

ウラン探査の技術と現状

技術資料		
開示区分	レポート No.	受領日
T	N1420 97-002	9.4.10.

この資料は技術管理室保存資料です
閲覧には技術資料閲覧票が必要です
動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室

1997年3月

動力炉・核燃料開発事業団 国際部

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical Evaluation and Patent Office, Technology Management Division, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japan

© 動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1997

目 次

I. ウラン探査の進め方	1
1. 「探査とは」?	1
2. 探査の進め方	1
3. ウラン鉱床タイプ概要	5
4. 探査手法概要	11
II. 動燃の探査技術について	14
1. プロジェクト地域の選定	14
2. エアボーン調査(概査)	16
3. 地上物理探査	16
4. 試錐調査	18
III. 動燃の調査探鉱の成果	22
1. 動燃の獲得鉱量	22
2. ミッドウエストの民間移転	22
3. アンドリューレイク鉱床の発見	22
4. カナダ・クリスティールイクでの鉱化帯の発見	23
5. その他の成果	23
6. 技術協力の実績	24
IV. CAMECO社, COGEMA社の戦略	26
1. CAMECO(カメコ社)	26
2. COGEMA(コジェマ社)	26

まえがき

全地球的な人口問題、エネルギー問題、地球環境問題を解決するために、原子力の役割は今後さらに大きくなると考えられます。

我が国は原子力発電の燃料である天然ウランの全てを海外から輸入しています。電力各社は2000年までに必要な天然ウランを既に確保済ですが、当分の間、軽水炉が原子力発電の主流を担うと予想されることから、天然ウランの確保は引き続き重要な課題であると考えられます。

ウラン資源量や需給見通しについては、IAEAとOECD/NEAあるいはウラン協会による報告書などでたびたび紹介されていますが、どのようにしてウランを探すかについての説明が不足していたように思われます。ここでは、実際のウラン探査がどの様なものであるかに焦点を当て、一般的なウラン探査の進め方、ウラン鉱床のタイプ、動燃が実施しているウラン探査作業内容および探査技術、これまでのウラン探査の成果などについて、分かりやすく図を交えながら紹介していきます。

本書が、動燃事業団が行っているウラン探査活動に対する理解を深めていただく上での一助となれば幸いです。

動燃事業団 国際部

I. ウラン探査の進め方

1. 「探査」とは？

「経済的に採掘できる鉱物の集合体（鉱床）を探ること」と言えます。広大な探査地域に比較して、特に現在の探査対象である高品位の不整合関連型ウラン鉱床の大きさは非常に小さく（探査面積数 100km²の中で、大きくて延長1 km×幅最大100m程度、いわゆる干し草のなかの針）、ただ闇雲に試錐を打っても鉱床を発見する確率はゼロに等しく、また当然ながらコストがかかりすぎます。そのため、いくつかの手法を駆使して、探査の効率化とともに発見確率を高めることが必要で、そこに技術開発の重要性があります。

2. 探査の進め方

一言で言えば、「広大な地域から狭い有望な地域に絞っていく」作業を意味します。いかに効率的（時間とコスト面で）かつ的確に進めていくかがポイントです。以下に、一般的な探査の手順について説明しますが、例えば、砂岩型鉱床の探査と不整合型鉱床の探査とでは、探査方法や対象面積などが異なることに注意して下さい。

(1) プロジェクト地域の選定

当然ながら、鉱床がない所で探査をしても「ないものはない」ということになり、「ありそうな所」で探査することが必要です。このため、まず文献や既存資料の調査を行って、鉱床発見の確率の高い地域（プロジェクト地域）を選定することが重要です。

また、プロジェクトを進めるに当たり、どの位の期間で、どの様な探査手法の組み合わせによって探査対象地域を評価していくのかを決定する事（探査計画の策定）が重要であり、これには、経験に基づくノウハウの蓄積と常に新しい技術を導入し高度化しようという進取の気性が必要です。この段階でのキーポイントは以下のとおりです。

目的：有望地の選定，探査計画の策定

対象面積：1,000 ～数万km²

実施作業：文献調査（下記参照），相手国政府との交渉（鉱区取得，特に発展途上国），現地予察調査

調査文献類：地質図，学術文献，過去の探査資料・データ類（リモートセンシングデータも含む）など

必要知識，能力等：

- ・ 鉱床タイプ，探査全般についての知見（探査活動を通して得られた経験・学習の蓄積）＝どの様な地質構造にどの様な鉱床が存在しているのか，それらの鉱床がどの様な「クセ」を持っているのか，対象としている地質構造はこれらの要件を備えているのか，またどの探査手法を組み合わせることにより効率的な探査が行えるのか。
- ・ 進取の気性，開拓精神
- ・ 対象国に関する一般知識，交渉能力

(2) 広域調査

前段階で抽出した調査対象地域において，地域特性，鉱床の特徴に合わせた各種エアボーン調査の組み合わせにより，有望地を抽出し，さらに地上物理探査等で対象範囲の絞り込みを行います。言い換えれば，効率的な探査のための調査地域の「振るい落とし」とも言えます。「運」が良ければ，この段階で鉱床を発見できることもあります。

目的：精査地域の抽出（鉱化帯または鉱徴の発見およびそれらの「クセ」の抽出，有望地区の抽出，地質構造の解明）

対象面積：数千平方キロ（エアボーン）～数十平方キロ（地上物探）程度

実施作業：地質放射能調査，リモートセンシング解析，物理探査（エアボーン，地上），地化学探査，試錐概査，鉱物試験など

必要知識，能力等：

- ・ 鉱床タイプ，探査全般についての知見（前述）
- ・ 調査結果の解析能力
- ・ 自前で探査を実施する場合にはプロジェクトをオペレートする能力。

(3) 精密調査

広域調査で抽出した鉍化帯，鉍徴，有望地区において，精密な調査（相対的に調査精度が高い＝調査間隔が狭い）を行い，最終的に鉍床の発見につなげます。

鉍床を発見した場合には，狭間隔，定間隔（グリッド）の試錐を行い，鉍床規模・拡がりを確認します。同時に採鉍法の検討，鉍石の大まかな性状を調査し，予備的な企業化調査（粗いコスト試算）を行います。

目的：鉍床の発見，鉍床規模（鉍量，品位，性状）の確認および予備的な経済性評価

対象面積：数十平方キロ～数平方キロ程度

実施作業：地質調査，物理探査（地上），地化学探査，試錐精査，鉍物試験，予備企業化調査（鉍量計算，採鉍法の検討，鉍石処理試験，市場調査予測）

必要知識，能力等：

- ・ 鉍床タイプ，探査全般についての知見（前述）
- ・ 調査結果の解析能力
- ・ 鉍山評価能力（鉍量計算，採鉍，製錬，環境保全に関する知識）
- ・ 企業化調査能力（当該国の鉍業法，税制，会社法，環境関連法規，放射性物質輸送関連法規等に関する知識）

次の段階以降は，プロジェクトを民間に移転したあと，民間企業が実施することとしています（動燃は技術的なフォローのみ）。

(4) 開発試錐，坑道探鉍，企業化調査

予備的な企業化調査の結果，経済性が期待できると判明した場合，狭間隔のグリッド試錐（開発試錐）や坑道探鉍を行った後，さらに本格的な企業化調査を実施し，より詳細な生産コストを算出します。

目的：経済性評価

実施作業：開発試錐，坑道探鉍，鉍量計算（正確な可採鉍量の算出），企業化調査（採鉍法の検討，採鉍試験，鉍石処理試験，開発計画の策定），先住民等地元対策

環境影響調査報告書（E I S）

必要知識，能力等：

- ・採鉱法に関する知識，製錬に関する知識（いずれもエンジニアリング能力）
- ・企業化調査能力（前述）

(5) 鉱山開発・生産

企業化調査の結果，経済性を有すると判断した場合，環境影響調査を行い，鉱山開発計画が環境や地域住民に及ぼす影響を取りまとめた報告書（E I S）を政府に提出し，必要な許認可を得た後，鉱山開発を行います。

目的：鉱山の開発・生産

実施作業：環境影響調査，E I Sの作成・提出，許認可手続き

必要知識，能力等：

- ・採鉱法に関する知識，製錬に関する知識（前述）
- ・経営能力

3. ウラン鉱床タイプ概要

ウラン鉱床は、形態的あるいは地質学的に分類され、おおよその経済性が高い順に、以下の14の主要な鉱床タイプに分類されます。このなかで、世界の主要な探査対象となっている鉱床タイプは、ウラン価格が安い現在では、最も経済性の高い不整合関連型鉱床と砂岩型鉱床（その中でもロールタイプと呼ばれるサブタイプ）の2タイプのみと言えます。

- | | | |
|---------------------|--------------|-------------|
| (1) <u>不整合関連型鉱床</u> | (6) 火成岩型鉱床 | (11)交代岩型鉱床 |
| (2) <u>砂岩型鉱床</u> | (7) 燐灰土型鉱床 | (12)変成岩型鉱床 |
| (3) 石英礫岩型鉱床 | (8) 角礫パイプ型鉱床 | (13)褐炭型鉱床 |
| (4) 鉱脈型鉱床 | (9) 酸性火山岩型鉱床 | (14)黒色頁岩型鉱床 |
| (5) 角礫岩複合型鉱床 | (10)表成岩型鉱床 | |

以下に、各鉱床タイプの概要を説明します。

(1) 不整合関連型鉱床

カナダのアサバスカ地域、シーロン地域、オーストラリアのアーネムランド地域での主力探査対象です。

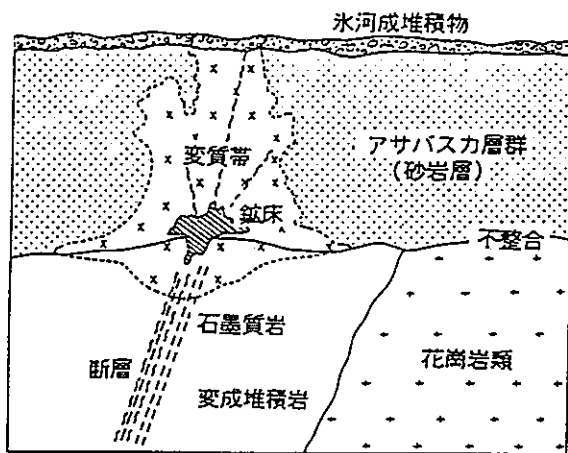
ウラン鉱床は、変成岩（約18億年前までの熱・圧力による変成作用を受けた堆積岩で、基盤岩と呼ぶことが多い）とその上に堆積している未変成の砂岩（約16～17億年前の堆積岩）との境界部「不整合」付近に位置しています。そのため不整合関連型鉱床と呼ばれています。基盤岩は、堆積岩が変成したものと（変堆積岩類）と花崗岩類（変堆積岩類よりも古い）に分けられ、鉱床は花崗岩類近くの変堆積岩類中に位置することが多くなっています。特に、変堆積岩類中の石墨質岩に密接に関係しているため、物理探査による石墨質岩の的確な抽出が探査のキーポイントとなっています。また、鉱床を取り巻くように、鉱床生成時に形成された粘土変質帯（変質ハローと呼ばれる）や、ウラン自体、鉛、ニッケル、コバルト、ホウ素等の微量元素の濃集（元素ハローと呼ばれる）が見られ、これらを地化学探査に応用しています。

不整合関連型鉱床のウラン量は、最大では10数万tUにも及び、その品位は一

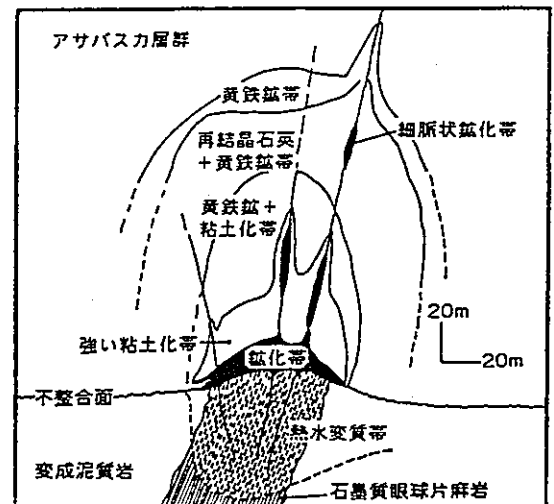
一般的に 0.3~数%で、最大15%に達することがあります。そのため、生産コストが安く、現在世界の生産の大半を占めており、またカナダ、オーストラリアでの主要な探査対象となっています。

不整合関連型鉱床は、不整合面近傍および上位の砂岩中に位置するものと不整合面下位の基盤岩中に位置するものに分類され、それぞれ不整合型、基盤型と呼ばれています。代表的な鉱床は以下のとおりです。

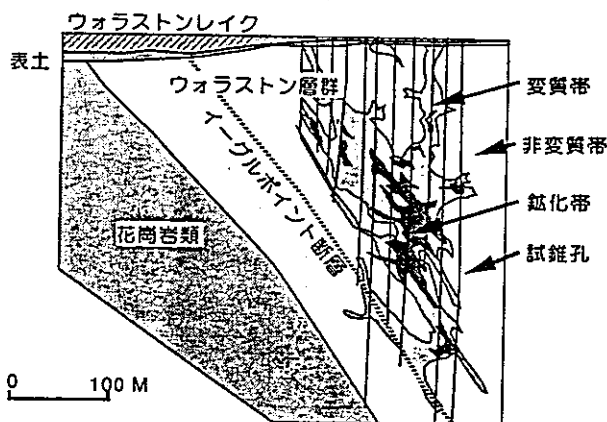
- ・不整合型：シガーレイク，キーレイク，ミッドウエスト，コリンズベイ
- ・基盤型：イーグルポイント，（マッカッサーリバー），レンジャー，ジャビルカ，アンドリュウレイク，クリスティーレイク



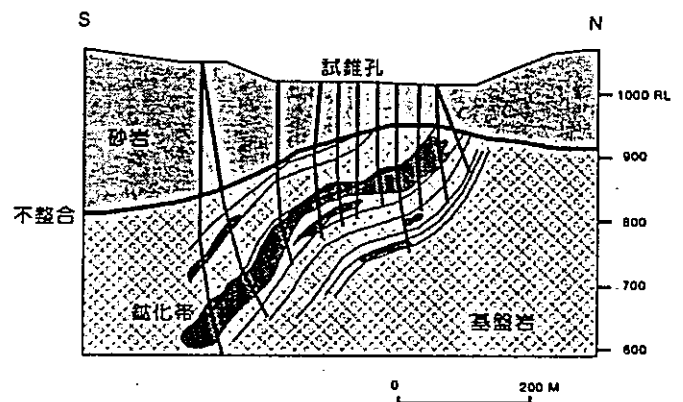
不整合関連型ウラン鉱床模式断面



シガーレイク鉱床断面図（不整合型）



イーグルポイント鉱床断面図（基盤型）



ジャビルカⅡ鉱床断面図（基盤型）

(2) 砂岩型鉱床

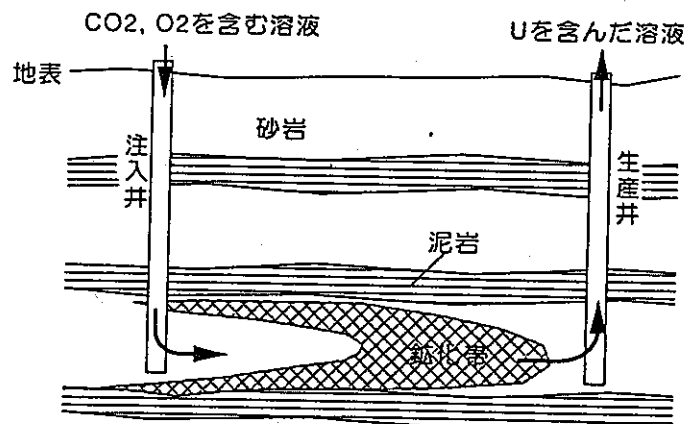
砂岩層中に存在するウラン鉱床の総称で、透水性の高い砂岩中の酸化-還元境界付近にウランが沈殿してできた鉱床です。母層となる砂岩層は、河川または縁海に堆積したもので、黄鉄鉱や植物を起源とする有機物を含んでいます。ニジェールには10万tUものウラン量を持つ未開発の鉱床が存在しますが、一般的には大きいもので2万tU程度で、品位は0.1~0.4%U程度です。

