

戦略調査セミナー

報告(2)

ウラン資源の将来見通し

平成18年 3月 2日

経営企画部戦略調査室

小林 孝男

目次

1. ウラン資源量と区分
2. ウラン資源の分布
3. ウラン生産能力
4. ウラン価格とウラン濃縮の関係
5. ウラン鉱床の発見
6. ウラン探査技術の壁とは？
7. ウラン資源の将来見通し

1-1 世界のウラン資源量

コスト区分	既知資源(万tU)		未発見資源(万tU)		在来型資源 総計(万tU)
	確認資源	推定追加 資源 I	推定追加 資源 II	期待資源	
コスト区分なし	—	—	—	310	1,440
<US\$130/kgU (<US\$50/ポンドU3O8)	460		230	440	
	320	140			
<US\$ 80/kgU (<US\$30/lbU3O8)	350		150	440	
	240	110			
<US\$ 40/kgU (<US\$15/ポンドU3O8)	250		150	440	
	170	80			

既知資源: 発見済みの資源であり、規模・品位・形状が明らかな鉱床中に存在する「確認資源」と
 鉱床の規模・特性に関するデータが不十分な「推定追加資源 I」に区分される。

推定追加 II: 既存鉱床の地質的延長に、存在が間接的事実を基に推定される未発見資源をいう。

期待資源: 特定の地質鉱床地帯の中に期待される未発見資源をいう。



世界のウラン資源量 (レッドブック2005ドラフトとの比較)

コスト区分	既知資源(万tU)		未発見資源(万tU)		在来型資源 総計(万tU)
	確認資源	推定追加 資源 I	推定追加 資源 II	期待資源	
コスト区分なし	—	—	—	310 (300)	1,440 (1,480)
<US\$130/kgU (<US\$50/ポンドU3O8)	460 (475)		230 (250)	440 (455)	
	320 (330)	140 (145)			
<US\$ 80/kgU (<US\$30/lbU3O8)	350 (380)		150 (170)		
	240 (265)	110 (115)			
<US\$ 40/kgU (<US\$15/ポンドU3O8)	250 (275)				
	170 (195)	80 (80)			

(青字)内が レッドブック2005ドラフト

データ: OECD/NEA-IAEA(レッドブック)2003,2005ドラフト



1-2 在来型資源と非在来型資源

在来型資源 :「ウランが主要な生産物か共産物あるいは重要な副産物である資源」

- ・不整合関連型鉱床、砂岩型鉱床:ウランが主産物
- ・オリンピックダム鉱床:銅とウランが共産物、金が副産物
- ・南アの石英礫岩型鉱床:金が主産物、ウランが副産物

非在来型資源:「非常に品位の低いウラン資源や、ウランが副産物として回収可能ではあるが、ウランが占める経済的重要性の低い資源。」

- ・フォスフェイト(海成燐酸塩鉱床 2,200万tU)、カーボナタイト(火成炭酸塩岩)、ブラックシェール(黒色頁岩)中のウランなどがある。
- ・海水ウランも広義の非在来型資源に属するが通例、別の項目として扱われる。

1-3 ウラン資源の利用可能年数

炉/燃料サイクル*1	在来型既知資源の利用可能年数*2	在来型資源の利用可能年数*2
現在の燃料サイクル (軽水炉、ワンス・スルー)	85	270
燃料リサイクル (Pu、1リサイクル)	100	300
軽水炉と高速炉 (混合リサイクル)	130	410
高速炉燃料サイクル (完全リサイクル)	2, 550	8, 500

データ: OECD/NEA-IAEA(レッドブック)2003

* 1 : 燃料サイクルの条件特性: OECD/NEA, Trends in the Nuclear Fuel Cycle, 2003より抜粋

	LWR ワンス・スルー	LWR ワンリサイクル	LWR+FR 混合リサイクル	FR完全リサイクル
燃焼度 (GWd/tHM)	60	60	60 and 150 (FR)	123
濃縮度 (%)	4.9	4.9	5.3	—
天然U(t/TWh)	20.7	18.4	13.8	0.7 (depl.)
濃縮作業量 SWU	15,825	14,075	8,808	—

* 2 : 2002年の原子力発電量 2,570TWh netをベースとした利用可能年数



ウラン資源の利用可能年数(レッドブック2005ドラフトとの比較)

炉/燃料サイクル*1	在来型既知資源の 利用可能年数*2	在来型資源の 利用可能年数*2	在来型・非在来型資 源の利用可能年数*2
現在の燃料サイクル (軽水炉、ワンスルー)	85 (85)	270 (270)	(675)
燃料リサイクル (Pu、1リサイクル)	100 (—)	300 (—)	(—)
軽水炉と高速炉 (混合リサイクル)	130 (—)	410 (—)	(—)
高速炉燃料サイクル (完全リサイクル)	2, 550 (2, 570)	8, 500 (8, 015)	(19, 930)

