- ・地質構造: 花崗岩類が山稜を形成し、その山稜の山間盆地状の凹地に新生代崖錐堆積物が分布する。崖錐堆積物は約20°前後の緩やかな傾斜地をなす。

・時代

鉱床母岩:新生代崖錐堆積物。

ウラン鉱化年代: 不明。

・主要ウラン鉱物

燐灰ウラン石、燐銅ウラン石。

• 随伴金属鉱物

燐(平均品位18%P₂O₅)。 最大品位30%P₂O₅)。

鉱床タイプ

白亜紀花崗岩とデボン紀石灰岩からなる基盤を不整合に覆う洪積世の燐酸塩に富む堆 積岩から成る地表タイプのウラン-燐鉱床である。

第1鉱体は、250m(長さ) $\times 45m$ (幅) $\times 5 \sim 6m$ (厚さ)の規模で、 $30\sim 40^\circ$ 南西傾斜。 地表部から深部に向って消滅するようなレンズ状鉱体で、深度 30mで消滅する。

第2鉱体は、130m(長さ) $\times 10\sim 30m$ (幅) $\times 8.5m$ (厚さ)で地表部から深部に向かって消滅するようなレンズ状鉱体である。

第3鉱体は、200m(長さ) $\times 30m$ (幅) $\times 5m$ (厚さ)で、地表部から深部に向かって消滅するようなレンズ状鉱体である。

埋蔵鉱量

期待鉱量を含む埋蔵鉱量に関する数字は多数存在する。

- ① 3,600tU, 品位0.05W(ロシアにおけるP1-P2 カテゴリー)
- ② 170tU, 品位 0.042~0.064×10(ロシアにおけるC1-C2 カテゴリー)
- ③ 最も確度の高い鉱体(第1鉱体)は92tU、品位 0.010~0.53M、平均品位は 0.064M 。

この他に、平均品位0.02% では1,000tU. カットオフ品位を上げると100tU 程度とも説明されている。

また, 堆積岩中の燐酸塩は, 品位12約205 で, 510,000tP205と報告されている。

(5) 採鉱

露天掘を考えている。

(6) 製 錬

分離は難しい。

(7) 生産コスト

生産は経済的に成り立たないと考えられている。

(8) その他

蛍石鉱床: 古生代花崗岩中の蛍石鉱床の開発をGeological Survey of Victnam, Geological Division No. 10が担当している。

(9) その他の鉱床

Binh Duong鉱床の近くには、数箇所の鉱徴がある。すなわち、Sinh Quyen(シンクエン、Cu-U)、Nam Xe(ナム クセ、U-REE)、Muong Hum(ムオン フム、U-REE)、Tule(トゥレ、酸性火山岩型U)およびNui Hong(ヌイホン、含U石炭)である。

この地域の確定鉱量(RAR) は報告されていないが、IABAの推定では、US\$130/kgU以下の推定追加鉱量(EAR-1) の鉱量は200tU である。

1) Nam XeおよびDong Pao(U-REE)

位置:Lai Chau Province(ライチャウ州)。

母 層:古生代石灰岩の背斜構造部。

基盤:変成岩,火山岩。

ウラン鉱化:2タイプがある。

- ① 鉱脈 8~10% REO (rare earth oxides, 希土類酸化物) と鉱染岩(impregnated rocks) 1~2% REO。
- ② 熱帯風化部(tropical weathering) 4~5% REO。
- 鉱 物:パイロクロアー[Pyrochlore, (Na, Ca)₂Nb₂O₆(O, OH, F)], 希土類元素鉱物 [REE minerals], バストネサイト[Bastnaesite, (Ce, La)(CO₃)F],パリサイト [Parisite, (Ce, La)₂Ca(CO₃)₃F₂]。

REE 品位: Ce=38%, La=29.6%, Nd=16%, Pr=5~10%, Y=9.3%, Gd+Eu=4%。
Pyrochloreのウラン品位は5~6%U, Nb 2.7~12.4%, Nb:Ta=5:1。

鉱 量:希土類 10,000,000tREO。 ウラン 76,000tV(品位0.02~0.05%V)。

回 収:十分な鉱量はある。30年後の生産が期待されるかも知れない。

2) その他、火山岩中の放射能異常を多数発見している。またHanoi(ハノイ) 市近くにはトリウム鉱床が分布している様である。

5.4. Da Lat (ダ ラト)

南部ベトナムのDa Lat地域のウラン鉱徴は、三畳紀、ジュラ紀のアルカリ火山岩を覆う酸性岩に見られる。これらの火山岩はベトナムの既知ウラン資源の10%以上に寄与していると考えられ、今後も調査が続くものと期待される。

THE VIETNAM ATOMIC ENERGY COMMISSION (VINATOM)

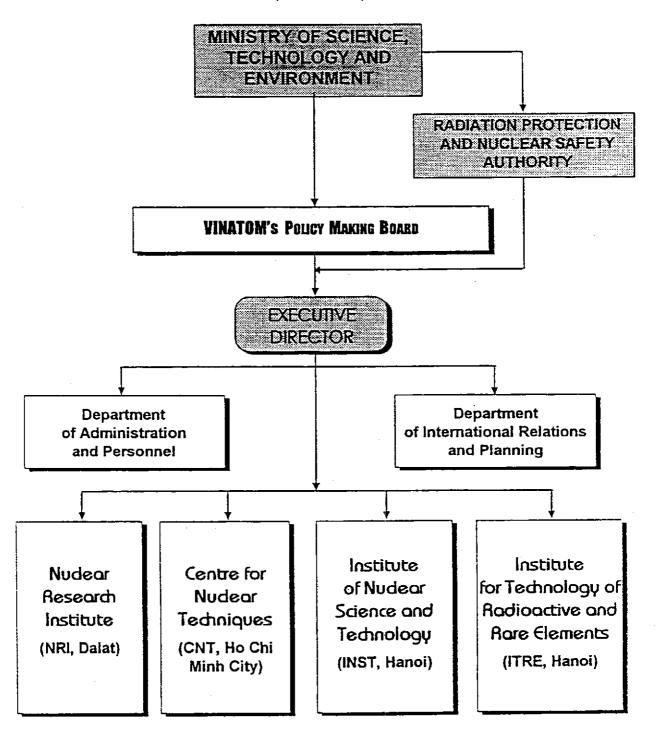


図5-1 ベトナム原子力委員会(VINATOM) の組織図 I

the Vietnam National Atomic Energy Commission (VINATOM)

