



鉱床地質学・記載岩石学・鉱物学・  
地球化学研究所  
ロシア科学アカデミー

# カラチャイ湖サイトの例での地下媒体および 河川における放射性核種の移行

*Malkovsky V.I.*

東京、2012年2月3～4日



[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

# 汚染源の特徴

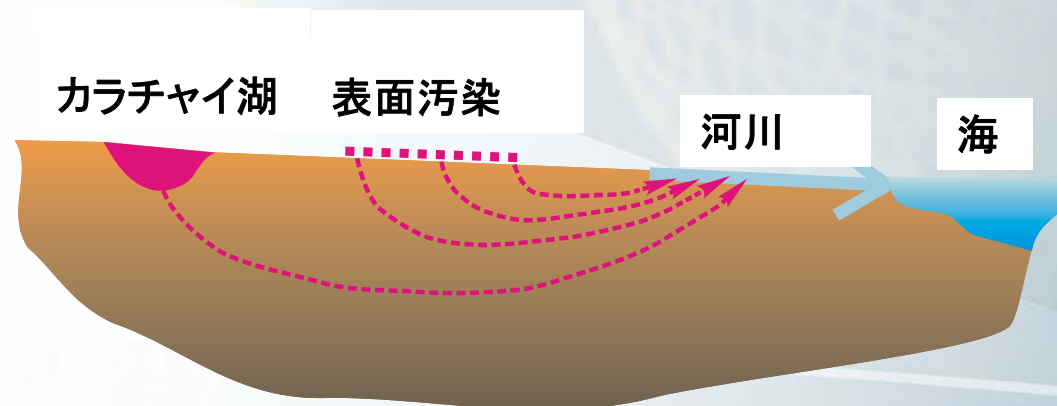


1. 閉塞湖であるカラチャイ湖は、1951年から液体放射性廃棄物(LRW)の貯蔵所として使用された。

その湖に放出されたLRWの総量は約 $3.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ で、 $\beta$ 放射能は $9 \times 10^5 \text{ Ci}$ 程度であった(Drozhko et al., 1995)。

このLRWは、溶質としての大量の非放射性成分を含む水溶液で、その溶質の主要成分は硝酸イオンである。

2. この地域における表面汚染は、LRWのスチール製貯蔵容器の爆発が原因であり、貯蔵所におけるLRWの総放射能は、最大  $20 \cdot 10^6 \text{ Ci}$  であった。



# 研究の目的



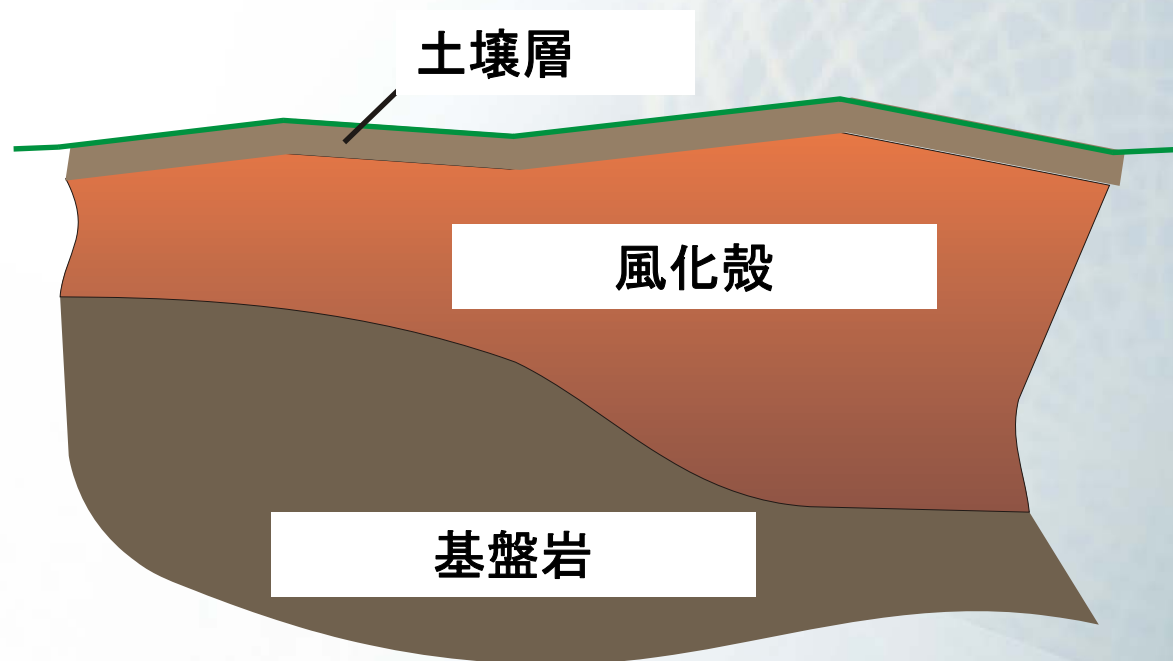
地下媒体での放射性核種移行の主要メカニズムは  
地下水による輸送である。

1. 汚染された地下水が流れる岩石領域の決定
2. 汚染された地下水が流れる岩石領域の決定
3. 放射性核種輸送形態の特性評価：イオン、錯化合物、コロイド、微粒子
4. 放射性核種移行予測の初期条件を指定するための放射性汚染に関するデータの処理と一般化
5. 地下媒体における放射性核種移行のモデル
6. 河川における放射性核種輸送の研究と地球化学バリアの研究.



