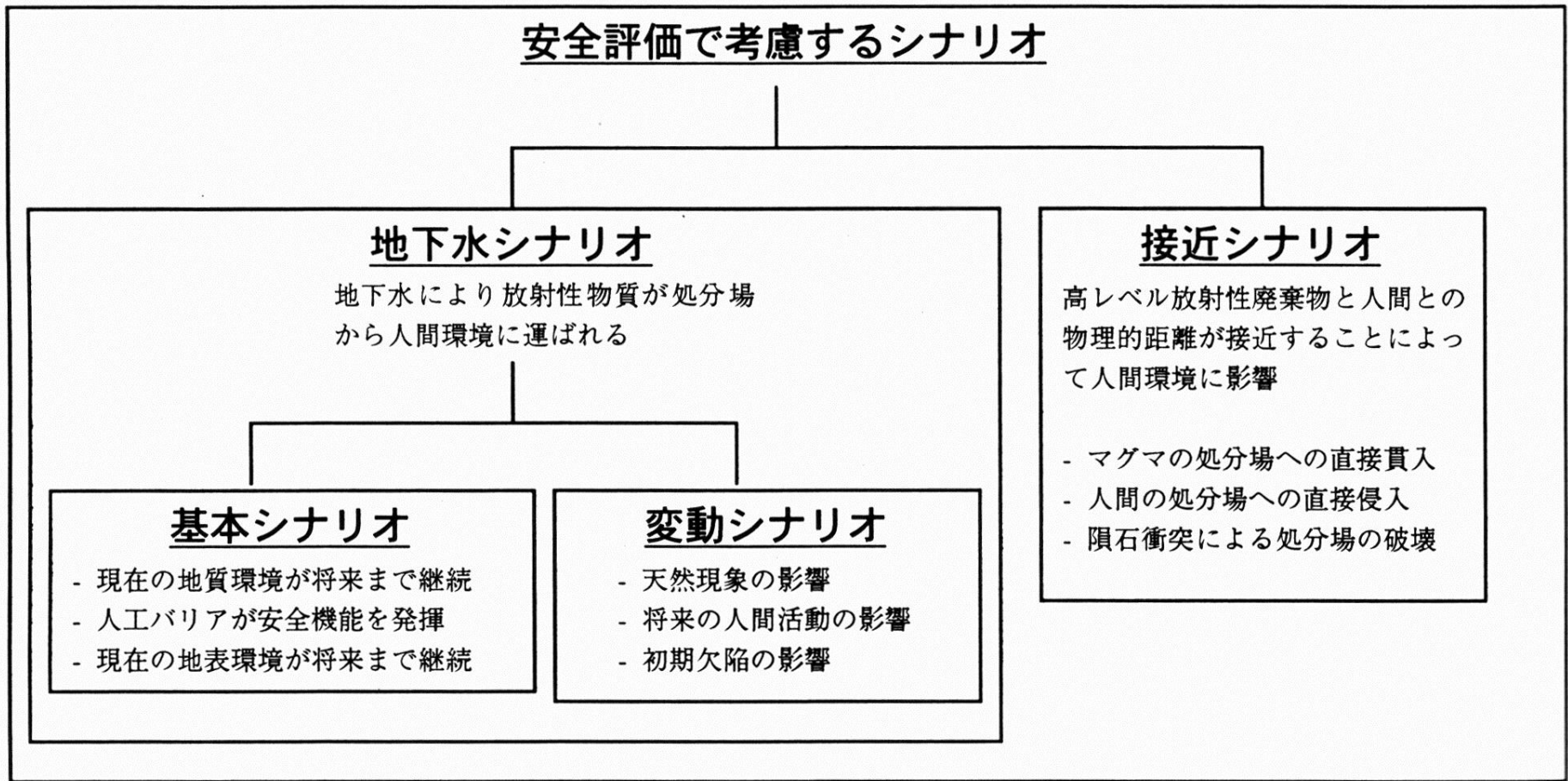


高レベル放射性廃棄物地層処分に おける地下水挙動に関する考え方

東京大学大学院
新領域創成科学研究科
徳永 朋祥

地層処分における地下水挙動理解の重要性(地下水シナリオ)

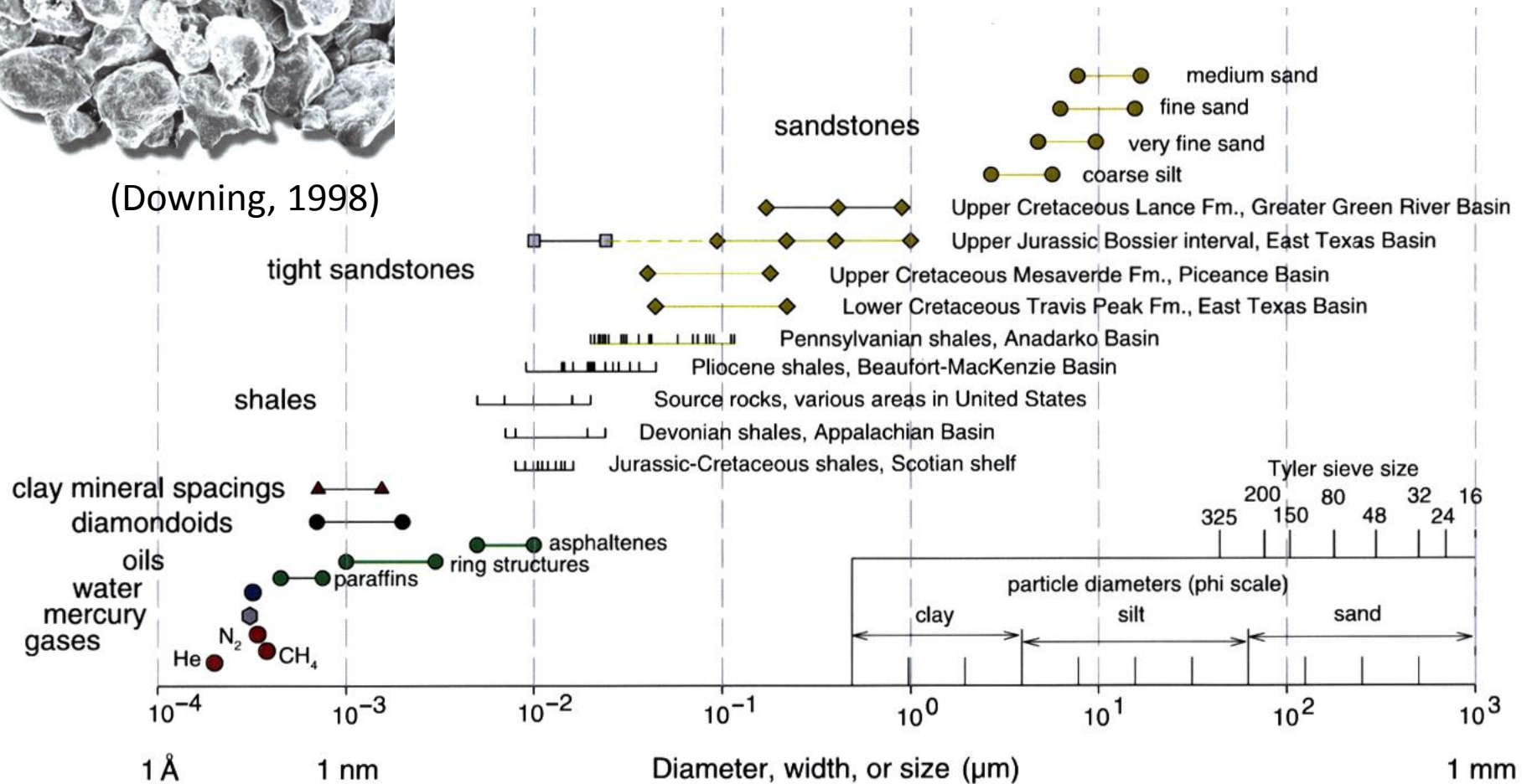


地下水の移動(1)