データ: OECD/NEA-IAEA(レッドブック)2003,2005ドラフト

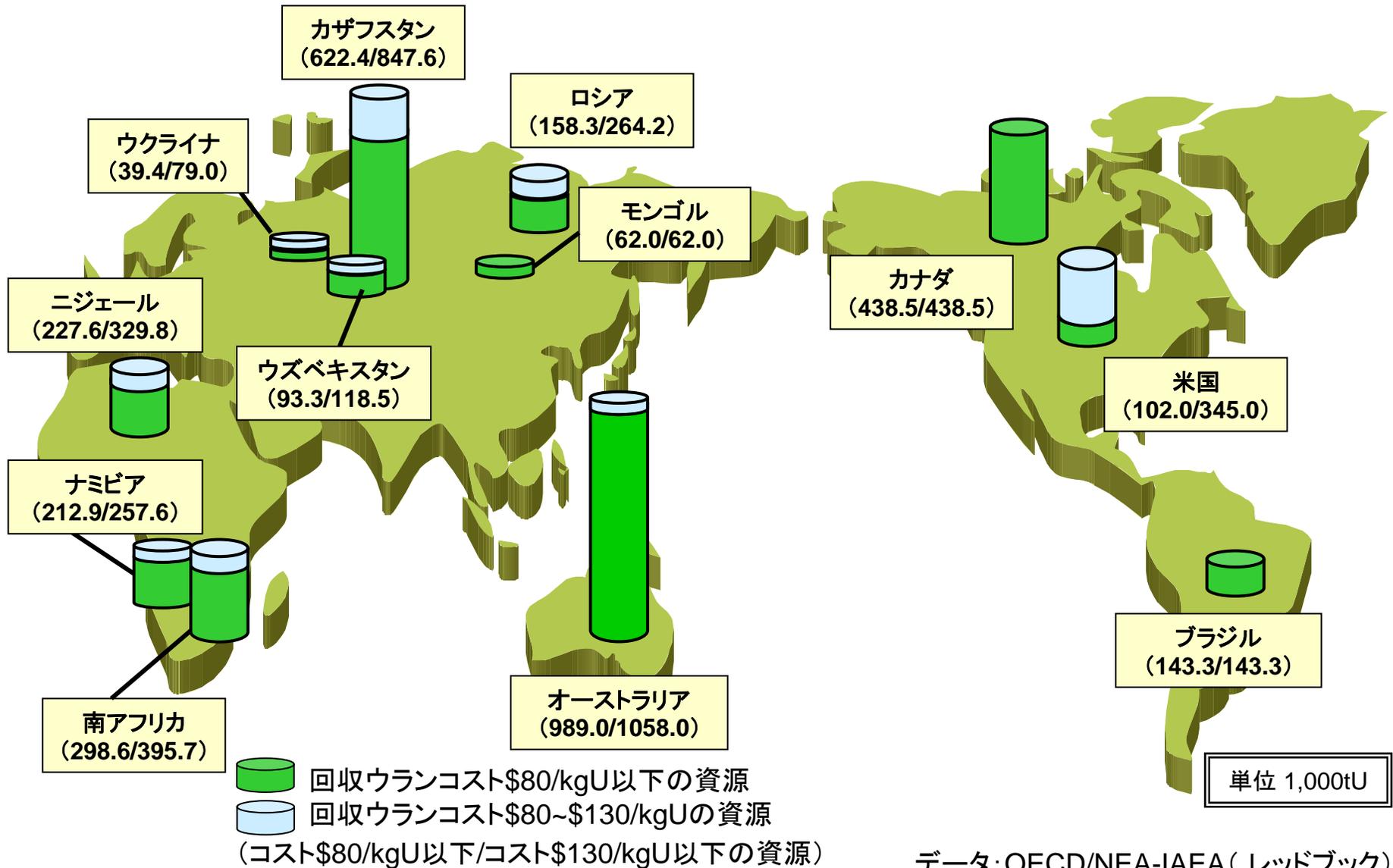
(青字)が レッドブック2005ドラフト

* 1 : OECD/NEA, Trends in the Nuclear Fuel Cycle,2003 の条件特性に基づく

* 2 : 2003年版は2002年の原子力発電量 2,570TWh netをベース、

2005年ドラフトは2004年の原子力発電量 2,638TWh netをベースとした利用可能年数

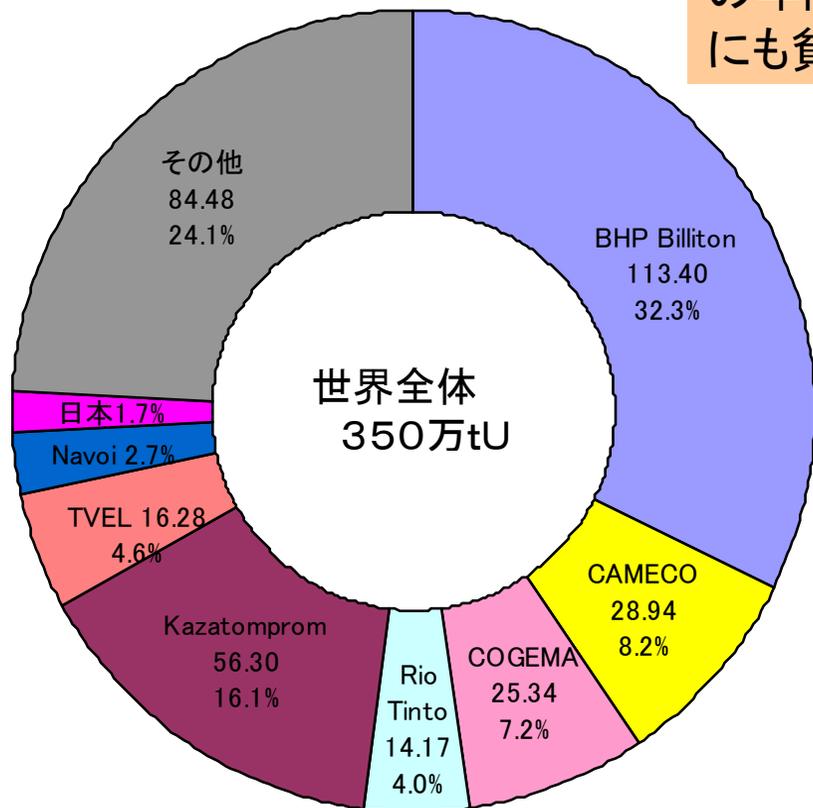
2-1 世界のウラン資源の国別分布



2-2 世界の主要企業別ウラン資源保有量

(コスト\$80/kgU以下の既知資源に相当)

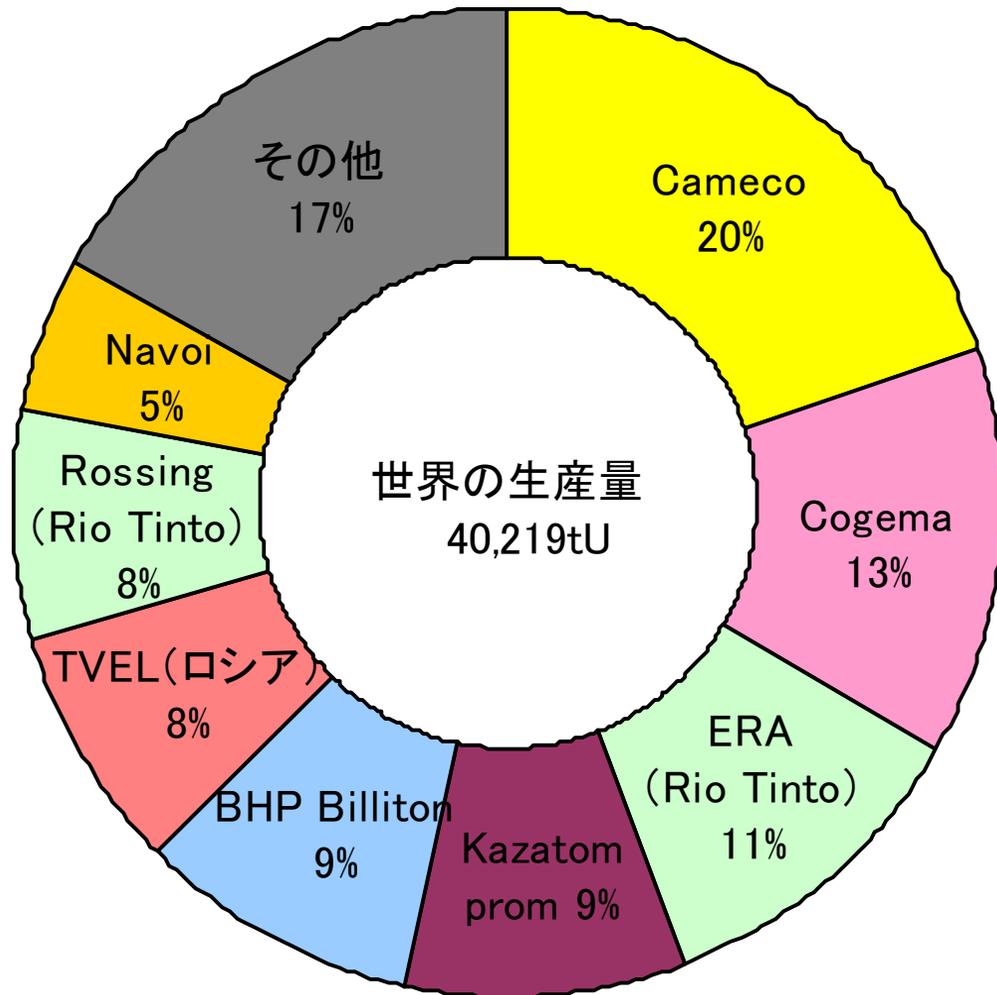
日本は、鉱山会社・電力会社・商社による海外探鉱・開発プロジェクトへの参加などにより、約60,000tU(約1.7%)の資源量を確保しているが、年間8,000~10,000tU(世界の年間需要の12~14%)を使う大消費国としては、あまりにも貧弱な確保量



データ: 2006/1 JAEA調べ

各企業HP、OECD/NEA-IAEA(レッドブック)2003他

3-1 世界の企業別ウラン生産量(2004年)



■ Cameco	8,038
■ Cogema	5,317
■ ERA (Rio Tinto)	4,356
■ Kazatomprom (カザフ)	3,718
■ BHP Billiton	3,706
■ TVEL (ロシア)	3,200
■ Rossing (Rio Tinto)	3,038
■ Navoi (ウズベキスタン)	2,050
■ その他	6,796

データ: WNA 2005.7



3-2 世界の主要ウラン生産センター(1/2)

	鉱山／鉱床名	現状・計画	生産容量 (tU/年)	拡張見込容量 2010年(tU/年)
カナダ	ラビットレイク鉱山	Eagle Pointの埋蔵量は2007年にも枯渇	4,610	4,610
	マックリーンレイク鉱山	JEB製錬所の能力拡張→2006年4,610tU/y以上を計画中	3,070	4,610
	ミッドウエスト鉱床	開発準備中。JEB製錬所で処理		
	シガーレイク鉱床	2007年生産予定。ラビットレイクとJEBでシェア一別に製錬		
	マッカーサーリバー 鉱山	2006年に8,450tU/年に増産予定。キーレイク鉱山で製錬	7,185	8,450
米国		ISL生産中	2,525	2,525
オース トラリア	レンジャー鉱山	あと10年程度で埋蔵量枯渇。ジャビルカの鉱石を処理予定	4,750	4,750
	ジャビルカ鉱床	開発準備中(先住民の同意取得が課題)		
	オリンピックダム鉱山	銅と共産。12,720～25,740tU/yへの大幅拡張計画中	3,900	12,720
	Beverley鉱山	ISL生産中	1,000	1,000
	Honeymoon	ISL開発準備中		340
ニジ ェール	アーリット鉱山	生産中	1,500	1,500
	アクータ鉱山	生産中	2,300	2,300
ナミ ビア	Rossing 鉱山	2016年までの生産延長を決定	4,000	4,000
	Ranger Heinrich 鉱床	PALADIN(豪)が開発、2006年生産予定		1,000