## 1.汚染された地下水が流れる岩石領域の特定

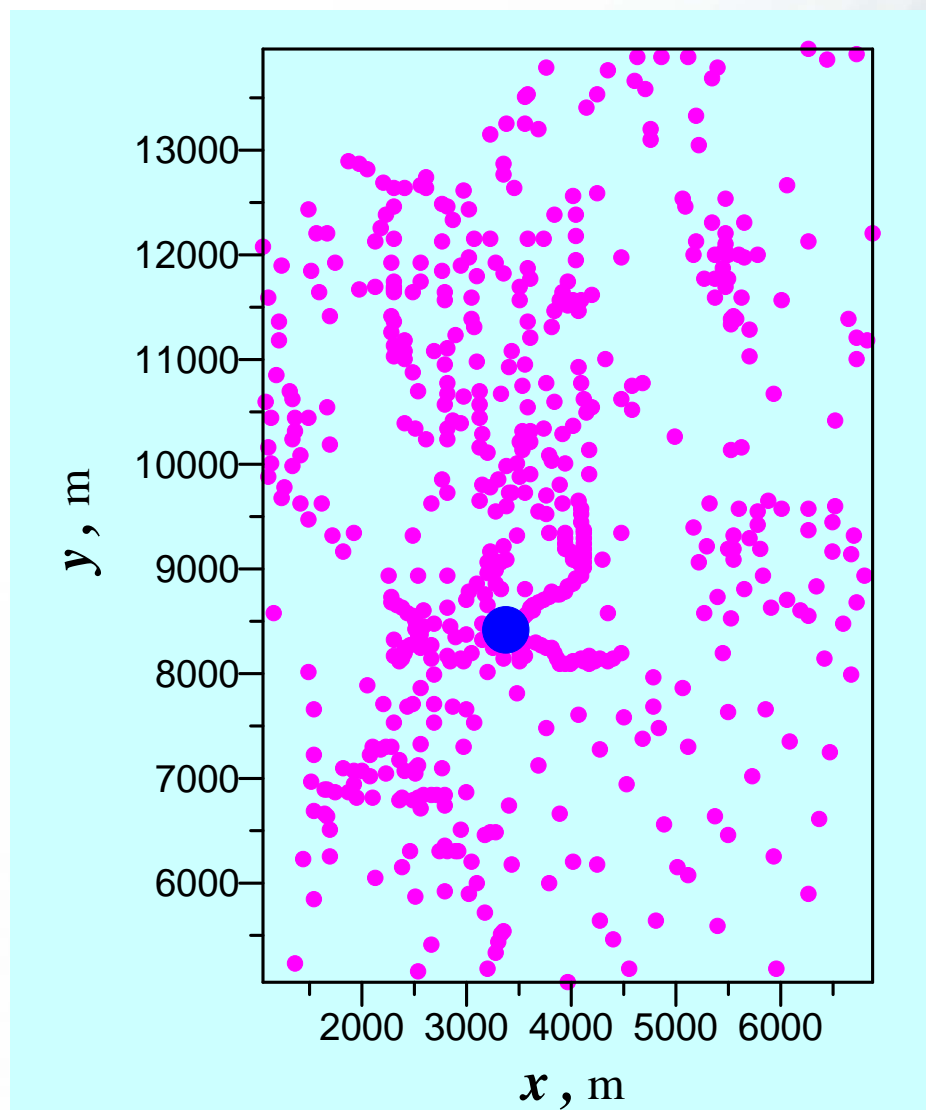
## 放射性核種移行領域の断面図





# 探鉱井

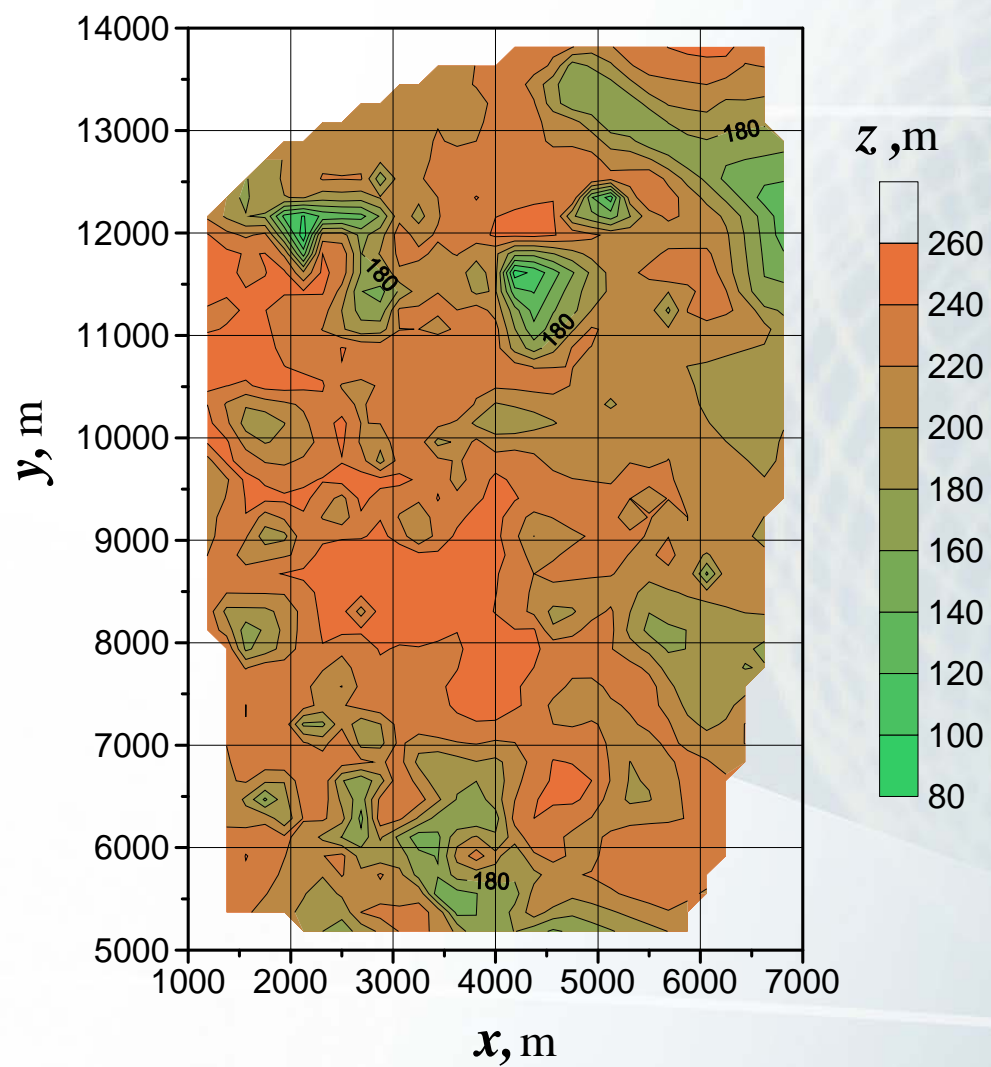
I S T C  
M H T Ц



[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

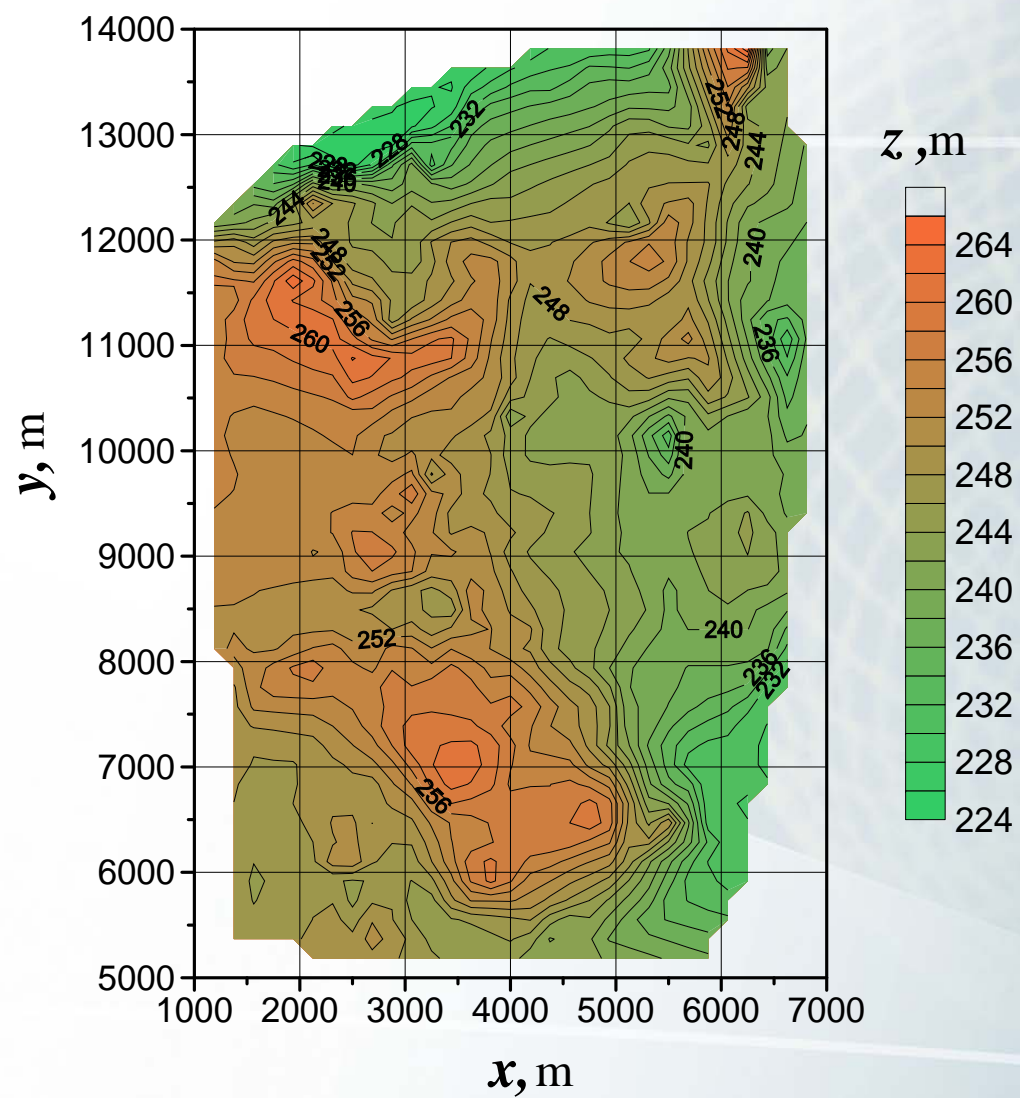
# 基盤岩の起伏

I S T C  
М Н Т Ц



[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

# 地表の起伏



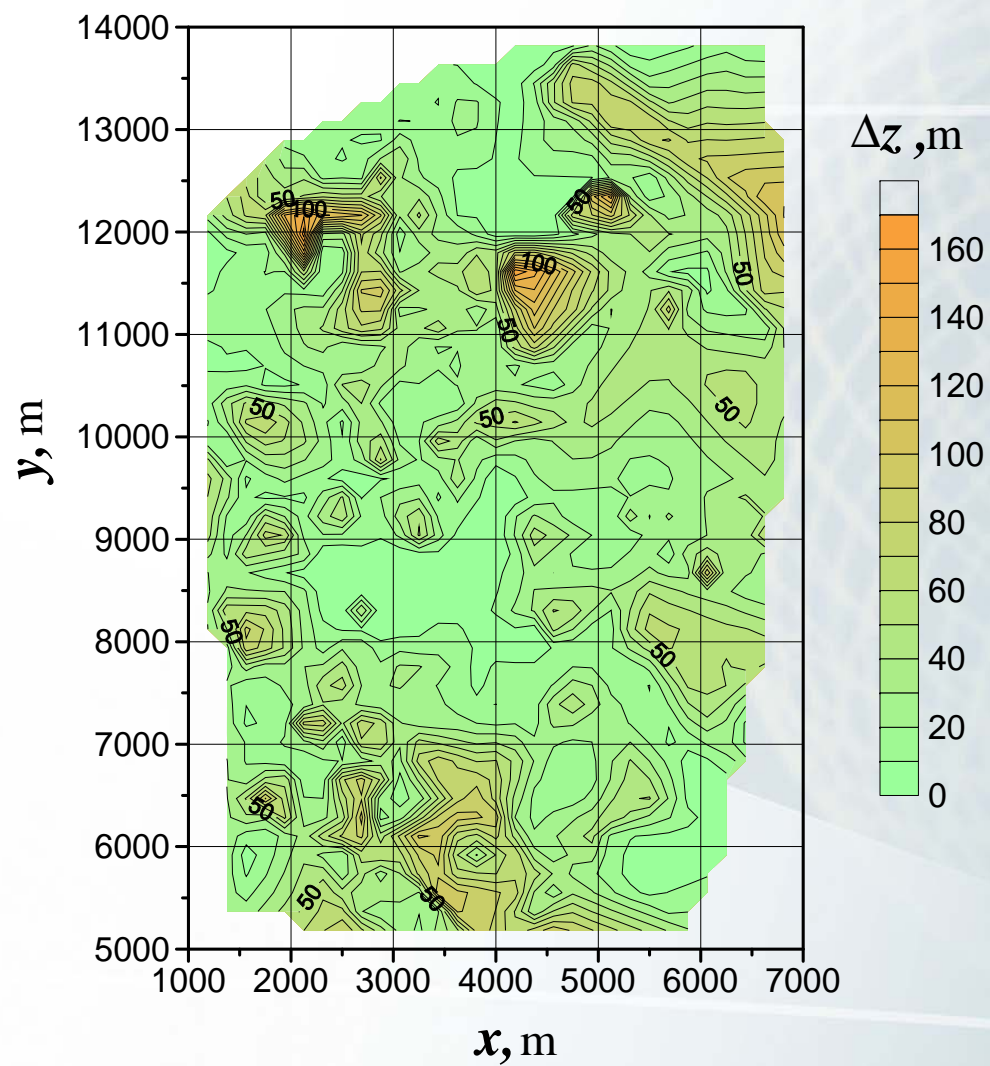
I S T C  
M H T Ц



[www.istc.ru](http://www.istc.ru)



# 風化殻の厚さ



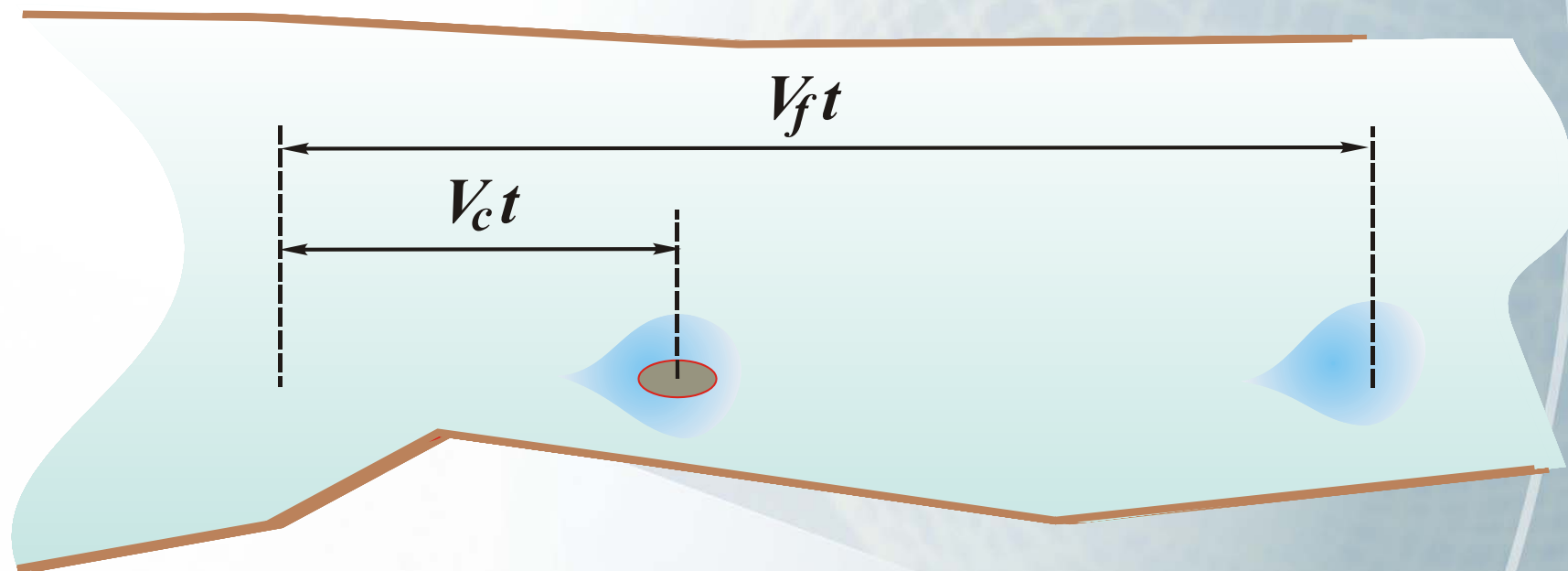
[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

## 2. 特定された岩石領域における 地球化学的条件の特性評価

Solodov I.N., Zotov A.V., Khoteev A.D. et al. 「ロシア南ウラル地方カラチャイ湖地域の亀裂のある基岩における天然地中水および汚染地中水の地球化学」//『応用地球化学』1998. V.13. No 8. P.921-939

Laverov N. P., Velichkin V. I., Malkovsky V. I. et al. 「チェリャビンスク州カラチャイ湖付近の地質媒体における放射性汚染の拡散に関する包括的研究」//『鉱床地質学』2010. V.52. No 1. P.5-13