砂岩型鉱床は多くのサブタイプに細分されていますが、以下に主なサブタイプとそれらが存在する代表的な地域を示します。

- ・いわゆる砂岩型（サブタイプに分けられない型）：

ニジェール，ガボン（オクロ鉱床等），カザフスタンおよびウズベキスタン（一部ロールタイプ）

- ・ロールタイプ：米国・ワイオミング州，テキサス州
- ・ヒューメイト（フミン酸塩）タイプ：米国・ニューメキシコ州
- ・基底礫岩型：東濃，人形峠



インシチュリーチング採鉱法（砂岩型鉱床）概念図

いわゆる砂岩型に属するニジェール，ガボンでは現在も生産が続けられていますが，米国やC I S諸国を中心に現在探査あるいは新規鉱山開発の対象となっているのはロールタイプです。ロールタイプの鉱床は，泥岩層（不透水層）に上下を挟まれた砂岩層（透水層）中に存在しています。成因的には，ウラン

を含んだ酸化水が砂岩中を移動し、還元状態にある砂岩を徐々に酸化しつつ、その酸化-還元境界にウランが沈殿してできたもので、現在もウラン鉱床はその地下水の流れの方向に非常にゆっくりではあるが移動しています。ロールタイプの鉱床は、浸出溶液を孔井から注入し回収することにより、鉱石を掘り出すことなく、ウランを抽出することができるインシチュリーチング法が適用できます。そのため砂岩型の中で経済性が最も高いタイプとなっています。

(3) 石英礫岩型鉱床

地球上に酸素が希薄であった約22億年前までの礫岩層に伴うもので、閃ウラン鉱を主体とするウラン鉱物が酸化されず、また比重が大きかったため、砂金のように河川底に沈積、濃集して鉱床を形成しています。事実、南アフリカの鉱床では、ウランは金の副産物として生産されています。鉱床規模は大きく数万tU以上に及ぶものの、低品位（通常 0.1%以下）であり、生産コストは高くなります。そのため、前述の金の副産物として生産されるものは例外として、かつて大規模な生産を行っていたカナダ・エリオットレイク地区のウラン鉱山は現在では全て閉山となっています。

代表的な地域：南アフリカ・ウィットウォーターランド地域、

カナダ・エリオットレイク地域

(4) 鉱脈型鉱床

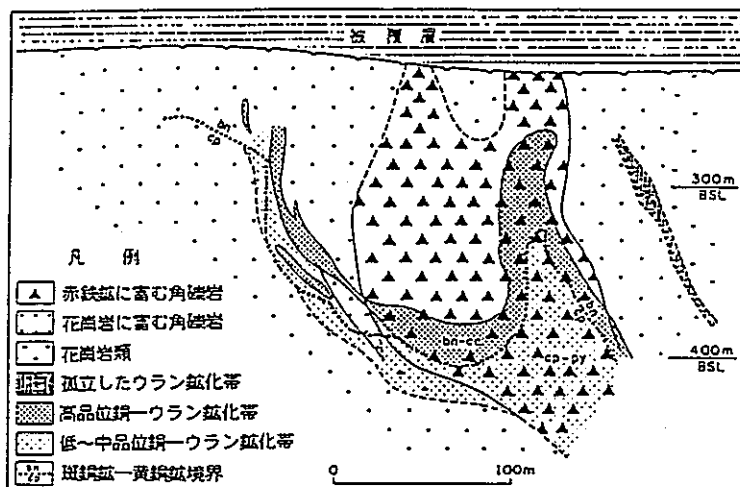
花崗岩などを母岩とし、形態的にはウラン鉱物が割れ目、裂か、網状構造等の空隙を充填している鉱床で、閃ウラン鉱の塊状鉱脈のような脈幅が広いものから幅の狭い割れ目、裂かを満たす小規模なものまで多様です。鉱床は一般に小規模で分散している場合が多いため、最近の探査・開発対象とはなっていません。代表的な鉱床：フランス・リムジン鉱床

(5) 角礫岩複合型鉱床

このタイプに属する鉱床は、目下のところ、南オーストラリアのオリンピックダム鉱床のみです。ウラン鉱床は角礫化した花崗岩体内部の強く赤鉄鉱化を受けた破碎帯中に胚胎し、銅を主体に、金、銀とともにウランが産します。ウ

ランの品位は低いものの（平均0.05～0.07%U），埋蔵量は現時点で把握されているウラン量だけでも30万tU強と莫大です。ウランは銅等の共産物として生産されています。

代表的な鉱床：オーストラリア・オリンピックダム鉱床



オリンピックダム鉱床（角礫岩複合型）断面図

(6) 火成岩型鉱床

様々な化学組成を持つ貫入岩あるいは花崗岩中に鉱染状に産します。代表的なものは以下の2つで，ナミビアのロッシング鉱床はウランのみからなる鉱床ですが，南アフリカのパラボラ鉱床は銅などを伴うものです。現在大規模なウラン生産を行っているのはロッシング鉱床のみです。ロッシング鉱床のウラン品位は低い（0.03%U程度），鉱床規模は10万tU程度と大きなものです。

代表的な鉱床：ナミビア・ロッシング鉱床，

南アフリカ・パラボラ鉱床

(7) 燐灰土型鉱床

燐灰土に伴い低濃度のウランが産するもので，ウランは燐酸塩の副産物として回収されています。通常，非在来型のウラン資源に分類されます。

代表的な地域：米国・フロリダ州，ルイジアナ州，モロッコ等

(8) 角礫パイプ型鉍床

石灰岩の上位に重なる堆積岩が、石灰岩の溶出により生じた空洞のため筒状（パイプ状）に崩落し、角礫化した部分に伴うもので、米国・アリゾナ州のグランドキャニオン地域に複数の鉍床が存在しています。鉍床は、最大2千tU程度と小型ですが、品位は砂岩型と比較して高いと言えます(0.3%U～1.0%U程度)。

代表的な地域：米国・アリゾナ州

(9) 酸性火山岩型鉍床

このタイプの鉍床は、酸性火山岩内あるいは火山活動に関連する堆積岩中に産し、層準規制および構造規制を受けている鉍床で、ウランは一般にモリブデンやフッ素等を伴います。鉍床規模は小さく（1万tU未満）、平均品位も低いと言えます(0.4%U以下)。

代表的な鉍床：米国・ユタ州マクダーミット鉍床、

オーストラリア・ベンロモンド鉍床、モーリーン鉍床、

ロシア東部チタ州ストレツォフスキー鉍床区

(10) 表成型鉍床

一般に第三紀から現世に形成された深部へ埋没していないウランに富む堆積物を意味します。代表的なものは、水の移動が主として地下で行われている半乾燥地域で形成されるカルクリート（石灰質物質で固められたもの）に伴う鉍床です。代表的なカルクリート型の鉍床としては、オーストラリアのイーリーリーが挙げられます。平均品位は0.1%U程度と低いものの、約4.5万tUの埋蔵量を持っています。この他、カナダなどでは、ピートや泥炭沼に伴うウラン鉍徴が知られていますが、個々の鉍床規模は数十tU程度と小規模です。

代表的な鉍床：オーストラリア・イーリーリー鉍床

(11) 交代岩型鉍床

アルカリ交代作用（Na）に伴って生じたウラン鉍床で、花崗岩や変成堆積岩

類を母岩とし、ウランは鉍染状や細脈状に産します。鉍床規模は小さく、最大でも1千tU未満であり（採掘済のメリーキャサリン鉍床を除く）、現時点で経済性のある鉍床は知られていません。

(12) 変成岩型鉍床

変成後に鉍化作用を受けて形成されたものではなく、源岩であるウランに富んだ堆積岩や火山岩が広域変成作用を受けた時に形成されたと考えられ、変成堆積岩や変成火山岩中に鉍染状あるいは小規模なポッド状に産します。一般に小規模で、品位も低いため(0.1%U以下)、現時点では経済性のある鉍床は知られていません。

(13) 褐炭型鉍床

褐炭あるいは褐炭近傍の粘土や砂岩中に、ウランは主に断裂や地層内の非整合部分に炭質物に吸着された形で産します。低品位であることから重要なウラン資源には含まれておらず、一般に非在来型の資源に分類されています。

(14) 黒色頁岩型鉍床

有機物に富む海成の頁岩中に低濃度のウランが含まれるもので、非在来型資源に分類されています。米国・テネシー州に分布するチャタヌーガ頁岩で代表されるように、広範囲に分布し非常に大規模ですが(400～500万tU)、平均品位は0.006%U程度で、現時点では経済性は認められていません。

代表的な地域：米国・テネシー州、グリーンランド

4. 探査手法概要

(1) 地質調査

地表を踏査し、地表面の情報から、地下の地質および断層などの構造を推定します。通常は放射能測定を行い、地表での放射能異常（ウラン鉍化）を確認すると同時に、ウラン鉍化作用の性状をつかみます。初期の段階では、リモートセンシング、航空写真、あるいはエアボーンデータの解析、判読結果を参考にして調査を進め、また、後には試錐や地上物探の結果を反映して精度を高め

ます。

(2) 物理探査

作業の実施方法により空中探査（エアボーン）と地上物探に大きく分けられます。広大な地域を対象に有望地域を粗く絞るためにはエアボーンを実施し、前述の広域調査、精密調査では地上物探を行います。

以下に、主な物理探査手法を挙げます。いずれも岩石、鉱体部の物性の違いを利用しますが、ウランを直接捕らえる手法は放射能探査しかありません。

・放射能（エアボーン）

エアボーンで行う放射能探査は一般に物理探査に分類します。唯一ウラン鉱床を直接発見できる可能性がある手法ですが、この手法により見つけられる鉱床は現在ではほとんどないと考えられます。それは、現在世界の主要探査対象が、カナダ・アサバスカ地域のように、地表にウラン鉱床が露出していない「潜頭鉱床」だからです。ただし、豪州のアーネムランドのようにこれまでほぼ未探査の地域ではまだ可能性が残されています。

・磁気探査（エアボーン，地上）

岩石の帯磁率の違いを利用し、特定の地質を抽出したり、大きな地質構造の把握や地質区分を行います。例えば、カナダ・アサバスカ地域の花崗岩は高磁気を示します。

・電磁気探査（エアボーン，地上）

電気の流れやすさの違い（導電率、その逆数は比抵抗と呼ばれる）を利用し、特定の地質を抽出します。基本的には、電流をループ状に流し一次磁界をかけておき、その電流を遮断した後地層中に流れている誘導電流が起こす二次磁界を測定します。これには周波数の違いを利用する方法（周波数領域）と二次磁界の減衰時間を利用する方法（時間領域）と大きく分けて2種類があります。その測定法（測定機器）は多岐にわたり、それぞれ固有の名前が付けられています。総称としてEMと呼び、通常はエアボーンEMとか地上EMなどと調査形態で分けて呼んでいます。

特に、カナダ・アサバスカ地域では、導電性が高い石墨（グラファイト）が鉱床と成因的・空間的に密接に関係しており、EMは必要不可欠のものです。

・電気探査（地上）

一対の電流電極から地表に電流を流し、もう一対の電位電極で電圧を測定する方法で地下の比抵抗分布を探査します。地質の構造の解明にも用いられますが、電流をよく流す鉱体部（低比抵抗帯、例えば、銅の鉱床など）を直接捕らえることにも用いられます。ウラン鉱床の場合には、鉱床を取り巻く変質帯が低比抵抗を示し、ウォーリープロジェクトを対象に、現在東濃地科学センターでこの手法の適用性について、モデリング等を用い検証中です。

物理探査のそれぞれの手法そのものは既存の技術ですが、調査地域の地質特性に応じてこれらのどの手法を採用し、測定間隔・高度、測定方法、周波数領域など詳細な測定条件をどのように設定し、そして、取得したデータを如何に精度高く解析し目的の物性異常を抽出できるかが、各探査企業の技術力といえます。

(3) 地化学探査

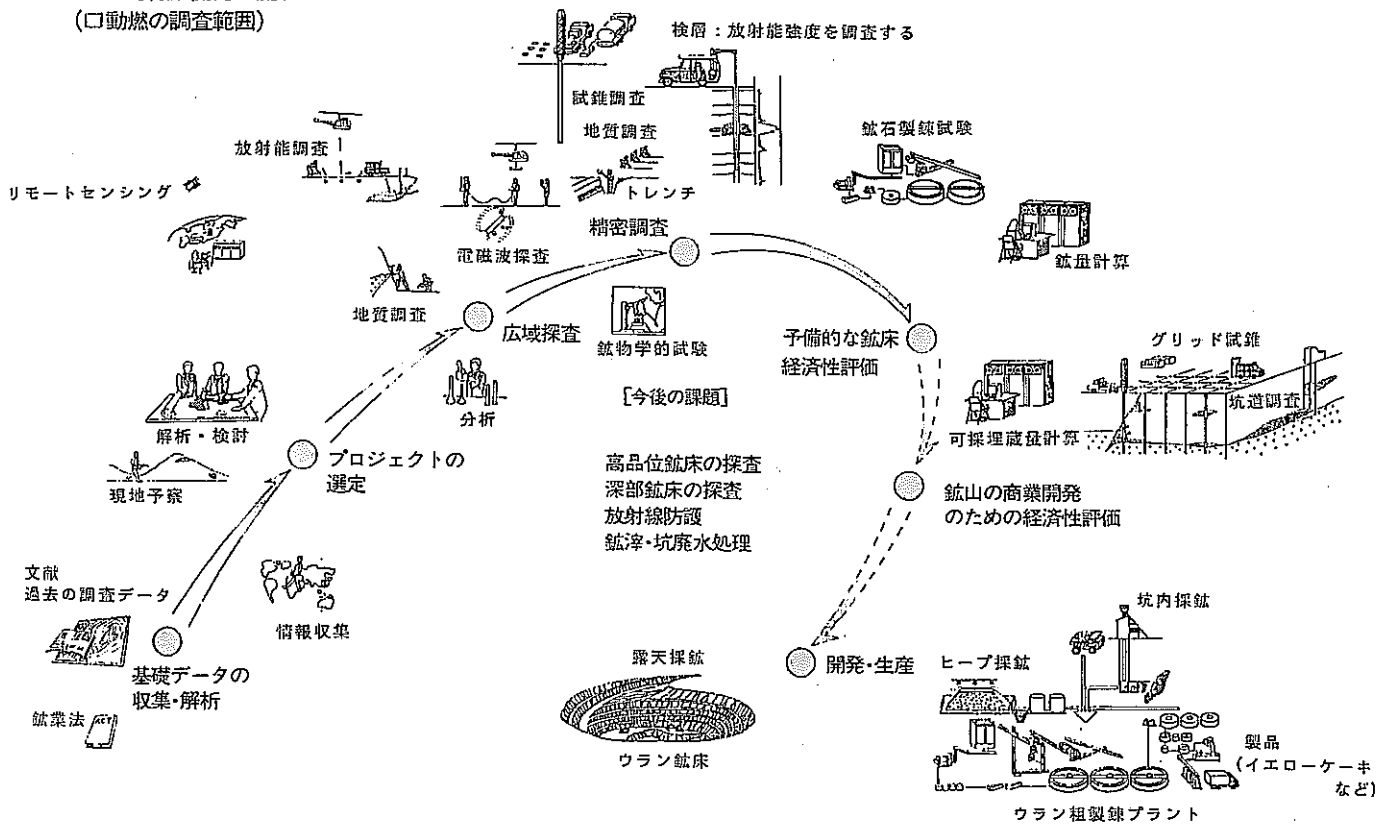
ウラン鉱床の形成に関連しウラン鉱床を取り巻くように広範囲に拡がる微量元素異常（例えば、ウラン、ポロン等、元素ハローと呼ぶ）を把握するために、土壌、河川堆積物、湖底堆積物、湖水・河川水の微量なウランや他の元素を分析します。ラドンガスを測定することもあります。最近では、地下深部の潜頭鉱床探査が主体となってきているので、あまり用いられてはいません。