(Downing, 1998)

地下水は地層を構成する固体の隙間(間隙)や岩盤中の亀裂を移動するものである



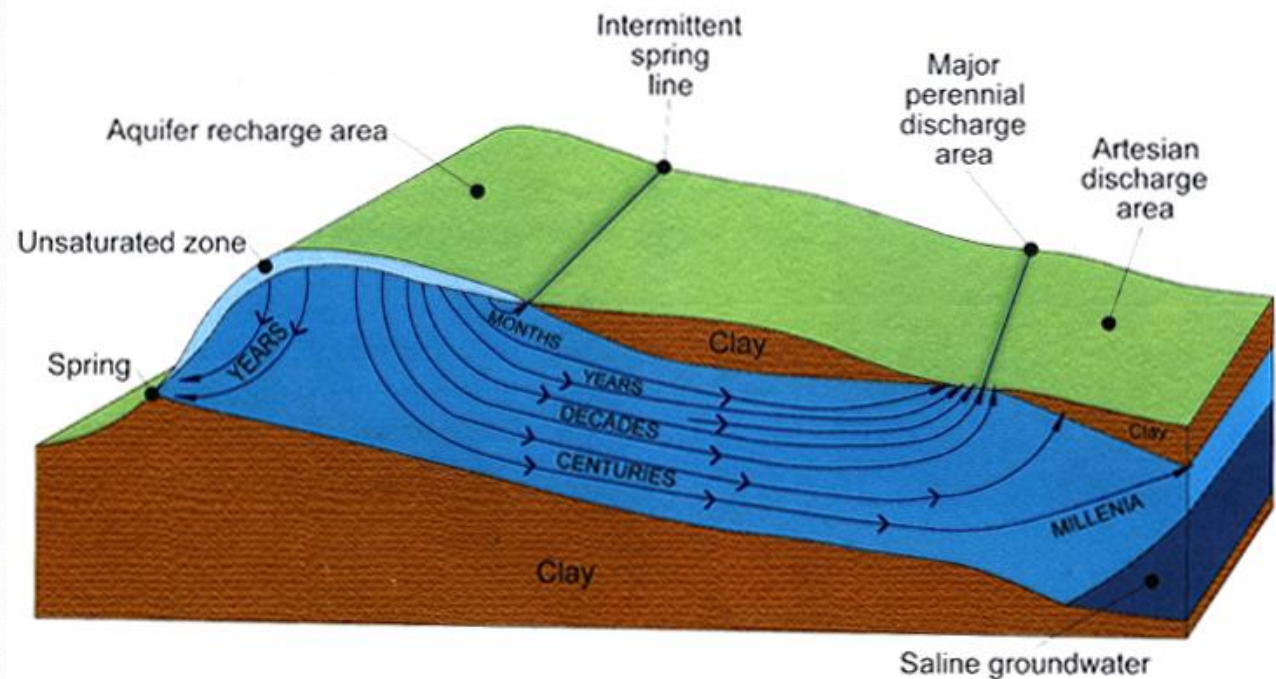
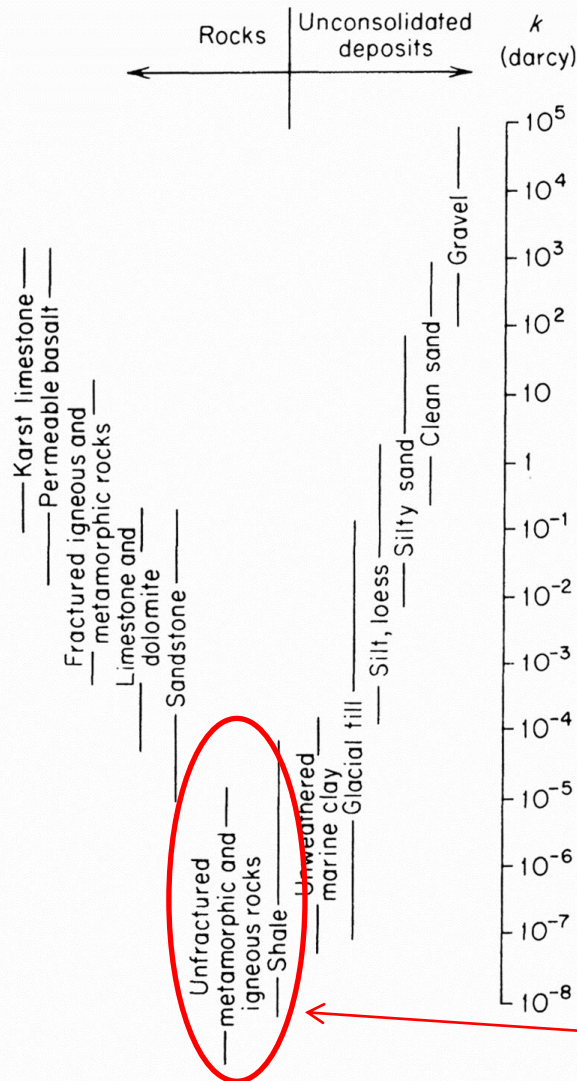
Nelson (2009)

地下水の移動(2)

- 地下水の流量 $\propto$ 流しやすさ $\times$ 水の移動を引き起こす力
(透水係数) (重力と圧力差)