# 地質媒体の保護特性



$$\xi = V_f / V_c \quad \text{- 遅延係数}$$



# オリジナルのコンピュータ援用測定システム (多チャンネル水文地球化学プローブ)

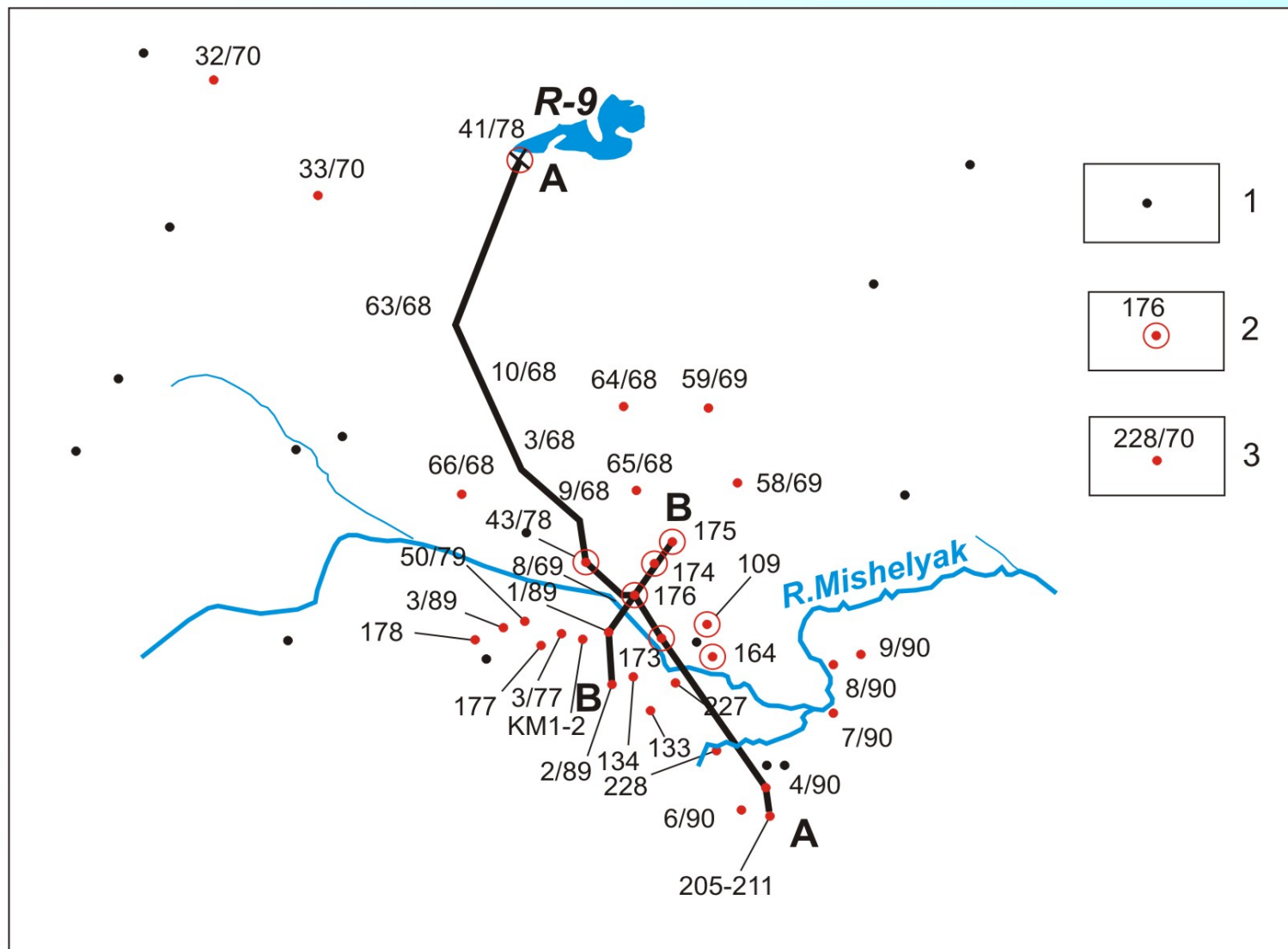


- 1 下げ穴内計器、1a ジャケットで保護されたセンサユニット、2 サーフェスブロック、  
3 検層レコーダ、4 コンダクタ・サポートケーブルモーションセンサ



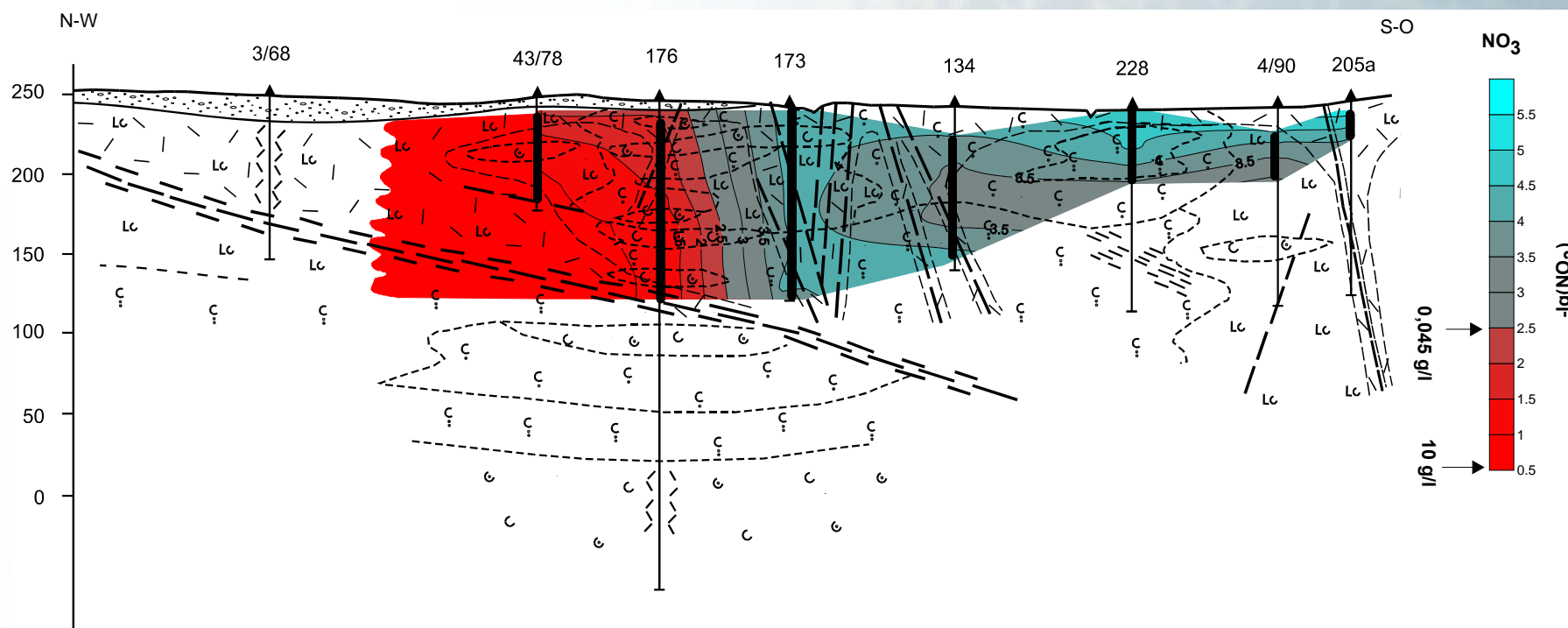
[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