地化学探査の一種として、アサバスカ地域では試錐岩芯（コア）の微量元素や化学組成分析を盛んに行い、元素ハローや粘土変質帯の分帯により試錐孔の評価、追跡試錐位置の選定を行っています。

(4) 試錐調査

冒頭にも触れたように、鉱床を確認する唯一で最終的な手段です。米国、オーストラリアでは、地質条件の違いからもコストの安いノンコア試錐（岩芯を採取せず、スライム－削りかすの観察と検層結果で評価する）が中心ですが、カナダではコア試錐がほとんどと言えます。

ウラン探鉱・開発の流れ
(口動燃の調査範囲)



Ⅱ．動燃の探査技術について

・カナダ，不整合関連型ウラン鉱床探査を例にとって

ここでは，カナダ・アサバスカ地域における不整合関連型ウラン鉱床探査を例にとって，動燃単独による実際の探査の実施手順，作業，および探査技術について述べます。

アサバスカ地域のウラン探査対象は，地表に鉱床が露出していない潜頭鉱床のみとなっています。この特徴から，ウラン鉱石からのガンマ線を捕らえる直接的な探査法はとれないため，鉱床形成に密接に関係すると推定されている地質要因（例：石墨を含む地層）を抽出し，これに試錐を行うという間接的な手法をとっています。

現在では，探査対象深度（不整合面深度）が地表下 100～600m程度と深くなってきました。探査深度が深くなるに従い，物理探査による応答信号は弱まりますがノイズは変わらず，S/N比が低下する等の難しさが増してきます。このような状況で各種物理探査の分解能を上げることが重要な鍵となっています。

アサバスカ地域の探査は一応の手法（探査方法の組み合わせ）ができあがっていますが，今後，さらに各種物理探査手法の分解能を上げるためのソフトの開発や比抵抗探査等の新たな手法の導入等（ウォーリープロジェクトで実証試験中）技術開発が必要となっています。

1. プロジェクト地域の選定

目的：有望地の抽出

- ・堆積岩を起源とする変成岩（変堆積岩類）の分布の把握
- ・良好な断層などの構造の存在あるいは推定
- ・石墨質岩の存在を示唆するコンダクター（良電導体）の確認，再評価
- ・鉱徴の存在の確認，再評価
- ・探査余地についての評価
- ・調査対象地域の選定，鉱区の取得

既存調査データの入手・再解析
鉦区状況の調査
鉦区の取得

対象面積：数百平方キロ～
千平方キロ程度

実施内容：

(1) 既存調査データの入手・再解析

- －過去にオファーのあったプロジェクト，現在参入しているプロジェクト，および他社が放棄した失効鉦区の探査報告書等を総合解析し，過去の調査が妥当かどうか，探査余地があるかどうかをチェックする。：バンクーバー事務所
- －地域全体の総合解析図（コンパイル図）の整備：バンクーバー事務所

(2) 鉦区状況の調査

- －鉦区を取得できる余地があるかを鉦区図でチェック（毎月）。：バンクーバー事務所

(3) 鉦区の取得

- －探査余地およびポテンシャルがある地域については，事務所内部あるいは東濃地科学センター，本社と協議し，鉦区を取得する。
- －図面上で取得位置を決定。：バンクーバー事務所
- －鉦区取得地区を現場でマーキングする（ステーキング）。：請負業者

保有技術：

- ・各社動向についての知識
- ・長年にわたる探査活動を通して蓄積した鉦床タイプについての知見：
 - －鉦床はどのような母岩中に，どのような構造規制を受けているのか
 - －粘土変質帯の組み合わせ・拡がり，各種微量元素の濃集はあるのか
 - －対象としている地域はこれらの要件を備えているのか。
- ・鉦区取得方法など，鉦業法に関する知識

2. エアボーン調査（広域調査）

目的：要地上物探調査地の選定

- ・基盤岩の地質構造の推定

エアボーン調査（EM，磁気）

対象面積：数百平方キロ程度

実施内容：

要地上物探調査地域を抽出するために、全域でエアボーン調査を実施する。

(1)磁気データ

高磁気帯・低磁気帯を抽出し、コンピュータを用いたモデリング等により大まかな地質構造を把握する。

(2)EMデータ

導電体を抽出し、地上EM調査が必要な要調査地域を選定する。

－調査仕様の決定（最適な測定機器，調査地域，測線間隔，測線方向，飛行高度など），ただし必要に応じて測線方向や間隔を現場で随時変更する。：バンクーバー事務所，東濃地科学センター

－データの取得：請負業者

－データの処理（データのフィルター処理，画像処理等），地質構造の推定，コンダクター位置の推定等の解析：バンクーバー事務所，東濃地科学センター

3. 地上物理探査（広域および精密調査）

目的：要試錐調査地点（試錐ターゲット）の選定

- ・断層等の構造帯の推定
- ・石墨質岩の存在を示唆するコンダクター（良電導体）の存在の再確認，コンダクター性状の解析

地上物探（概査，主にEM）

地上物探（精査，EM）

対象面積：数十平方キロ～数百平方キロ

数平方キロ～数十平方キロ

実施内容：

抽出した要調査地域に対し、広域調査として間隔の粗い概査を行い、有望地域を絞り込んでいきます。測定データを処理・解析し、導電体（コンダクターという、板状の石墨であることが多いが、断層などの構造、異なる岩石の境界を示すこともある）を抽出します。同時に、コンピュータを用いたモデリングにより、コンダクターの性状（延長、導電率、傾斜、深度など）を解析し、正確なコンダクター位置を推定します。さらに詳細な調査が必要な場合には、測線方向・間隔・ループ位置を変え、精査を行います。最終的には、物探技術者と地質技術者の間で試錐地点を決定します。

解析結果は、試錐調査などから推定される地質構造との整合性をチェックし、それらのデータのフィードバックにより再解析を行います。

また、大きな地質構造を把握するため、広域的な重力探査を実施することもあります。

アサバスカ地域では、EM法による探査が主体であるが、新しい探査手法として、鉦床を取り巻く変質帯の抽出を目的とした比抵抗法の適用について実証試験を行っています（ウォーリープロジェクト）。

- －調査仕様の決定（最適な物探手法および測定機器，調査範囲，測線方向・測点間隔，ループ位置など）：バンクーバー事務所，東濃地科学センター
- －データの取得：請負業者
- －データの処理（データのフィルター処理，画像処理等），解析（モデリングなど）：バンクーバー事務所，東濃地科学センター
- －試錐調査などから推定される地質構造との整合性の解析およびそれらの情報のフィードバック：バンクーバー事務所，東濃地科学センター

保有技術（エアボーン調査，地上物探）：

- ・物性値の測定に基づき，モデリング等を行うことにより，探査対象鉱床タイプと地質環境に合わせた最適な物探手法の組み合わせを選定できる知識と経験

（オーストラリアのプロジェクトを主対象に実施中）

- ・新しい探査手法に関する知識（EM法，比抵抗法）
- ・モデリング等による最適ループ位置の選定，効率的な探査計画の策定能力
- ・モデリング等によるコンダクター性状の解析能力，コンダクター位置の推定能力

課題：・精度の高いコンダクター性状の解析（実施中）

- －複数のコンダクターが平行する場合（マルチプルコンダクター）の解析精度の向上
- －コンダクターが傾斜している場合のより精度の高い傾斜方向，角度等の解析
- －探査深度限界に近い場合の分解能を向上させるソフトの開発
- ・鉱床を取り巻く変質帯の抽出を目的とした比抵抗法の実証，導入（ウォーリープロジェクトで実証試験中）

4. 試錐調査

目的：ウラン鉱床の発見

- ・試錐によるコンダクターの評価（ウラン鉱化の発見）
- ・ウラン鉱化の規制要因の抽出
- ・分析による微量元素異常の確認，変質帯の確認

概査試錐
精査試錐
地化学解析

対象面積（概査）：数平方キロ～数十平方キロ
（精査）：1平方キロ～数平方キロ

実施内容：

(1) 概査試錐

物探により要試錐調査地域を抽出したのち、概査段階として、コンダクターに対し間隔の粗い（例：延長方向に800m間隔とか）試錐を実施します。これにより、鉍化あるいは鉍化に伴う変質帯を抽出します。

試錐により得られた岩芯は、地質記載を行い、地質構造の把握と地質と鉍化の関係を明らかにします。また、化学分析により変質帯および微量元素異常を把握するため（地化学解析）サンプリングを実施します。

- －試錐地点の決定（物探解析，地質解析による）：バンクーバー事務所，東濃地科学センター
- －試錐の実施：請負業者
- －岩芯観察による地質構造解析の推定，変質帯の確認，鉍化作用の規制要因すなわち「クセ」の把握：バンクーバー事務所，東濃地科学センター
- －岩芯サンプリング：バンクーバー事務所，東濃地科学センター

(2) 精査試錐

概査試錐により発見した鉍化帯あるいは追跡調査が必要と判断される変質帯に対し、狭い間隔（例：コンダクター延長方向に200m離す，直交方向に25m離す＝フェンス試錐と呼ばれるなど）の試錐を実施し、品位・規模等鉍床の概要を把握します。効率的な鉍化帯の追跡には、前述した概査試錐あるいは精査試錐段階での結果が推定した仮説と合っているのか、常にチェックアンドレビューが必要です。

具体的な作業については前述概査試錐とほぼ同様です。

(3) 地化学解析

試錐により得られた岩芯をサンプリングし、化学分析により鉍床を取り巻いている微量元素異常（ウラン，ポロンなど）および粘土鉍物の組み合わせが変わる変質帯（合わせて変質ハローと呼ぶ）を把握する。この解析により、実施した試錐が鉍床のすぐ近傍にあるのか、あるいはどちらの方向に鉍床が存在していそうかを推定します。

- －化学分析元素の選定：バンクーバー事務所，東濃地科学センター
- －化学分析：現地分析所
- －化学分析結果の解析（地化学解析）：バンクーバー事務所，東濃地科学センター

保有技術：

- ・ 試錐岩芯観察による地質構造の正確な解析（アサバスカ砂岩の層序対比，基盤岩の層序対比等）
- ・ 鉍化作用を規制している各種要素の抽出能力
- ・ 鉍床部分を取り巻く粘土変質分帯の解析能力（試錐点の効率的選定）
- ・ 微量元素異常についての地球統計处理的解析能力

課題：・ 同じアサバスカ地域内における，地域差による粘土変質分帯および微量元素異常の特性の把握

調査結果の解析能力とは

調査の結果と、今までの探査経験・文献学習を通して得られた知見とのすり合わせを行い、今後の探査方針を決定する能力を言います。

- ・保有している知見と整合している、すなわち母岩の岩相、構造規制要因など既存の鉱床に類似する結果が得られている場合、
 - －どのぐらいの鉱床規模への発展が期待できるか
 - －どのような探査手法を今後とっていくべきか
 - －評価までにどのぐらいの作業が必要なのか
- ・整合していない場合
整合している場合の判断要素の他、以下の要素が加わる。
 - －新たな鉱床タイプとなる可能性があるのか、あるいは新たな鉱床規制要因抽出できるか

オペレート能力とは

探査プロジェクトを実施する上で不可欠な知識及び経験のことを言い、以下のものが挙げられます。

- ・各種ウラン鉱床に関する知見（特に対象地域に胚胎の可能性が高い鉱床）
- ・各種探査法に関する知識
- ・一般的な知識
例：対象地域の地形、交通、言語、調査可能期間、鉱業法
- ・寒冷地、熱帯、砂漠など特殊な自然条件下で探査活動を遂行するために必要なノウハウ
例：必要な装備・設備、風土病に関する知識
- ・請負業者に関する知識
 - －どのような請負業者がどこにあって、どの請負業者の能力が高いのか（試錐、物探）
- ・請負業者および作業員を使いこなす能力、場合によっては指導する能力
- ・作業コストに関する知識