水の移動を引き起こす力の小さな場

- 地下深部に行くほど一般に流れは遅くなる
- 周期の短い変動は地下深部に向かうと減衰する



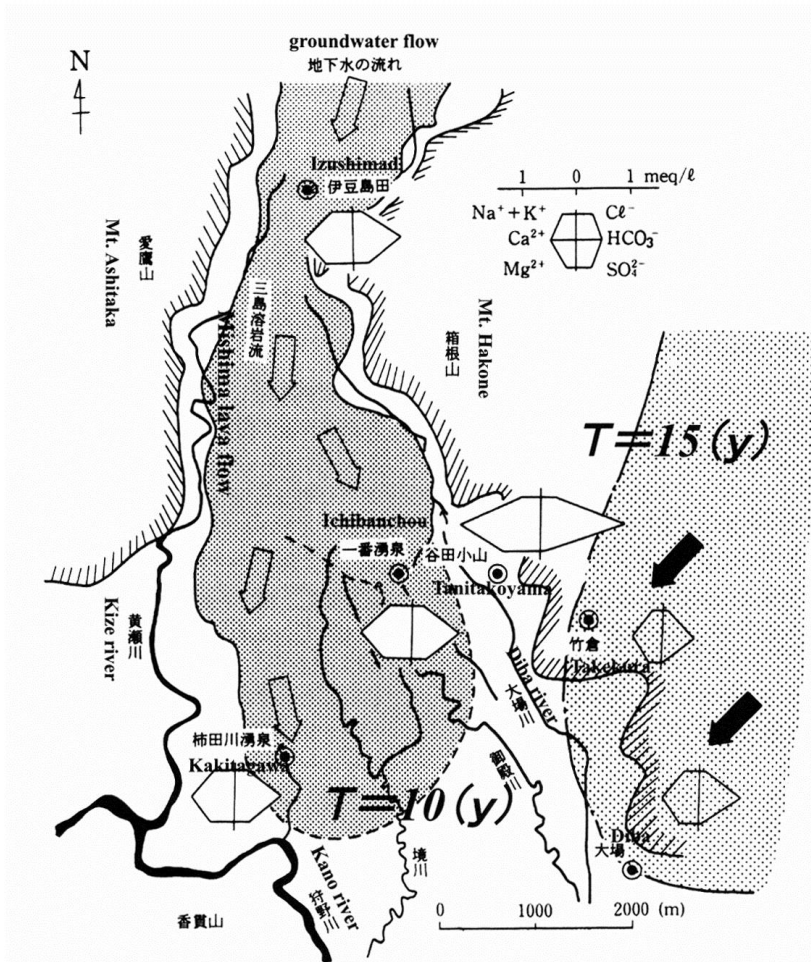
水を流しにくい岩石

- 亀裂が少なく未風化の結晶質岩
- 泥質岩

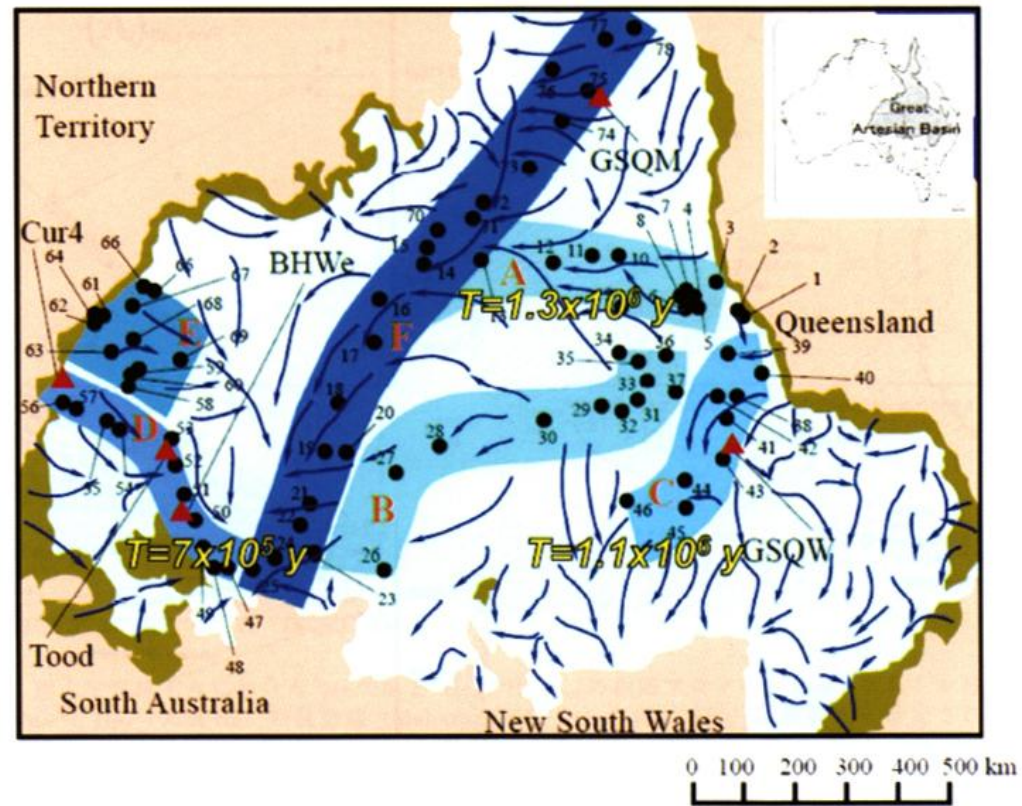
(Downing, 1998)

地下水流れの速さ(いくつかの事例)

三島溶岩流



オーストラリア・大鑽井盆地

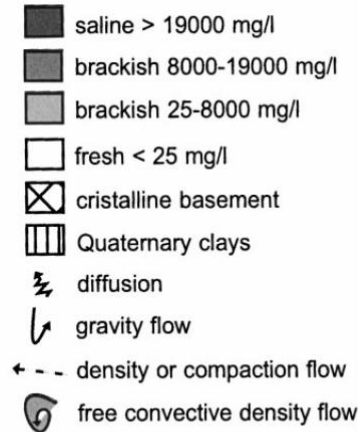
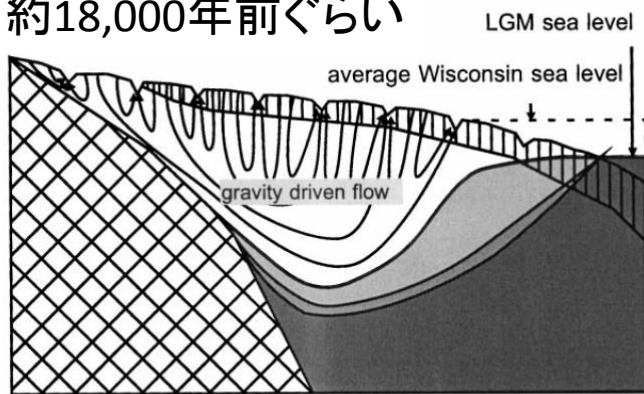


地下水流れに影響を与える重要な事象(1)

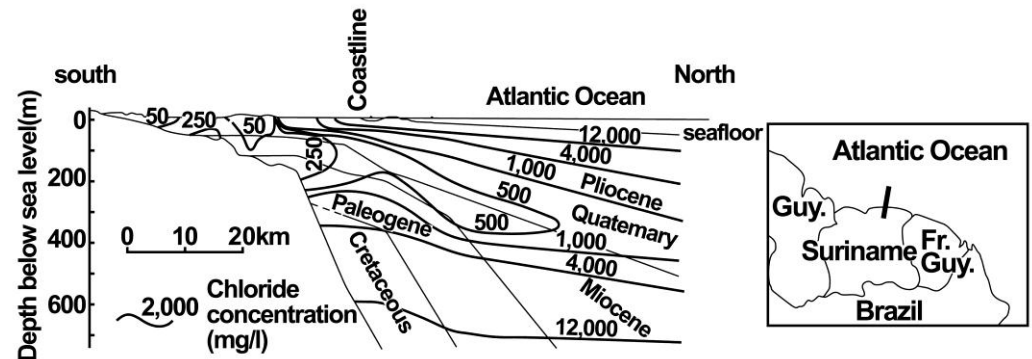
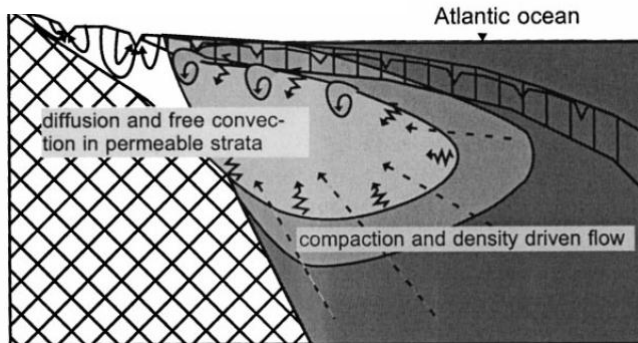
- 地表環境変動(特に約10万年程度の周期で発生する寒冷化・温暖化サイクル)
 - 海面位置の変化や降水量/地表面状態の変化を引き起こす
この変化を将来に向かって定量的に予測することは困難である
 - 地表面環境の変化に伴う地層の堆積、浸食が起こる
どの場所で具体的にどのように浸食し、堆積が起こるかを述べることは困難である
- 過去に起こってきた環境変動を明らかにし、そのような状況で起こりうることの幅を示し、影響の議論をする
- 現在の場の状態に基づいて、どのような現象が発生してきたのかを知り、将来に起こりうる状況を議論する