## 観測井戸と水文地球化学検層点の位置



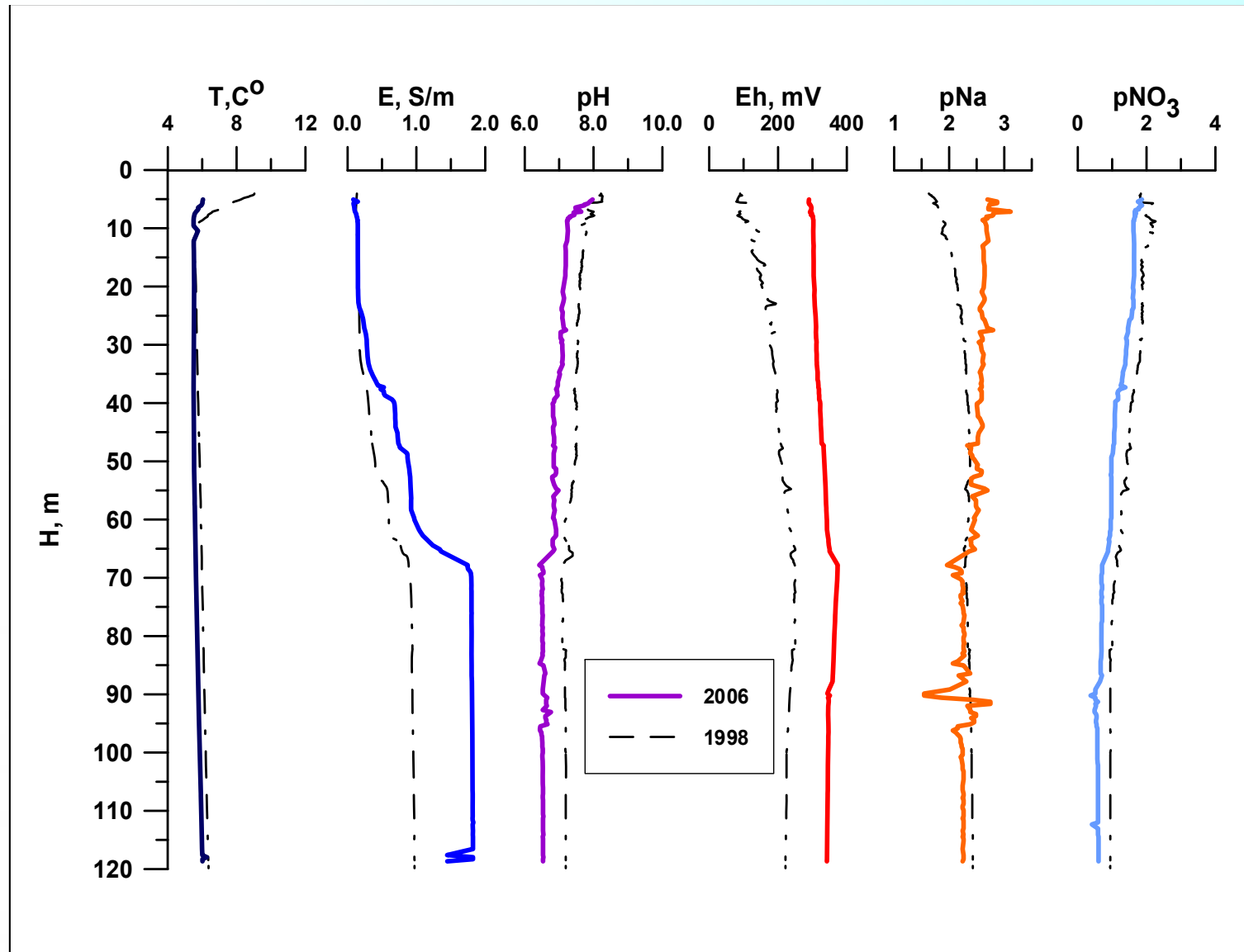


# 水文地球化学検層データ ラインA-A、硝酸イオン(1998年)



[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

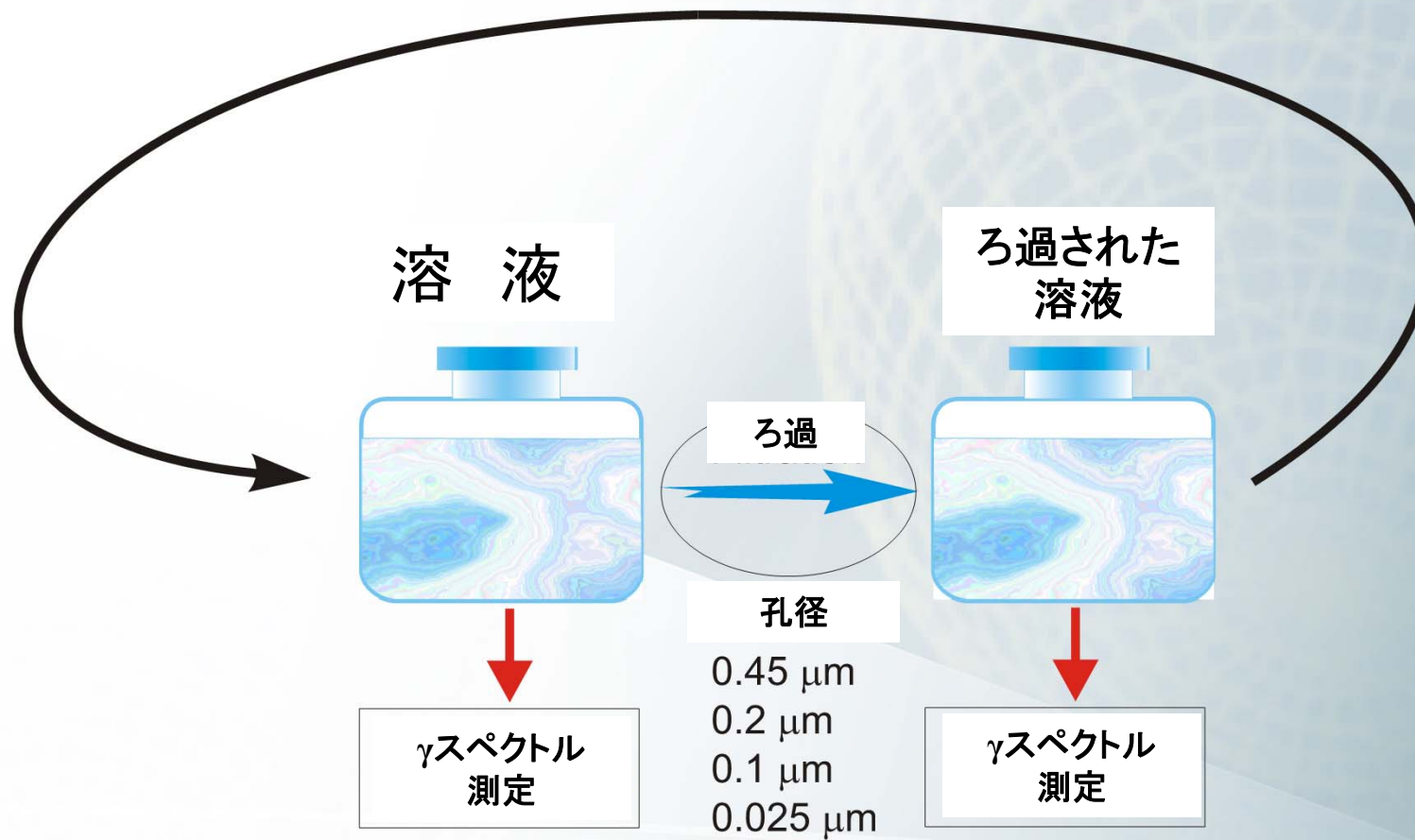
# 2006年と1998年の井戸176号における 水文地球化学研究データの比較



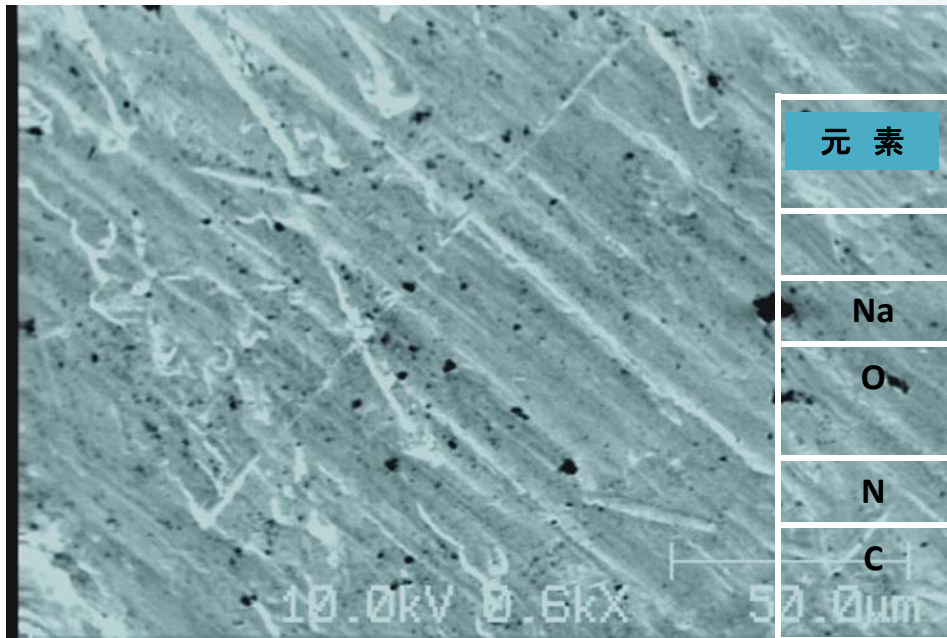
### 3. 放射性核種輸送形態の特性評価: イオン、 錯化合物、コロイド、微粒子

Malkovsky V.「地下水による放射性核種のコロイド媒介輸送の理論的分析」//「アクチノイドナノ粒子研究」(第9章)(Kalmykov S.N.およびDenecke M.A.編集)ベルリン、ハイデルベルク:シュプリンガー・フェアラーク社(2011年) P.195-243

# コロイドおよび微粒子画分の抽出



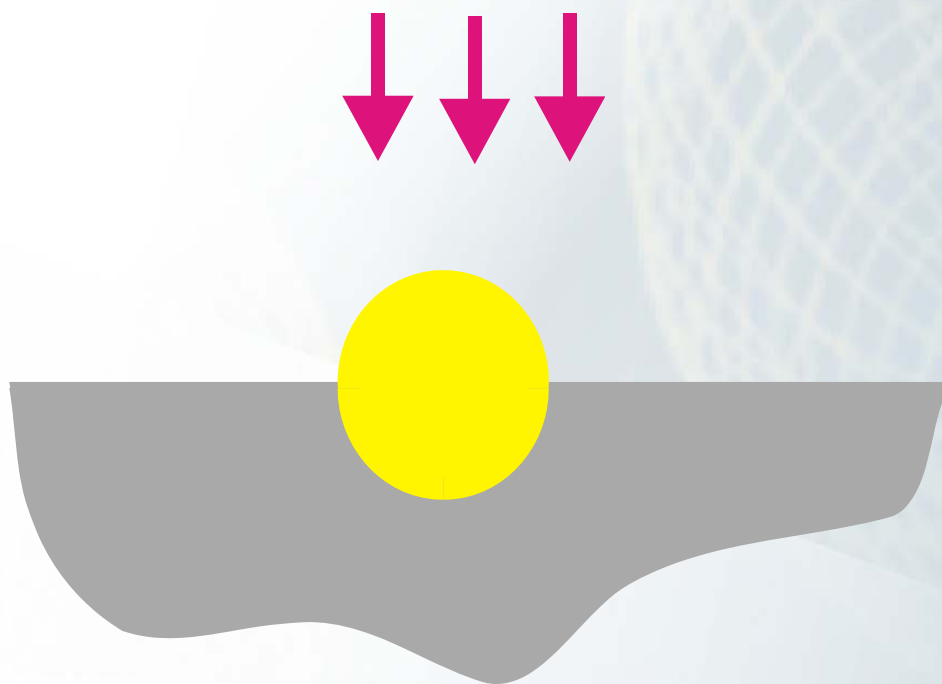
# オージェ分光法で決定される微粒子の局所表面組成 (地下水サンプリング深度は20m)



元 素	割 合					
	1	2	3	4	5	6
Na	2.63	2.67	2.86			
O	4.50	11.33	8.22	17.47	14.12	18.23
N	2.59	3.40	4.36	6.06	2.13	2.05
C	88.82	66.74	78.95	72.13	66.56	54.39
Cl		0.82	0.78			
S		0.64	0.4			
Si						
Ca		14.40	4.44	4.34	17.19	25.33
Fe	1.46					



# X線光電子分光法による表面組成研究に おける微粒子表面のイオンエッチング



[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

# X線光電子分光法の結果

深度20mのサンプル  
フィルタのポア直径0.2μm

元素	結合エネルギー , eV	原子濃度 %	化合物
C <sub>1s</sub>	284.3	30.2	C <sup>0</sup>
	286.7	9.0	[CH(OH)(CH(OH) <sub>4</sub> CH(OH)]
	289.8	4.0	CaCO <sub>3</sub>
K <sub>2p 3/2</sub>	292.8	1.4	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
O <sub>1s</sub>	529.4	22.4	O <sup>2-</sup>
	531.2	9.8	(OH) <sup>1-</sup>
Ca <sub>2p 3/2</sub>	347.0	2.3	CaCO <sub>3</sub>
Fe <sub>2p 3/2</sub>	711.5	3.3	FeOOH
Al <sub>2p</sub>	75.6	2.5	亜塩素酸塩
Si <sub>2p</sub>	102.8	4.9	亜塩素酸塩＋タルク
Mg <sub>2p</sub>	50.4	7.1	亜塩素酸塩＋タルク
N <sub>1s</sub>	399.0	0.2	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CHNC <sub>6</sub> H <sub>5</sub> phenyl benzimine
	402.0	1.2	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>
	404.5	0.2	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> ONO (nitrosooxy)pentatene
	408.1	0.8	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>

# X線光電子分光法の結果

## 深度20mのサンプル

### フィルタの孔直径0.2μm、エッチング100Å

元 素	結合エネルギー, eV	原子濃度 %	化合物
C <sub>1s</sub>	284.4	9.4	C <sup>0</sup>
	286.7	4.5	[CH(OH)(CH(OH) <sub>4</sub> CH(OH)]
	289.4	3.3	CaCO <sub>3</sub>
	291.5	2.1	CH <sub>3</sub> OC(O)OCH <sub>3</sub> デイメチルオキシメタン
K <sub>2p 3/2</sub>	293.6	0.5	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
O <sub>1s</sub>	529.4	27.0	O <sup>2-</sup>
Ca <sub>2p 3/2</sub>	347.0	1.5	CaCO <sub>3</sub>
Fe <sub>2p 3/2</sub>	711.4	20.2	FeOOH
Al <sub>2p</sub>	75.5	5.6	亜塩素酸塩
Si <sub>2p</sub>	103.1	10.8	亜塩素酸塩+タルク
Mg <sub>2p</sub>	50.4	7.8	亜塩素酸塩+タルク
N <sub>1s</sub>	399.0	1.5	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CHNC <sub>6</sub> H <sub>5</sub> phenyl benzimine
	401.9	2.2	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>
	404.5	1.2	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> ONO (nitrosooxy)pentatene
	408.0	2.5	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>

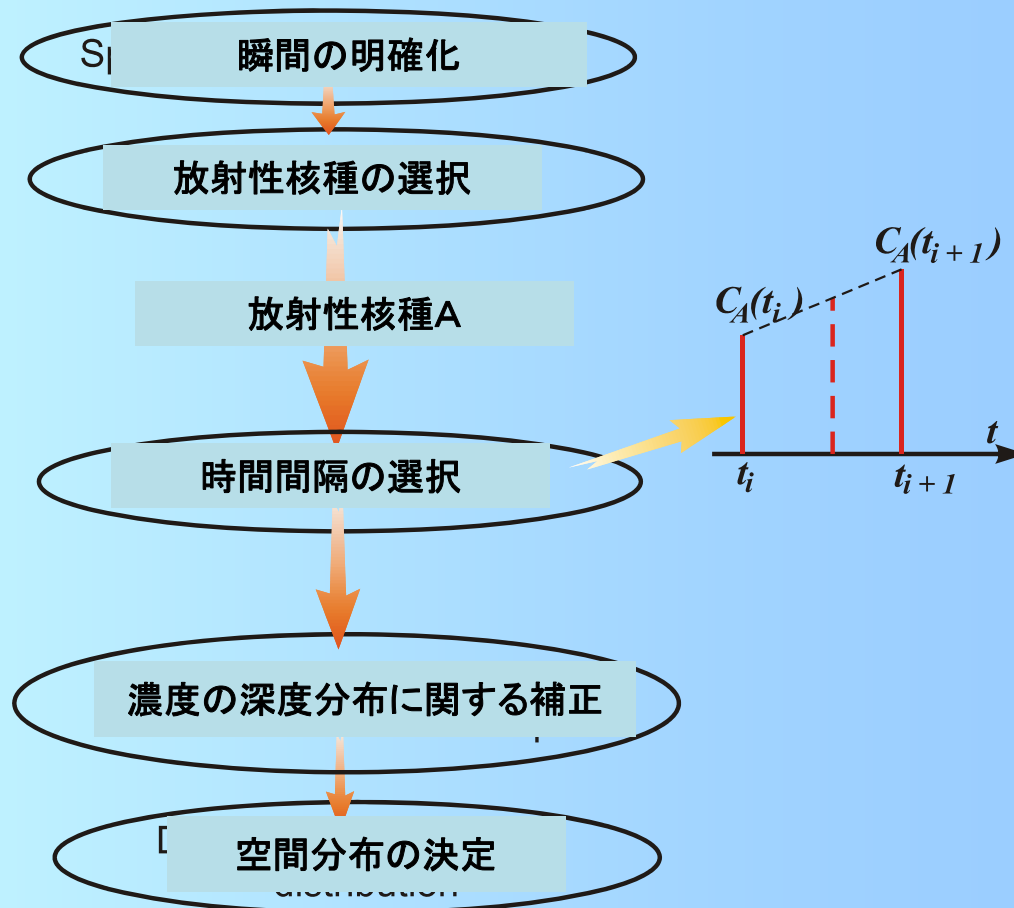
## 4.放射性核種移行予測の初期条件を指定するための放射性汚染に関するデータの処理と一般化

モニタリング井戸における汚染物質濃度測定 of 初期データは、ロシア科学アカデミーの地球化学・分析化学研究所 (GEOKHI RAS) によって提示された。

# データ処理手順の階層

データの以下のような特徴に注目すること:

地下水サンプリングの入手可能なデータは、様々な深度で様々な瞬間において採取された地下水中の放射性核種および非放射性溶質の様々な集合の濃度によって表現されている。それは、連続的瞬間に、同じ井戸において行われた測定であり、様々な放射性核種、様々な深度に関係している可能性がある。