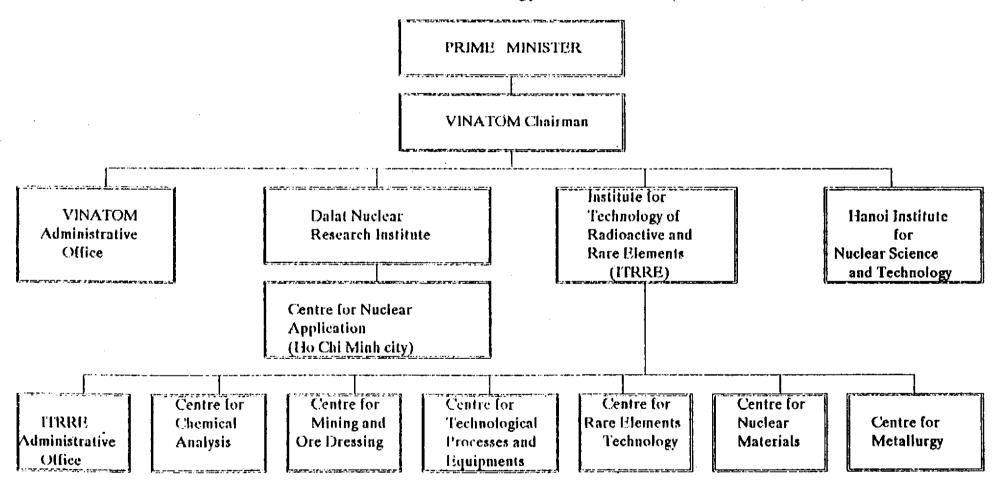


図5-2 ベトナム原子力委員会(VINATOM) の組織図Ⅱ

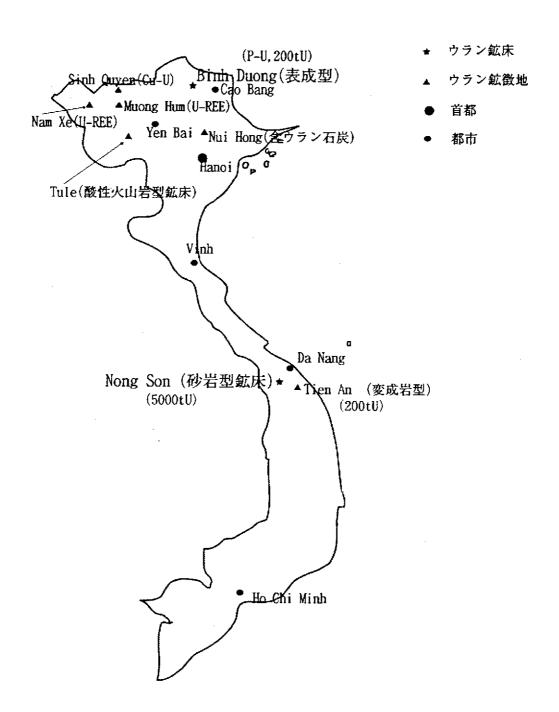


図5-3 ベトナムのウラン鉱床分布図

表5-1 ベトナム原子力委員会要人リスト

1. VINATOM's Board:

Chairman: Prof. Nguyen Dinh-Tu Vice-Chairman: Prof. Tran Huu Phat

2 84-4-256 467 Fax: 84-4-266 133

Telex: 411 518 VAEC

2. Executive Director: Dr. Nguyen Tien Nguyen

\$4-4-256 756

Fax: 84-4-266 133

Telex: 411 518 VAEC

3. Dept. of International Relations and Planning

A. Director Dr. Bui Van Hung

59. Ly Thuong Kiet st. Hanoi

59, Ly Thuong Kiet st., Hanoi
 84-4-256 479
 Fax: 84-4-266 133

Telex: 411 518 VAEC

4. Dept. of Administration and Personnel

A. Director Mr. Nguyen Trong Trang

59. Ly Thuong Kiet st., Hand

≤ 59, Ly Thuong Kiet st., Hanoi
 ≤ 84-4-253 829

Fax: 84-4-266 133

5. Nuclear Research Institute

Fax:

Director Dr. Tran Ha Anh

☐ I3, Dinh Tien Hoang, Dalat, Lam Dong 84-6-322 191

84-6-321 107

6. Centre for Nuclear Techniques

Director Dr. Ngo Quang Huy

S 84-8-322 361 Fax: 84-8-393 775

7. Institute of Nuclear Science and Technology

Director Dr. Tran Thanh Minh

P.O.Box 5T-160, Nghia Do, Tu Liem, Hanoi

2 84-4-344 825 Fax: 84-4-266 133

8. Institute for Technology of Radioactive and Rare Elements

Director Dr. Thai Ba Cau

⊠ 32. Lang Ha st.. Dong Da. Hanoi

2 84-4-534 139 Fax: 84-4-266 133

表5-2 地 質 層 序

層序		岩 相	時 代
Nong Son Suite (T3n-ms2)		不明	ジュラ紀
Nong Son Suite (T3n-ms1)	上部	砂岩、沙小岩の互層	三畳紀
	中部	砂岩、シルト岩	
	下部	礫岩 (石灰岩の礫)	
基盤(Que Son Complex, PR2)		花崗岩類 変成岩類	中生代、原生代後期

6. マ レ ー シ ア

6.1 ウラン鉱業事情

図6-1 マレー半島中央帯略図

図6-2 マレー半島中央帯の沢砂異常帯

6.1. ウラン鉱業事情

(1) 探鉱地域

1970年代から、Geological Survey of Malaysia(マレーシア地質調査所) はCanadian International Development Agency (カナダ国際開発公団、CIDA) と共同でウラン探鉱を行ってきた。

1977年, Central Belt Project (中央帯プロジェクト) 地域の31,000km² の広さにつき数グループによって地化学調査が行なわれた。

1980年2月以来CIDAの援助は立ち消えとなった。

1980年,地球物理会社 CGGが,それまでウラン探鉱が行われてきた地域について空中 およびγ線分光調査を行った。

IAEAによれば、1993年の探鉱費は、約US\$250,000相当で8,700km²の広さに計画された。 ウラン探鉱計画は、Pahang(パハン)、Perak(ペラク)、Selangor(セランゴール)、Ne geri Sembilan(ネゲリ センビラン)、Johore(ジョホール)およびKelantan(ケランタ ン)の 6 州をカバーしている(図 6-1、-2)。

(2) Central Belt Project (中央帯プロジェクト)

中央帯地域は堆積岩と変堆積岩の中央ゾーンから成り、東は東帯の花崗岩類、西は主要山脈の花崗岩類に接している(図 6-1)。地化学および空中分光調査の結果、殆んどのウラン・アノマリーは、花崗岩類と隣接する堆積岩および変堆積岩に関連することが分かった。

CGG が得た放射線データの解析は、全カウントの等rad * 線図(isorad contour map) と、トリウム、ウラニウム、カリウムそれぞれのチャンネル図に基づくもので、Th/K > 2 であれば、岩石はトリウムに富み、 $Th/K \le 1$ ならカリウムに富み、 $U/Thおよび U/K \ge 1$ ならばウラニウムに富むことを示している。

Boundary Range(バウンダリー・レンジ)花崗岩には最も顕著なウランのアノマリーがあった。沢砂の最も高い値は35ppmU,岩石の限られた数の分析値は $1.9\sim14.4$ ppmUであった。さらに,堆積物の精密サンプリング,土壌サンプリング,放射能分布図, en amomentry や探査ボーリングを含む多様な追加調査により,含ウランrhabdophane[(Ce, Y, La, Di)(PO₄)0~0.5 H_2 0]とflorencite[CeAl₃(PO₄)₂(OH)₆]を伴う放射性石英脈や関ウラン鉱を伴うせん断帯が発見された。

^{*} 試料1gについて100ergのエネルギーを与える放射線量が1rad

Loh(ロー) 花崗岩も中央帯地域の最も有望なウラン探鉱地の1つである。沢砂中のウラン異常値は、 3.5~22ppmU, 岩石中の値は 4.6~11.8ppmUであった。

Benom(ベノム) 火成複合岩体およびその近傍の堆積岩/火山岩地層もウランが主要指示元素であるアノマリーを示した。沢砂は、28ppmU、沢砂中の重鉱物の精鉱は970ppmU、岩石の値は $0.3\sim21.5$ ppmUであった。Senting(センティング) 花崗岩は、沢砂精鉱で 1.500ppmU を示し、微量のorangiteやuranothorite((Th, U)SiO₄)が重鉱物部に認められた。深成岩や変成岩から成るSetong(セトン)複合岩体は、Noring(ノーリン) 花崗岩、Kenerong(ケネロン)優白花崗岩およびBerangkat(ベランカト)トーナル岩を含んでいる。この地域には、ウラン含有の高い多元素アノマリーが只1ヶ所認められたが、複合岩体上の放射線強度は高く、特に複合岩体の東部で高かった(図 6-2)。