地表環境変動の影響が地下水の挙動に影響を与えている事例(1)

約18,000年前ぐらい



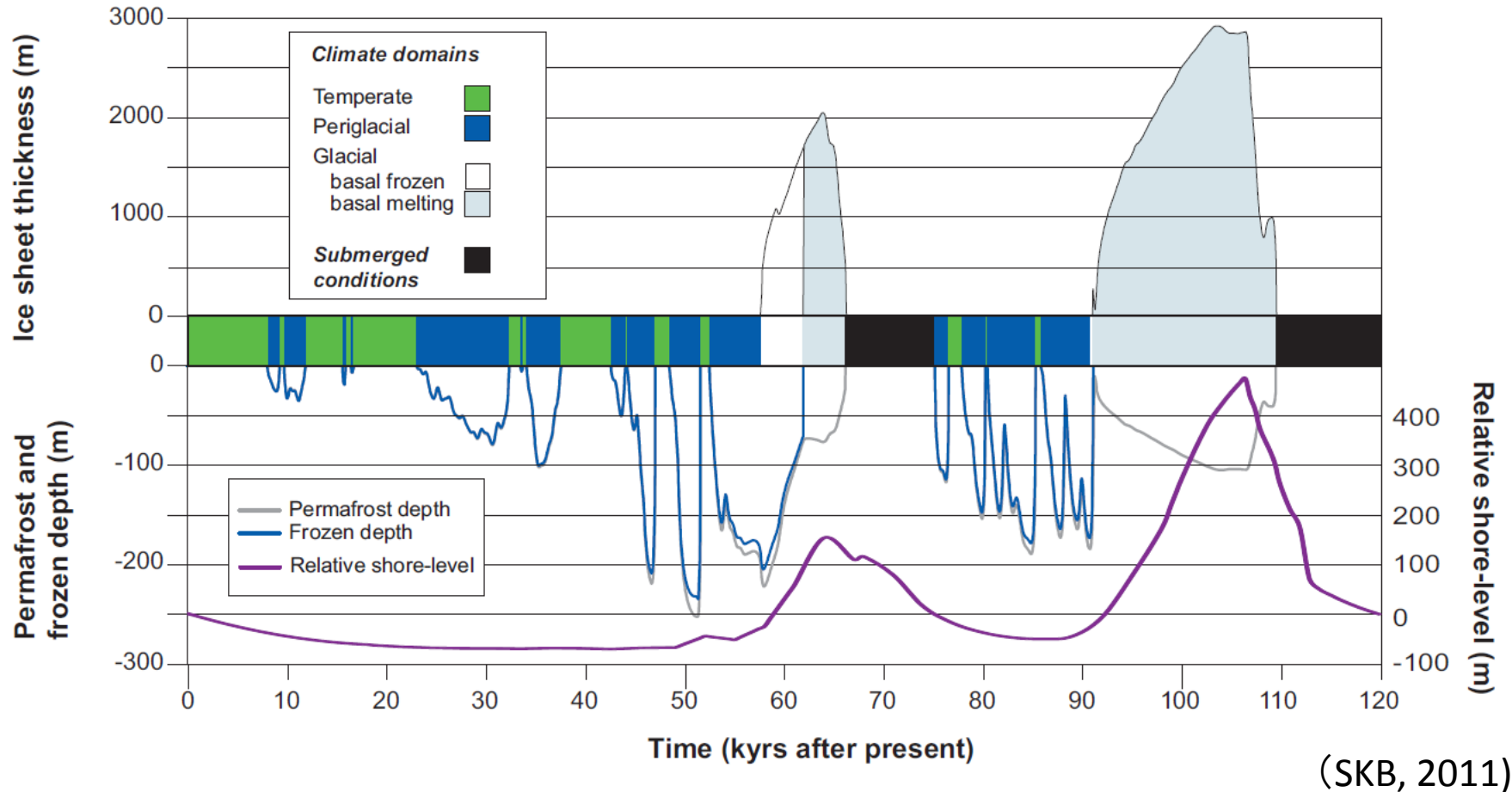
現在の状況



(Groen et al., 2000)

沿岸海底下に塩濃度の低い地下水が存在している場合がある。このような状態が、10万年程度周期の海水準変動の影響により形成され、現在までその影響が残っていることが示されている(国内にもいくつかの事例がある)

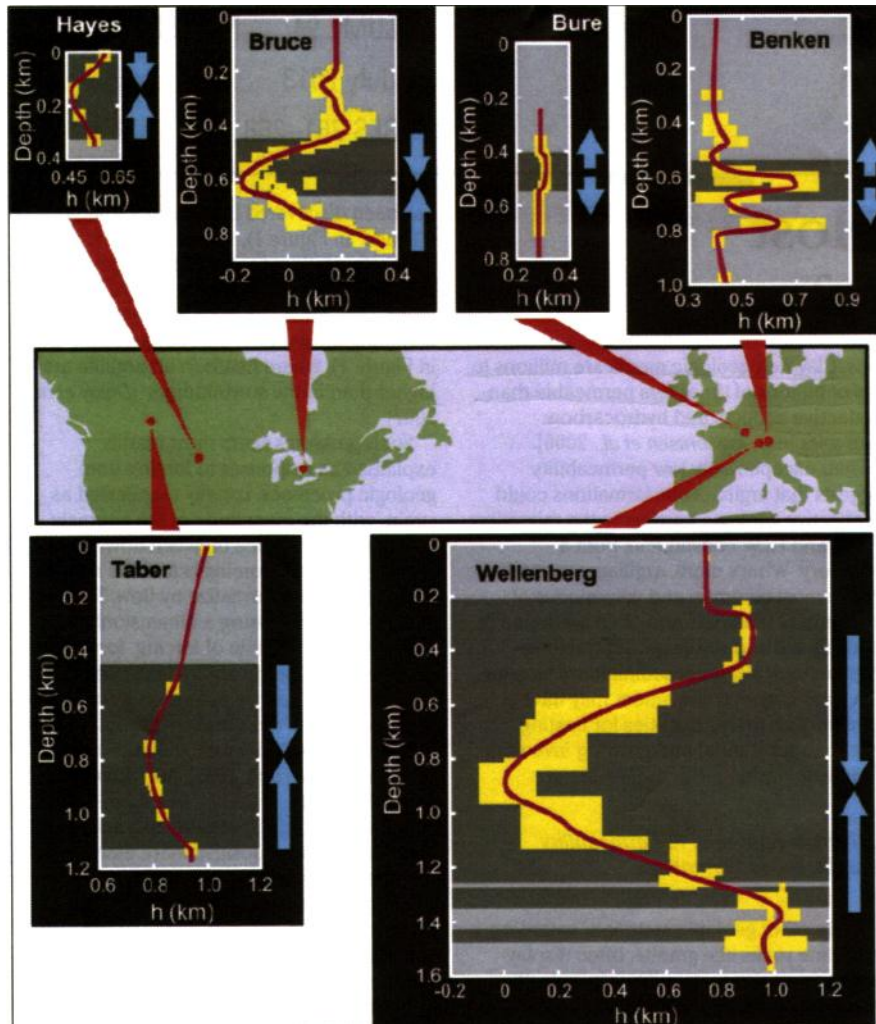
スウェーデンでの検討の事例



過去12万年間に起こってきた変動と同じことが今後起こるという想定で考えた場合にどのような結果になるかを検討事例として示す(基本シナリオ)