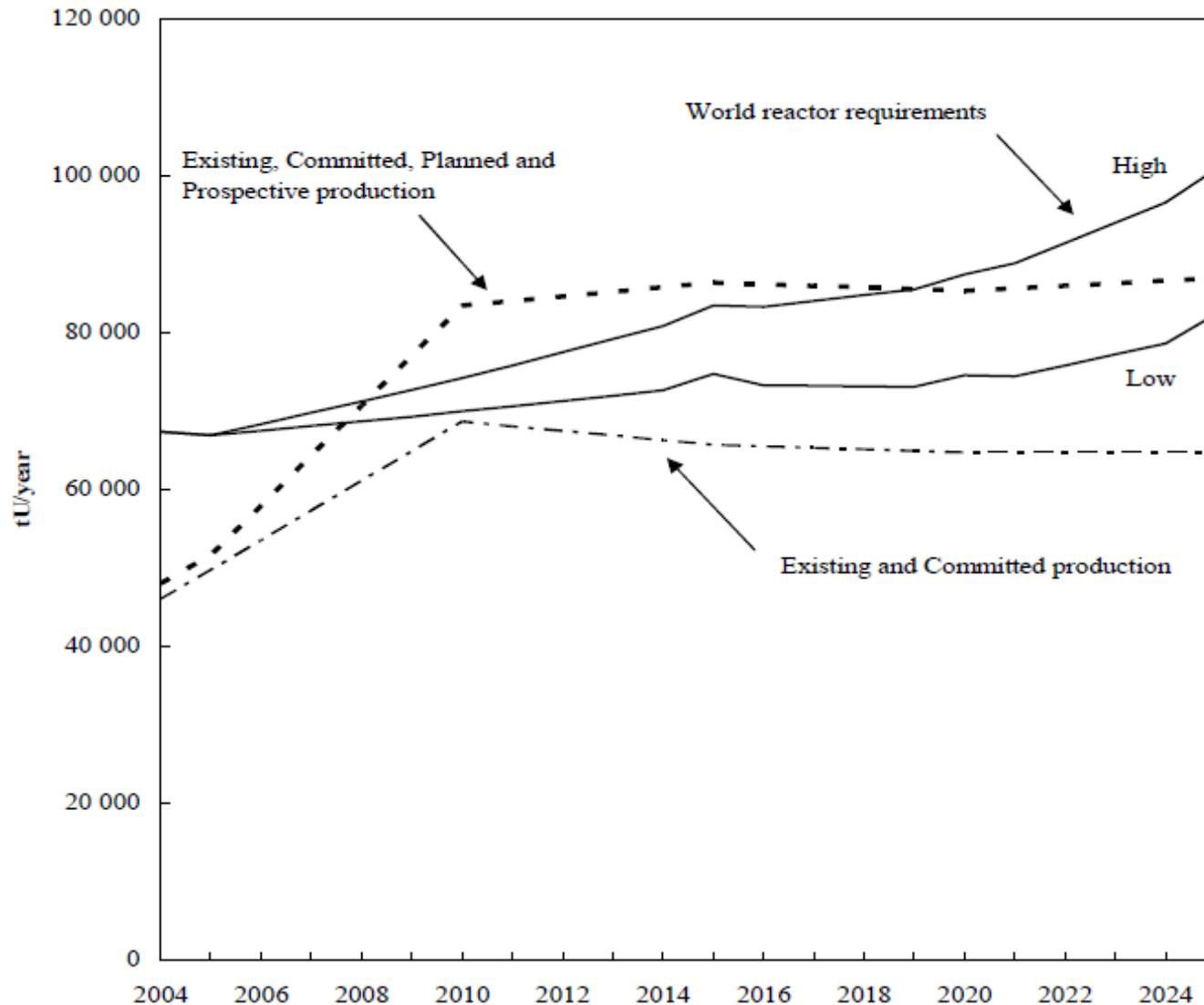


3-2 世界の主要ウラン生産センター(2/2)

	鉱山／鉱床名	現状・計画	生産容量 (tU/年)	拡張見込容量 2010年(tU/年)
南ア	Vaal Reefs 鉱山	金の副産物	1,272	1,272
ブラジル	Itataia 鉱床	開発計画中		680
	Lagoa Real	生産中	400	400
カザフスタン	カザフ単独	ISL生産中。2010年までに大幅拡張計画中。	2,600	15,000
	Akdala	UrAsiaとのJV。2006年から商業生産。2015年に最大3,840tU/y	700	
	Moinkum -sites 2,3	COGEMAとのJV。2006年に1,000tU/yの商業生産	700	
	Inkai-sites 1,2	CamecoとのJV。2007年から商業生産。2010年に2,000tU/y	700	
	West Mynkuduk	住友商事・関電とのJV。2010年頃までに1,000tU/yの商業生産		
ロシア	Krasnokamensk	坑内採掘。低品位で採掘コストが相当高いと推測。	3,500	3,500
	Various	ISL生産中	700	700
ウクライナ		坑内採掘。低品位で採掘コストが相当高いと推測。	1,000	1,000
ウズベキスタン		ISL生産中	2,300	2,300
中国	Xiangshan 相山他	坑内採掘が主。生産量は減少傾向と推測。	640	640
	Yili	ISL生産中	200	200
合計			49,552	73,157

原子力発電需要とウラン生産能力

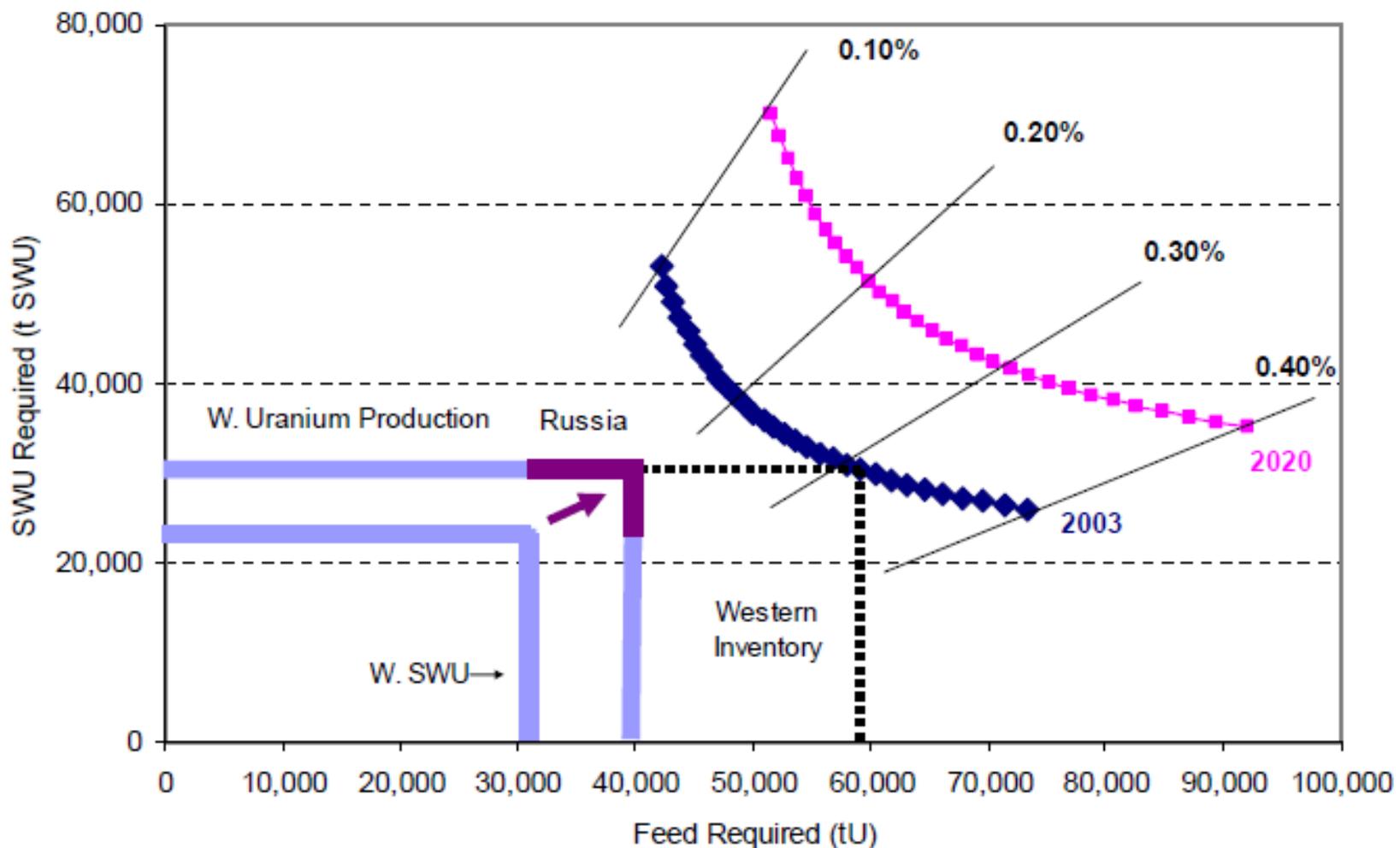
Figure 16. Annual World Uranium Production Capability through 2025
Compared with Projected World Reactor Requirements*