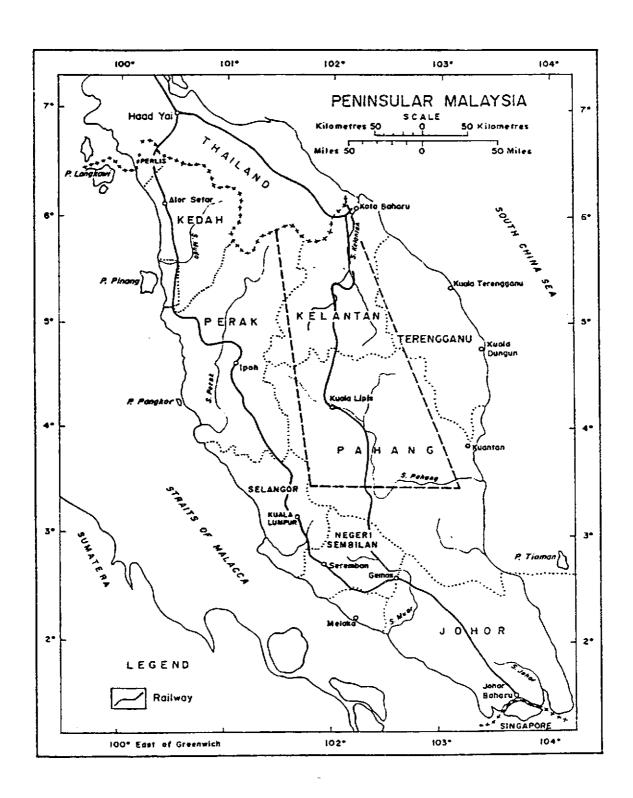


図6-1 マレー半島中央帯略図

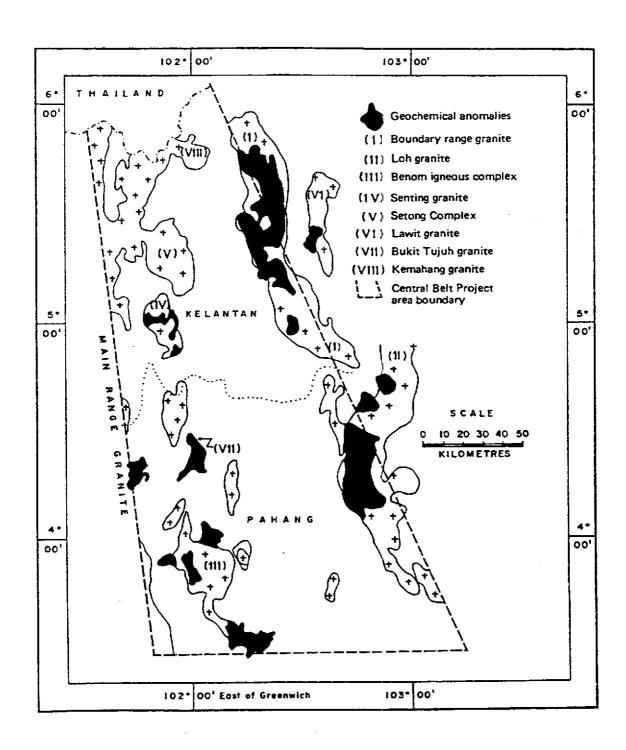


図6-2 マレー半島中央帯の沢砂異常帯

7. インドネシア共和国

- 7.1 ウラン鉱業事情
- 7.2 Kalan 地域
- 7.3 Upper Mahakam
- 7.4 Sibolga 地域
- 図7-1 カリマンタン略図
- 図7-3 カラン地域の鉱床,鉱徴地分布図
- 図7-4 カラン川地域の放射能異常の分布
- 図7-5 カラン盆地の地質図
- 図7-6 カラン盆地の柱状図
- 図7-7 カラン盆地の地質構造
- 図7-8 リマハ立入坑道の地質図
- 図7-9 北スマトラのシボルガ地域
- 図7-11 トル・シアンドゥリマト鉱化帯の地質断面図

7. インドネシア共和国

7.1. ウラン鉱業事情

Indonesia's National Atomic Energy Agency (インドネシア原子力庁, BATAN)は、核鉱物探査・製錬センターを介して、主としてRirang (リラン) 川(西カリマンタン)、Upper Mahakam (マハカム川上流、東カリマンタン) およびスマトラのSibolga(シボルガ) 地域を探鉱した(図7-1)。

IAEAによれば、1993年にBATAN は、 US\$1,000,000 以上を探鉱に投資し、26孔以上、約 2,000~2,500mの地表ボーリングを行った。

7.2. Kalan(カラン) 地域

(1) 交通・インフラ

位 置: Kalan 地域(Rirang(リラン) 川地域) は、ボルネオ島の西岸、West Kalimantan (西カリマンタン) 州都 Pontianak(ポンティアナック) の東南東約 300kmにあり、 Kapuas(カプアス) 川の上流部、西カリマンタン州と中央カリマンタン 州の境界をなすSchwaner(シュワネル) 山脈中に位置する (図7-2)。東経112°、南緯0°45′付近。標高は海抜 300~600m、河谷が発達しており起伏は激しい。全域が保護林となっており、熱帯樹林に被われている。

交 通: Jakarta(ジャカルタ)からPontianakまでMerpati航空で1時間30分。Pontia nak からSanggau(サンガウ) 経由 Nangapinoh(ナンガピノー) まで車で約8時間(Pontianak〜Sanggau 間約4時間, Sanggau〜Nangapinoh間約4時間),または航空機で1時間30分。Nangapinohから Efka(エフカ)のKalan キャンプまで車で約3時間を要する。

連絡先: Nuclear Mineral Development Centre (核鉱物開発センター, NMDC)
地質研究部長 Soeprapto Tjokrokardono
製錬部長 Kosim Affandi

所 長 Karyono

- (2) 権利関係
- (3) 鉱業権益
- (4) 許認可関係

(5) 経緯·現状

1969年、Kalimantan 中央部を探査対象としたCEA(国際原子力エネルギー委員会)と BATAN の共同調査が開始された。

1970年代初期には Kalan地域で多数の放射能異常・ウラン鉱徴が発見され、重点的に探査が行なわれた。

1977年の調査を最後に CEAは撤退したが、BATAN (NMDC) が探査を継続して現在に至っ

ている。

地質調査としては土壌サンプリング、放射能測定、トレンチング、物理探鉱および試 錐が行われ、さらに研究室で記載岩石学、鉱物学、X線粉末写真の検査が行われた。岩 石中のウラン分布は、 α 粒子自動写真法によって決定された。

これまでに5地域(Eko-Remaja, Remaja-Hitam, Lemajung, Kalan-Ketungau, Amir-Engkala)で鉱床, 他の5地域(Rabau, Rirang, Jeronang, Jumbang, Tanah-Merah) で鉱 徴を確認しており、このうちEko-Remaja鉱床が品位・鉱量とも最も優れており、最も調査が進んでいる。NMDCでは、Kalan 地域全体の合計ウラン埋蔵量を8,480tU と予想している(図7-3,-4)。

NMDCは1981年に製錬パイロットプラントを現地に建設し、Eko-Remaja鉱床の鉱石を使って、1993年まで製錬試験を行った。また、1990年にEko-Remaja鉱床の坑道探鉱を開始し、断続的に調査を継続中である。

なお、1989年からIAEAが技術協力を継続。また、Federal Institute for Geosciences and Natural Resources(ドイツ地質調査所)が1986年に技術協力を行った。動燃の技術協力では、原子力交流制度の基に、1990年から断続的に、技術者派遣および研修者の受入れが行われている。

(6) 地質概要

本地域の地質は、変堆積岩類とこれに貫入する花崗岩類から構成される。変堆積岩類は、泥質岩を主とし、メタシルトと変火山岩(変成した酸性火山岩、凝灰岩)、珪岩をはさむ。この変堆積岩類(すなわちKalan 層群)の堆積は、石炭~二畳紀と言われている。貫入岩は閃緑岩、トーナル岩、花崗閃緑岩から成り、ペグマタイトとアプライト脈を伴い、一部はgreisen(グライゼン)化している。トーナル岩の一部はミグマタイト様岩相を呈する。貫入岩周辺の堆積岩は熱変成を被っている。なお花崗岩類に関連する小規模な岩脈(酸性および中~塩基性)も存在する。貫入岩の地質年代は白亜紀初期である。グライゼン化は花崗閃緑岩に見られ、微斜長石が絹雲母または白雲母に、斜長石が白雲母と石英に、黒雲母が白雲母と緑泥石により交代されている(図7-5、-6)。