それ以外に、5つの環境変動シナリオを設定した評価を実施している

地表環境変動の影響が地下水の挙動に影響を与えている事例(2)



厚い氷床が氷期に存在していた影響による圧力の異常が残っている(例えば、Wellenbergの事例)

特に、水を通しにくい地層(左図の場合は泥質岩)において、過去の地質現象の影響が残されており、それ自体が、適切な地下環境では、地下水の移動が極めて遅い(発生した圧力が消散しない)ことを示している

…泥質岩では、条件によっては、亀裂の発生の影響も少ないのかもしれない

地下水流れに影響を与える重要な事象(2)

• 地震

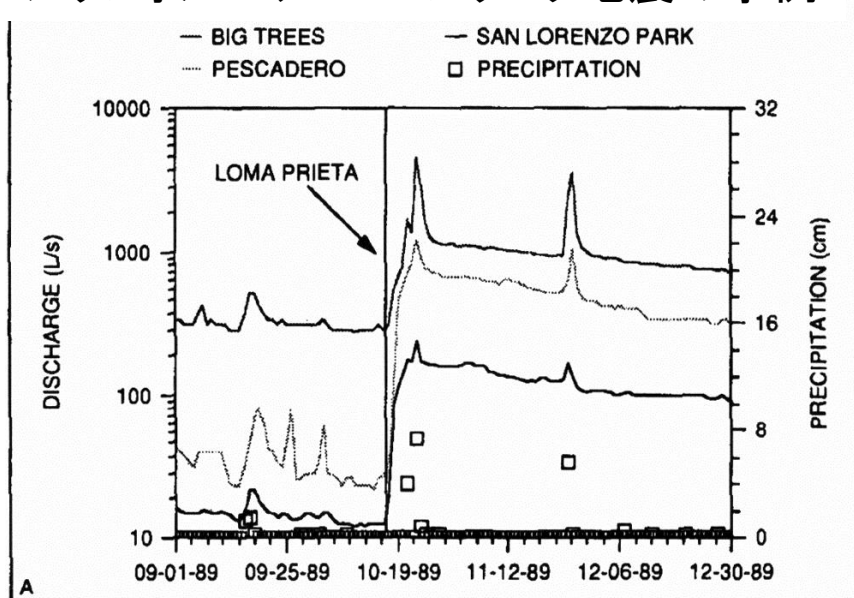
— 流れやすさを変化させる(亀裂の性状の変化等)

この変化の大きさと時間的変化を予測することはそれほど簡単ではない

— 駆動力の大きさを変化させる(地震時の歪再配分等)

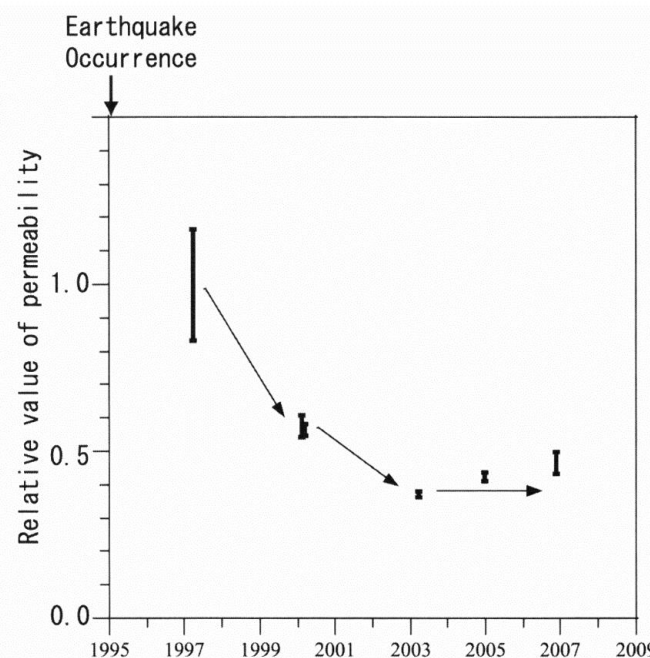
地震の規模や発生場所と岩盤の性質からそれなりに良く推定ができる。また、駆動力の変化は地下水が流れることにより時間とともに解消されていく

カリフォルニア・ロマプリエタ地震の事例



Rojstaczer and Wolf (1992)