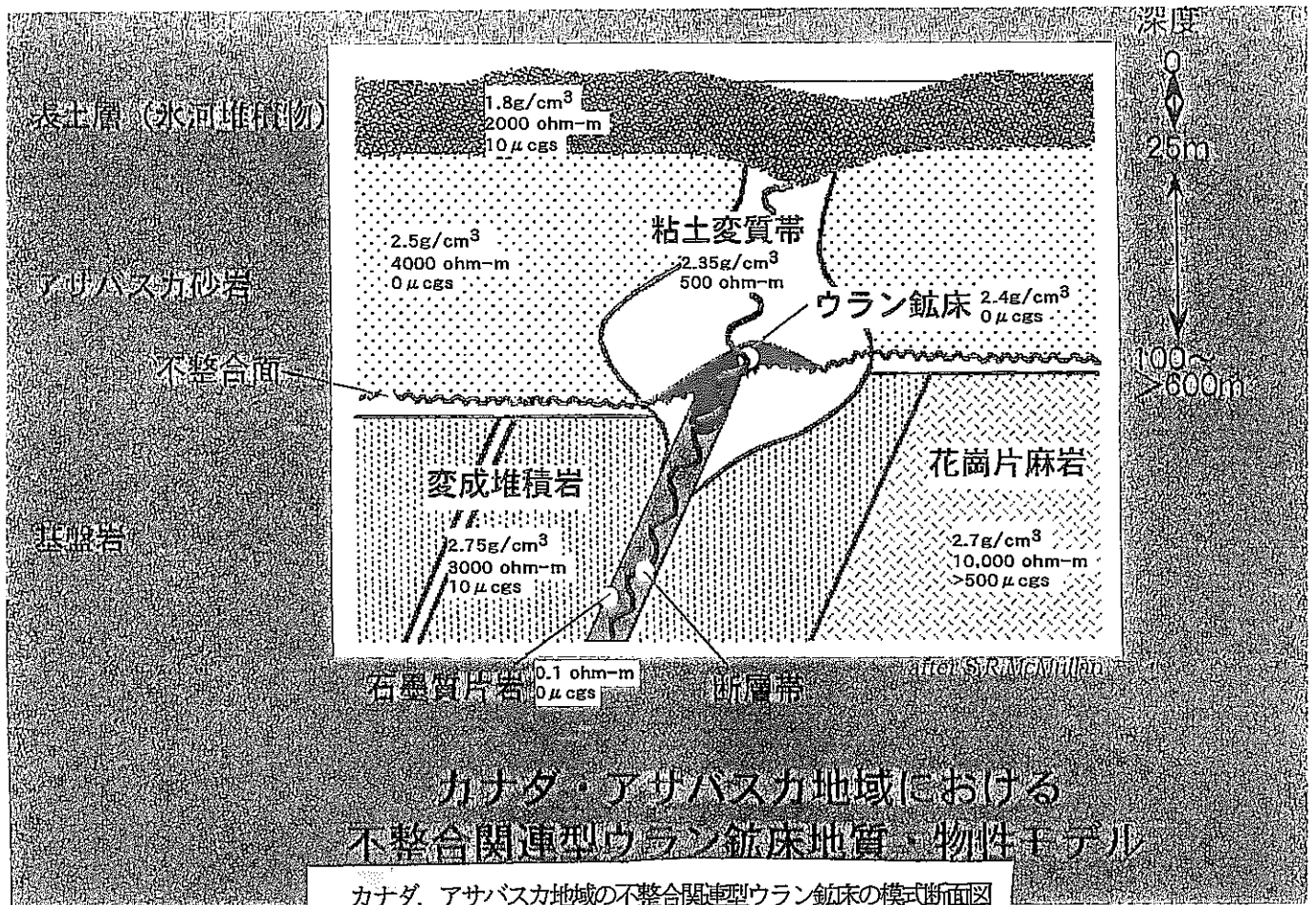
探査のフェーズとその進展

プロジェクト開拓	広域調査	精査 I	精査 II	予備的経済性評価
社会・経済的環境調査 鉍化作用の可能性の有無 ↓ 鉍床モデルの初期設定	鉍徴の発見 鉍化帯*の発見 鉍床モデルの設定	鉍石冶金学的調査 鉍化帯の拡大 鉍床モデルの更新 鉍床品位 > 0.2% U_3O_8 鉍量 > 10,000t U_3O_8	環境予備調査 鉍床モデルの確定	採鉍・製錬・環境保全概略コスト計算 環境調査

* GT 1% U_3O_8 × m 以上 (鉍量精度 ± 50%) (鉍量精度 ± 20%)

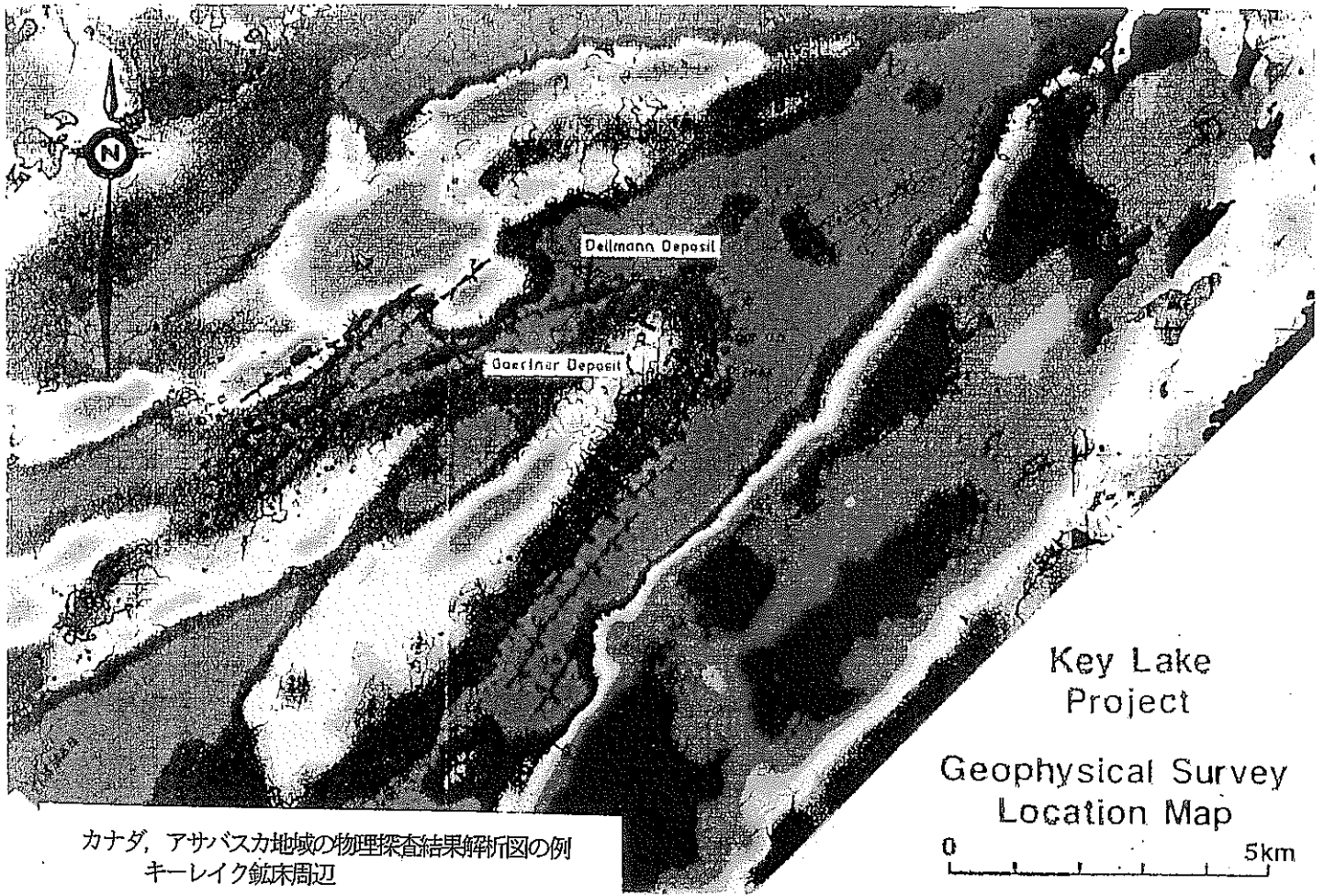


カナダ、アサバスカ盆地の一般的な冬景色



不整合関連型ウラン鉱床の探査手順

- ① 基盤岩類の分類 → 磁気探査
 - 花崗片麻岩分布域 (高帯磁率地域)
 - 変堆積岩分布域 (低帯磁率地域)
- ② 石墨質変泥質岩分布域の抽出 → 電磁探査
 - 石墨質変泥質岩 (数 100Ωm)
 - その他の基盤岩類 (5,000~10,000Ωm)
 - アサバスカ層群 (3,000~5,000Ωm)
- ③ 石墨質変泥質岩分布域の評価 → 概査試錐
- ④ 試錐孔を利用した調査 → 自然放射能検層
電磁探査(ボアホールEM)
- ⑤ 岩芯を利用した調査 → 変質ハローと元素ハロー



カナダ、アサバスカ地域の物理探査結果解析図の例
キーレイク鉱床周辺

Key Lake
Project
Geophysical Survey
Location Map
0 5km

添付図説明資料

〔探査のフェーズとその進展〕

- ・探査を進める場合は調査の精密さに応じて、広域調査、精査Ⅰ、精査Ⅱの各段階に分けられる。広域調査でウラン鉱徴が発見され追跡調査が必要と判断されれば、次の精査に進み、鉱化体の規模を明らかにするための調査（主に試錐）を行う。
- ・発見した鉱床に適用する採鉱法や製錬法、後処置法の検討を行い、大まかに経済性を評価し（予備的経済性評価）、本格的な企業化調査の必要性を決定する。

〔カナダ、サスカチワン州アサバスカ地域の探鉱現場風景〕

- ・写真は、カナダのアサバスカ地域。湖が多く、その地下数百mの深いところに鉱床が存在していることもある。物理探査の実施、試錐機械の移動など、湖が凍結する冬期のほうが効率的に調査が実施できる。氷上に小さく試錐機械が見える（中央やや右）。
- ・このようなところで、広い範囲から試錐ターゲットを絞り込むためには種々の物理探査手法を駆使していくことが不可欠。

〔カナダ、アサバスカ地域の不整合関連型ウラン鉱床の模式断面図〕

- ・地表に鉱床が露出していない「潜頭鉱床」の探査を行っている。地表は氷河の堆積物に覆われ、また、鉱床が胚胎する不整合の上位には、厚さ600mに及ぶ（現在の探査対象最大深度）アサバスカ砂岩が堆積している。
- ・各種岩石は密度、比抵抗、帯磁率など物性の違いがあり、物理探査はそれらの違いを利用する。例えば、ウラン鉱床の成因に密接に関係している石墨質岩は比抵抗が大幅に低く（電気を通し易い）、電磁法（EM）により石墨質岩を抽出し、試錐ターゲットを絞り込む。
- ・図では鉱床が大きく誇張されているが、実際には、不整合関連型鉱床の鉱化帯の幅は数十m程度と狭く、これが数百mもの深いところにあると、鉱化帯を直接試錐で当てることは非常に困難となる。
- ・鉱化帯を取り巻く変質帯の広がりや厚さは鉱化帯よりもはるかに大きいので、地化学的手法として、試錐コアの化学分析を実施し、粘土変質帯の分帯や微量元素分布の解析を行うことで、試錐ターゲットを絞り込むことが可能である。

〔不整合関連型ウラン鉱床の探査手順〕

・カナダ、アサバスカ地域ではほとんどの地域が氷河堆積物で覆われている。また、鉱床が存在する所までは厚い砂岩層で覆われている。したがって、各種の物理探査を駆使して鉱床が存在する付近の地質を推定する方法を取っている。

・前図「不整合関連型ウラン鉱床の模式断面図」に示された物性的な特徴に基づいて、磁気探査で基盤岩の分布を推定し、電磁探査で石墨層を推定する方法が一般的である。

〔カナダ、アサバスカ地域の物理探査結果解析図の例、キーレイク周辺〕

・キーレイク鉱床は、ガートナー鉱体とダイルマン鉱体からなる。キーレイク鉱床地区はアサバスカ盆地（地形的には現在はほぼ平坦、アサバスカ砂岩の堆積した16億年程度前の盆地）の端にあたり不整合面深度は50m程度と浅いが、地表部分は氷河の堆積物に覆われ鉱体、基盤岩は地表に露出していない。そのため、磁気調査により基盤岩の種類を推定する。

・色調は磁気率を意味している。赤色部分は高磁気帯で基盤岩が花崗岩類からなっていると推定される。一方、青色部分は低磁気帯で変成堆積岩類（原岩は砂岩、泥岩等の堆積岩でそれが変成を受けたもの）からなっていると推定される。鉱床は花崗岩類近傍の変成堆積岩類中に分布している。

・変成堆積岩類分布域の青色部分には黒い線状のものが見える。電磁法により抽出されたコンダクター（導電体、一般に石墨層を表していると解釈される）で、磁気図に重ね合わせている。鉱体はコンダクターと良く一致している。

しました。その結果、ウランゲゼルシャフト社は同システムをシッソズ南地区の調査に導入しました。その結果、地表に全く示徴のない地域で24,000tU₃O₈の地質埋蔵ウラン量を含むアンドリューレイク鉱床を発見することができました。

エアボーン比抵抗探査法の導入とその解析法が確立され、広範囲の調査対象地を短時間で効率的に精度よく絞り込むことができるようになりました。この成果は平成元年に「カナダ北西準州に適したウラン探査手法の確立」として理事長表彰（開発功績賞）を受賞するところとなりました。また、これらの成果をとりまとめて、平成2年度日本鉱業協会主催の探査現場担当者会議で発表し、日本鉱業協会賞を受賞しました。

4. カナダ・クリスティーレイクでの鉱化帯の発見

カナダのカメコ社が放棄したクリスティーレイク地域について、ウラン鉱床存在の可能性を認め、鉱区を取得し、調査を開始しました。この調査にあたり、地下深部の石墨を含む地層の正確な位置を決定するために動燃独自でパソコンを利用して電磁気調査結果を解析する技術を開発しました。これにより測定結果の即日解析が可能となり、測定データの質が向上し、探査が効率的に進められるようになりました。この開発技術の成果は1989年に理事長表彰として認められました。

また、鉱体周辺の変質帯の岩石を構成する粘土鉱物（カオリナイト、カリ雲母粘土鉱物、スドーアイト、クリノクロアなど）の共生関係に着目し、その分帯を行い、鉱化帯から非鉱化帯への粘土鉱物組合せの変化を明らかにするという技術も開発しました。

これらの成果をクリスティーレイクでの実際の調査に適用して、探査結果の解析評価を適切に行ない、これまでに2カ所の高品位鉱体（現在までに把握されている予想埋蔵ウラン量、10,000tU₃O₈）を発見することが出来ました。

5. その他の成果

・カメコ社と共同調査であるオーストラリア、アーネムランドウエスト地域で、オペレーターを任されています。技術的にも、先住民との関係においても、動燃の実績を評価している結果です。

・カナダ、シーロン地域のシッソズ地区はコジェマ社がオペレーターを努めて

いますが、動燃が確立した粘土鉱物組み合わせの変化から鉱化帯を発見する手法を採用し、動燃がその研究を依頼されました。

・カナダ、アサバスカ地域については、直流比抵抗、電磁法等の解析技術の高度化を実施しており、共同調査においても動燃独自の解析評価を行い探査計画への提案を行っています。ウォーリー地区では、オペレーターのコジェマ社が、動燃の直流比抵抗法データの解析結果を採用し、鉱化作用や粘土変質を確認するなど成果を上げつつあります。

・動燃は、長期間にわたる着実な努力の結果として、世界で2大ウラン鉱床地帯として積極的に探査活動が行われているカナダ、アサバスカ地域とオーストラリア、アーネムランド地域にカメコ社やコジェマ社と対等に有望鉱区を保有するに至っています。

6. 技術協力の実績

(1) 国内ウラン探査技術者の育成

1968～1970年に民間企業の実務者、管理職を対象にウラン鉱業技術セミナーを開催し、東濃探鉱事務所（当時）や人形峠事業所において、実際にウラン鉱床探査の体験や実技習得を重点に研修を行い、ウラン探鉱技術者の育成を図りました。

また、1976年から1982年までの間、中部探鉱事務所（当時）において、国際資源開発（株）や出光興産（株）など数社から半年や1年の単位で技術者を受け入れ、技術研修を行い、探鉱技術者の教育育成を図りました。その数は15名に達し、各社の技術力を支える基礎を築くことに寄与しています。