カラン層群の層厚は、3,000~4,000mで、上部と下部で変成度と構造が異なる。上部層の変成度は緑色片岩相に属し、NE方向に傾斜する軸を持つ向斜構造をなしている。一方、下部層は角閃岩相に属し、NW方向の走向を持つ(図 7-7)。上部と下部の変成度の違いは、単に貫入岩に伴う熱変成の程度の違いなのか、複変成作用によるものなのかは不明である。アルミノ珪酸塩鉱物(上部層では紅柱石、下部層では珪線石)から推定される変成作用は低圧型に分類され、変成温度は、上部層で 400~500 ℃程度、下部層は500~600 ℃程度、圧力は 4 Kbar以下と推定される。

ウラン鉱化作用は、主に上部層の向斜北西翼部にあり、10の鉱床ないし鉱徴地が 2.5 km×10kmの範囲内に認められている。Kalan 地域のウラン鉱石は、電気石を多く含む電気石タイプと、モナズ石を異常に多く含むモナズ石タイプの2種類がある。モナズ石はRirang地区とその北方(Tanah-Merah (タナーメラ) 地区) に産するのみで他はすべて電気石タイプである。モナズ石タイプは地表の転石で確認されているだけで、地下での産状・鉱体の形状は不明である。

泥質岩に挟まれた厚さ約100mの変シルト岩が主な母岩であり、一部では泥質岩が母岩となっている(Rabau地区では珪岩)。各鉱床(電気石タイプ)は母岩の走向であるNE方向に配列するが、各鉱脈の走向はWである。

7.2.1. Eko-Remaja (エコーレマハ) 鉱床

Eko-Remaja鉱床はEfkaキャンプの西約 1.5kmに位置する。

電気石タイプの鉱床の代表で、最も調査が進んでいる。地質はKalan 層群の上部層に属し、鉱脈の母岩となっているのは、メタシルトおよび片理の発達する泥質岩であり、厚さ約200~150mの層をなす。その両側には、紅柱石の斑状変晶を含む泥質岩(Jeronang (ヘロナン) 泥質岩) が分布する。地層の走向、傾斜は、 N45°E 、60°SEである。一部では、変炭質頁岩がメタシルトの中に挟まれている。

19条の鉱脈があり、脈幅は10cm~2mで、平均60cmである。鉱脈の一般走向傾斜は N80°W,70°N であり、地層の構造と斜交する。鉱脈は上記の母岩層にのみ存在し、Jeronang 泥質岩の中には続かない。鉱脈は走向、傾斜の変化が激しく、脈幅の膨縮も激しく、典型的な脈状(平板状)とレンズ状の中間的な形状である。

鉱脈の広がりは、水平方向に約150m, 垂直方向には200m以上連続する。調査坑道は、 鉱脈群を横断する形で、海抜450mレベルを水平に650m掘削され、Eko(エコ) 山を南西-北東に縦貫している(図7-8)。坑内試錐によって調査された坑道から半径60m 以内の 鉱量は合計468tU、 平均品位0.11粒である。このうちの50% 以上のウラン量は坑口から 157~184mの4条の鉱脈に含まれ、その平均品位も0.17粒以上ある。なお鉱床全体の鉱 量は2,370tU 程度と推定されている。

鉱脈を構成する鉱物は、緑泥石、白雲母、石英、長石、電気石、輝水鉛鉱、閃ウラン 鉱、(磁硫鉄鉱)、(緑簾石)、(黄鉄鉱)、(磁鉄鉱)、(モナズ石)、(苦灰石)、 (燐灰石)である。

(() は出現したり、しなかったりするもの)

Rirang地区は、Kalan のメインキャンプ(Efka)の北東約 4 kmのRirang谷に位置する。 この谷は北東に伸び、延長約 1 km、谷の入り口の標高は約330m、最上流の尾根部の標高 は約600mである(図 7-2)。この間の谷底とその周辺に放射性の転石が散在する。

放射性転石は、モナズ石[Ce, La, Nd)PO4]の含有率が異常に高くウラン鉱物も含むモナズ石タイプとモナズ石含有率の低い電気石タイプと呼ばれる2種類の鉱石がある。地表で認められる放射性転石の大部分はモナズ石岩である。放射性転石の大きさは、テニスボール大のものから、最大10m×15m×1.3mのブロックまである。

モナズ石岩の希土類の含有率は酸化物の形(Re_2O_3)で $30\sim60\%$ に達する。燐の含有率は $20\sim45\%P_2O_5$ であり、モナズ石(Re_2O_4)の含有率としては80% 以上になる。このようなモナズ石含有率の高い岩石は、世界のどこにも産出例がなく非常にユニークである。

ウラン品位は0.17~2.8%Uで、平均1.4%Uである。ウランは主に関ウラン鉱の形で含まれている。モナズ石の結晶格子中に不純物として取り込まれているウランは微量である。

モナズ石岩は、随伴鉱物として、関ウラン鉱のほか、石英、電気石、輝水鉛鉱および 少量の緑泥石、緑簾石、ゼノタイム、チタン鉄鉱、ルチル、黄鉄鉱、ブランネル石を含 む。モナズ石岩は、暗色バンド(幅数mm)を含む部分と無地の部分とが入り組んだ組織 を持つ。暗色バンドには関ウラン鉱や輝水鉛鉱を多く含み、明色部には不透明鉱物が少 ない。関ウラン鉱は、暗色バンドの縁の部分に濃集する傾向がある。モナズ石岩の転石 は母岩を伴うことが少ないが、一部に変シルト岩が認められている。

源岩中のモナズ石岩の形態は、層状ではなく、むしろノジュール状に近い可能性が高い。生成過程として、堆積性燐灰質層が変成時に変形してブーディン構造を作り、その後、花崗岩類の貫入に伴って発生した希土類に富む流体が浸潤して、カルシウムが希土類により置換されたと考えられる。

電気石タイプの転石の源岩は、変シルト岩であり、関ウラン鉱や輝水鉛鉱、黄鉄鉱の細脈を伴っている。また、少量のモナズ石と電気石を含む。電気石タイプの転石は主にRirang谷の下流部に点在する。またしヵ所で露頭が確認されている(脈幅数10cm \sim 数m、走向 $N60\sim70^\circ$ E) ほか、少数の試錐でも未風化岩盤中に電気石タイプの鉱化が確認されている。このタイプの鉱化はEko-Remaja鉱床と同様の鉱脈状のものであるらしい。

本地域の地表部は強く風化されており、厚さ30m 程度の熱帯性土壌層ないし風化層の下に未風化の岩盤が存在する。これまでの試錐(40孔以上)では、岩盤中にモナズ石岩を捉えたものは1孔もない。これまでにモナズ石岩が確認されたのは、地表と多数のトレンチ(深さ約2m)でだけである。また、少数の試錐検層で土壌〜風化層中に放射能異

常が検出されており、表層20~30m の風化土壌中にモナズ石岩の礫が含まれていることが示唆される。

モナズ石岩転石の大部分は現地性のものでなく,風化・侵食に伴って多少移動しつつ地表部に残留したもので,特に下流部の河床の礫層中に点在するものは,上流部から運搬されたものと思われる。本地区の未風化岩盤の地質は,細粒の泥質岩中に厚さ100m以下の変シルト岩層が挟まれた形で,谷に沿って分布している。この北東走向の変シルト岩層がモナズ石岩の母層であると考えられている。試錐で未風化岩中にモナズ石岩が確認されていないことから,変シルト岩層中の特定の層準(多分複数の層準)にノジュール状ないしレンズ状に胚胎していると推定される。

Rirang地区の鉱石量に関し、IAEAの報告書(Daedel, 1991)は、地表部の確定鉱石量を 5,000t、地下の推定~可能鉱石量を30,000~280,000tと見積もっているが、計算根拠は 不明である。

また、NMDCの内部資料(Sumantri, 1990)では、表層部(地表から深度2mまで)について、沖積層中の転石(鉱石)を6,750t、崩積層(colluvial)中の転石(鉱石)を680tと見積もっているが計算根拠は不明確である。

ウラン品位については、26件の分析データの単純平均は1.4%U である。しかし、NMDC の鉱量計算書では、モナズ石タイプの平均品位を0.44%U、電気石タイプの平均品位を1.26%Uとしている。ウラン量としては、精度に欠けるが、表層で数10t、風化土壌中で数100tと予想される。