野島断層における断層の透水性回復の事例

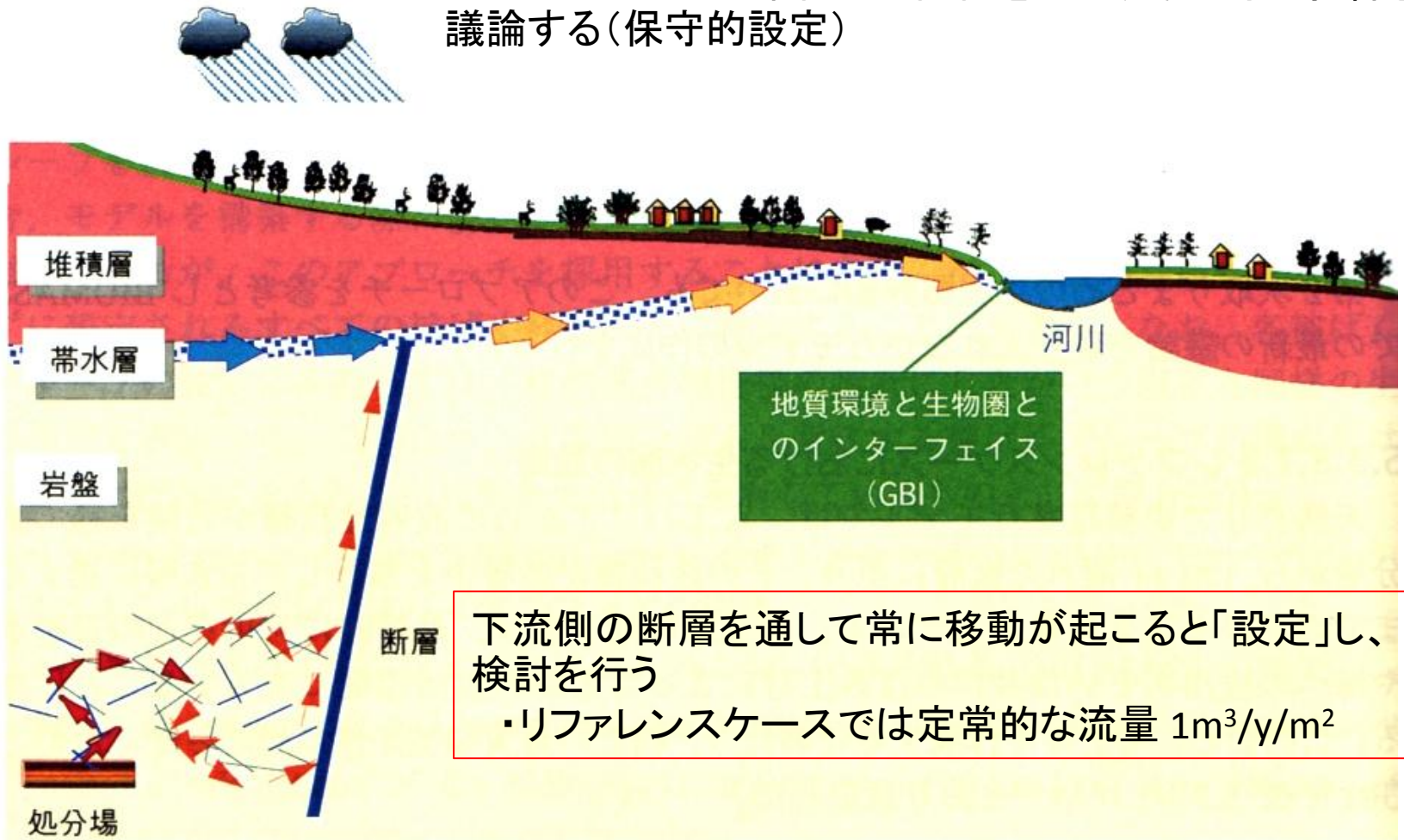


その結果、地下水の流動が地震活動による影響を受けることになる

小泉(2013)

評価方法の一例

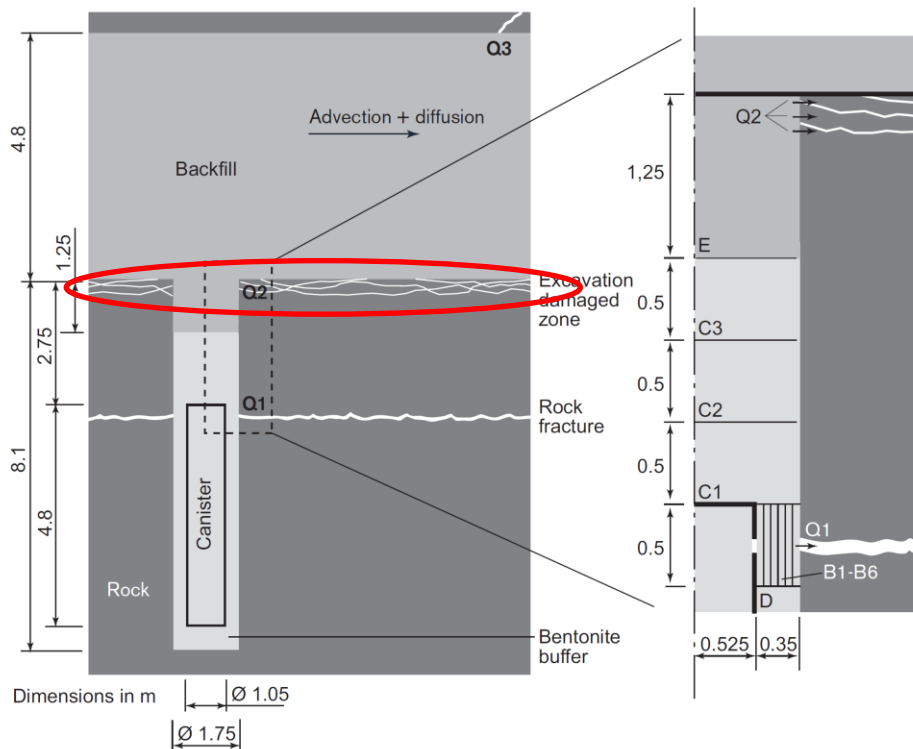
- ・事象をその通りに追跡する方法とは別に、考えられる中でも極めて不利な条件での評価を行い、その時の影響を議論する(保守的設定)



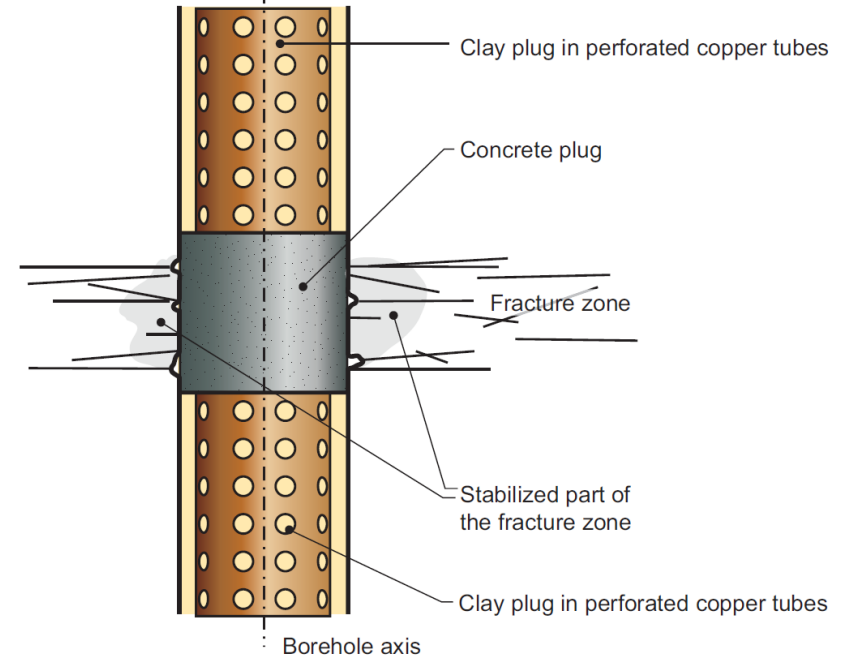
地下水流れに影響を与える事象(3)

- 処分場建設に関わる人間活動
 - 坑道掘削による坑道周りの掘削影響領域の形成
 - 坑道掘削による地下水の湧出や空気の地下環境への浸入
 - 地表並びに地下からの調査のためのボーリング孔掘削による地下水流れ場の擾乱

