

# 地球研リーダー会議 (水Gのまとめ)

2009.01.29

熊本大・院 嶋田 純

# (1) プロジェクト開始時の仮説検証状況

若い地下水の年代分析法の確立 (**アジア初!**)

CFCs法

Kr-85法 採水法・分析法はほぼ確立!

対象都市の地下水頭変化データの収集

①関東、②BKK、③JAK ほぼ完了

人為変動に伴う誘発涵養量の評価 (関東では完了、BKK, JAKで検討中)

人為的地下水流動に残存する都市化情報 → 現在過剰揚水中のJakartaに期待 (2009調査)

## (2) 各班の連携

- 物質Gとの連携 (BKK, JAK, 大阪)
- 重力Gとの連携 (熊本での確認観測) (2009?)

## (3) 出版・発表準備状況

- Kr 抽出法 (中野・馬原・etc) 投稿済 Anal.Chem?
- 液シンによるKr測定法 (百島他) 依頼中
- 釜石鉦山地下水によるCFCs法、Kr法の適用 (嶋田他) 準備中
- BKKの地下水流動 (山中他) HP、BKKシンポジウム他2報程度
- 関東平野の地下水流動 (涵養域変化) (愛知他) IAH特集号他2報程度
- Jakarataの地下水流動 (利部他) WRR他2報程度

# CFC and $^{85}\text{Kr}$ for modern groundwater age tracer

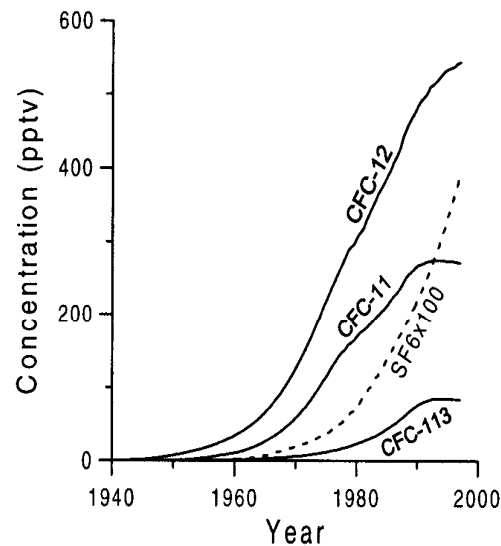


Figure 15.1 Atmospheric mixing ratios of CFC-11, CFC-12, CFC-113, and  $\text{SF}_6$  in North American air.

Used as refrigeration and air conditioning or spray-gas until 1990

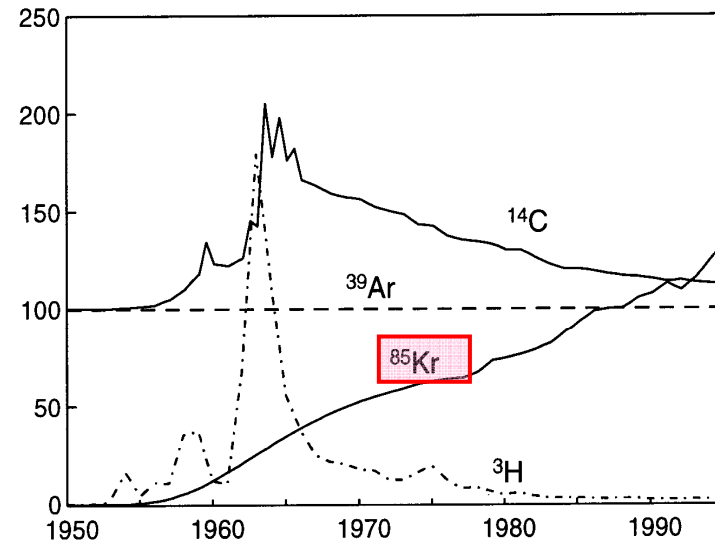
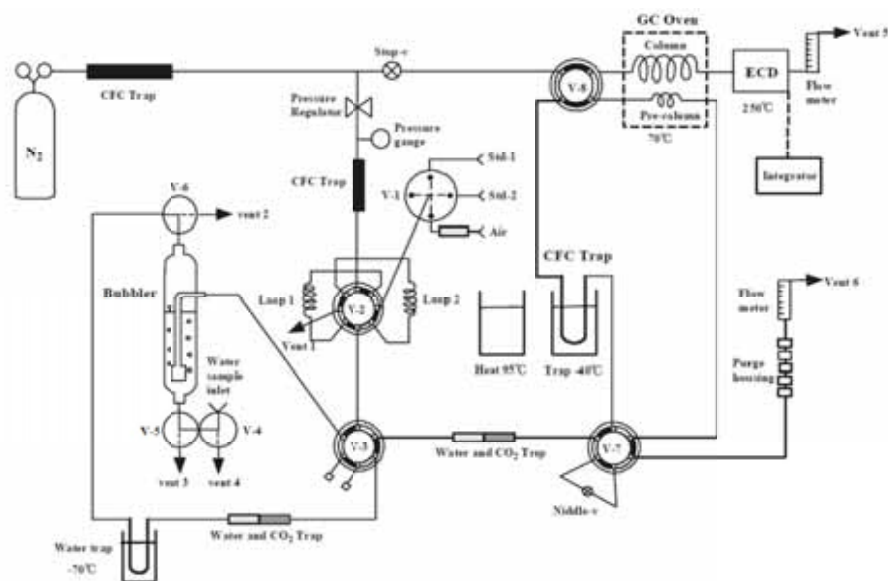


Figure 12.1  $^{85}\text{Kr}$  activity of tropospheric air between 1950 and 1995 compared to those of  $^{39}\text{Ar}$  and  $^{14}\text{C}$ , and to  $^3\text{H}$  data representative for precipitation in central Switzerland. The vertical scale factors are: 100 = 1 Bq m<sup>-3</sup> of air for  $^{85}\text{Kr}$ , 100 % modern for  $^{39}\text{Ar}$  (equal to  $1.67 \times 10^{-2}$  Bq m<sup>-3</sup> of air), 100 pmC for  $^{14}\text{C}$ , and 1000 TU for  $^3\text{H}$ .