7.3 Upper Mahakam(マハカム) 川上流域

(1) 交通・インフラ

位 置:東KalimantanのMahakam 川上流の支流Kawat(カワト) 川流域(東経 115°, 南 緯 0°50′付近)。

交 通:Kalimantan州中央南部のBandjarmasin(バンジャルマシン)からSamarinda(サマリンダ)まで航空機、Samarinda からLongiram(ロンギラム)まで車(250 ~260km)、Longiramから現地まで車および数kmに及ぶ急流を下る危険な船旅による。

(2) 経緯

1971年、BATAN と Commissariat a l'Energie Atomique (国際原子力エネルギー委員会、CEA)がウラン探鉱計画で提携、Mahakam川の支流 Kawat川でアノマリーを発見、1974~1975年にその周辺35km² の地域で精密探鉱を行った。多くのアノマリーで、放射能測定および地化学探査が実施された。しかし、1975年に探鉱は中断され、西KalimantanのKalan 地区に探鉱活動が集約された。

(3) 地質概要

Kawat 地区の地質は、多くの火山活動サイクルに対応する火山性堆積物によって充塡された構造性陥没の地溝と考えられる。この地溝は、恐らく第三紀始新世に活動した Large Matalunai Ridge (大マタルナイ山脈)の南縁に位置する。地域的な観察では、Mahakam 上流域では、異なった層序学的特徴、特に不整合によって4ユニットに分けられている。底部から上部に向って層序は、

- 1)後期ジュラ紀の珪岩およびオフィオライト緑色岩,
- 2) 白亜紀前期・中期の珪岩および時に放散虫岩の巨礫を伴う黒色頁岩,
- 3) 白亜紀後期から古第三紀の粘土岩・砂岩層と互層する塊状礫岩質砂岩,
- 4)始新世中期・後期の火山岩の挟みを伴った砂岩、シルト岩および粘土岩となっている。

現地調査によると、2つの特別なケース、すなわち凝灰集塊岩または凝灰岩とKawat 地区中心部から約5kmの西縁にある火山・堆積岩を除いて、すべてのウラン産出は、非 顕晶質流紋岩の中にある。流紋岩熔岩は他の元素と共にウランを運んできたもので、ウランは恐らく流紋岩を形成したマグマを源とするウラン産出は、火山角礫岩やスフェルライト・ガラスにしばしばみられ、脈石は存在しない。

7.4. Sibolga(シボルガ) 地域

(1) 交通・インフラ

位 置:北スマトラの西海岸, Sibolga 町周辺に位置する。西海岸には, Sibolga 湾, 沖に数島があり、その1つが Musala(ムサラ) 島で、その西に、インド洋に向って Nias(ニアス) 島がある (図7-9)。

交 通:探鉱地域には道路が通じている。

(2) 地質概要

北スマトラ地域は、東部の安定な陸棚(shelf) と石油に富む前地(foreland)や背弧 (back-arc)(第三紀)堆積盆に分けられる。背弧堆積盆は、西側が島弧系の火山弧であるBukit Barisan Hill Range(ブキトバリサンヒル山脈)に接している。この山脈の大部分は最近の火山により覆われているが、Sibolga 地域はToba(トバ)湖陥没地と成っている。トバ湖陥没地は、北スマトラの広大な地域を覆うToba凝灰岩といわれる酸性火山灰の先史時代における大量の噴出によって形成された構造一火山性陥没地であると説明されている。この火山弧の西は、東の火山弧と西の外帯非火山弧との間にある弧内堆積盆で、Nias(ニアス)島で代表されるSibolga 堆積盆である。Sibolga 地域は火山弧の近くにあるSibolga 堆積盆地の東端にある(図7-10)。

地質構造はSibolga 堆積盆内の堆積物が新第三紀層に対し圧縮タイプであることを示している。しかし、古第三紀層にたいしては引張タイプのようである。Sibolga 地域の全般的な層序は、第三紀層が堆積した時の基盤と考えられる先第三紀岩から成っている。この先第三紀岩は主として花崗岩と若干の古生代変成岩類からなる。第三紀層の層序には、問題が多いが、海底に露出した最古の地層であるSibolga 層は、泥岩、シルト岩および漸新世後期から中新世前期のPralicから河成環境で堆積した薄い石炭層からなるものと信じられている。Sibolga 層は、ウラン鉱床の最も有望な母岩であり、礫岩層、砂岩ーシルト岩層および砂岩ー礫岩層から成る。Sibolga 地域の第三紀層の構造は、WSWに10度の緩傾斜で、海岸では湾に落ち込むNW-SE方向の断層により切られている。

ウラン鉱化はSibolga の北約6.5km のTor Siandulimat(トル シアンドゥリマト)で、 花崗岩に接する第三紀堆積岩中に発見された。同花崗岩のウラン含有量は一般の花崗岩 より少し高い。粗粒花崗岩は、地下水循環による鉱化作用の有力なウラン供給源となっ ているようで、そのUppm値は、アメリカ、ワイオミング州の第三紀層中のロール・フロ ント型鉱床のウラン供給源である花崗岩の値にほぼ同じである。Tor Siandulimat 堆積 岩は、編紐状河川として下流に拡がっている扇状地の中程に堆積したと解釈し得る。挟 まれるシルト岩は、典型的な黒色炭素質で、頁岩の薄層と互層している(図7-11)。 放射能異常が発見されたのはこれら互層の中である。しかし、化学分析では、露頭で僅かに180ppmのウラン濃度しか示さなかった。露頭からの試錐により鉱化作用は1,000m以上の深さまで伸びていることが確認された。