坑道掘削に伴う掘削影響領域のイメージ



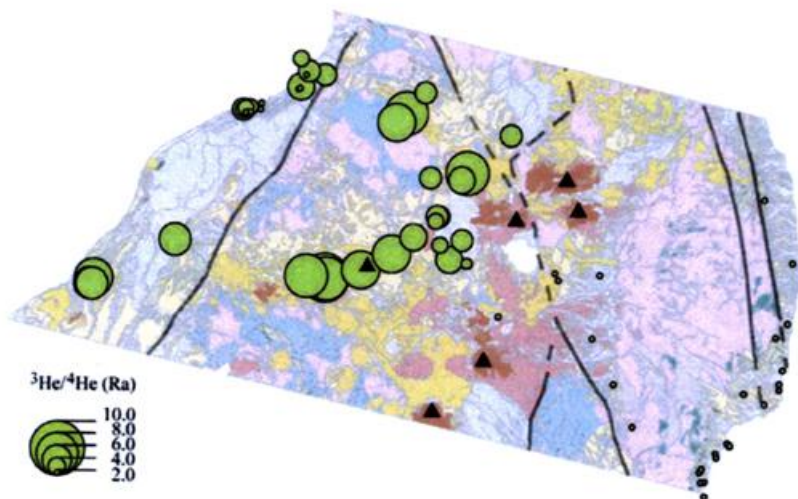
調査用ボーリングの埋戻し技術



地下水の滞留時間推定ツールの開発

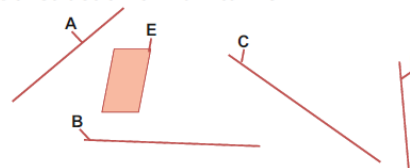
Element	Half-life (y)	Time range (y)
^{222}Rn	0.01	~ 0.03
^{85}Kr	10.72	$1 \sim 50$
^3H	12.43	$1 \sim 60$
$^3\text{H} + ^3\text{He}$		$1 \sim 100$
^{39}Ar	269	$20 \sim 1200$
^{14}C	5730	$400 \sim 25,000$
^{81}Kr	2.1×10^5	$10^4 \sim 10^6$
^{36}Cl	3.0×10^5	$2 \times 10^4 \sim 10^6$
^{129}I	1.6×10^7	$10^6 \sim 7 \times 10^7$
^4He		$1,000 \sim 10^7$

地下深部からの流体移行の空間特性評価



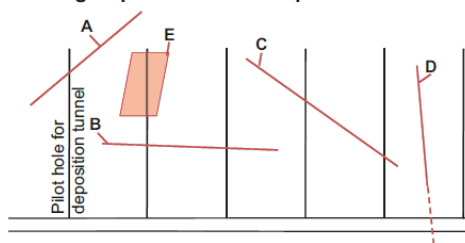
(産業技術総合研究所, 2012)

坑道掘削の進捗に伴う情報量の増加

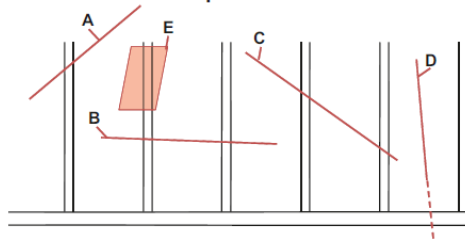


決定論的理解へ近づいていくステップ

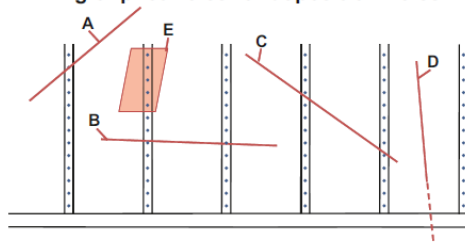
Drilling of pilot holes for deposition tunnels (イメージ)



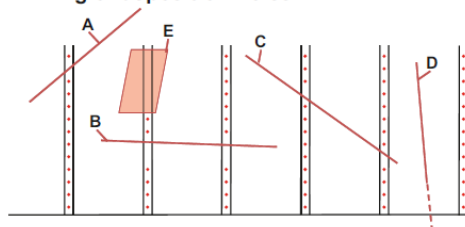
Construction of deposition tunnels



Drilling of pilot holes for deposition holes

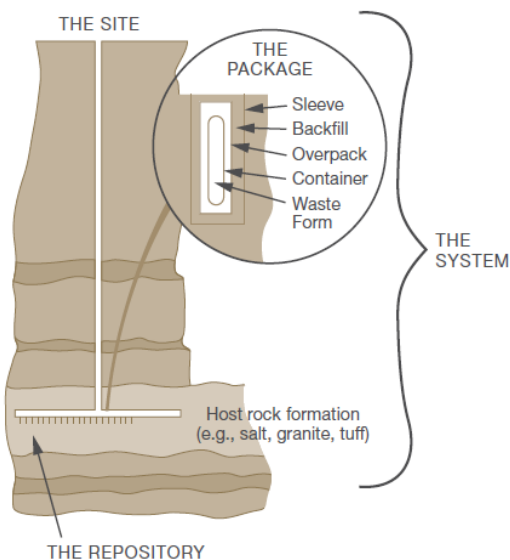


Drilling of deposition holes

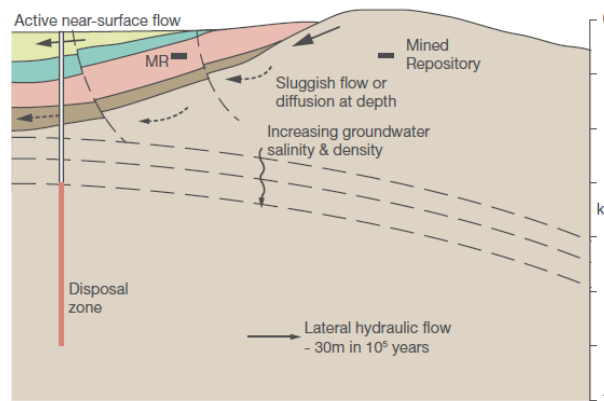


(SKB, 2010)