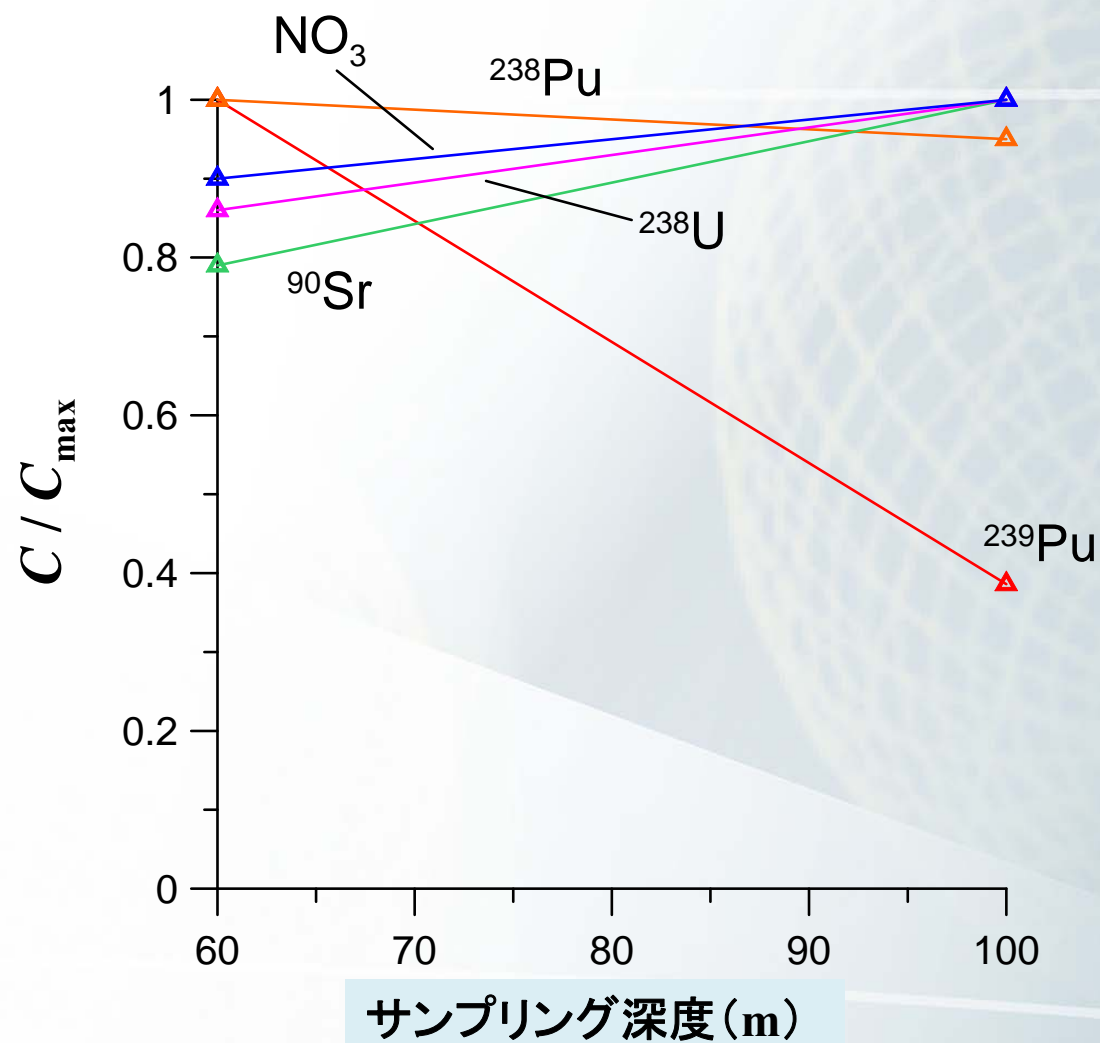


V. I. Malkovsky, V. I. Velichkin, Yu. E. GorlinskyおよびE. I. Vladimirova「ロシア研究センター・クルチャトフ研究所の領域における地下水による放射性核種移行のモデル」//『鉱床地質学』2009. V.51. No 4. P.275-289



# 濃度の深度分布

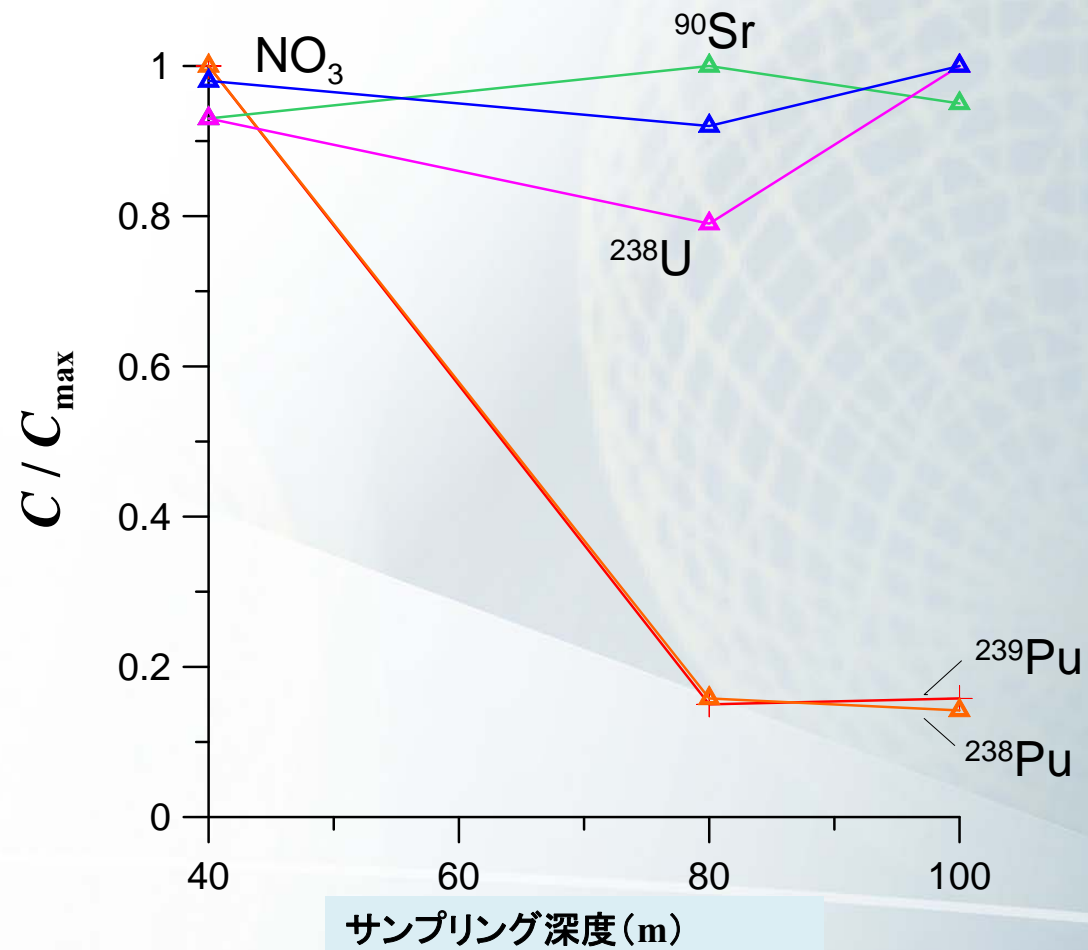
(井戸N14/68, x=1828m, y=6879m, 2004年)



[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

# 濃度の深度分布

(井戸N39/70, x=1953m, y=9195.5m, 2004年)