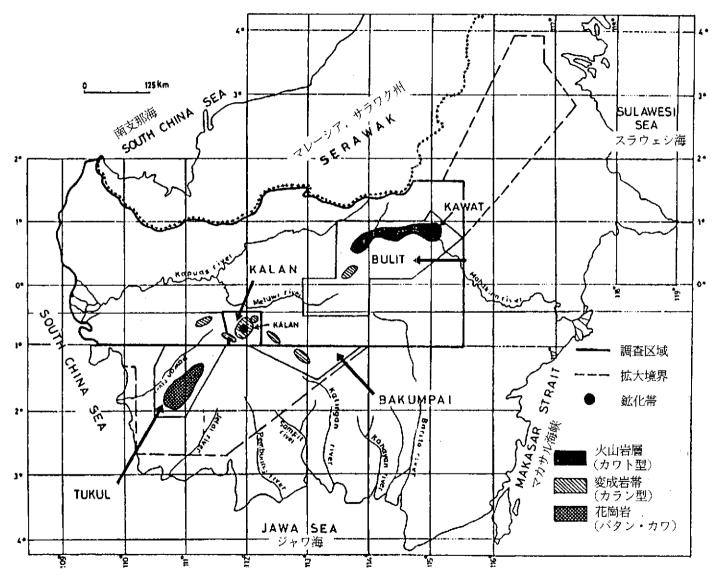


図7-1 カリマンタン略図

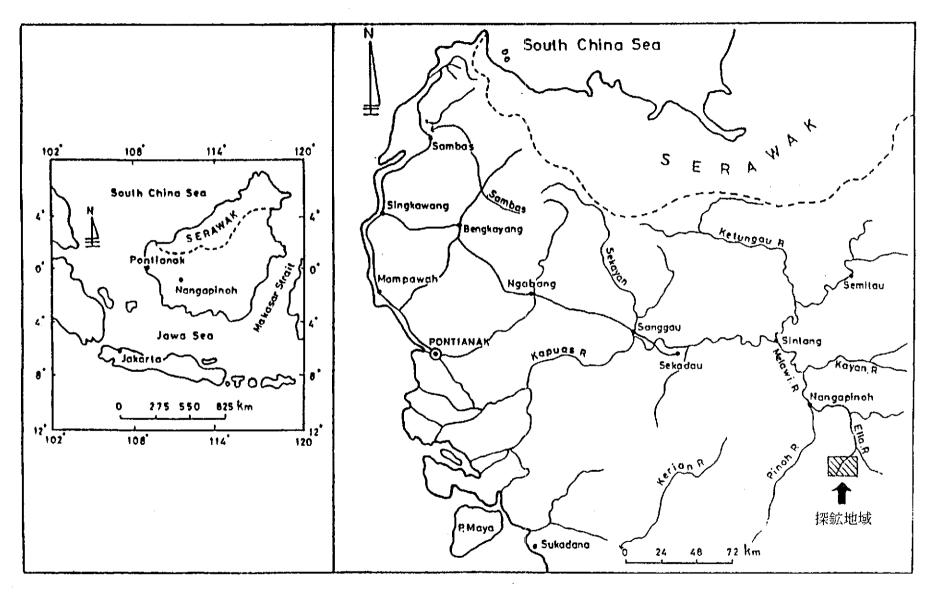


図7-2 カラン地域(カプアス川上流部)の位置図

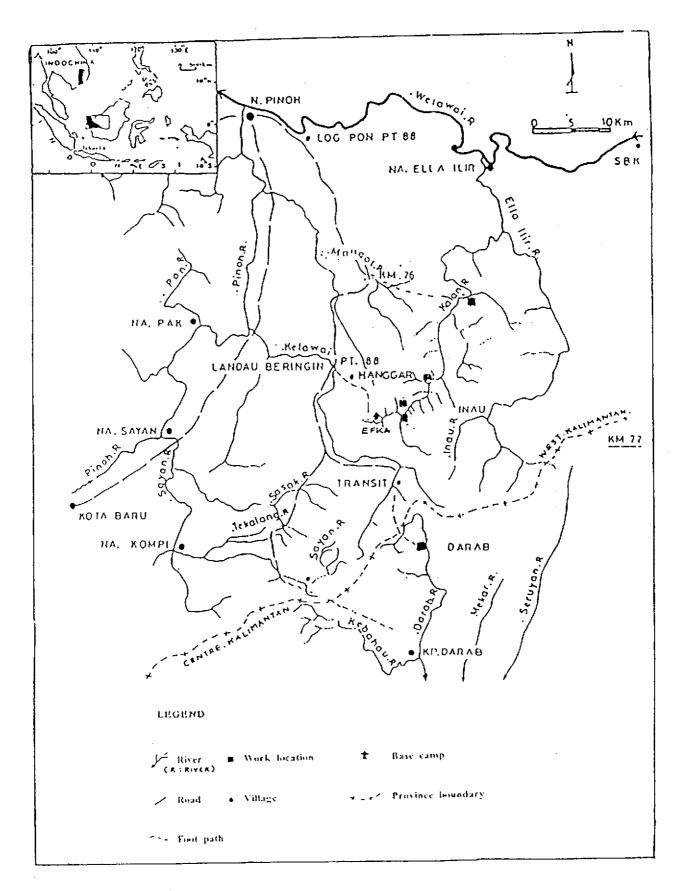


図7-3 カラン地域の鉱床,鉱徴地分布図

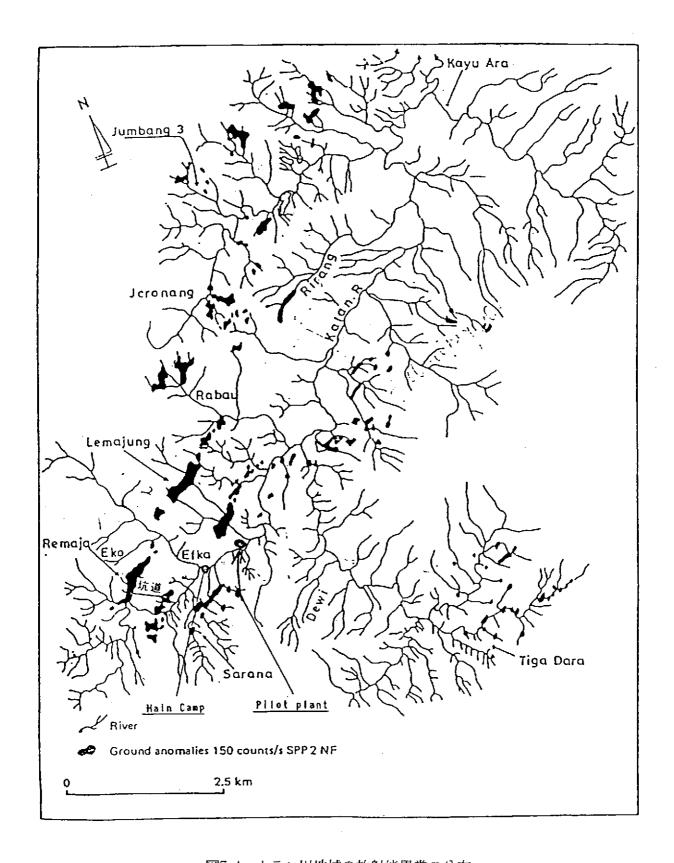


図7-4 カラン川地域の放射能異常の分布

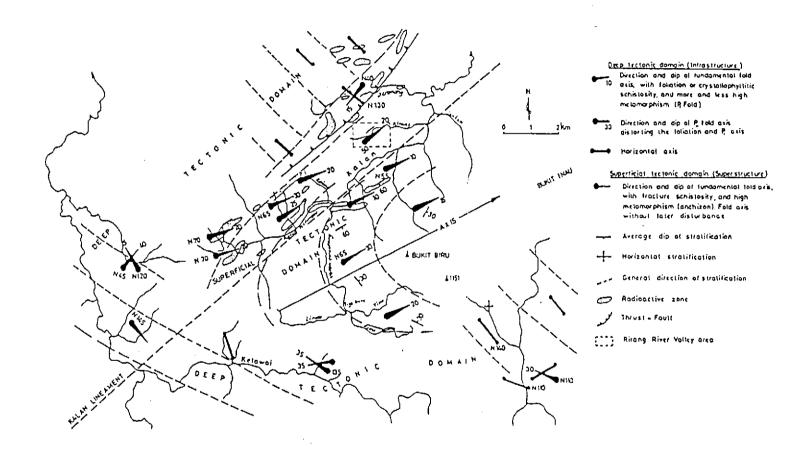


図7-7 カラン盆地の地質構造

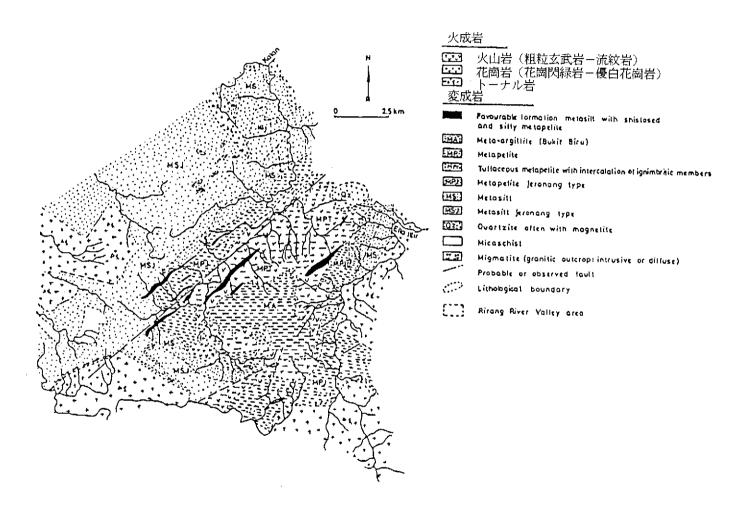


図7-5 カラン盆地の地質図

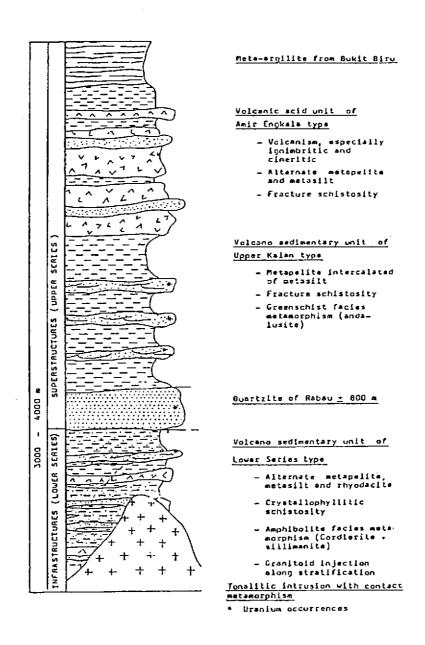


図7-6 カラン盆地の柱状図

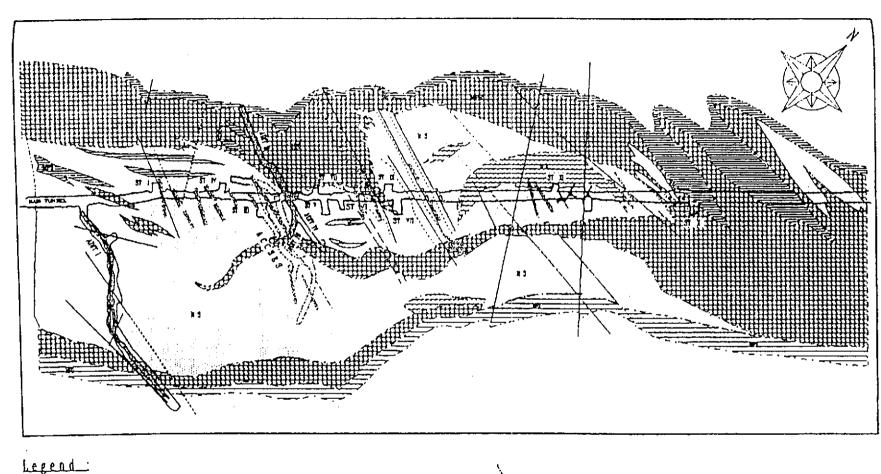




図7-8 リマハ立入坑道の地質図

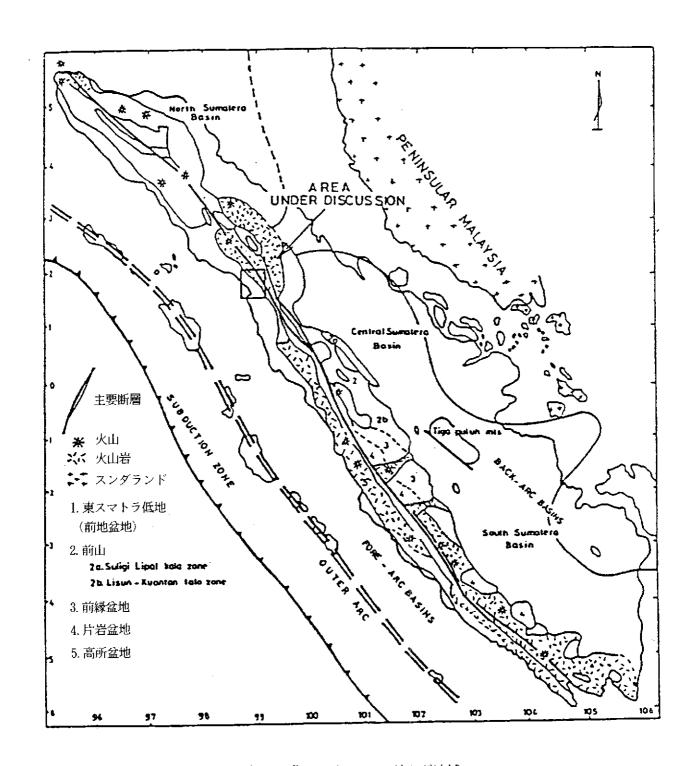


図7-9 北スマトラのシボルガ地域

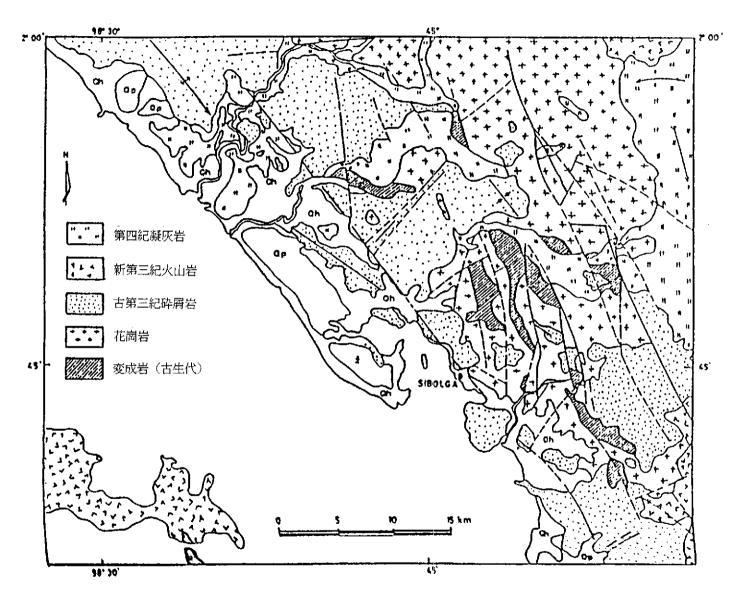


図7-10 シボルガ地域の地質図

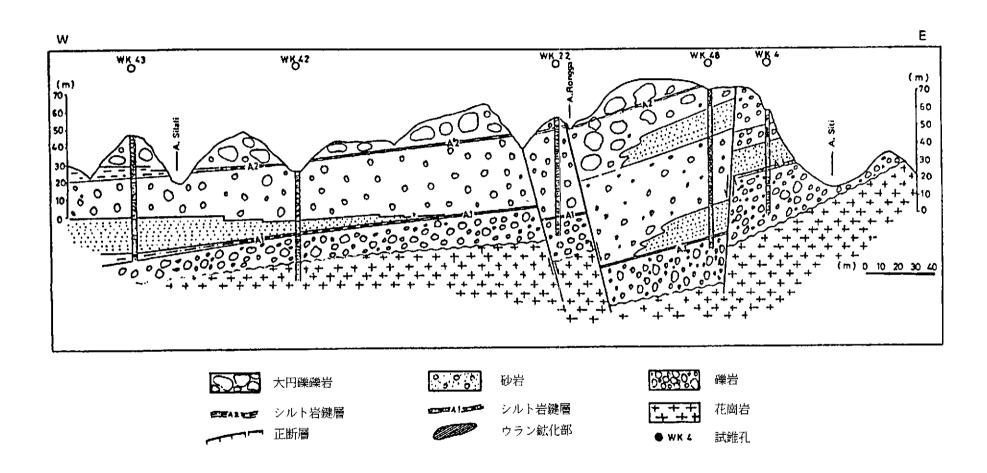


図7-11 トル・シアンドゥリマト鉱化帯の地質断面図

8. フィリピン共和国

8.1 ウラン鉱業事情

- 図8-1 ボホール島位置図
- 図8-2 ボホール島の沢砂のウラン異常