(2) 民間のウラン探査プロジェクトの評価と調査を支援

・ニジェールのアクタータ鉱床については、動燃がCEA から提案をうけて、1968年に現地調査を行い、鉱体の概要把握の状況と探鉱計画の詳細を明らかにするとともに、地域の有望性が高いと判断しました。この調査結果と判断を経団連に紹介しました。この結果を受けて、民間による本格的な調査団が派遣され、民間が参加することとなり、OURDが設立されました。

この初期の探鉱において(1970-1974年)、動燃から毎年2名の探鉱技術者を出向派遣して探鉱の実施、解析に従事させ、プロジェクトを開発操業へと導くこと

とが出来ました。

(3) 電事連への技術者派遣

電力各社と非鉄各社がカナダのエリオットレイク地区でカーマギー社と実施した共同調査や電力各社がデニソン社と米国コロラド高原で実施した共同調査のために、動燃は1968年から電事連に技術者を派遣し、技術評価に従事させました。

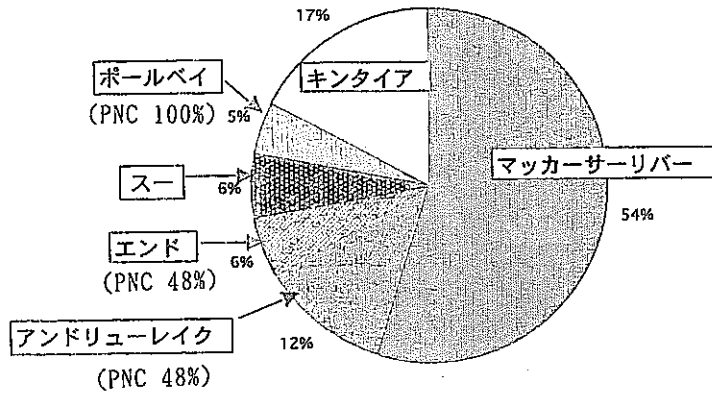
(4) 原子力研究交流制度や探査協定に基づく研修生の受け入れ

- ・昭和60年に原子力研究交流制度が発足して以来、中国、タイ、インドネシア、フィリピン、マレーシア等から合計34名の研究者の受け入れをしました。
- ・派遣要請に基づき、インドネシアやベトナム、タイ、マレーシアに14名の専門家を派遣し、分析や製錬試験等の技術指導を行いました。
- ・動燃が海外調査探鉱を実施していた国（マリ、ニジェール、ザンビアおよび中国）から探鉱協定に基づいて研修者を受入れ、技術者の育成に協力しています。

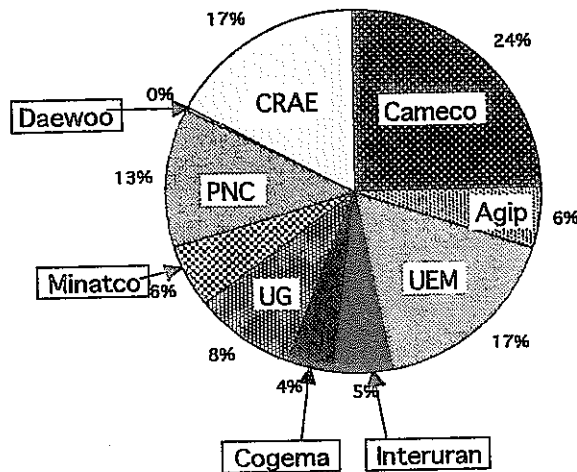
(5) 国際技術協力

海外技術協力事業団（O T C A）（国際協力事業団の前身）やI A E Aからの要請に基づき、1971年から1981年の間に、エチオピア、パキスタン(2回)、韓国(2回)、中央アフリカ、ボリビア、イラク、トルコ、ザンビア、タイに技術者1～3名を1～6ヵ月間派遣し、ウラン等の鉱物資源調査に協力しました。

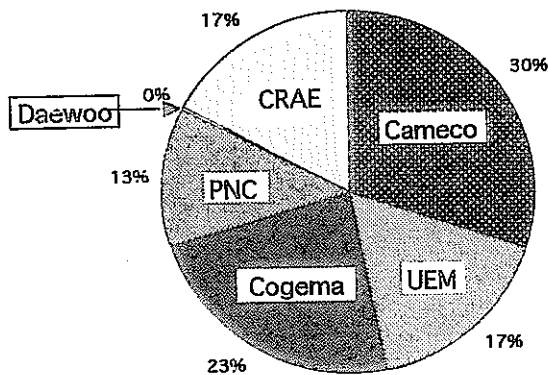
最近10年間に発見されたウラン資源量 (1985-1994)
 鉱床別資源量 (合計 178,000tU)



最近10年間に発見されたウラン資源量 (1985-1994)
 企業別発見鉱量 (鉱床発見当時)



最近10年間に発見されたウラン資源量 (1985-1994)
 企業別獲得鉱量 (鉱床発見後)

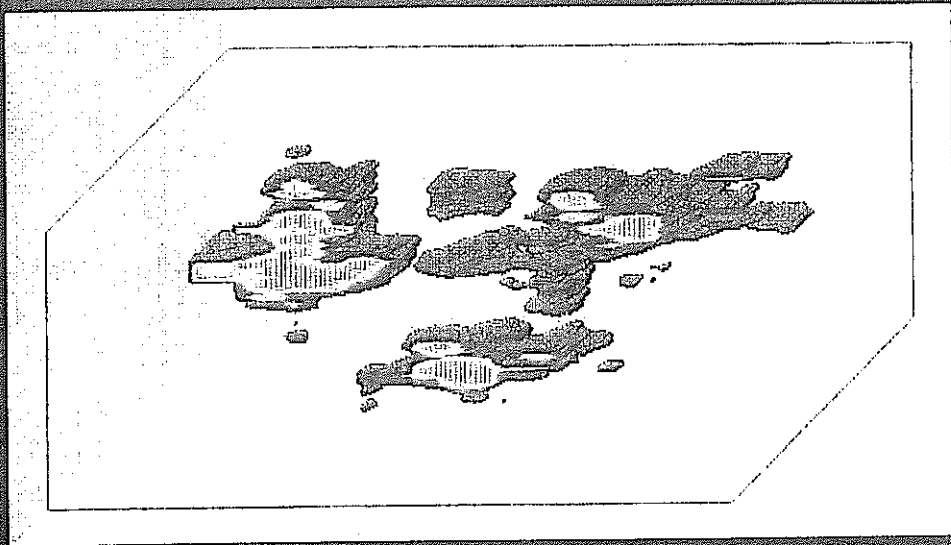




エアボーン比抵抗調査結果図
赤色部が低比抵抗



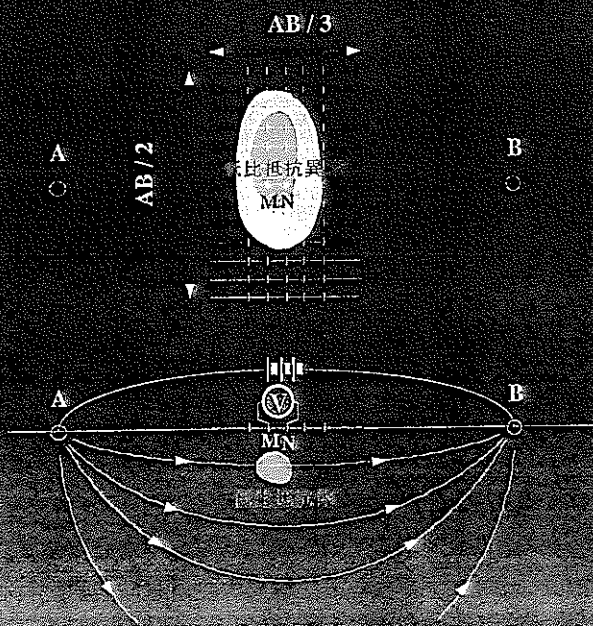
エアボーン比抵抗調査と重力調査結果図
比抵抗帯(赤色部)と低重力帯(白線コンター内)



アンドリュレーレイク (SWグリッド) 鉱床立体図

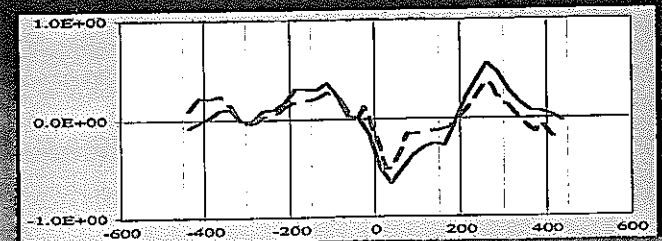
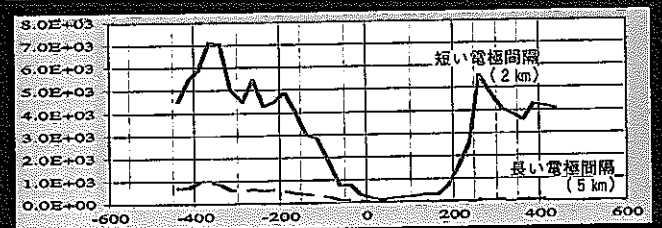
地球物理学探検システムの開発

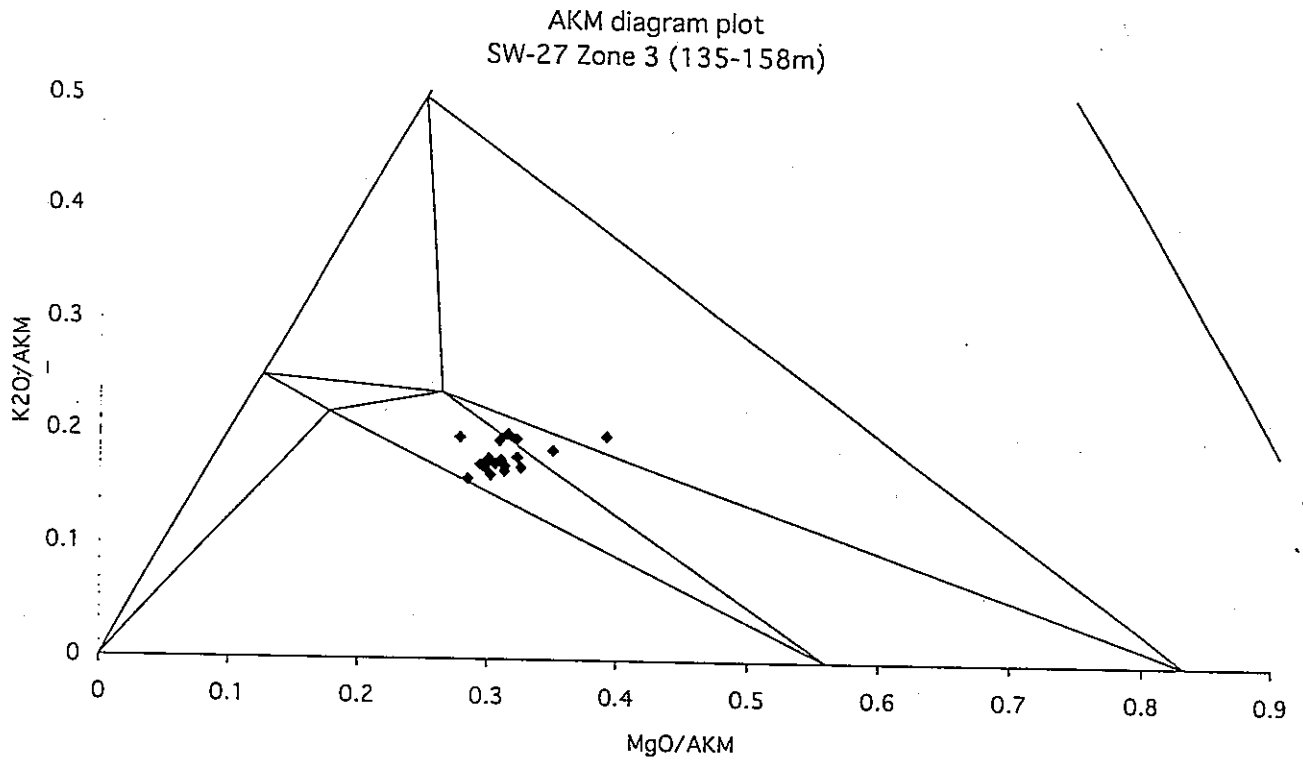
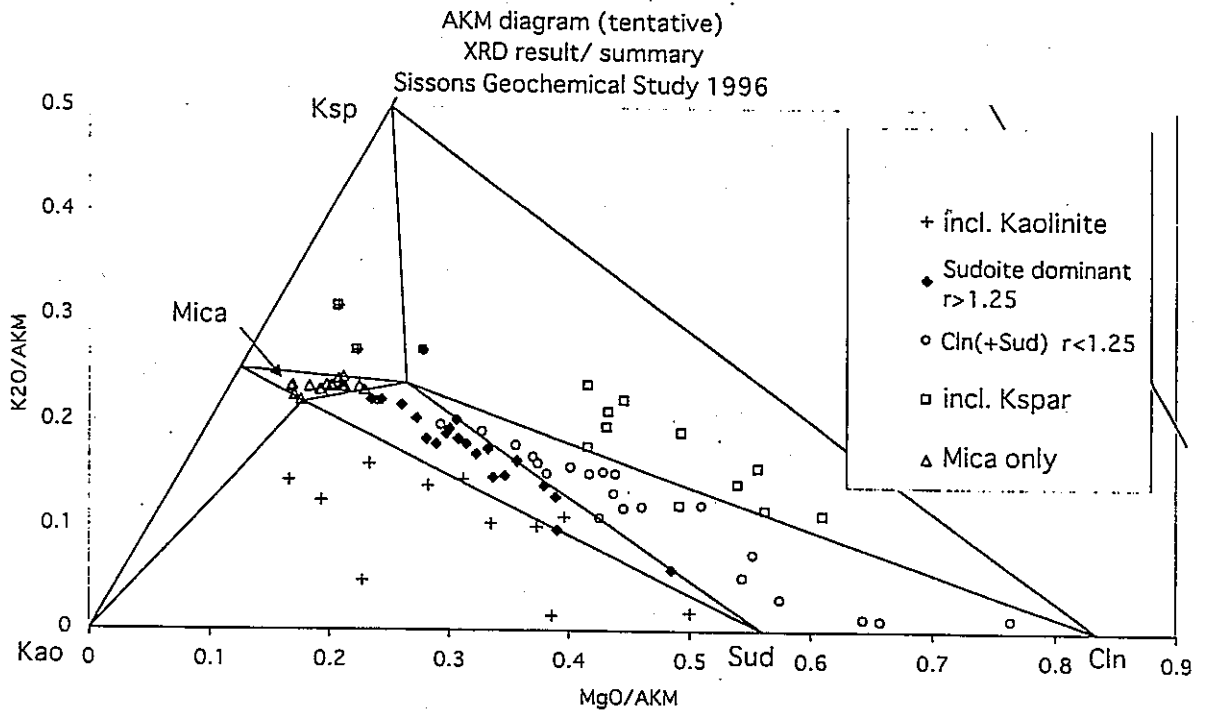
直流比抵抗マッピング概念図