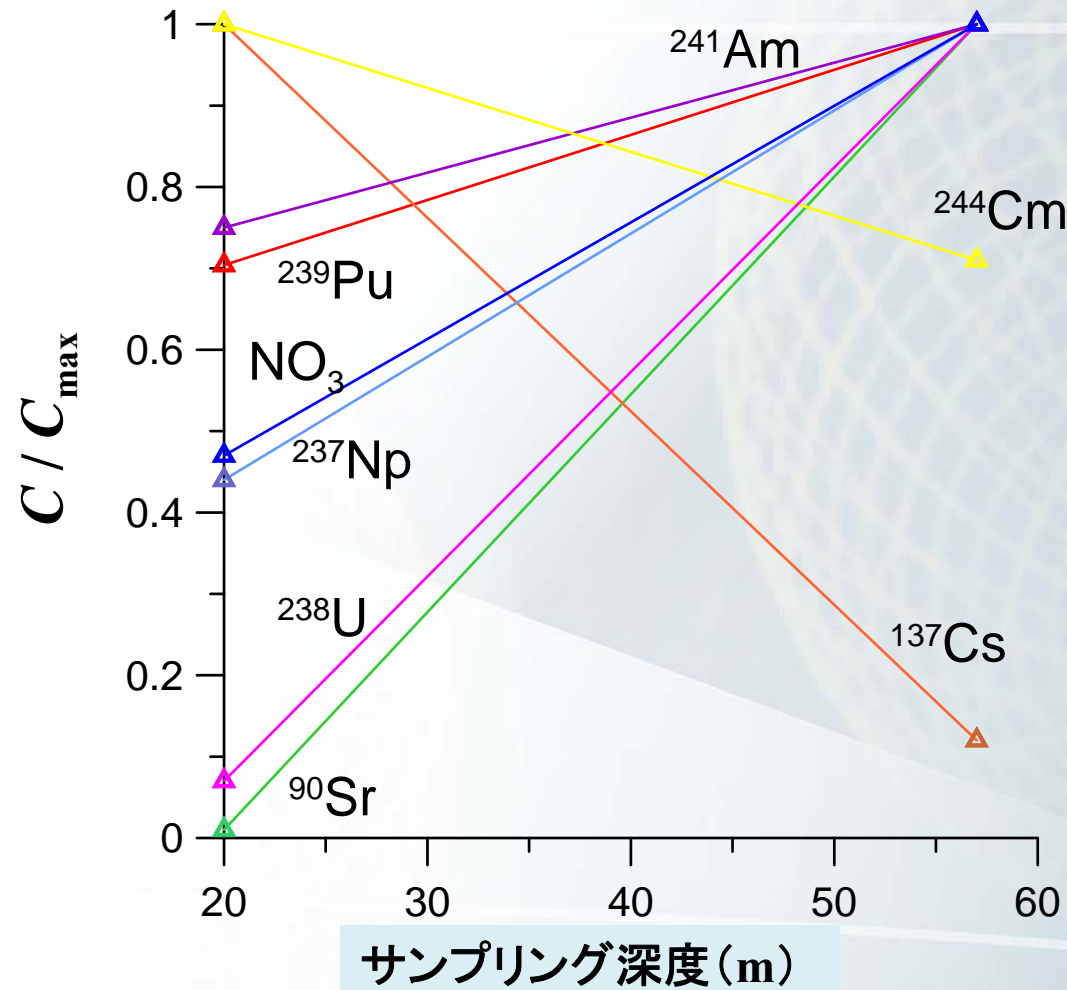


[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

# 濃度の深度分布

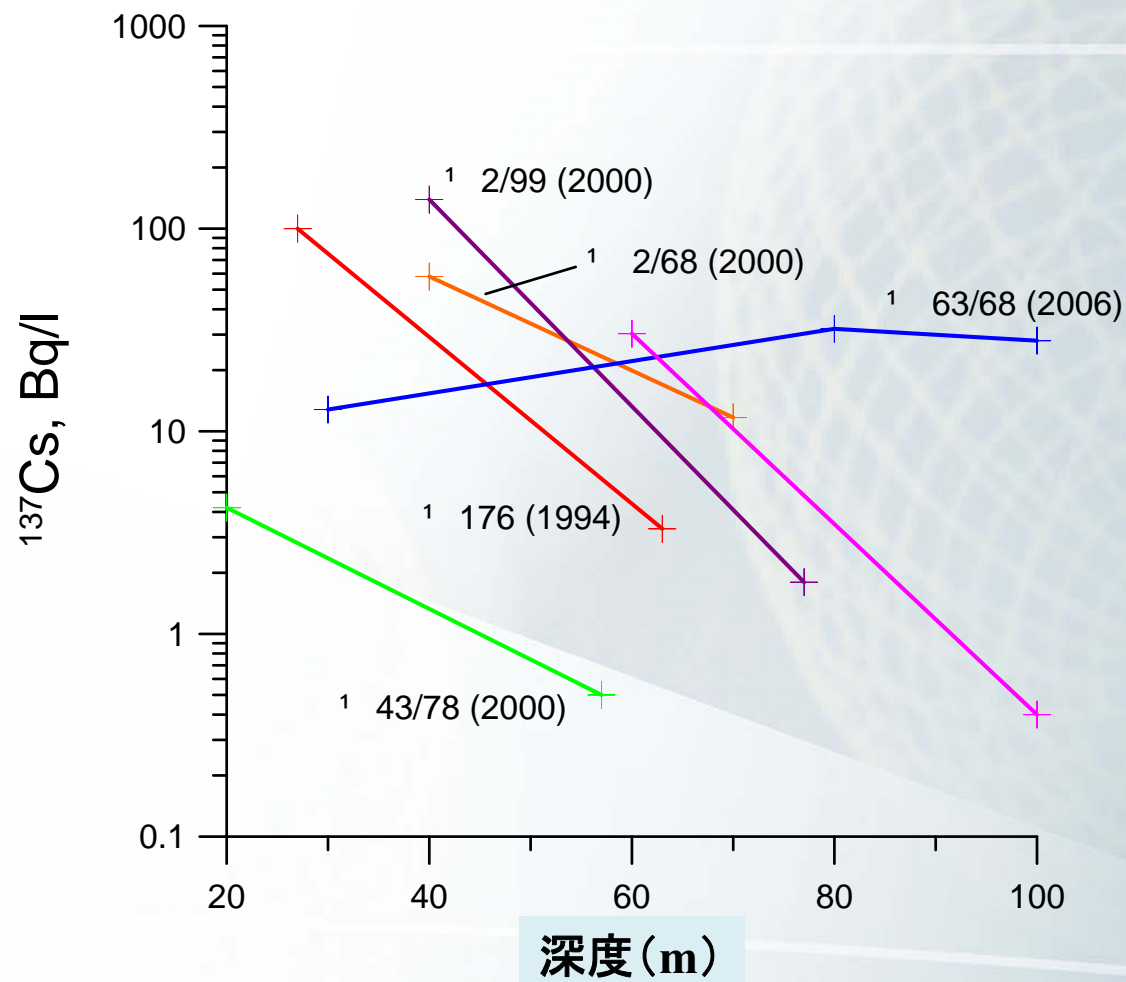


(井戸N43/78, x=3031m, y=6240m, 2000年)

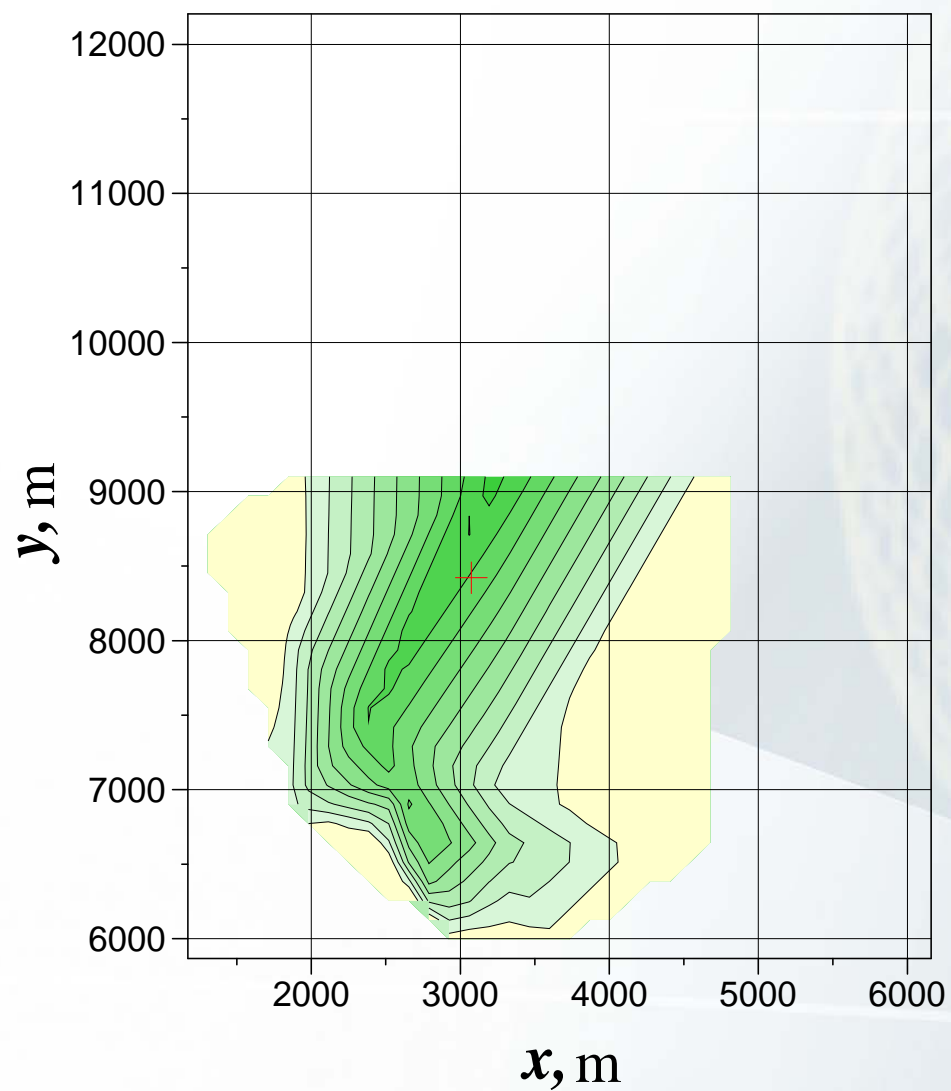


[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

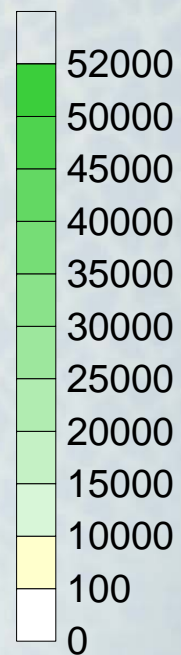
# $^{137}\text{Cs}$ 濃度の深度分布



# 硝酸イオンの分布 2002年



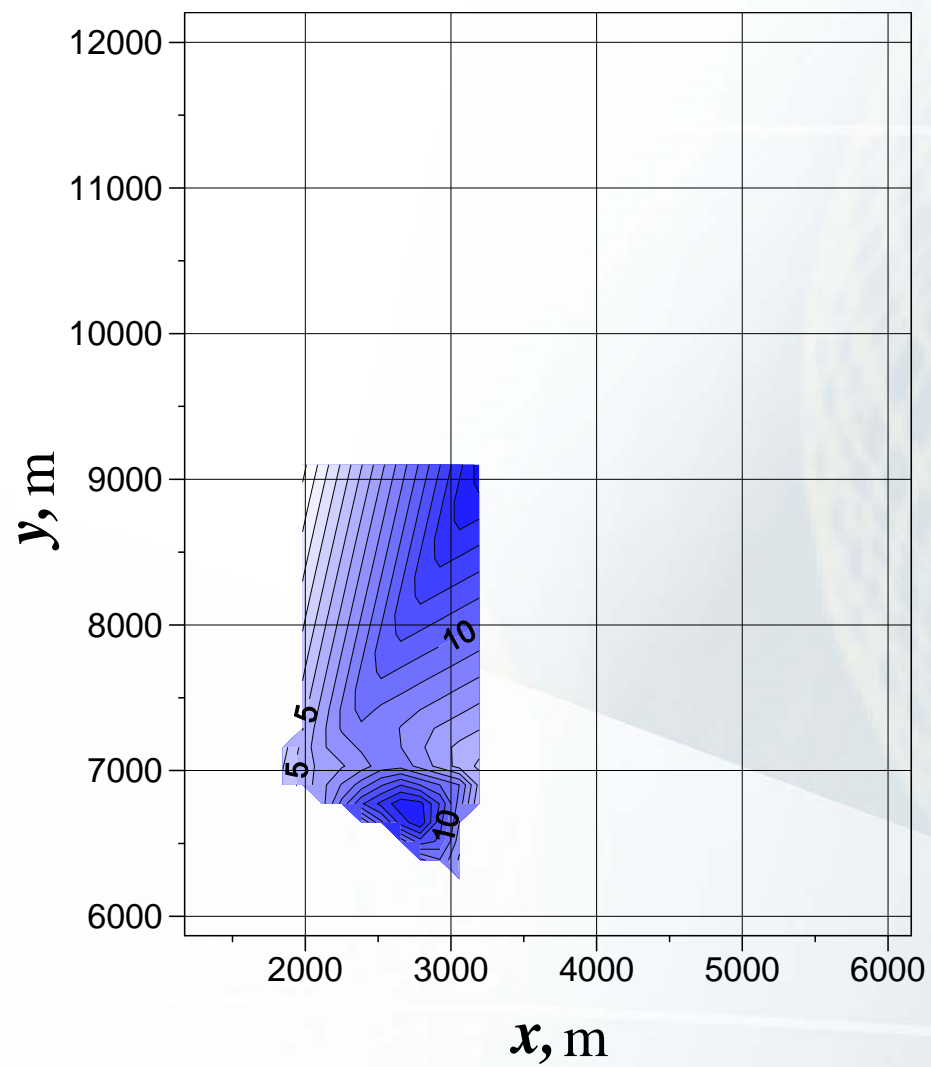
**NO<sub>3</sub>**  
mg/liter



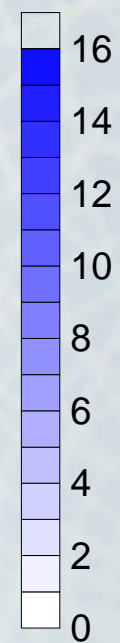
[www.istc.ru](http://www.istc.ru)



# $^{237}\text{Np}$ の分布 2002年



$^{237}\text{Np}$ ,  
Bq/liter



I S T C  
M H T Ц

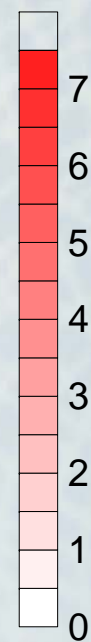
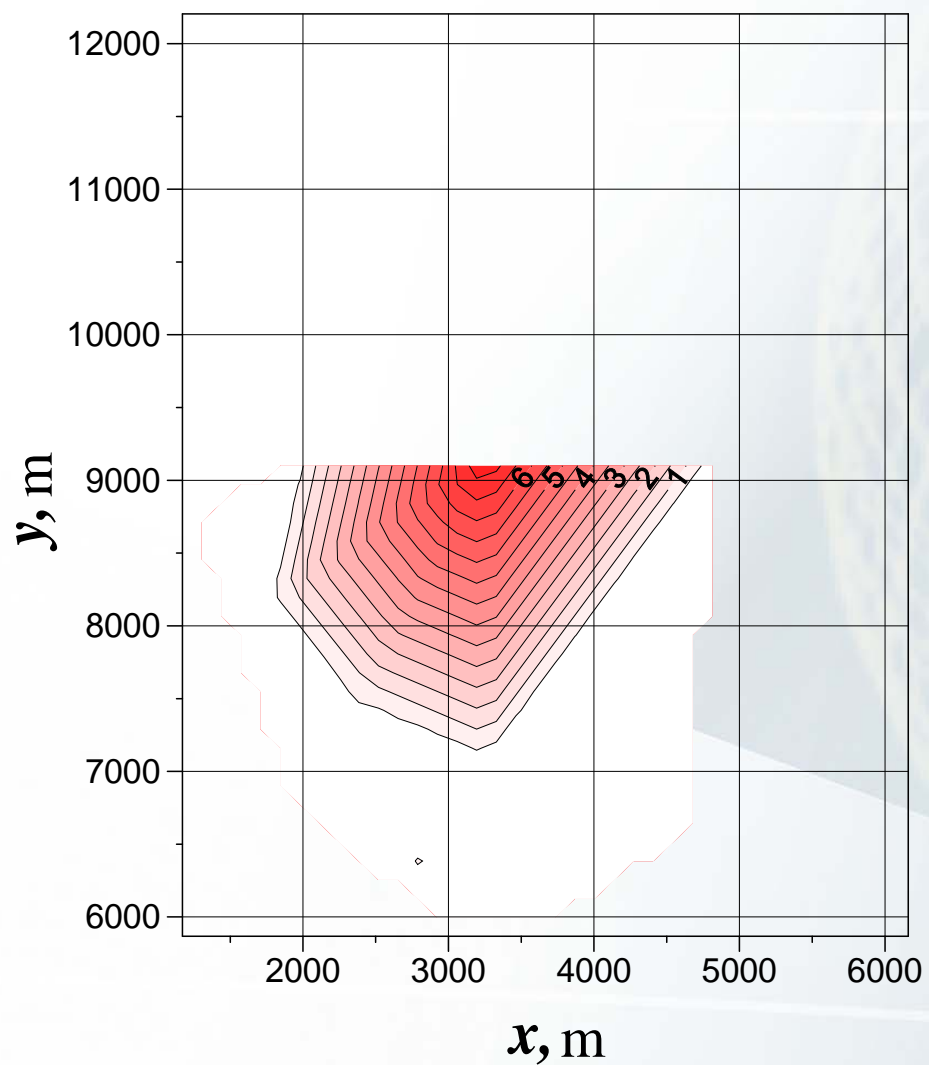