Kr-85: half life 0.7yr

Kr-85 : origin Nuclear power plant, reprocessing plant

# CFC分析ライン(筑波大・熊大)



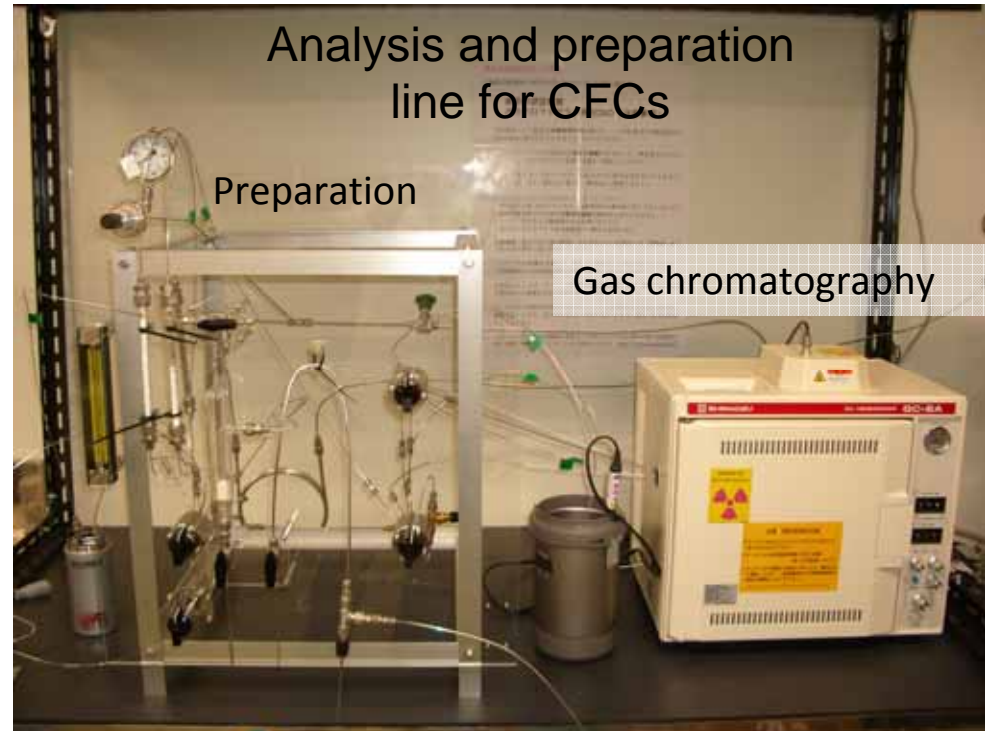
# Sampling and analysis



Tube pump



Benet pump



Analysis and preparation line for CFCs

Preparation

Gas chromatography

# CFCs in the atmosphere

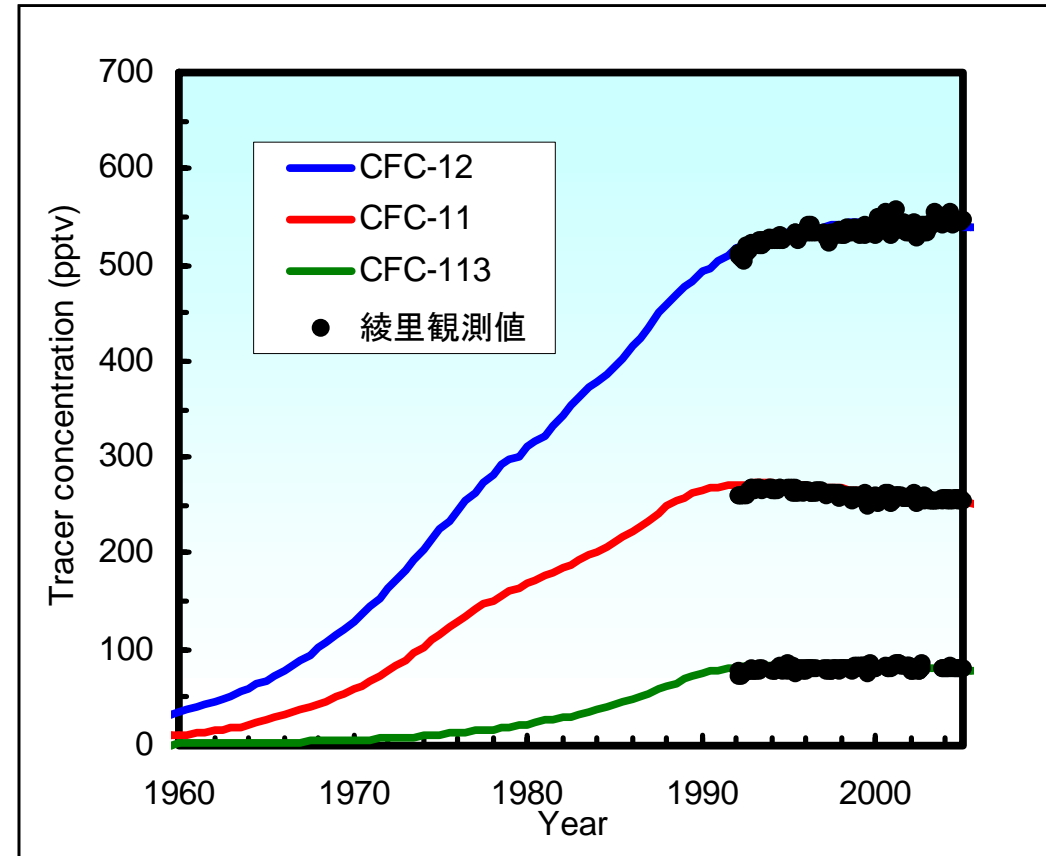
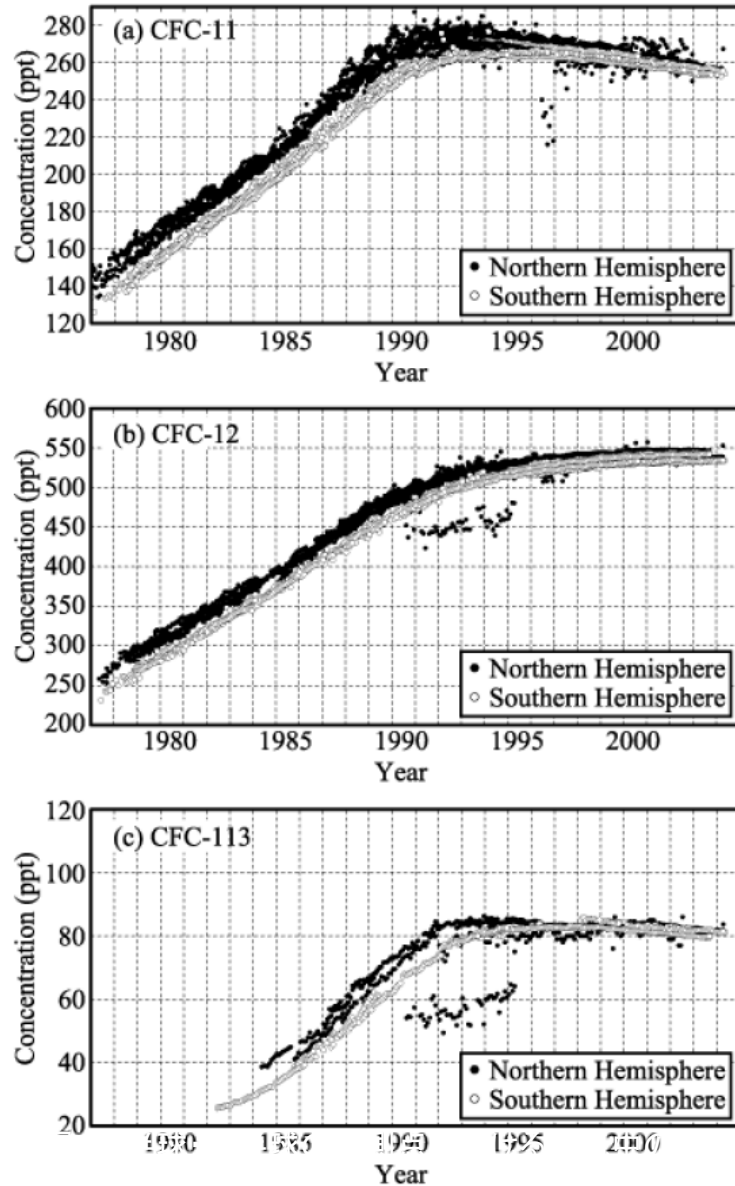
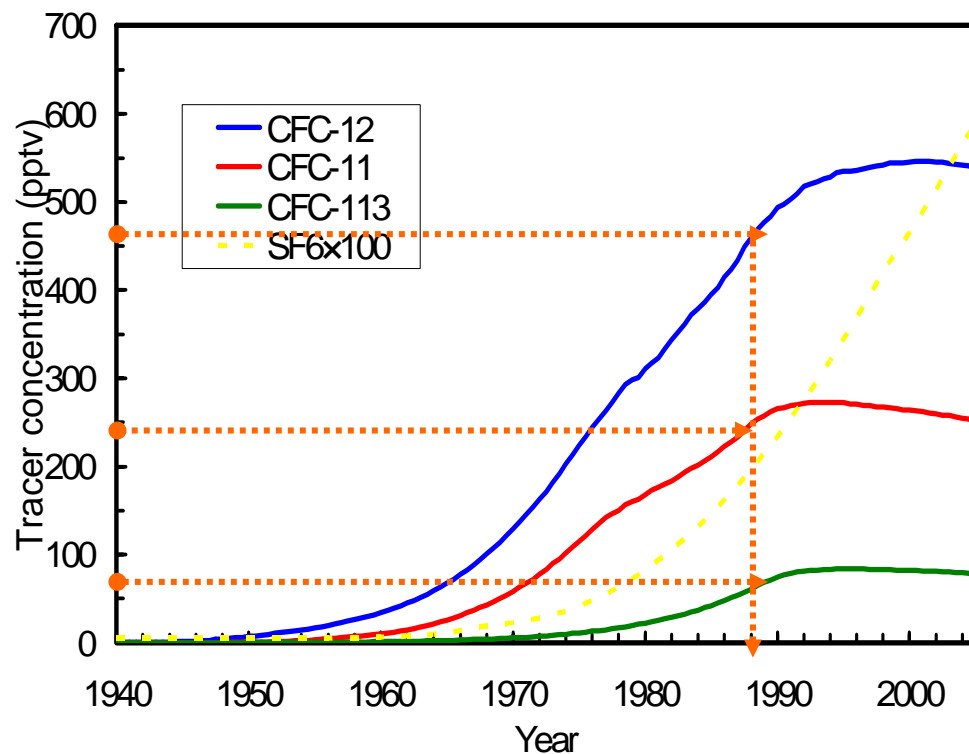