地球物理学探検システムの開発

直流比抵抗マッピングのデータ処理

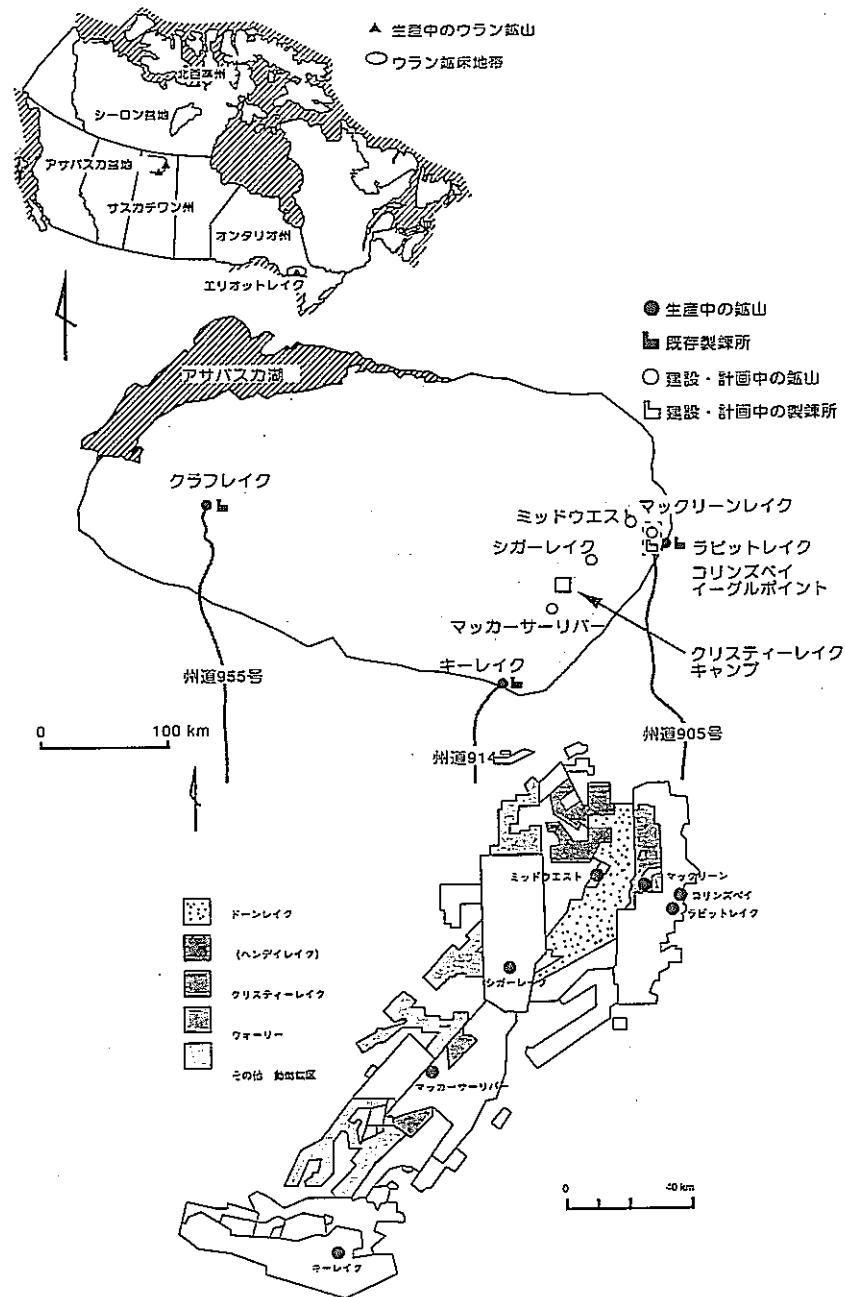
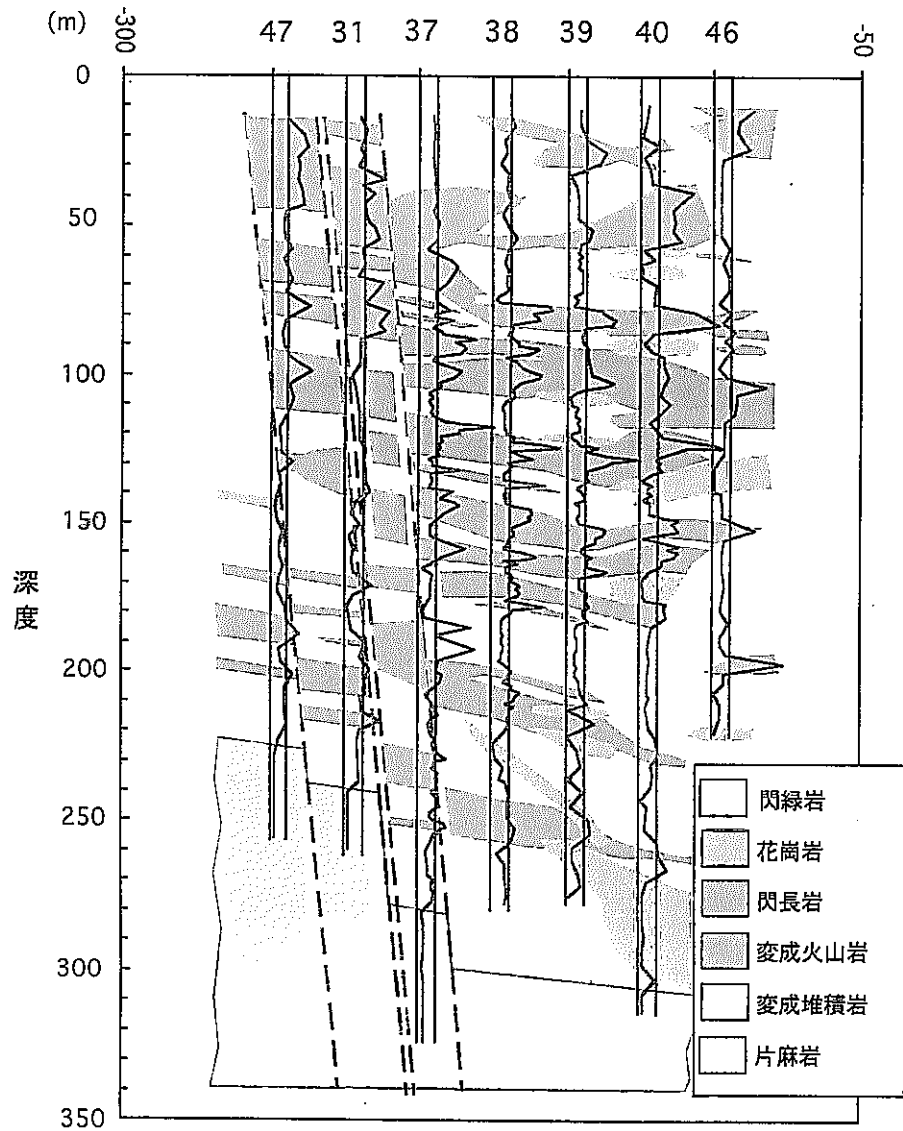


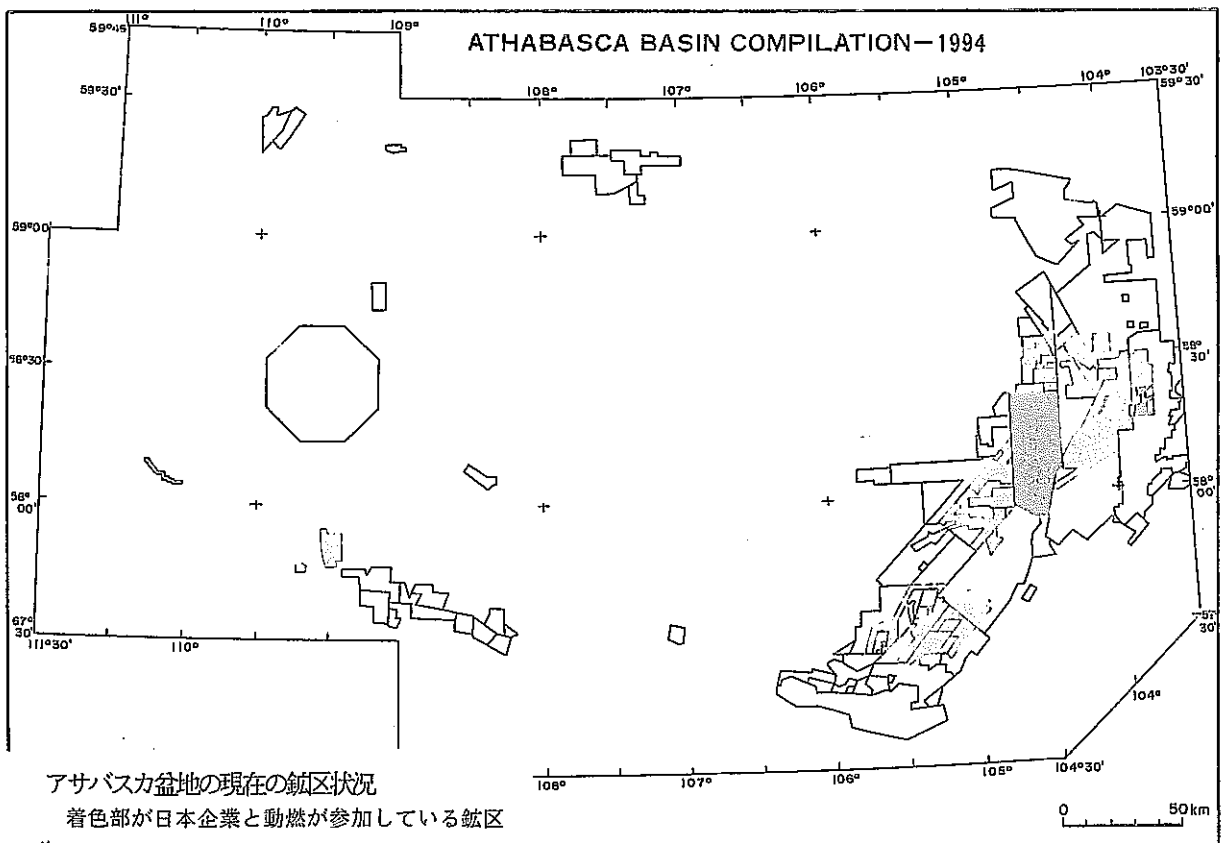
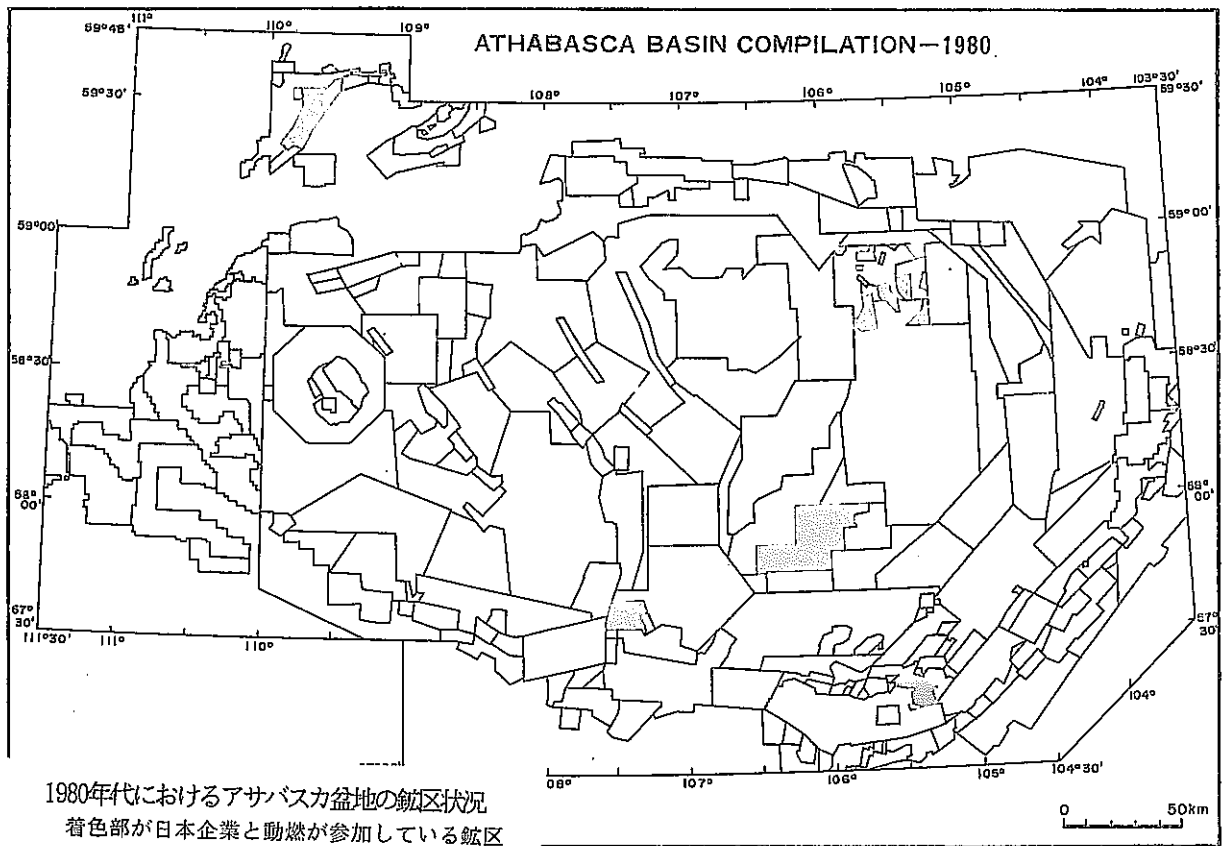