4.1 濃縮テール濃度と必要ウラン量の関係

SWU & Uranium Needed to Reach Requirements Curve

©Neff, MIT 2004





4.2 ウランスポット価格の推移

US\$/ポンドU3O8



スポット取引量

2005年: 11,300tU

2004年: 7,500tU

2003年: 8,500tU

2002年: 7,700tU

データ: Ux コンサルティング
2006.2.27現在

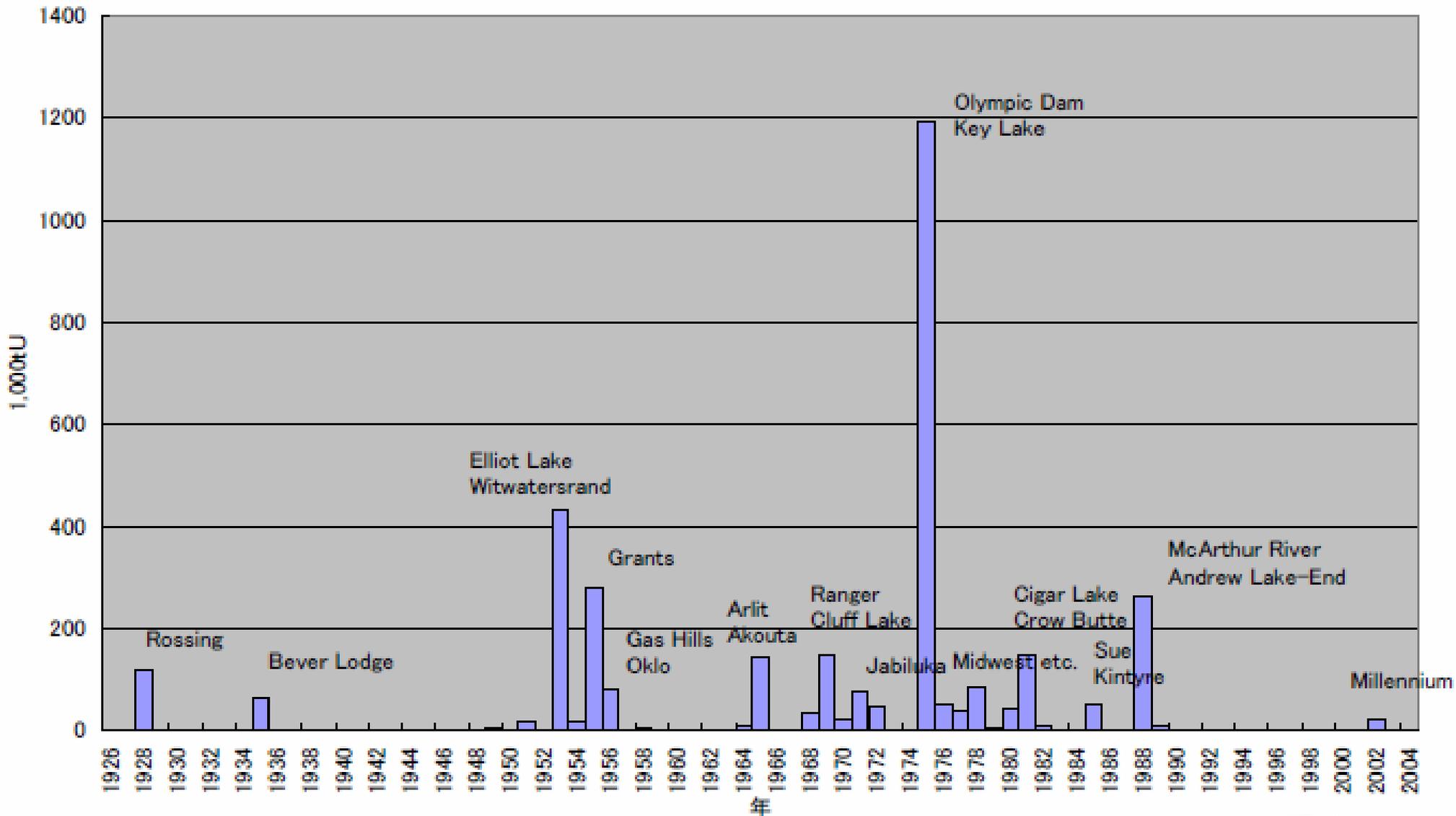
参考 Cameco の推定平均販売価格
(スポット価格に対する割合) \$は米ドル

Spot Price	2006		2007		2008	
\$25	\$18.25	(73%)	\$19.75	(79%)	\$23.50	(94%)
\$35	\$19.25	(55%)	\$22.75	(65%)	\$28.25	(81%)
\$45	\$20.50	(46%)	\$25.75	(57%)	\$32.75	(73%)

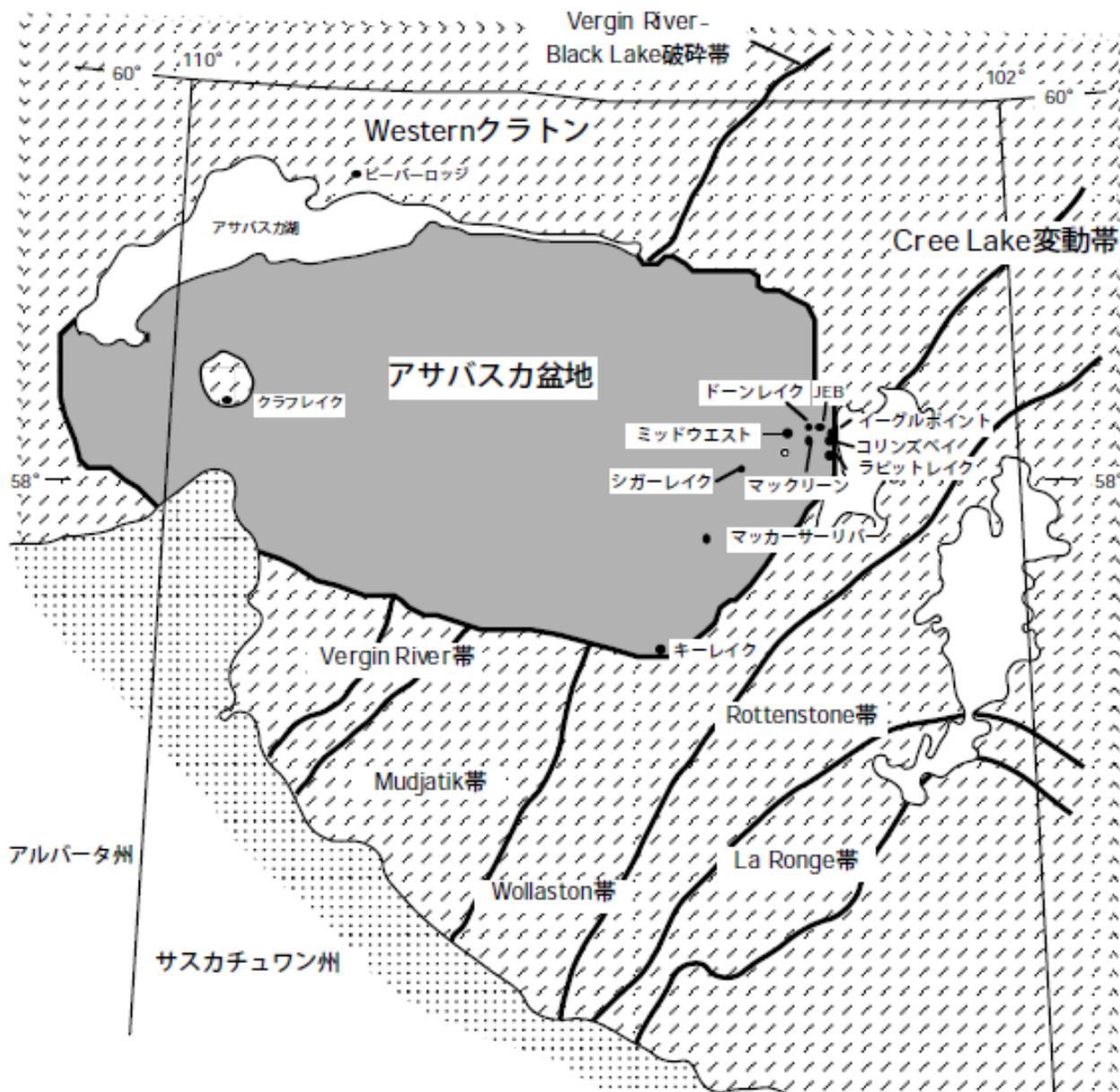
データ: Cameco ニュースリリース
2006.1.31



5-1 ウラン鉱床発見埋蔵量と発見年(西側世界のみ)