図. 大気中のCFC濃度の推移と綾里における観測値  
(USGSおよび気象庁, HP公開データ)

# 滞留時間の推定方法

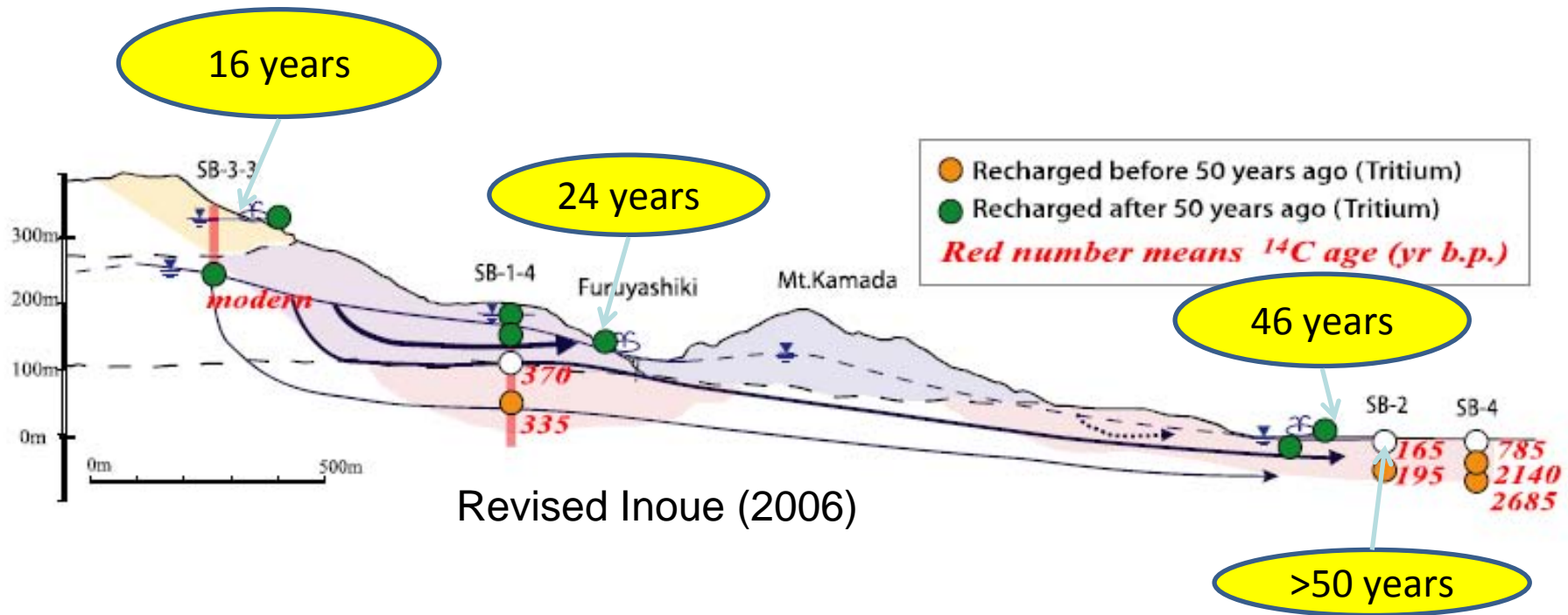
- CFC-12 (dichlorodifluoromethane,  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ )
- CFC-11 (trichlorofluoromethane,  $\text{CCl}_3\text{F}$ )
- CFC-113 (trichlorotrifluoroethane,  $\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$ )