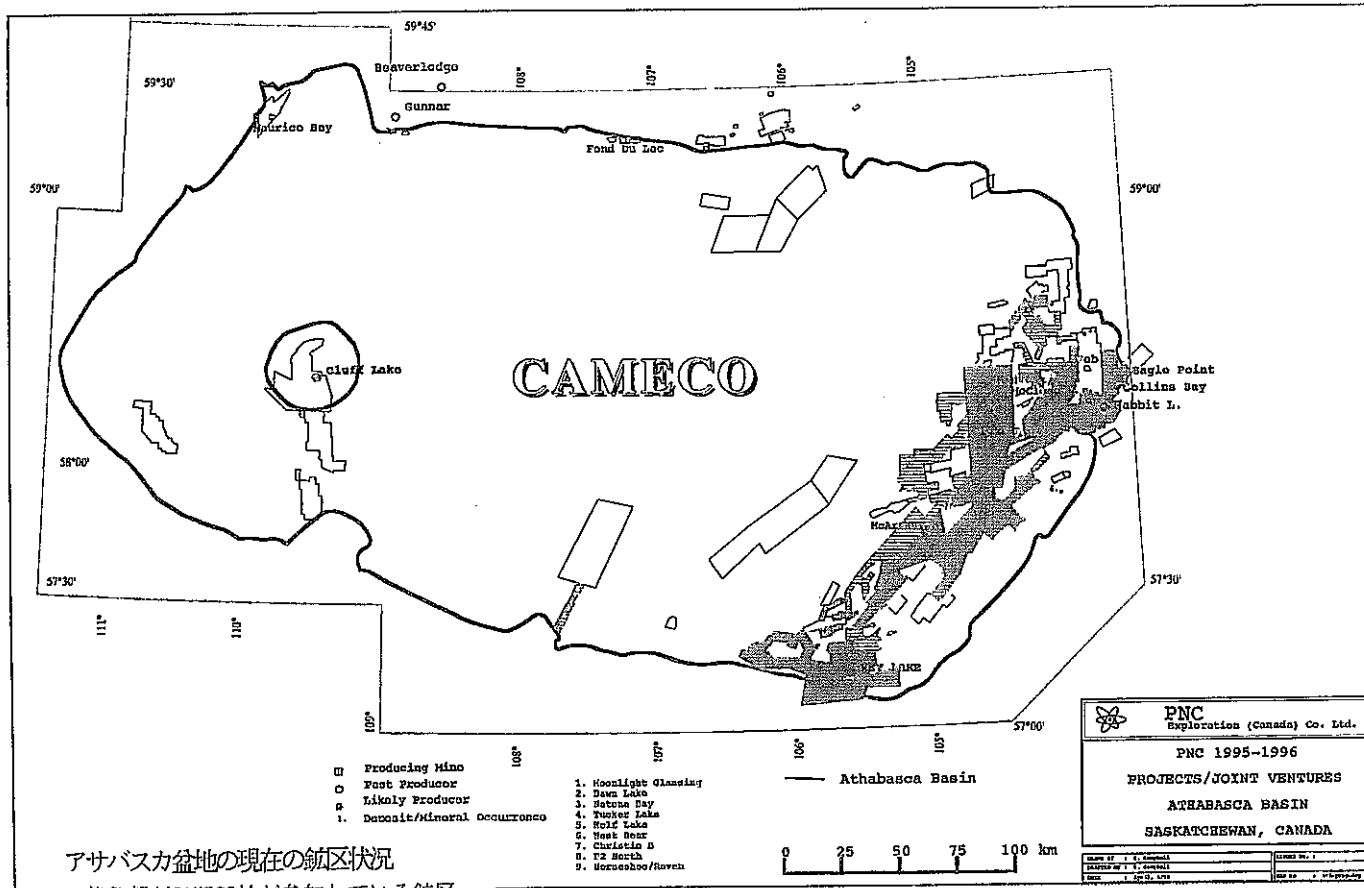
鉍化帯の粘土鉍物組合せ
鉍化帯に見られる粘土鉍物組合せは
スドーアイト主体のものであることが判明

23-7

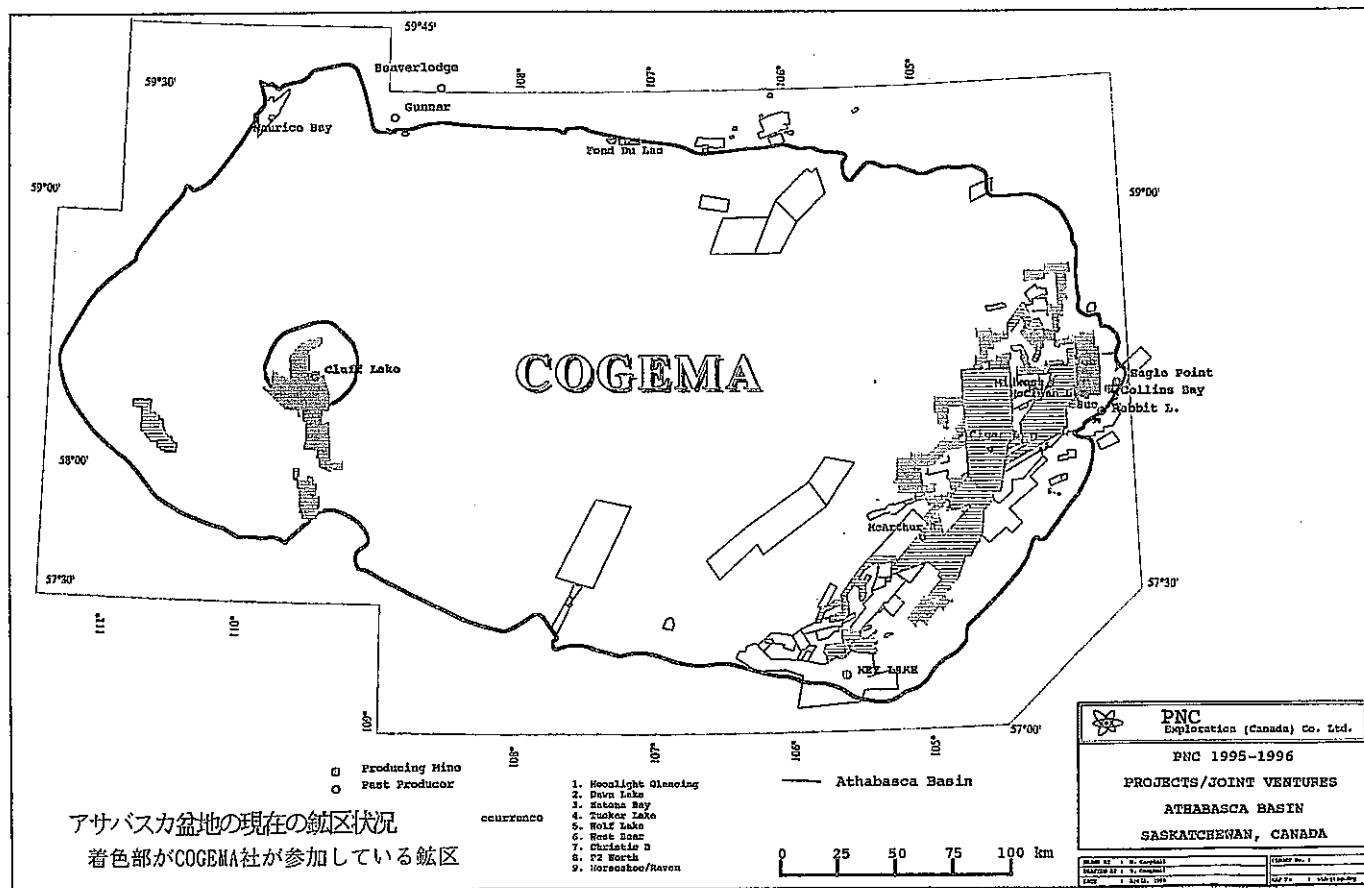
不動性元素比を用いた交代変質帯の原岩の復元
 アンドリューレイク鉱床 SW1100S測線 推定地質断面図





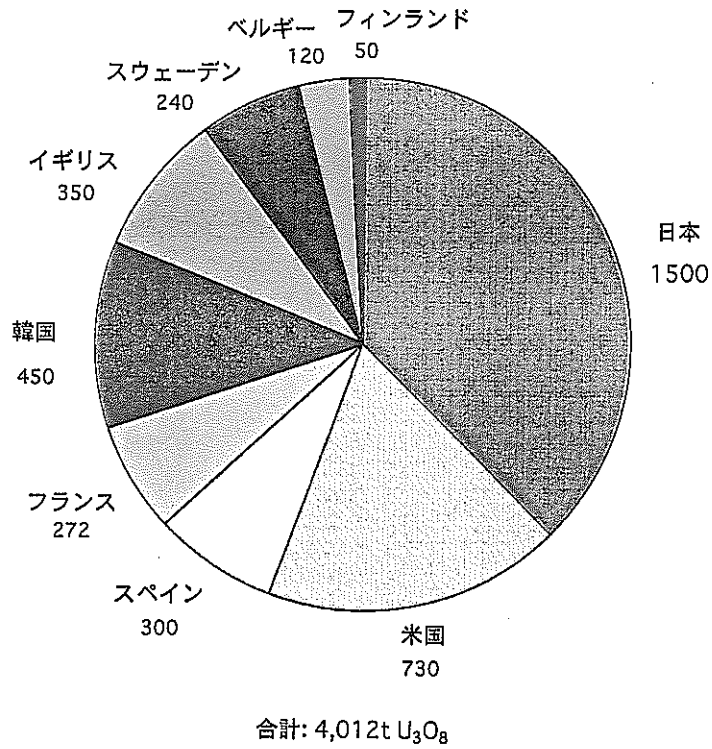


アサバスカ盆地の現在の鉱区状況
 着色部がCAMECO社が参加している鉱区

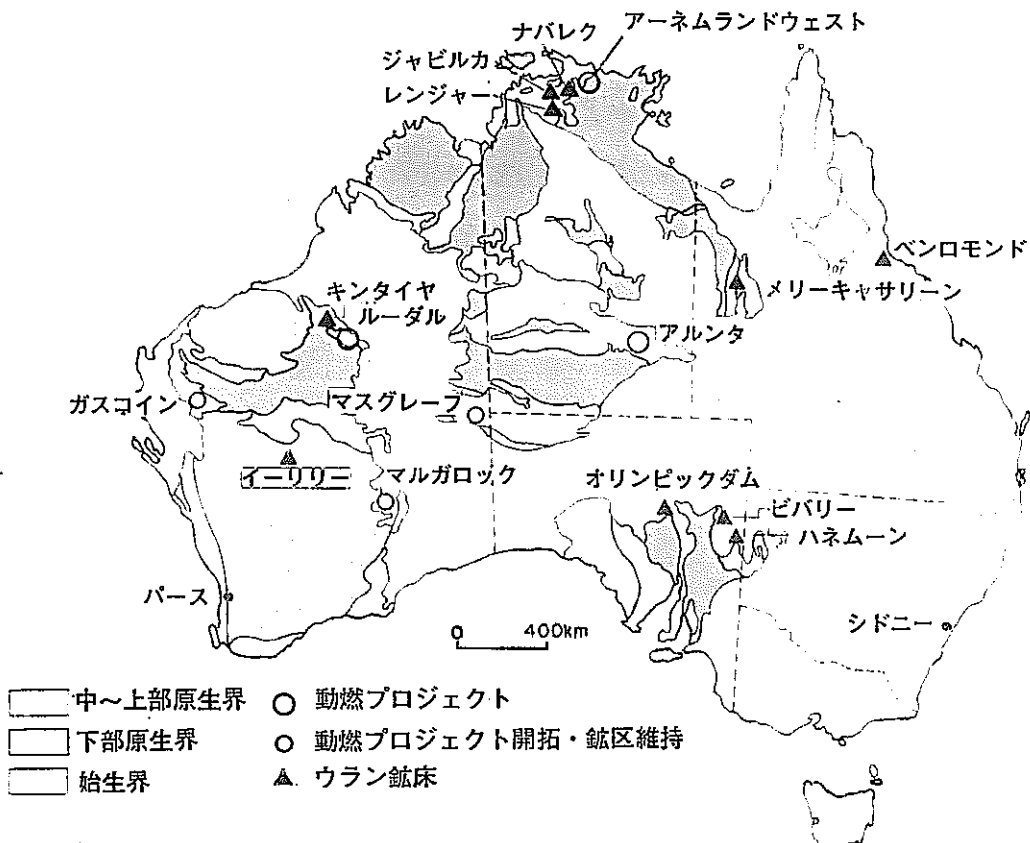


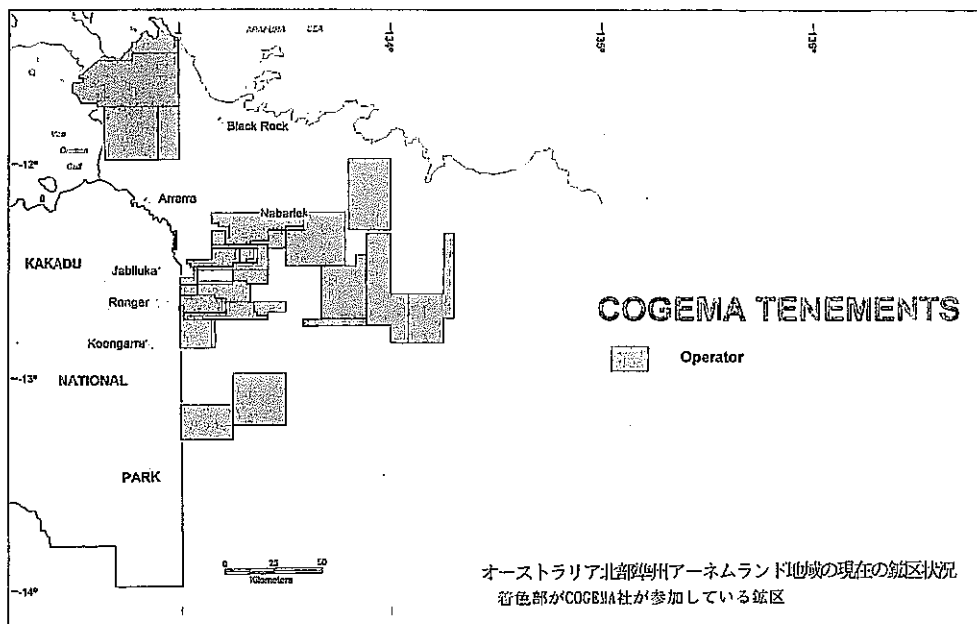
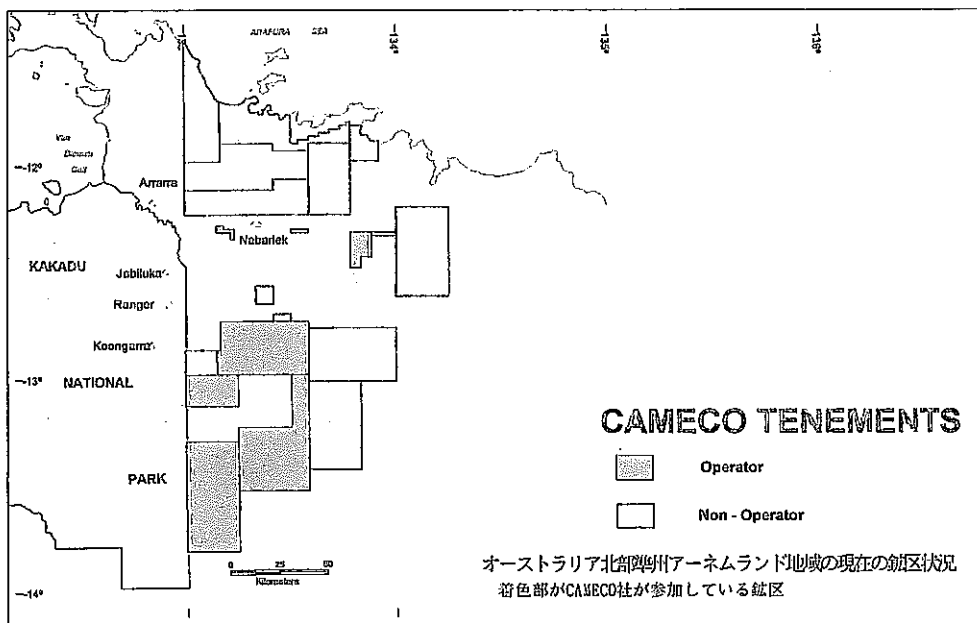
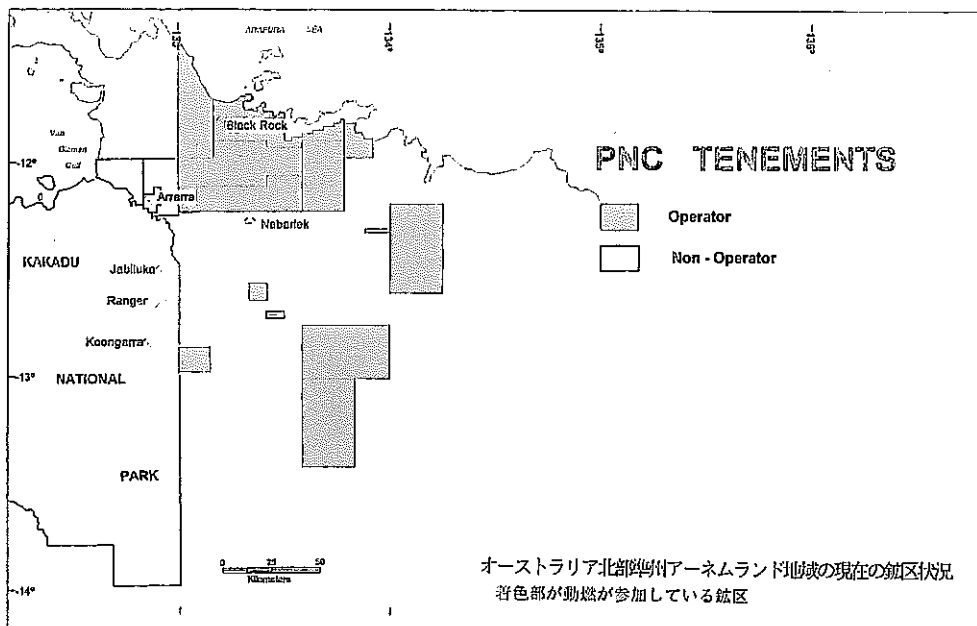
アサバスカ盆地の現在の鉱区状況
 着色部がCOGEMA社が参加している鉱区