6-1 カナダ アサバスカ地域の位置



-  Athabasca層群
-  基盤岩類
-  主要なウラン鉱山・鉱床等
-  ポイントノース

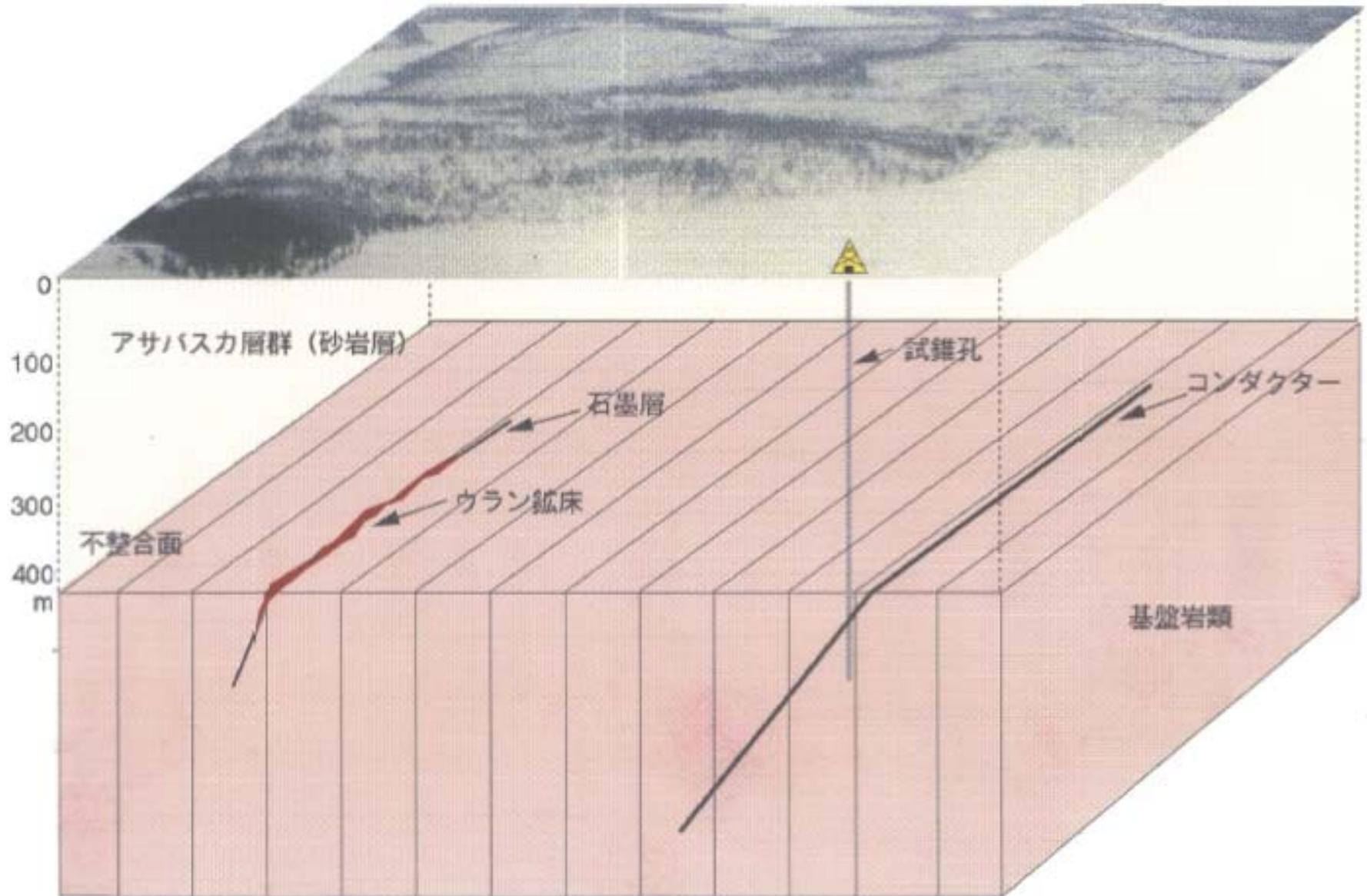
0 50 100 km



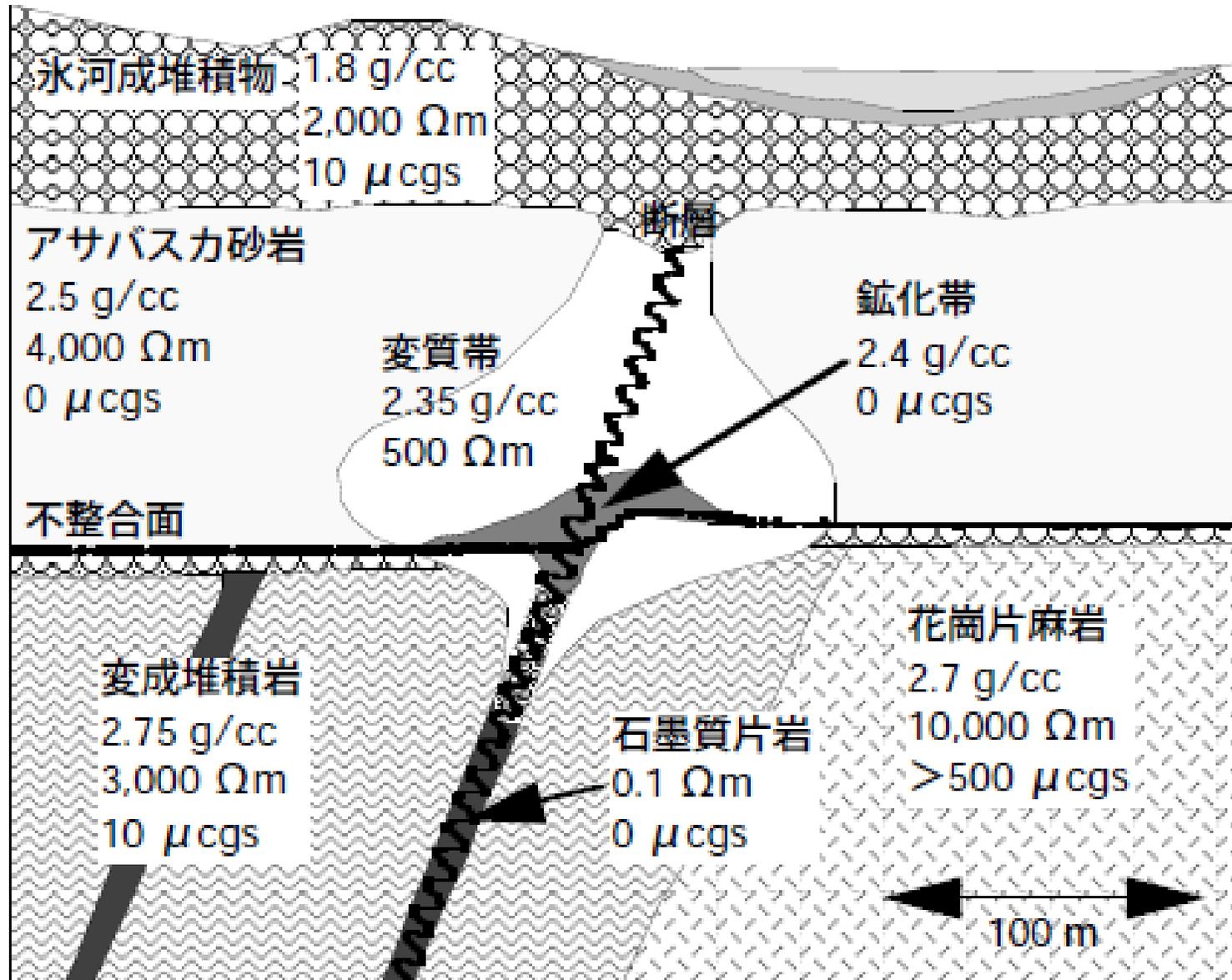
6-2 カナダ アサバスカ地域のウラン探査



6-3 アサバスカ地域のウラン探査イメージ

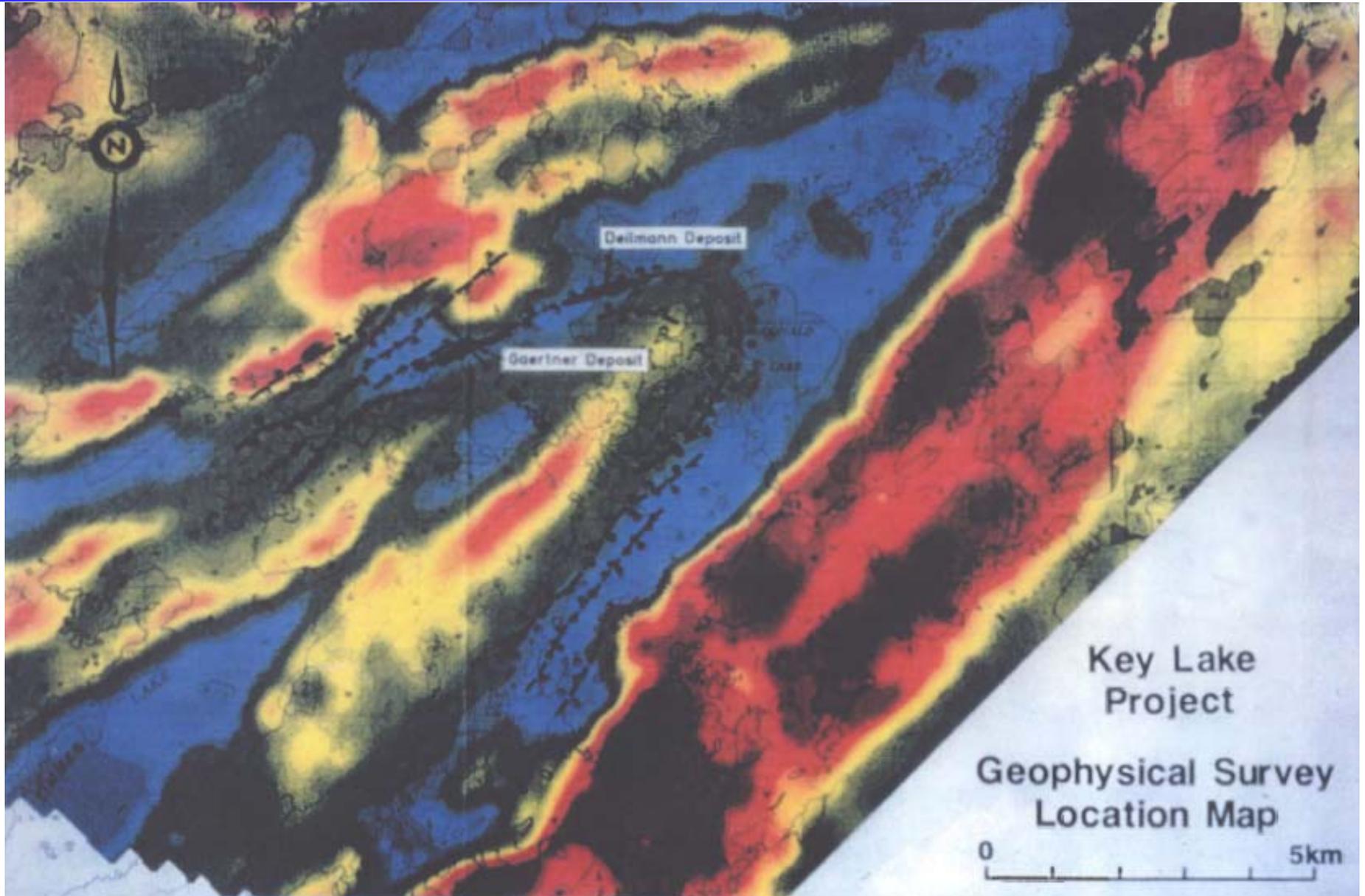


6-4 不整合関連型ウラン鉱床の鉱床モデル





6-5 キーレイク鉱床付近の空中磁気マップ



6-6 空中磁気探査と地上電磁気探査結果

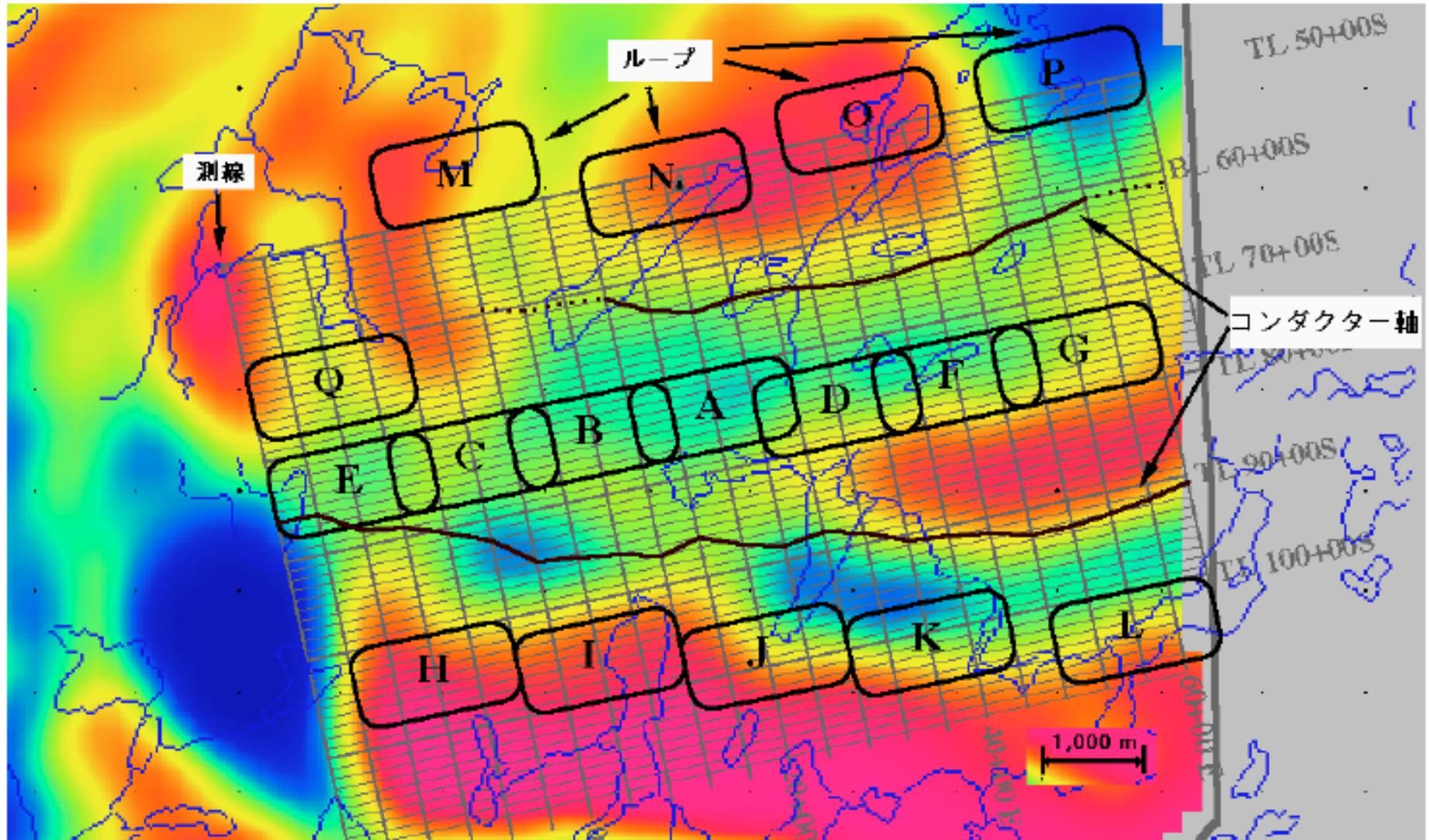
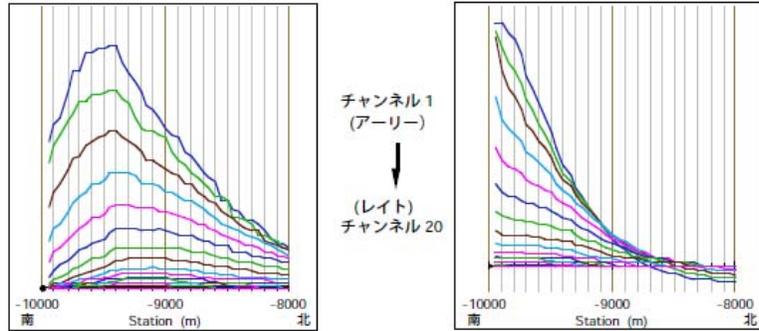


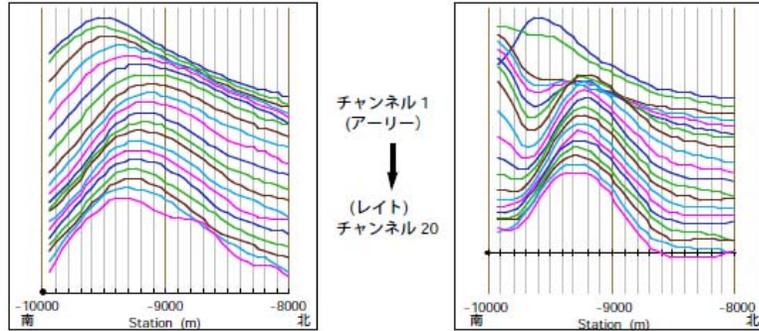
図3.1.13 空中磁気探査及び地上時間領域電磁探査結果