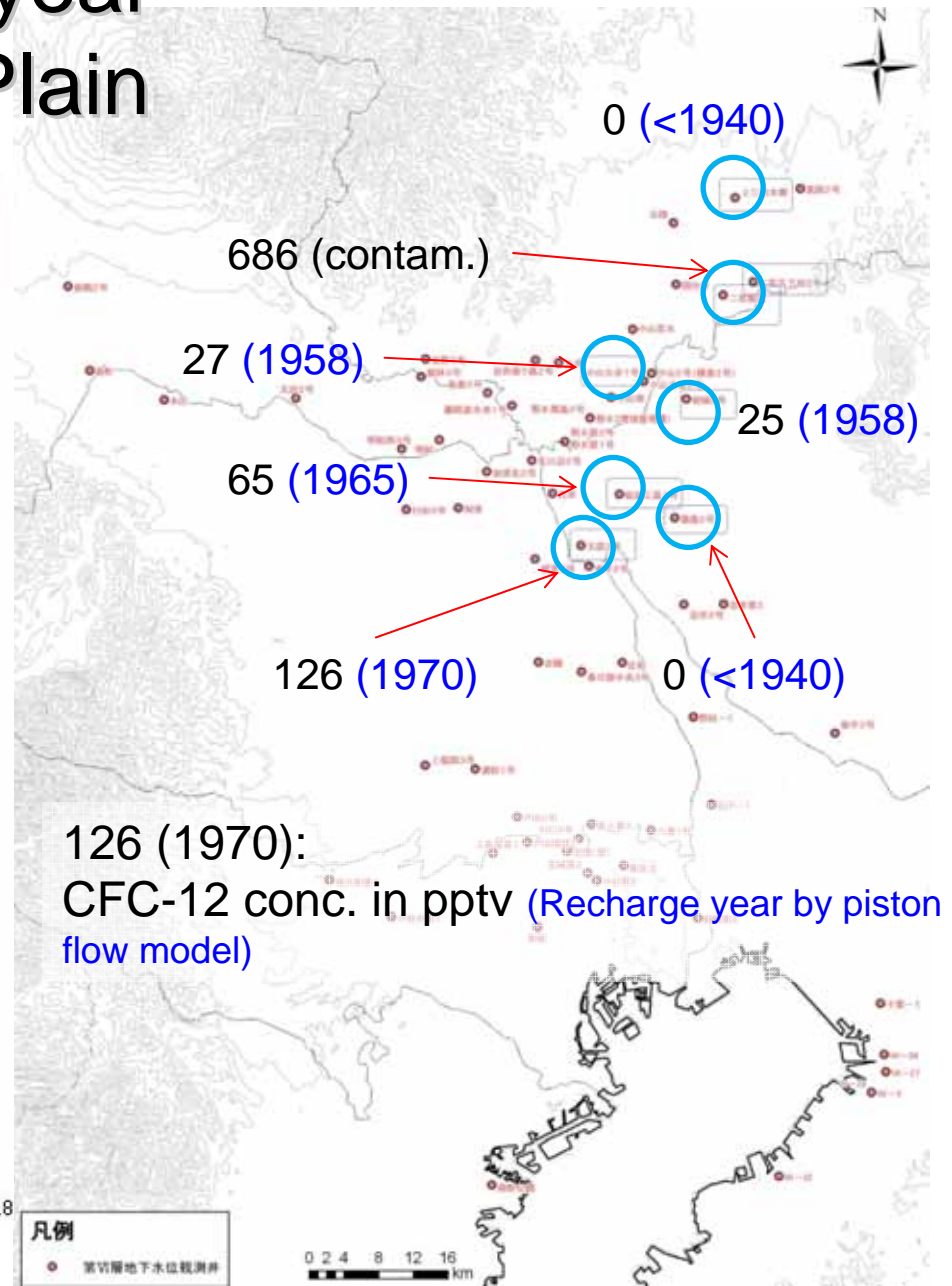
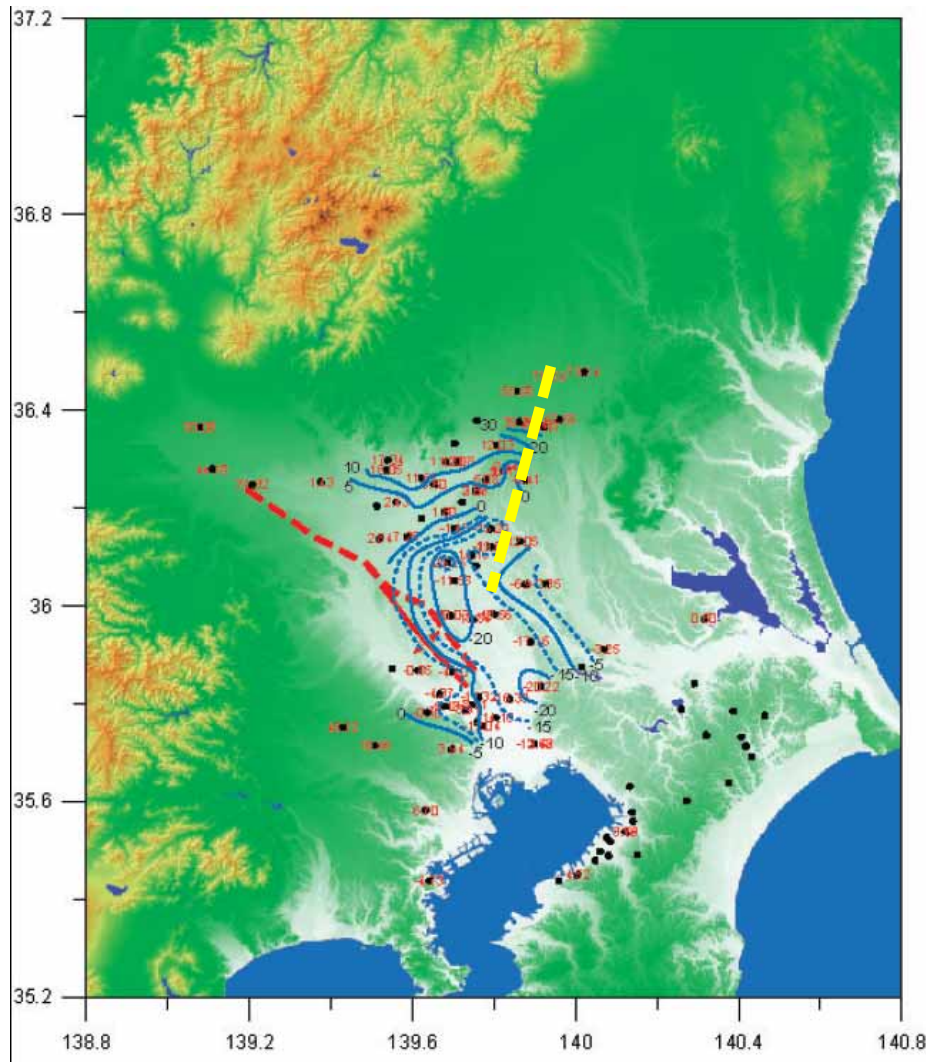
- ヘンリーの法則をもとに、水サンプルのCFCs濃度から、涵養時の大気CFCs濃度を推定する
- 推定された大気CFCs濃度から、涵養年代を求める

図. 大気中のCFC濃度の推移(USGS, HP公開データ)