オーストラリアのウラン輸出 (1995年)



オーストラリアの基盤地質と動燃プロジェクト





添付図説明資料

[最近10年間に発見されたウラン資源量 (1985-1994), 鉱床別および会社別]

- ・最近10年間に, 世界で約18万 t Uのウランが発見された。キンタイアのみオーストラリアであり, その他の鉱床は全てカナダである。マッカーサー, ポールベイ (クリスティーレイク), スー (マクリーン) はアサバスカ地域, エンドとアンドリュールレイク (ともにシッソンス) はシーロン地域に位置する。
- ・動燃はこの内の13%, 約 2.3万 t U (ポールベイ約 0.8万 t U-権益100%, アンドリュールレイクおよびエンド約 1.5万 t U-権益 48%分) の発見に貢献している。
- ・会社別でコジェマは23%を占めるが, その大半はUG (ウランゲゼルシャフト) 社, ミナトコ社, インターウラン社の買収によるものである。

[エアボーン比抵抗調査結果図]

- ・シーロン地域のプリンセスメリー・プロジェクト, シッソンス地区でのエアボーン比抵抗調査の実例。赤色部が低比抵抗帯を表している。鉱床を取り巻く粘土変質帯に起因する低比抵抗帯の抽出を目的としている (ただし, 湖底堆積物の影響により湖部分も低比抵抗帯として抽出されている)。地上での重力調査対象地域を低比抵抗帯部分に絞り込むことにより効率的に試錐ターゲットが選定でき, アンドリュールレイク鉱床, エンド鉱化帯の発見につながった。

[エアボーン比抵抗調査と重力調査結果図]

- ・シッソンス地区のアンドリュールレイク鉱床, エンド鉱化帯地域部分の探査の実例。
- ・色調は比抵抗を表し, 赤色部分が低比抵抗帯。白線は等重力線図で, 数値が低いほど地下に軽い物質 (この場合は粘土変質帯) が存在することを表す。前図でも記したように, シッソンス地区では, エアボーン比抵抗調査による低比抵抗異常から範囲を絞り込み, 地上の重力探査との組み合わせで試錐ターゲットを選定している。この手法は, 動燃が考案し, 当時のオペレーターであったウランゲゼルシャフト社 (UG) に提案したものである。
- ・アンドリュールレイク鉱床, エンド鉱化帯ともに, 低比抵抗帯および低重力帯と良く一致している。

[アンドリューレイク鉱床立体図]

- ・東濃地科学センター作成のアンドリューレイク鉱床の3次元的な品位分布図。赤色に近くなるほど品位が高い。

[直流比抵抗マッピング概念図]

- ・電流電極（AとB）に電流を流し、電位電極（MとN）で電圧を測定する。地表に測線を設定し、二次元的な測定を行う。
- ・地表下に低比抵抗体があれば、低比抵抗異常として表される。

[直流比抵抗マッピングのデータ処理]

- ・測線上に見かけ比抵抗値をプロットした図面。赤線は電流電極（AとB）の間隔が狭い場合（図では2 km）、紺色の線は電流電極間隔が広い場合（図では5 km）。
- ・電流電極の間隔が広ければ作業能率が上がり、コスト的にも安く効率的な探査が実施できるが、地下深部の影響を受け測定値はフラットになる。一方、電流電極の間隔が狭い場合、地下浅部の低比抵抗体を比較的容易に捕らえることができるが、作業効率は低い。
- ・解析時には、地下深部の影響を取り除くため、地下深部に起因する長波長部を取り除く処理（フィルター処理）を行うが、実数に対し処理した場合には、電極間隔の広いものでは、全く低比抵抗体を捕らえることはできない（中段の図）。
- ・測定値を対数化し、それに同様なフィルター処理を行うことにより、電流電極間隔が広い場合でも、低比抵抗体を捕らえることができる（下段の図）。

[三角ダイアグラム（Al-K-Mg）による粘土鉱物組み合わせ分帯]

[鉱化帯の粘土鉱物組み合わせ]

- ・シッソズ地区、アンドリューレイク鉱床における動燃が実施している地化学解析の例。試錐コアの化学分析結果を $K_2O-Al_2O_3-MgO$ ダイアグラムにプロットした。この図から変質粘土鉱物の組み合わせを推定することができる。
例えば、鉱化帯のサンプルはスドーアイトと雲母粘土鉱物の組み合わせの範囲に集中しており、このように鉱化帯の中心部から周辺への分帯が可能である。

[不動態元素を用いた交代変質帯の原岩の復元]

- ・同じくアンドリューレイク鉱床での地化学解析の例(断面図)。鉱床部分は、ウラン鉱化作用に伴う強い変質のため、試錐コアの肉眼観察では原岩を判定することが困難で、ウラン鉱化作用がどのような地質的規制(例えば鉱化母層となる岩石種)を受けているのか解析できない。
- ・試錐コアの化学分析結果を基に、変質を受けても移動しにくい元素(不動態元素, Al, Zr, Tiなど)の比をとる。原岩が元々持っている不動態元素の比は変わり難いため、原岩の解析が可能となる。図は解析に基づき、原岩を推定したもの。

[カナダ・アサバスカ地域の主要ウラン鉱床位置および鉱区状況]

- ・カナダのウラン鉱山は、サスカチワン州北部のアサバスカ地域に集中しており、世界でも一級のウラン鉱床区となっている。北西準州のシーロン地域にもウラン鉱床が発見されているが、現在生産中のウラン鉱山は存在しない。
- ・ウラン鉱床の形成に好ましい基盤岩が存在しているアサバスカ盆地の南東部にウラン鉱床が集中する(中段の図)。アサバスカ盆地は東西約450km、南北約200kmの広さを持つ。
- ・現在のアサバスカ盆地南東部の鉱区分布状況(下段の図)。ほとんど鉱区がかけられている。模様付きの鉱区群は動燃が保有する権益(単独または共同調査)。

[1980年代におけるアサバスカ盆地の鉱区状況]

[アサバスカ盆地の現在の鉱区状況、動燃、カメコ社、コジェマ社]

- ・1980年当時アサバスカ盆地は鉱区ラッシュで、後発の日本は、主要部分には進出できなかった。
- ・現在、各企業の探鉱活動は、主要鉱床の分布する盆地東縁部に集中しており、動燃はこの中の有望鉱区の多くを保有。

[オーストラリアのウラン輸出(1995年)]

- ・日本は、オーストラリア産ウランの主要輸出先となっている。

[オーストラリアの基盤地質と動燃プロジェクト]

- ・オーストラリアの基盤岩を年代分けしたものと主要ウラン鉱床位置。

2002

- ・レンジャー、ジャビルカなど主要なウラン鉱床は、北部準州のアーネムランド地域に位置する。これらは不整合関連型ウラン鉱床で、下部原生界（約18億年前までの岩石）と中～上部原生界（約18億年前から約6億年前までの岩石）の境界近傍に位置している。
- ・オリンピックダム鉱床（オリンピックダム・タイプ）は、南オーストラリア州に位置し、中～上部原生界を母層とする。
- ・アーネムランドウエスト・プロジェクトはアーネムランド地域の既存鉱床区に位置している。9年間にわたる先住民との交渉がまとまり、平成8年度から本格的な探査活動が実施できるようになった。

[アーネムランド地域の鉱区状況、動燃、カメコ社、コジェマ社]

- ・レンジャー、ジャビルカなど主要なウラン鉱床が存在する北部準州アーネムランド地域の鉱区状況。動燃、コジェマ、カメコの3社が有望鉱区を専有している。
- ・動燃は、先住民の同意を得て、平成8年度から本格的探査を開始した。

42-1-12

IV. CAMECO社, COGEMA社の戦略

1. CAMECO (カメコ社)

・1989年を起点とする民営化計画の進展により、現時点では、その株式の約90%が一般投資家により保有されています（残りはサスカチワン州政府の所有）。その経営戦略の根底には純民間企業として、欧米型の「会社は株主のものであり、収益を上げ投資家に利益を分配する」という基本的意識があります。

・CAMECO社は、カナダ・アサバスカ地域に稼行中あるいは計画中の世界一級のウラン鉱山の権益を所有しており、現有の資産のみによっても今後20年程度は収益を上げることができると考えられますが、世界のウラン会社メジャーを目指し、収入の一部をさいて、カナダのみならず、オーストラリア、米国、カザフスタンなどでウラン権益の確保と探鉱活動を着実に進めています。最近の例では、オーストラリアにおける動燃との共同調査あるいは単独での探査の開始、英国 Nuclear Electric(前CEGB)社の子会社であった米国のPower Resources Inc.の買収(約120億円)などがあります。

・ウラン以外に金の探査、生産も進めています。基本的にはウランを主要対象鉱種としています。

・このようなCAMECO社の動向をしてみると、1980年代中期から1990年代上期のウラン市場の低迷期は脱し、中長期的にもウラン市場は堅調を保ち(すなわち、一方的な買い手市場とはならない)、収益が上げられる一つの商品(Commodity)として魅力のあるものと捉えていることがわかります。

2. COGEMA (コジェマ社)

・日本と同様資源に乏しい国であり、原子力は国の主要なエネルギー源と位置づけられている。従来から、再処理路線の推進と並行しウラン資源の確保を積極的に行ってきています。実質的には政府機関であり、フランスの世界戦略の一環として、国益のため長期的な視点を持ち、世界各地でウラン資源の確保を行っています。この点では、動燃に類似していると言えます。

・フランス国内にもウラン鉱山はありますが、高コストのため近年は減産・閉山を余儀なくされています。旧植民地であるガボン・ニジェールのウラン鉱山も高

コストであり、以前と比較しウラン市況は好転しているものの、横ばい傾向をたどっています。

・優良なウラン資源確保と供給源や鉱床タイプの多様化を目指し、カナダ、オーストラリア、カザフスタン等で積極的に権益確保探鉱活動を行っています。1990年代に入り、北米やオーストラリアに有望権益を所有していたヨーロッパ系のウラン関係会社を次々に買収し、フラン経済圏からドル経済圏への多様化を着実に進めています（ドイツのUranengesellschaft, Interuran, フランス石油大手 Totalのウラン部門の買収など）。これらの買収および自身の探鉱活動を通して、カナダ、米国、オーストラリアの優良なウラン資源を確実に確保しています。

最近の世界の主要ウラン鉱床・鉱業権益の動き (1990年以降)

時期	企業名	内 容	対 価
1990.04	Uranerz	マビトリック 鉱山の1/3 利権をCamecoより購入。	C\$160m.
1990.11	MINATCO (Total)	Wolly J/V (マウリオン, JEB, Sue C 鉱床他) の残りの権益(2/3) をCanadian Petroleum, Canadian Nickel Co. より購入。	?
1991.03	Cogema	ナルク製錬所を含むアムランド 地域 (オーストラリア) の探査権益 (50%) をPioneer (OLM) より取得。	A\$ 6 m. ?
1991.07	NBP (ERA)	ジョビカ 鉱床権益(100%) をPancontinentalより購入。	A\$125m.
1991末	Cameco	Power Resources (CEGB) オーストラリア の権益(100%) を購入し、アムランド 地域の探査権取得。	?
1992.01	Cogema	UG社の株69.4% を取得し、カナダ のキバック、アソリュール、マウカーリバー、オーストラリア のジョビカ、レンジャー、ナミエのRossing、ニジェール のアリット 鉱山他の権益を獲得。	?
1992.01	Uranerz	クローブート 鉱山 (米国) の22% 権益をGeomexより取得し、52% 権益所有者となった。	US\$1.7m. : キヤッシュ US\$3.5m. : 分担金
1992.02	Total	クワガ 鉱床の70% 権益をDenison より購入。	C\$25m.
1992.06	Cameco	Agip (イリ) の北米ウラン権益(100%) を購入し、マウカーリバー 鉱床の10% 権益他を取得。	C\$49.75m.
1992.06	RTZ	Rio Algom の北米権益 51.5% を売却。	C\$362.3m.
1992.11	Cogema	Amok (クワレック 鉱山の運営会社) の25% をPechineyより購入し、100%所有者となった。	?
1993.02	Cogema	クワレック 鉱山権益の20% をCamecoより購入し、100%所有者となった。	?
1993.04	Cogema	自社株の10.45%との交換により、Total のウラン部門のすべてを取得。この交換により、カナダ のマウリオン / ミッドウェスト、オーストラリア の クワガ 鉱床他の権益を獲得した。	(US\$200m.)
1993.04?	RTZ	Rossing 鉱山のTotal 社の 10%権益を優先買取り権の行使により購入。	?
1993.04	WMC	BPの持つオバニック 鉱山権益49% を購入し、100%所有者となった。	US\$225m.
1993.09	Cameco	アムランド 地域の動燃の探査権益に50% ファームインすることとなった (アムランドウェスト J/V) 。	A\$ 5 m. : 分担金
1994.02	Cameco	Geomex社の持ち株 100% を購入し、クローブート 鉱山権益(30.8%)、ビュグレット探査権他を獲得。	US\$7.04m.
1995.	Cameco Uranerz	Uranerz, Cameco, KATEP (カフスタ) の3社は、カフスタ南部 Inkai, Mynkuduk 鉱床を開発するJ/V を設立。各社の権益は全て1/3。オペレーターは Uranerz。	?
1996.10	Cameco	Camecoが、英国 Magnox Electric社から、PRI 社とCEGBE (カナ) 社の100%を買収し、ハイランド、ガストル 鉱山、キバック 鉱床他の権益を取得。	US\$105m.
1996.10	Cogema	Cogemaは、KATEP とカフスタ南部のMuyumkum 鉱床を開発する共同出資子会社 KATCOを設立。Cogema, KATEP の権益はそれぞれ、45% および 29%。	?