未処理プロフィール



チャンネル1
(アーリー)
↓
(レイト)
チャンネル20

処理済プロフィール



チャンネル1
(アーリー)
↓
(レイト)
チャンネル20

水平 (X) 成分

垂直 (Z) 成分

図3.1.15 時間領域電磁探査プロフィール (永島ほか,1998)

未処理プロフィールの縦軸は磁束密度の時間微分 (dB/dt) で、アーリーチャンネルからレイトチャンネルに向かって急激に信号が小さくなる。処理済のプロファイル (規格化プロフィール) では、バンドフィルター及び微分フィルター (垂直成分のみ) を適用した後、各チャンネルのプロファイルをそのチャンネルの最大値で規格化し、さらにアーリーチャンネルになるほど大きなバイアスを加えて全チャンネルのプロファイルを同時に規格化できるようにしてある。規格化プロフィールの縦軸は、規格化値+チャンネル別バイアス値である。

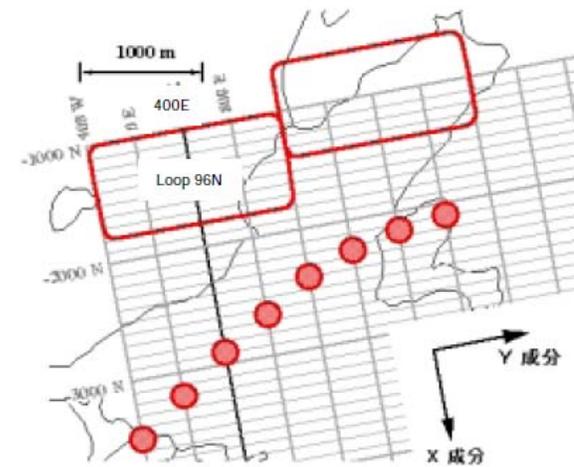


図3.1.17 時間領域電磁探査の3成分測定例 (永島ほか,1998)