# Residence time of GW and spring water using CFCs in Shiranui, Kumamoto, Japan



# CFC-12 and recharge year of aquifer VI in Kanto Plain



# 釜石 <採水地点>

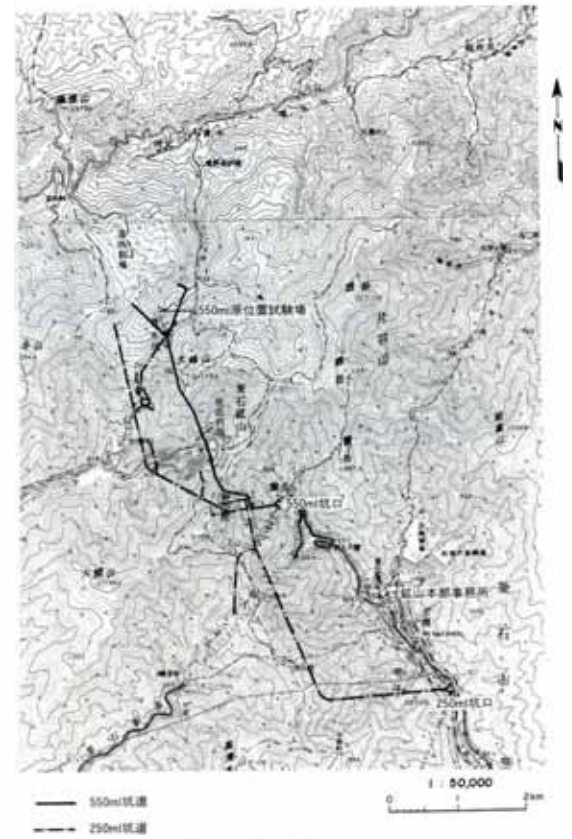
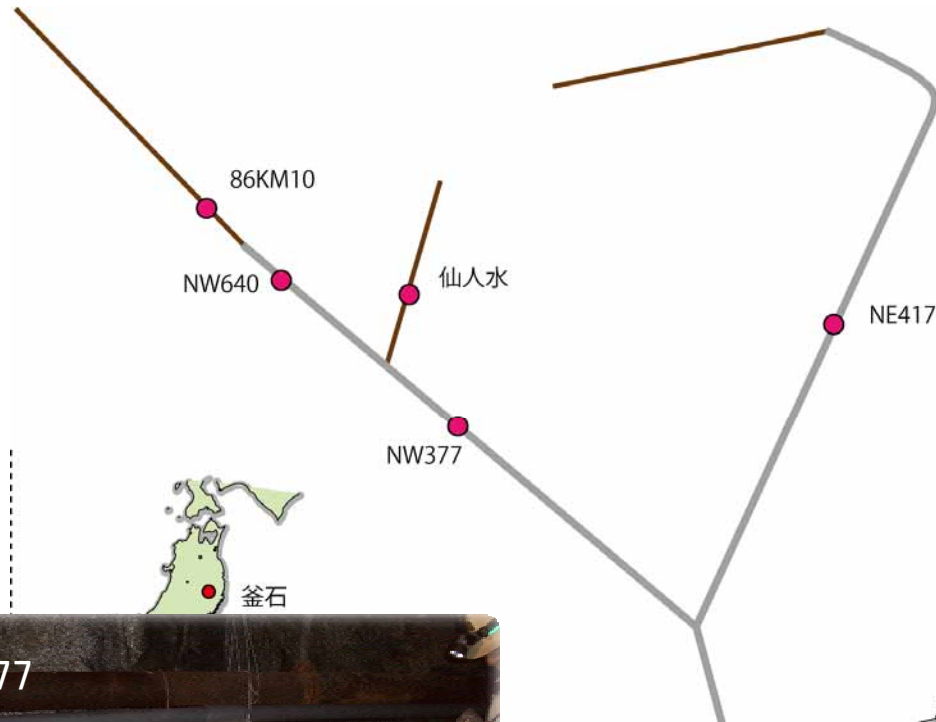
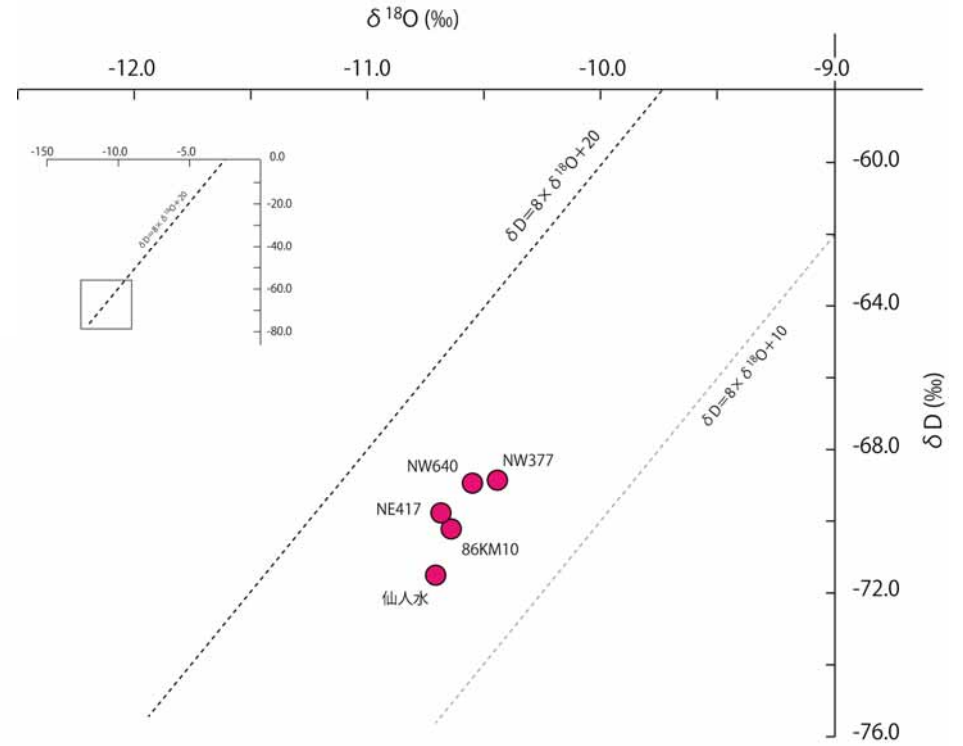
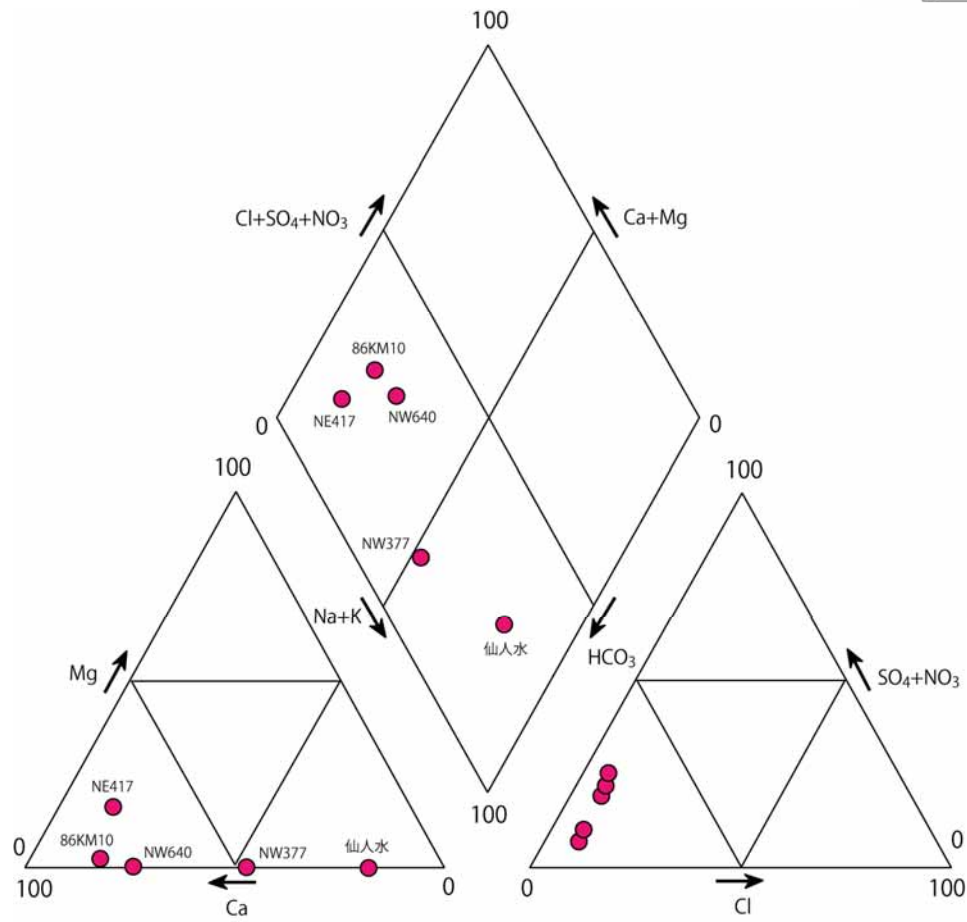