[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

# $^{239}, ^{240}\text{Pu}$ の分布 2002年

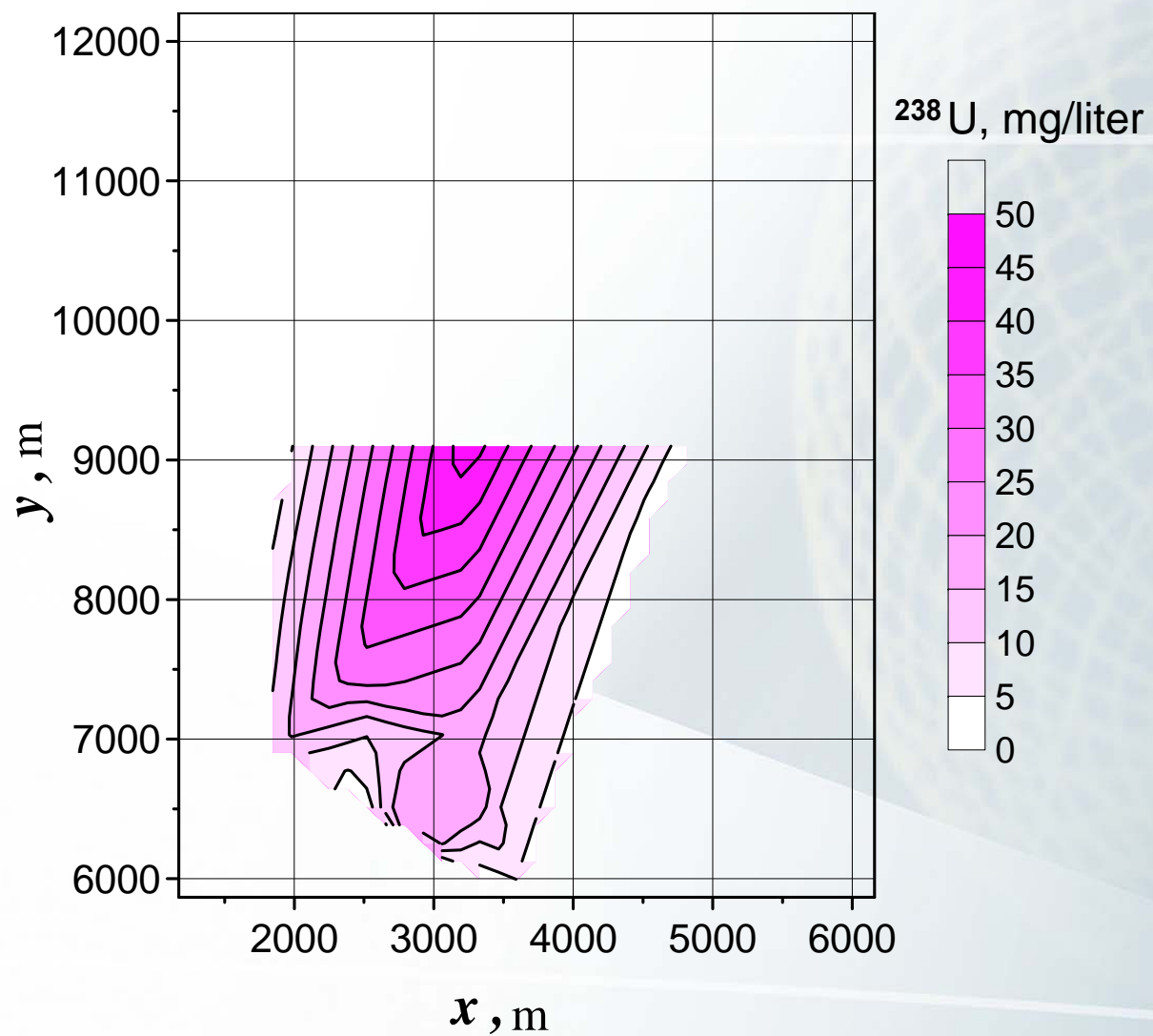


$^{239}, ^{240}\text{Pu}$ ,  
Bq/liter



[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

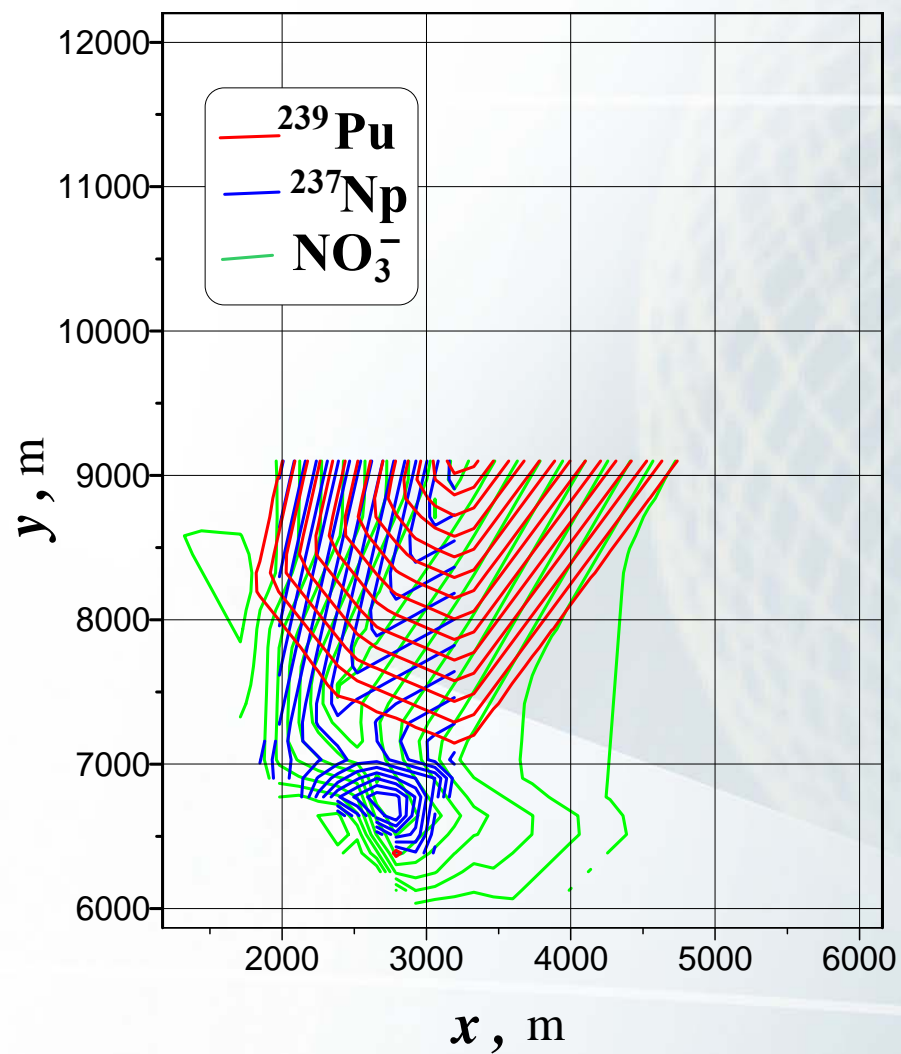
# $^{238}\text{U}$ の分布 2002年



# 溶質分布の統合図

## 2002年

I S T C  
M H T Ц



[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

## 5.地下媒体における放射性核種移行のモデル



地下水流のモデル

+

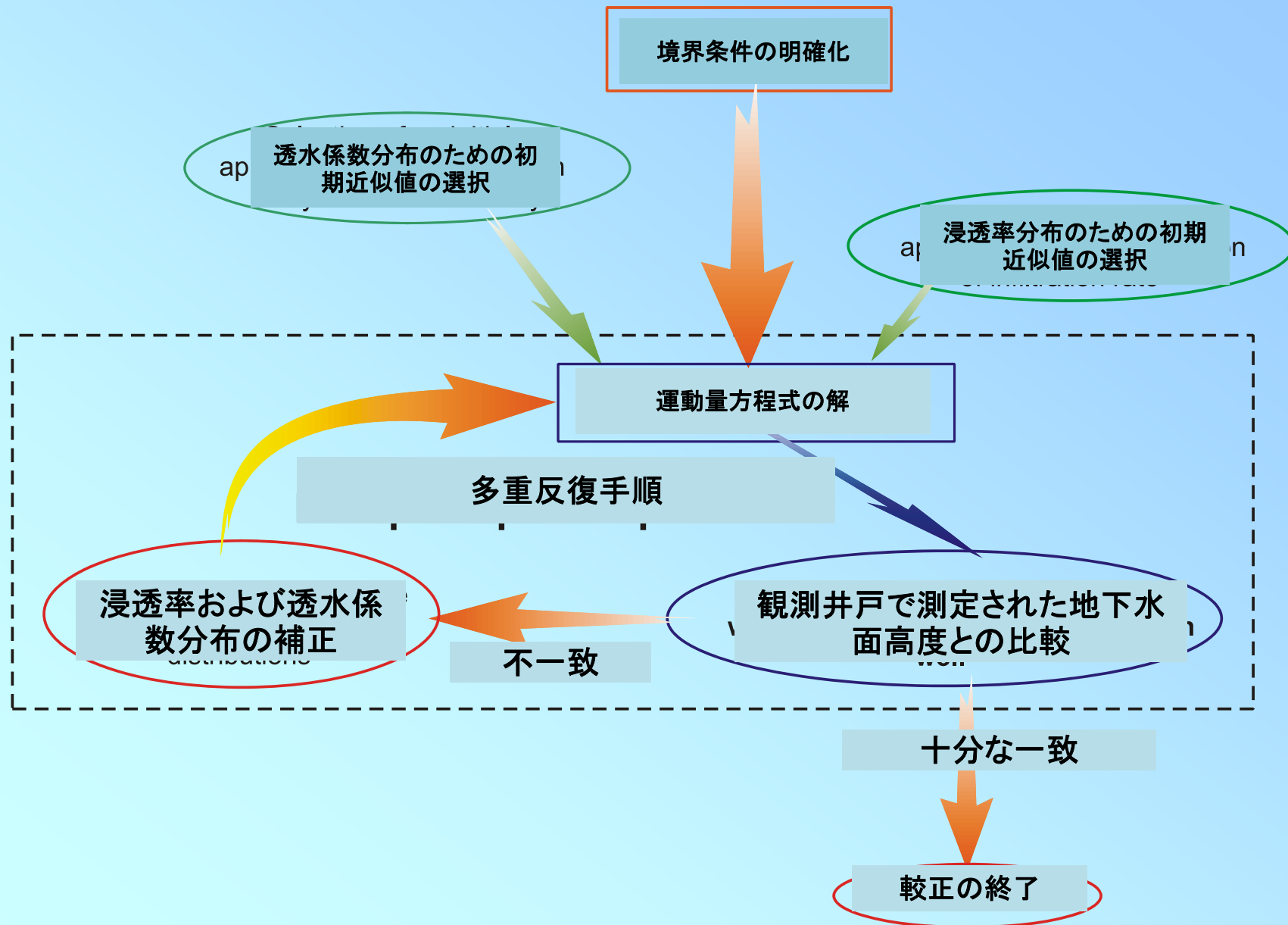
地下水による放射性核種輸送のモデル

Malkovsky V. I., Pek A.A., Velichkin V.I., Parker F.L.「クラスノヤルスク処分サイトにおける液体放射性廃棄物(LRW)の深井戸注入からの汚染物質プルーム移動の予測」/『水文科学技術ジャーナル』1999. V.15. No 1-4. P.145-171