●印は各測線上のプロファイルから推定されたコンダクター軸の位置を示す。図右下の矢印の向きをX成分、Y成分の正の向きと定義している。

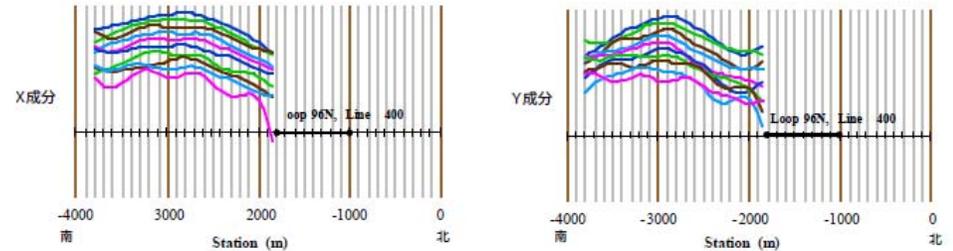
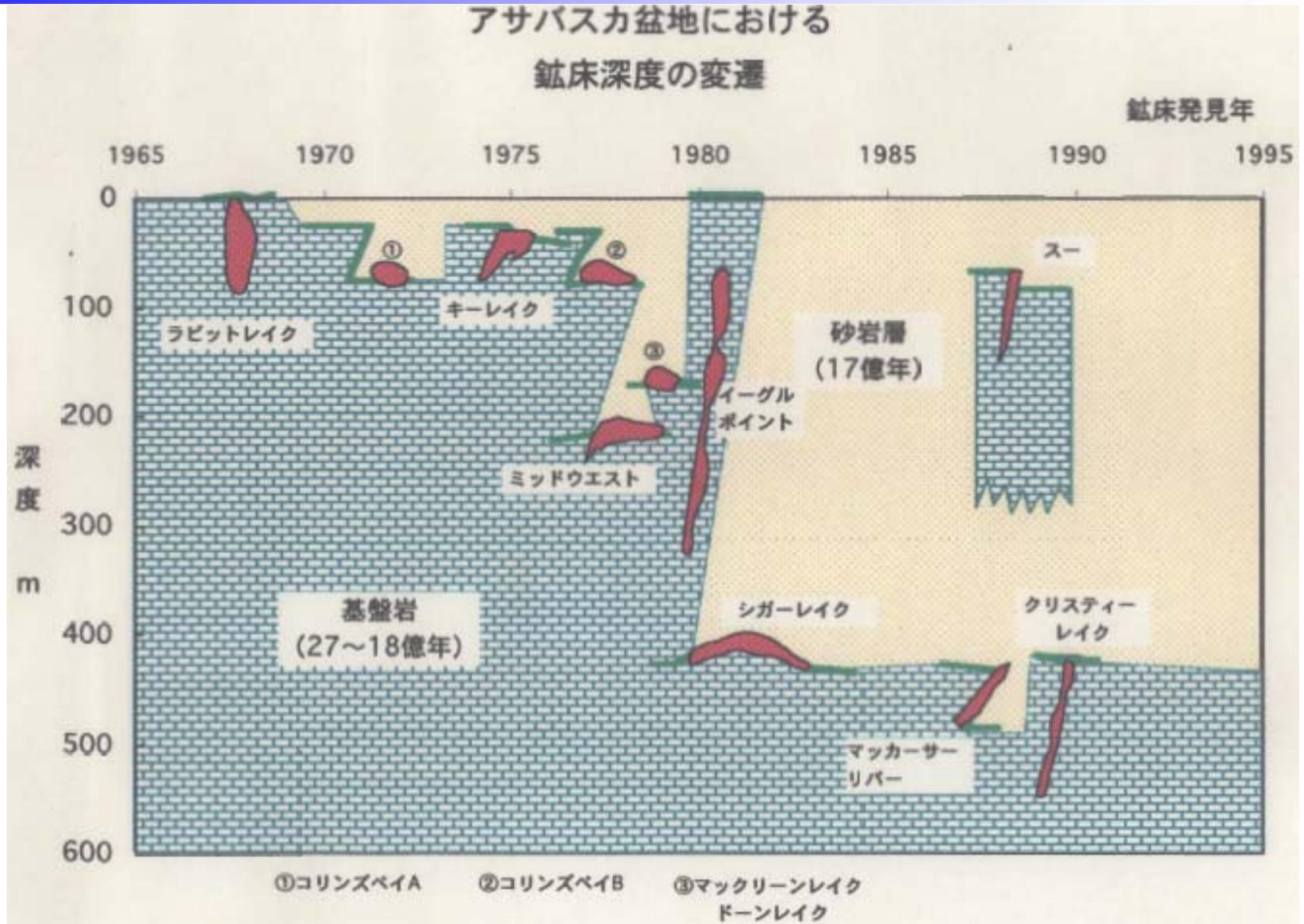


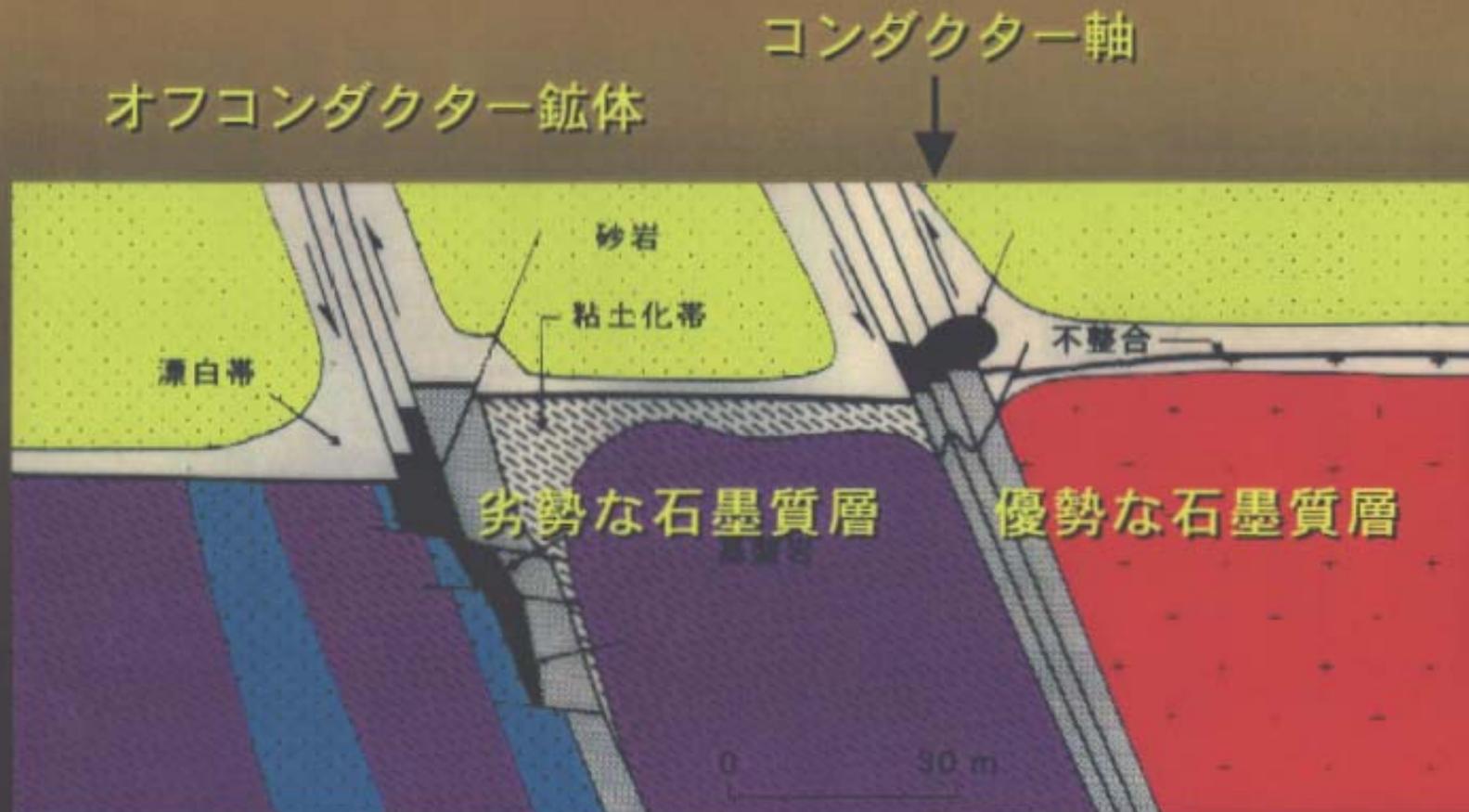
図3.1.18 時間領域電磁探査の水平2成分プロフィール (永島ほか,1998)

Loop96Nを通る測線 (400E) の水平2成分の規格化プロフィールを示した。X成分、Y成分のアノマリーの符号から、コンダクター軸は測線に直交する方向から反時計回りに振れていることが分かる。