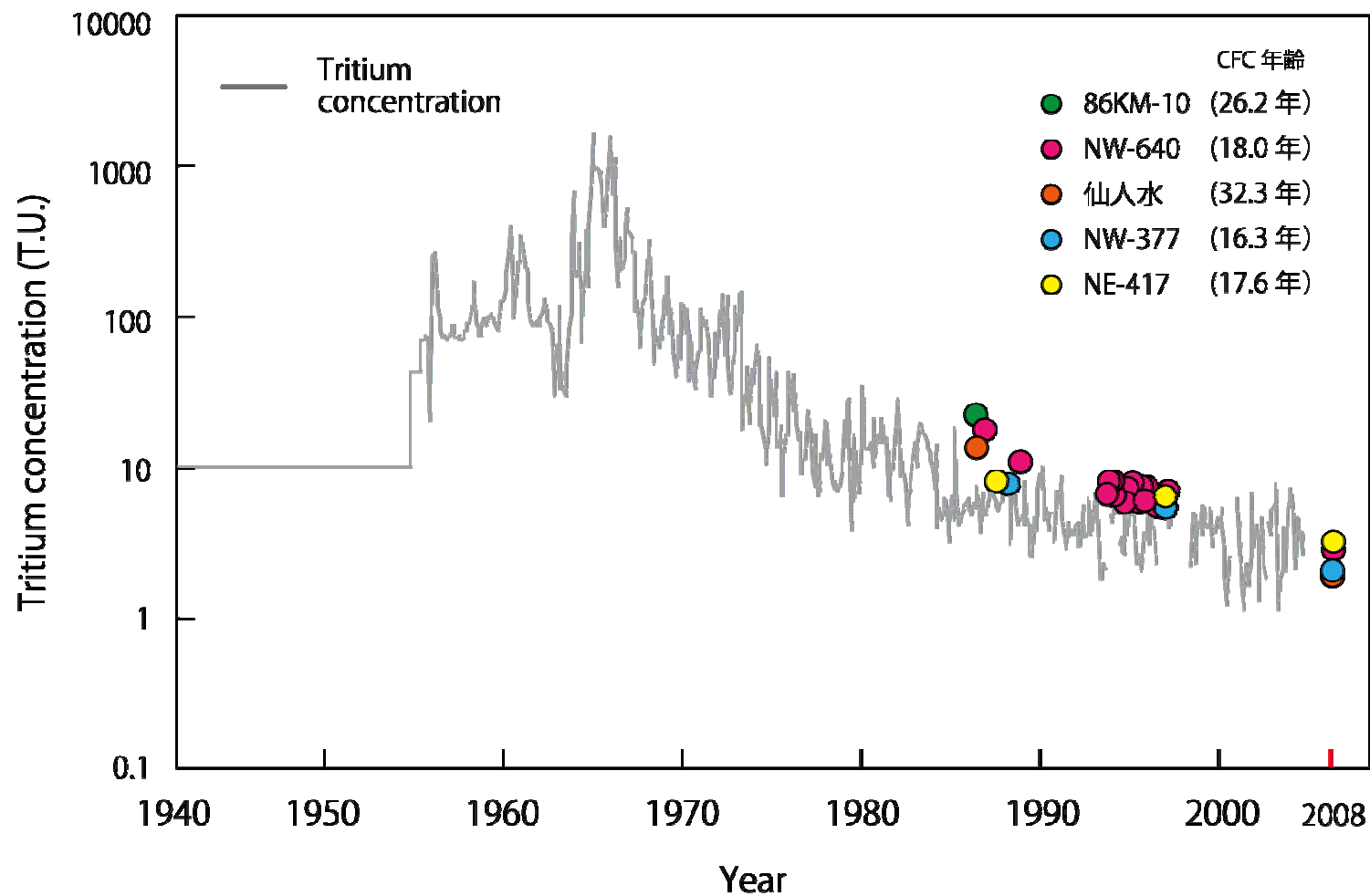
図1.3.2 釜石乱山周辺地形図



# 釜石 <水質>

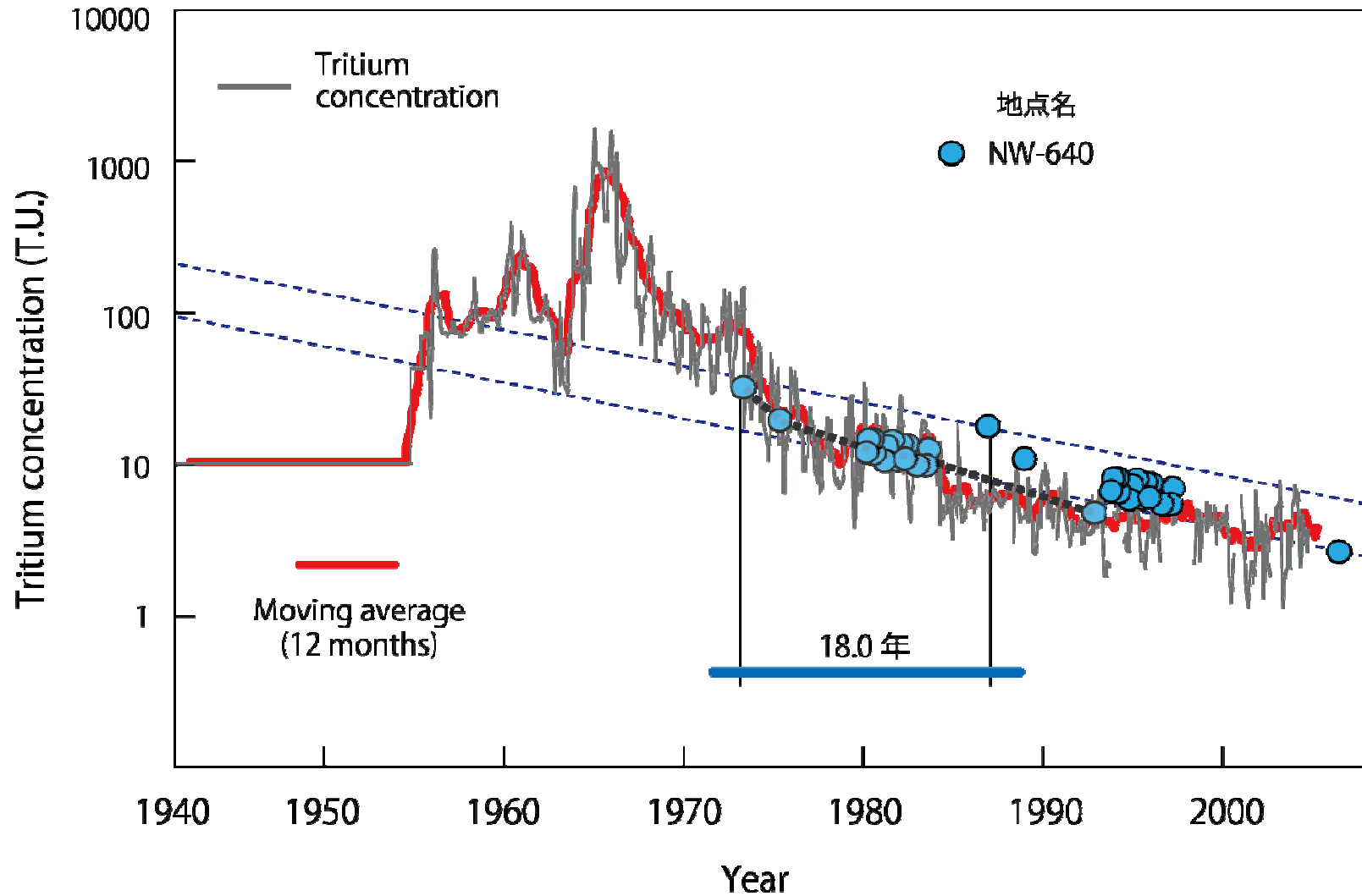


# トリチウム濃度（全測定分）



# CFCs年齢の妥当性の検証～トリチウム濃度との比較～

(例:釜石)



# LUMPED model の 適応

N.N. Ozyurt & C.S. Bayari (2003):  
LUMPED: a visual basic code of  