- 図8-3 ボホール島の非磁性重鉱物精鉱のウラン含有量
- 図8-4 ボホール島のカー・ボーン調査結果

8. フィリピン共和国

8.1. ウラン鉱業事情

(1) 探鉱地域

1953年初めに、Bohol(ボホール) 島で、Philippine Bureau of Mines(フィリピン鉱 山省)とUnited States Atomic Energy Commission(米国原子力エネルギー委員会)の 共同チームがウラニウム探鉱を開始した。

1977年末および1978年に、IABAとPhilippine Atomic Energy Commission(フィリピン原子力エネルギー委員会、PAEC)が共同で、フィリピンの広域にウラニウム地化学調査を実施した。

1991年および1992年には、Philippines Nuclear Research Institute(フィリピン原子核調査研究所(前PAEC))がPalawan(パラワン)島の北半分で地化学探査を追加し、San Vicente(サン ビセンテ)とRoxas(ロハス)地域で2個所のアノマリーを発見した。1993年、このうちの1地域でUS\$10,000の探鉱費が投資された。

(2) Palawan(パラワン) 島

Palawan 島北部のSan Vicente とRoxas 地域のウラニウムは、変堆積岩(千枚岩や片岩)内のモナズ石や褐簾石に関係がある。北部 Palawanは、大陸地域の隆起したもので、最古の基盤は、古生代後期あるいはそれ以前に形成され、褶曲した堆積岩や変成岩から成る。これらの基盤岩類は第三紀花崗岩や超苦鉄質岩によって貫入され、部分的に第三紀層により覆われ、断層によって切られている。花崗岩貫入や変成作用は共にウラニウム鉱化に関係しているようである。