6-8 探査対象の深部化



オフコンダクター鉱体概念図



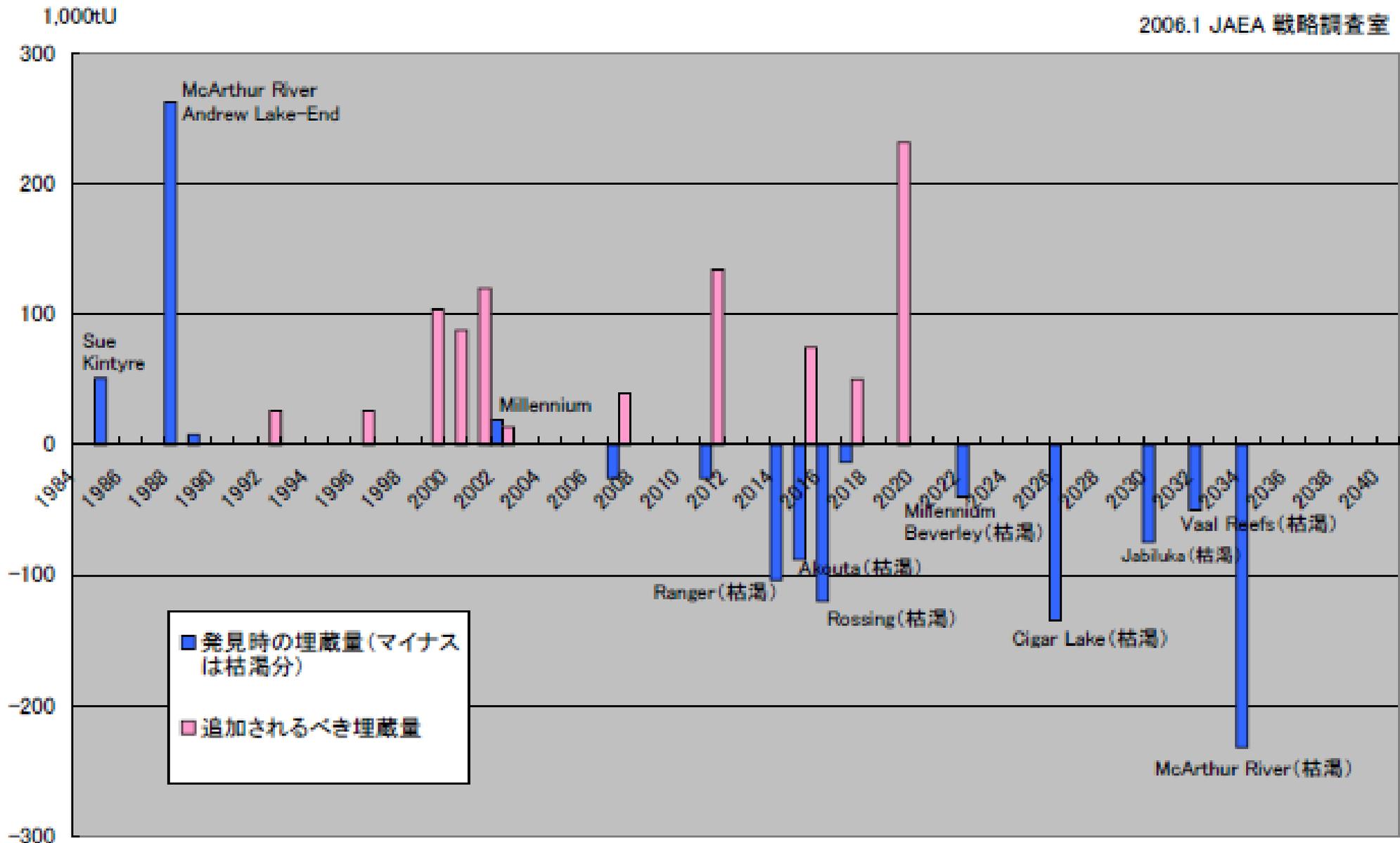


7-1 主要鉱床の探鉱～生産リードタイム

国名	鉱床／鉱山名	探鉱開始年	発見年	生産開始年	リードタイム：年 ()内は発見時から
オーストラリア	Beverley (ISL)	1968	1970	2000	32 (30)
オーストラリア	Honeymoon (ISL)	1968	1972	未定	>38 (>34)
オーストラリア	Jabiluka (UG)	1968	1971	未定	>38 (>35)
オーストラリア	Olympic Dam (UG)	1970' s初期	1976	1988	18 (12)
オーストラリア	Ranger (OP)	1968	1969	1981	13 (12)
ブラジル	Lagoa Real	1974	1976	2000	26 (24)
カナダ	Cigar Lake	1969	1981	2007 (予定)	38 (26)
カナダ	Key Lake	1968	1975	1983	15 (8)
カナダ	McArthur River	1981	1988	1999	18 (11)
カナダ	McClellan Lake	1974	1979	1999	25 (20)
カナダ	Inkay (ISL)	1976	1979	2001	25 (22)
カナダ	Kanzhugan (ISL)	1972	1974	1982	10 (8)
カナダ	Mynkuduk (ISL)	1973	1975	1987	14 (12)
カナダ	Uvanas	1963	1969	1977	14 (8)
ニジェール	Akouta	1956	1972	1978	22 (6)
ニジェール	Arlit	1956	1965	1970	14 (5)
平均					22.5 (17)

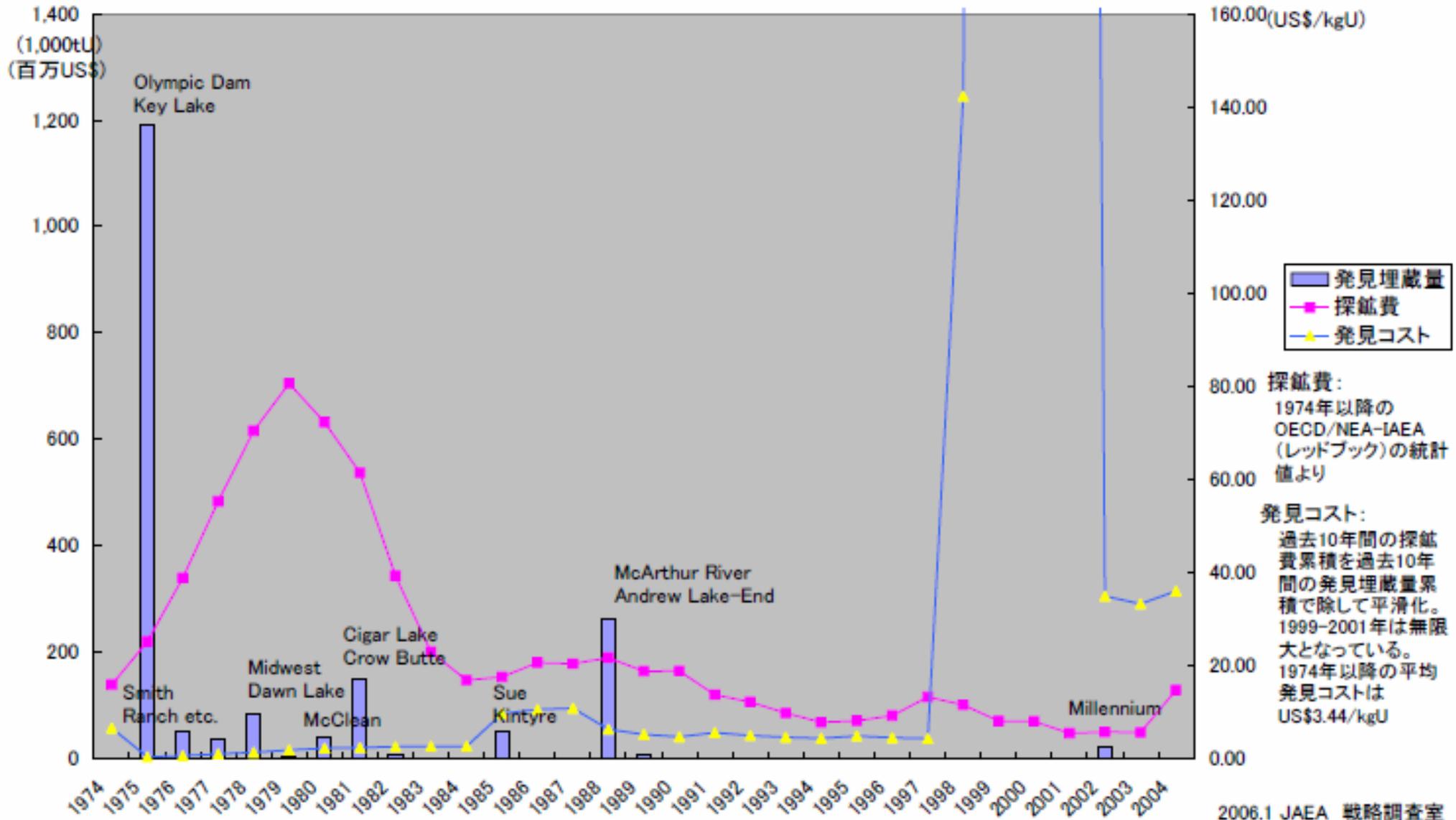
7-2 西側ウラン鉱山の枯渇時期と追加発見されるべき埋蔵量

2006.1 JAEA 戦略調査室





7-3 西側世界のウラン資源発見効率



7-4 ウラン資源発見コスト

今回検討した西側世界の発見コスト(1974～2004)

	探鉱費* (百万US \$)	発見埋蔵量(万t U)	発見コスト(US \$/kg U)
過去31年間(1974-2004)	6,741	196.1	3.44
過去20年間(1985-2004)	2,204	34.3	6.43
過去10年間(1995-2004)	789	2.2	36.04

* :探鉱費のデータはOECD/NEA-IAEA レッドブック

オーストラリアとカナダの発見コスト(～1998)

	1998年までの探鉱費総額 (百万 US \$)	既知資源総計 (万t U)	発見コスト (US \$/kg U)
オーストラリア	492	98.8* ¹	0.50
カナダ	1,185	75.5* ²	1.57

* 1 : オーストラリアの累計生産量 (77 600 t U) + 既知資源 (910 000 t U) , Red Book to 1998.

* 2 : カナダの累計生産量 (321 600 t U) + 既知資源 (433 000 t U) , Red Book to 1998.

	1989-1998年までの探鉱費 (百万 US \$)	1989-1998の追加 既知資源(万 t U)	発見コスト (US \$/kg U)
オーストラリア	109	1.58	6.89
カナダ	369	9.54	3.87

<比較的近未来:2006-2025>

- ウラン資源は、現状規模の発電需要では、1世紀近く賄える量が確認されているが、現在の生産能力は3万tU/年近く不足している。
- ウラン鉱山の開発計画は活発であり、20年程度先を見た場合、低コストウランの供給能力に大きな問題はないと予想される。
- 濃縮容量の拡大によってもウラン資源は年間1万tU近く節約可能。

<長期的未来:2025~>

- ウラン鉱床の発見はますます困難になりつつあり、より長期的には低コストウランの補充がタイムリーに行われないう可能性もある。
- 比較的高コスト(>US\$80/kgU)のウラン鉱床は容易に発見されるが、環境負荷などの問題から、さらなる高コスト化が予想される。
- ウランが不足することはないが、価格がUS\$130/kgU以上に上昇する可能性が高い。