lumped-parameter models  
for mean residence time analyses  
of groundwater systems.  
Computers Geosciences, 29, 79-90.

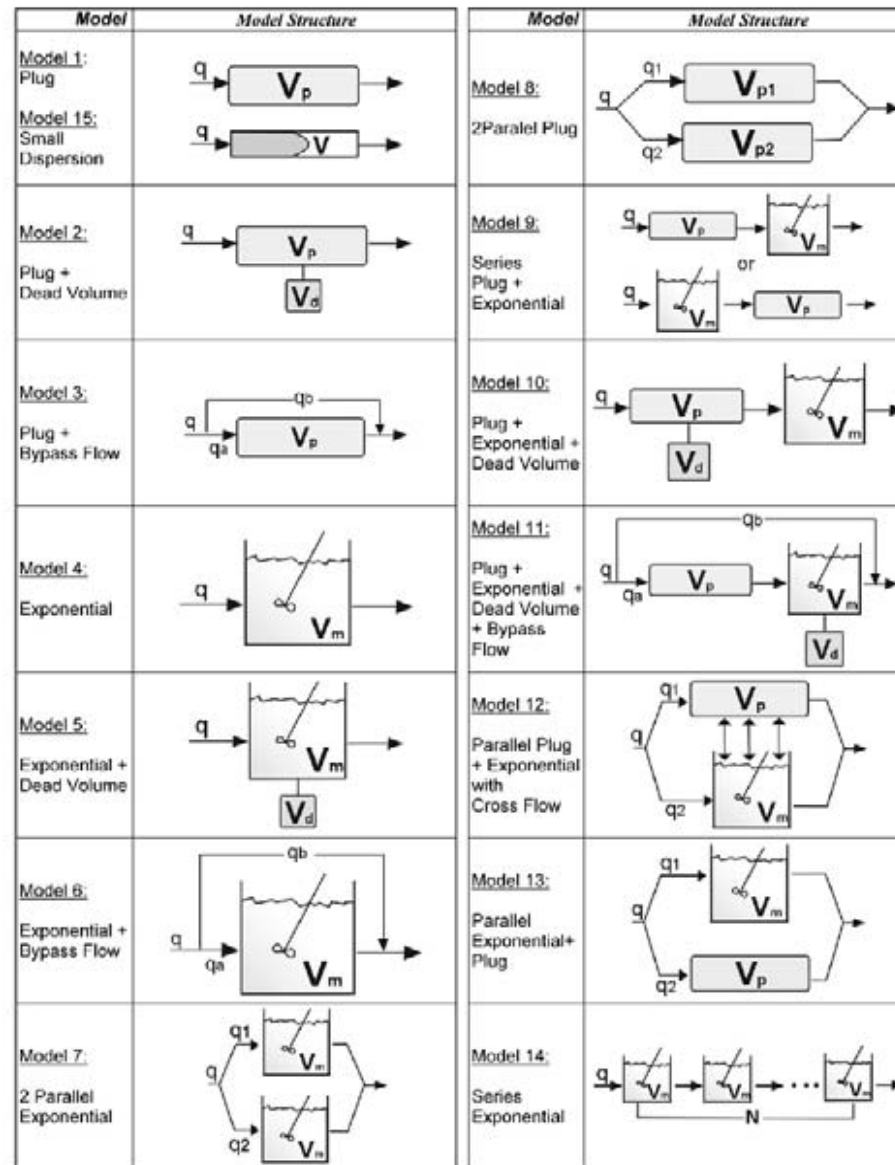


Fig. 1. Structures of models in LUMPED (modified after Levenspiel, 1999).