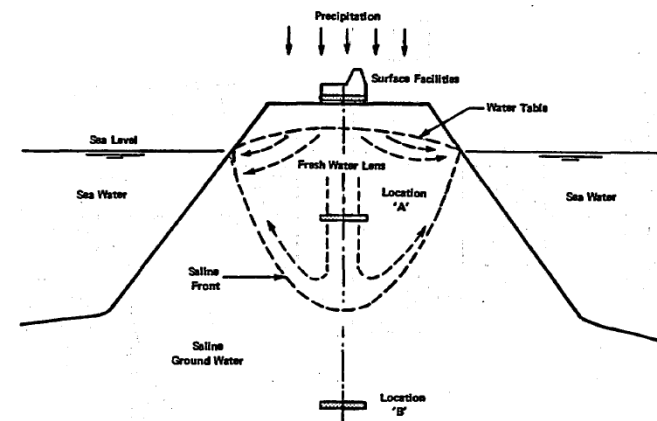
これまでに検討されてきた放射性廃棄物処分等の概念



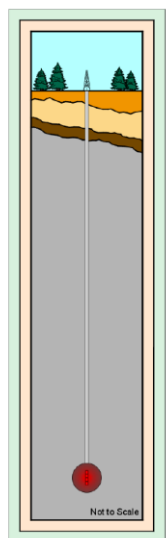
地層処分(坑道型)の概念⁽¹⁾



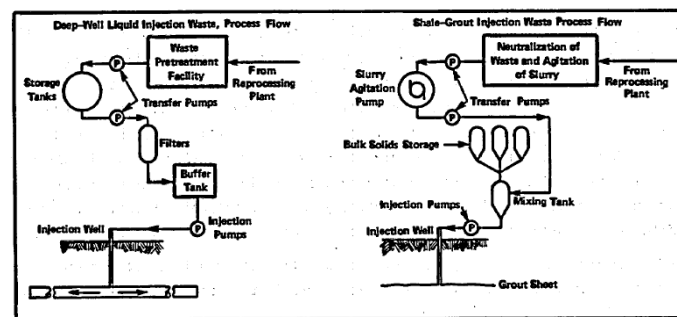
地層処分(超深孔処分)の概念⁽¹⁾



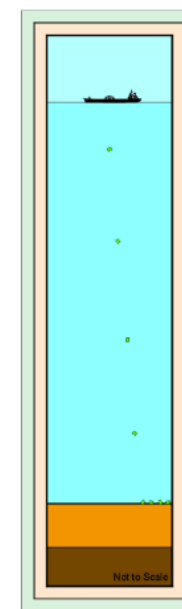
地層処分(島内地層処分)の概念⁽²⁾



地層処分(岩石溶融処分)の概念⁽³⁾



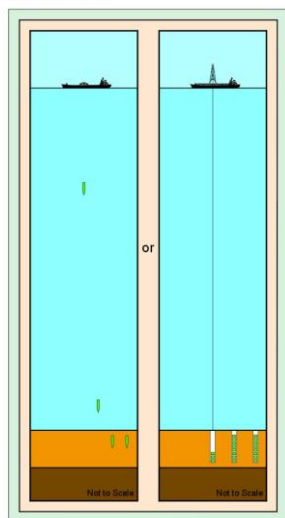
地層処分(井戸注入処分)の概念⁽²⁾



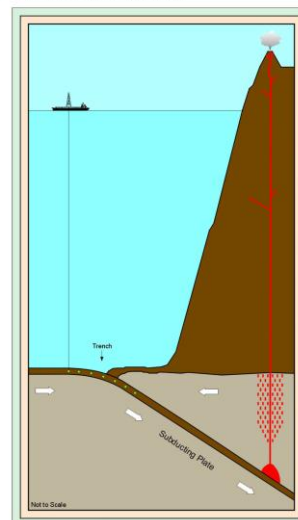
海洋底上処分(海洋処分)の概念⁽³⁾

- 1 Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future Report to the Secretary of Energy 【2012, BRC】
- 2 DOE/EIS-0046F, Management of commercial generated radioactive waste 【1980, DOE】
- 3 Nirex Report No: N/050, Description of Long-term Management Options for Radioactive Waste Investigated Internationally【2002, Nirex】

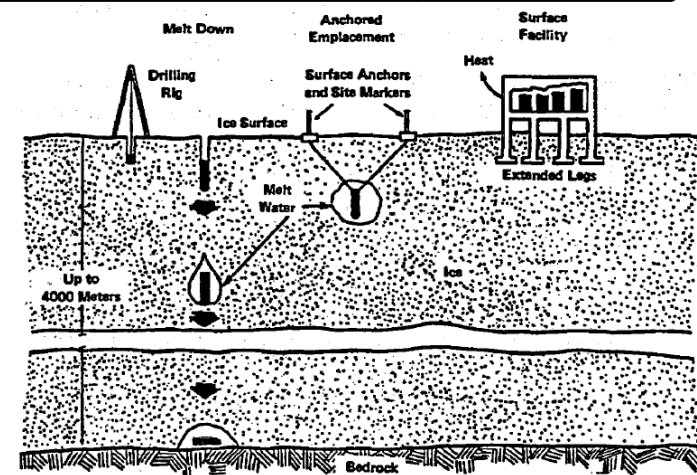
これまでに検討されてきた放射性廃棄物処分等の概念(続き)



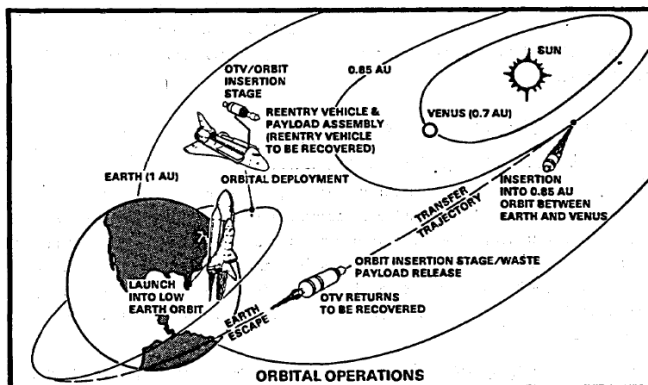
海洋底下処分の概念⁽⁴⁾



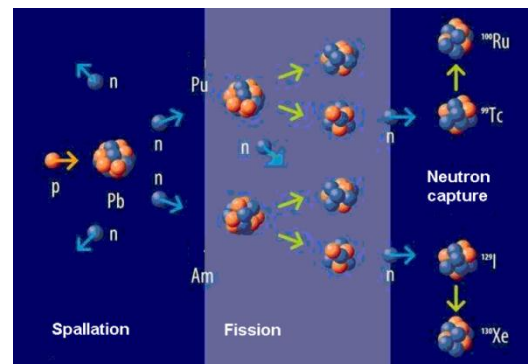
沈み込み帯への処分の概念⁽⁴⁾



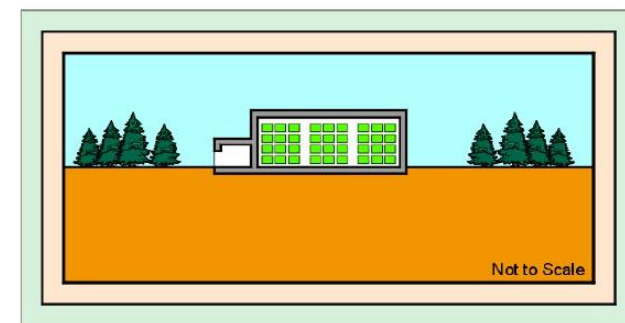
氷床処分の概念⁽⁵⁾



宇宙処分の概念⁽⁵⁾



核種分離・変換(消滅処理)の概念⁽⁶⁾



長期貯蔵の概念⁽⁴⁾ ※図は長期地上施設の例

4 Nirex Report No: N/050, Description of Long-term Management Options for Radioactive Waste Investigated Internationally【2002, Nirex】

5 DOE/EIS-0046F, Management of commercial generated radioactive waste 【1980, DOE】

6 6th General Radioactive Waste Plan (English version) 【2006, ENRESA】

地層処分場概念の多様性

オプションの検討

【分類の視点】

地質環境への
工学的対策

母岩への
アプローチ

ガラス固化体の
格納

廃棄体
定置形態

能動的安全性
の考慮

これまでに各国で提案された概念

自然状態

改良

地下坑道

ボーリング孔

単体

集合

坑道
横置き

坑道
縦置き

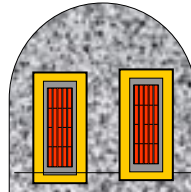
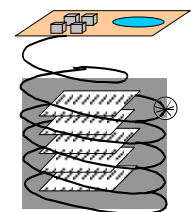
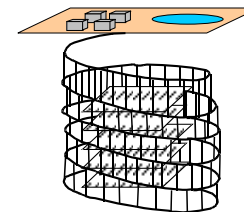
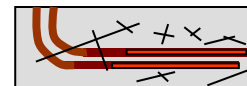
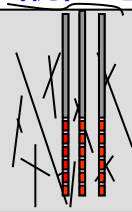
垂直ボー
リング内
縦置き

水平ボー
リング内
横置き

高透水性
バリア

低透水性
バリア

大空洞
方式



(NUMO-TR-04-03, Appendix 1に基づき作成)