(3) Bohol(ボホール) 島(図8-1, -2, -3, -4)

1977年に、PAECは 6 " × 4 " NaI(T1) 結晶を使ったExploranium GPX-110 検知器と NEA 計数器を使って空中放射能調査(gross count) を行った。調査は約750km をカバーし、バックグランドの 4 ~12倍の読みの変化が 4 地域で見つかった。ドリーネから採取した土壌サンプル 5 試料の蛍光分析値は、 1.2~5.6ppmU の易動性 Uを示した。さらに、100 チャンネル分析器に結合した 2 " × 2 " NaI(T1) 結晶を使った放射能分析では 3 試料のサンプルに32~88ppmU値が記録された。

フィールドでは、15km² 毎に I サンプル・セットの密度で調査された。各サンプル・セットは沢砂 I 試料、重鉱物椀がけ精鉱 I 試料、流水サンプル 2 試料、シンチロメーターと電気伝導度測定および地質図から成り、島全体の270 地点でサンプリングされた。Carmen (カルメン) 層は、ウラン鉱化に関し高いポテンシャルを有し、第三紀堆積岩、

すなわち頁岩,砂岩,砕屑性石灰岩層,礫岩,シルト岩,泥岩および泥灰岩からなる緩傾斜の凝灰質地層を形成している。Ubay (ユーベイ)火山岩を不整合に覆っている第三紀堆積岩は、火山熔岩、集塊岩や貫入岩から成り、変火山岩は、殆んどが輝石に富む安山岩と角閃石安山岩から成っている。

流水調査は、何ら明らかな異常を示さなかったが、沢砂や重鉱物調査は第三紀石灰岩中でポアッソン分布には従わない異常値を示した。このことは、Carmen層の石灰岩と石灰質ないし凝灰質メンバーが、ウラン濃集の母岩となった可能性を示唆している。

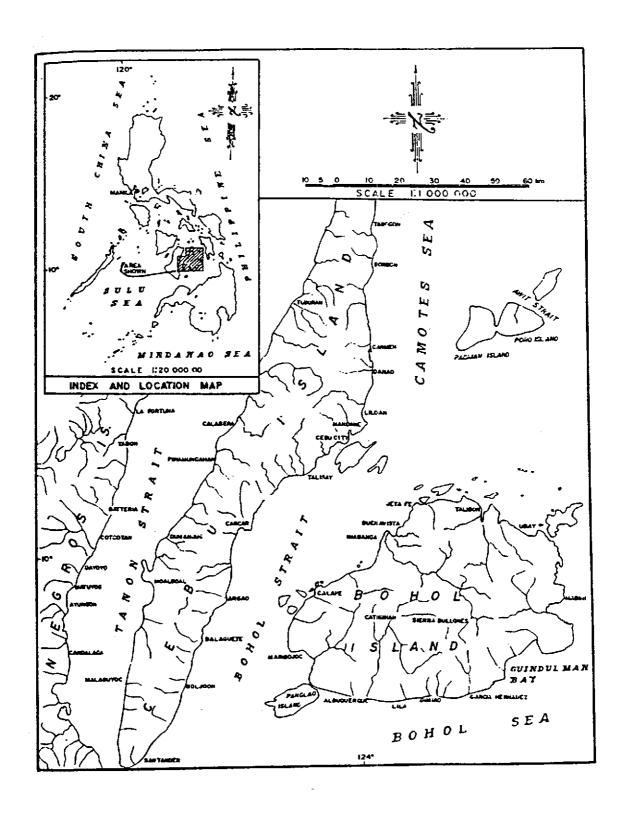


図8-1 ボホール島位置図

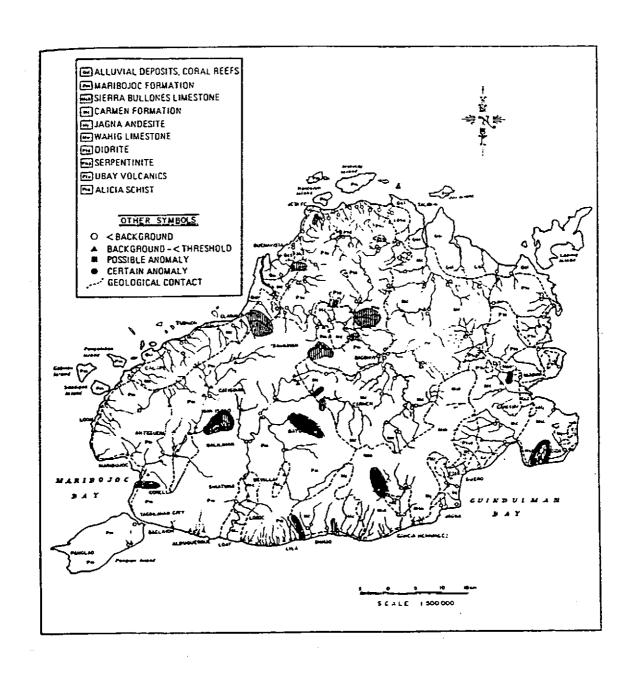


図8-2 ボホール島の沢砂のウラン異常

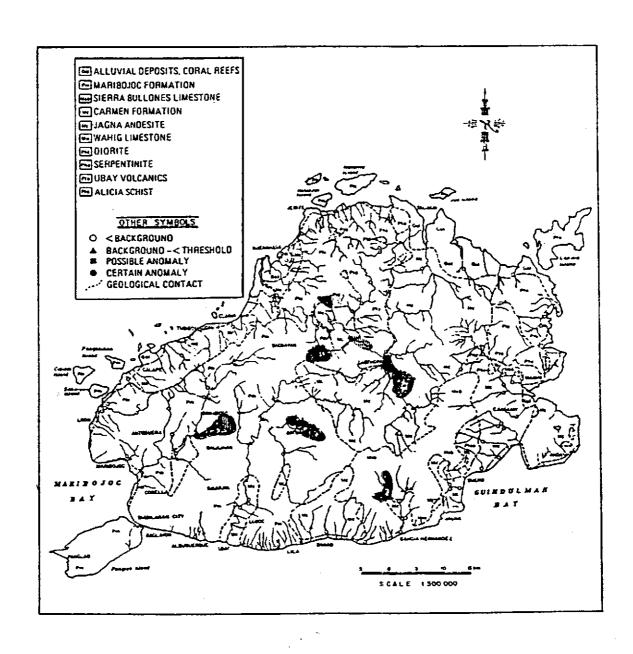


図8-3 ボホール島の非磁性重鉱物精鉱のウラン含有量

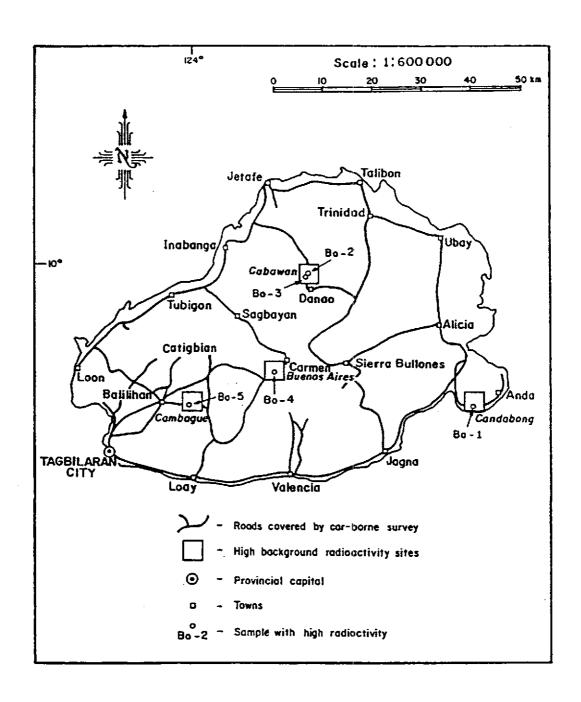


図8-4 ボホール島のカー・ボーン調査結果