[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

# 較正問題の解決

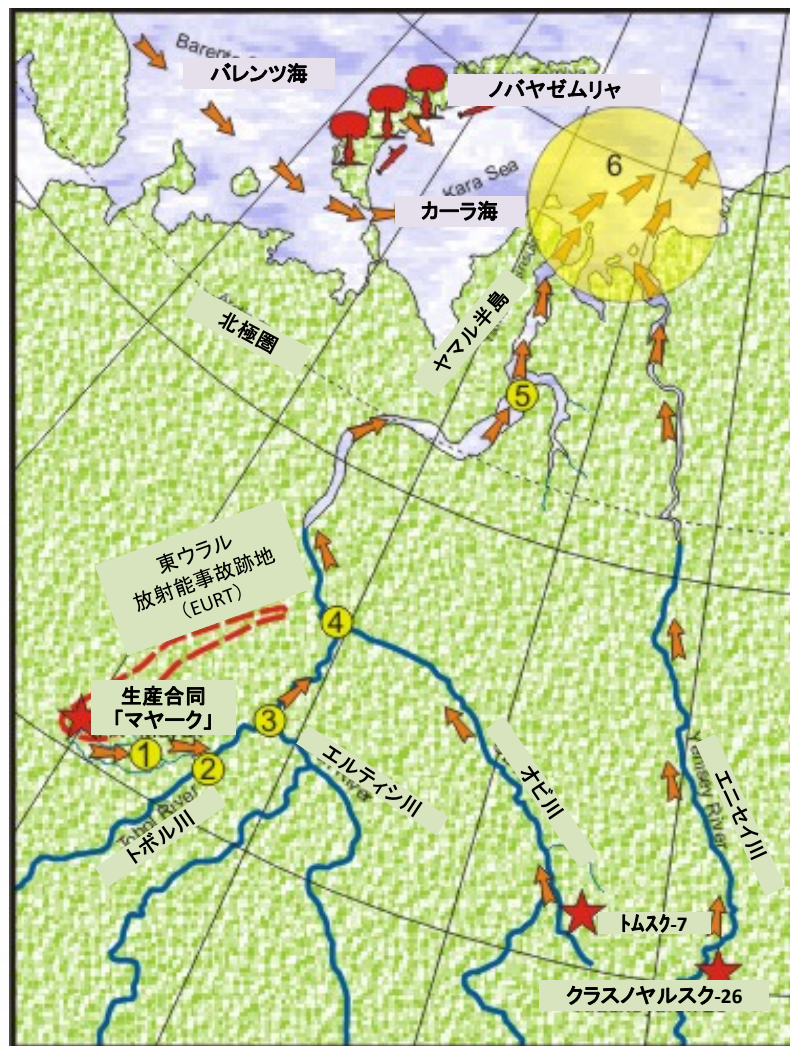




## 6.河川における放射性核種輸送の研究と 地球化学バリアの吟味



# 放射性核種の長距離河川輸送の研究



## カラ海の汚染源と調査サイト

### 汚染源:

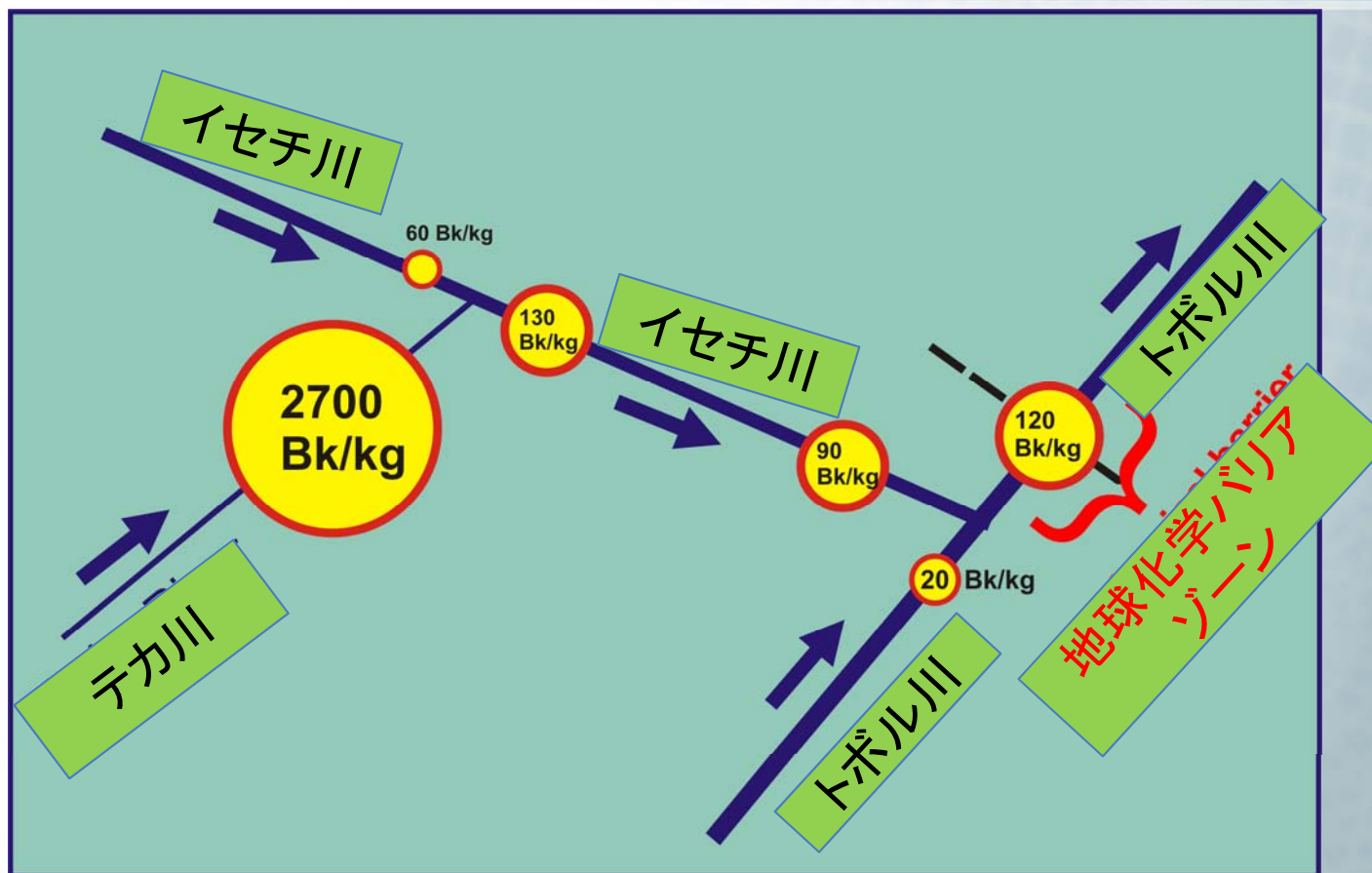
- ・マヤーク、トムスク-7
- ・クラスノヤルスク-26
- ・海流(セラフィールド)
- ・核実験
- ・放射性降下物

### サイト:

- ・1 - テカ川とイセチ川の合流域
- ・2 - イセチ川とトボル川の合流域
- ・3 - トボル川とエルティシ川の合流域
- ・4 - エルティシ川とオビ川の合流域
- ・5 - オビ川河口域
- ・6 - カラ海の混合水帯



# 河川合流域における地球化学バリア

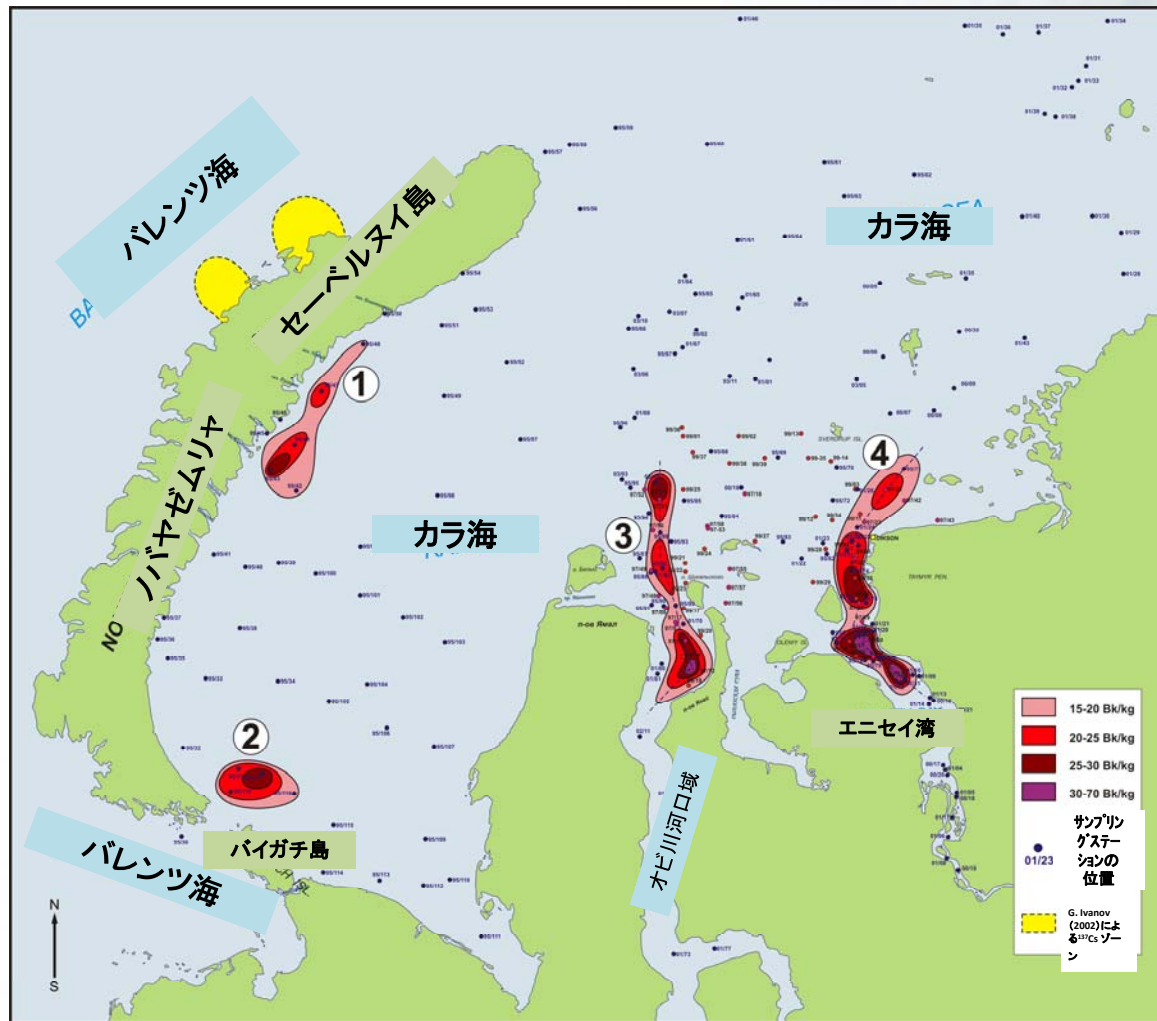


[www.istc.ru](http://www.istc.ru)



# 底質表層における $^{137}\text{Cs}$ の分布)(Bk/kg)

I S T C  
M H T Ц



[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

## まとめ



修復手段の正しい評価は、対応したモデルに基づく汚染拡大の予測に基づいて行える。

地下水による放射性核種移動の大部分は、コロイドもしくは微粒子によって行われる。例えばネバダ試験場サイトにおいては、 $^{137}\text{Cs}$ の移動の95%はコロイドによるものである。その為、地下水における放射性核種の移動モデルにおいては、コロイドと粒子状態での輸送を考慮する必要がある。従って、汚染地域においては、地下水中的コロイド成分の特性を調査する必要がある。有効な手段としては、限外ろ過によるコロイドの分離と、コロイドの成分と構造の分析におけるオージェ分光分析とX線光電子分光法である。



## まとめ



イオンもしくはコロイド粒子状態での放射性核種の易動性は、地下水の地球化学的特性(特にpH、Eh、塩度)に依存する。これら地下水特性の手短な分析としては、IGEMで開発された水文地球化学プローブが適用可能である。

地下水及び河川水と海水の混合は、地下水及び河川水に含まれる粒子状物質の体積を引き起こす。従って、地下水及び河川水でのコロイド及び粒子状物質堆積物試料と海水試料の混合は望ましくない。

これら試料によって、汚染地域から運ばれた放射性核種のコロイド及び粒子状物質の海岸(地下水排出域)及び河口における体積状況を予測することが可能である。





ご静聴ありがとうございました！

プレゼンテーションの詳細について何か疑問が生じた場合は、Eメールにて当方にお問い合わせください。:

**malk@igem.ru**