## Lumpedモデル計算のための設定条件(2)

### 【必要な設定条件】

#### 貯留量( $V_m$ )

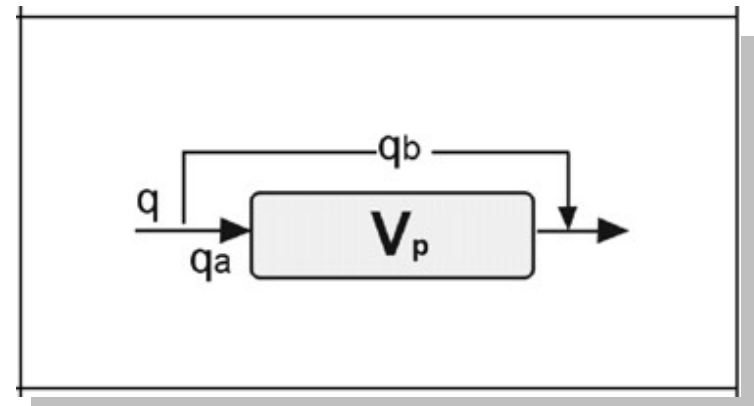
→流域面積にかぶり量を考慮し、間隙率を0.05として設定

#### 流入する成分( $q_a$ )

→流域面積に均一に年降水量(釜石)が降り、そのうち60%が蒸発により失われ、残りがすべて流入すると仮定

#### 早く流出する成分( $q_b$ )

→流入する成分( $q_a$ )に加え、ある程度の量が貯留体を早く通過し流出すると仮定

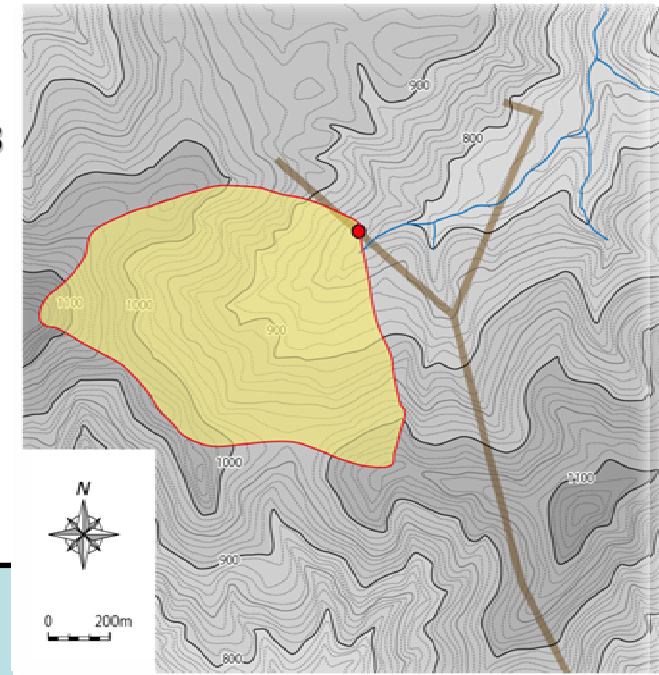


## 【設定条件】

貯留量(Vm): 11,730,000m<sup>3</sup>

流入する成分(qa): 400,000m<sup>3</sup>

早く流出する成分(qb): 50,000m<sup>3</sup>



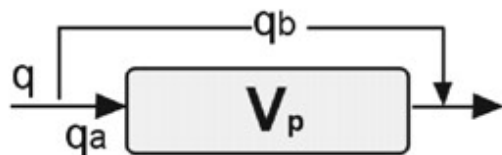
### 《設定条件:NW-640地点》

- ✓ 用いるトレーサー: トリチウム
- ✓ 貯留体の量(Vm): 10500~12000の間を500 stepで計算
- ✓ 流入する成分(qa): 350~550の間を10 stepで計算
- ✓ 早く流出する成分(qb): 20~130の間を20 stepで計算

# Lumpedモデルによる計算結果(トリチウム)

@NW-640

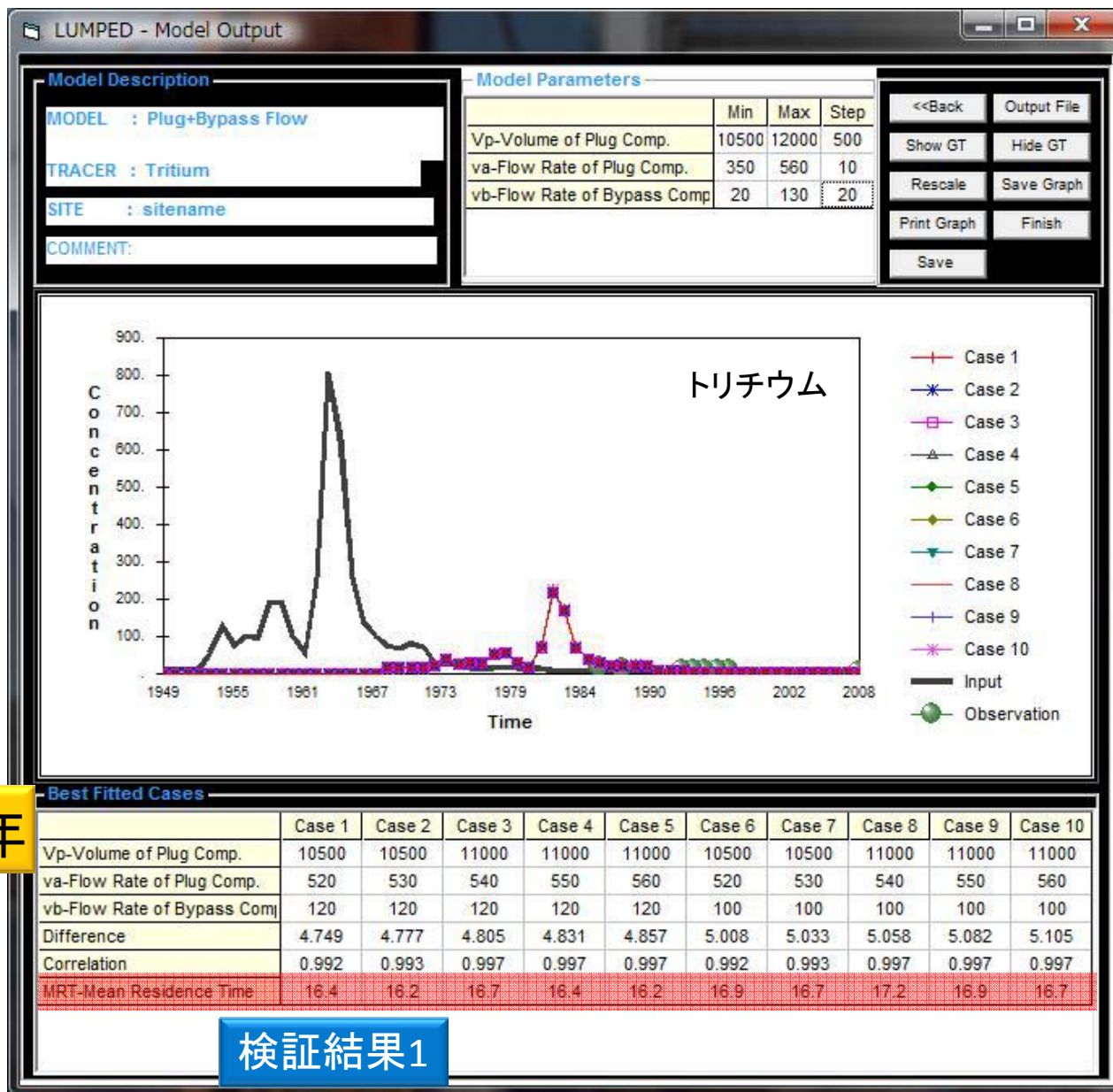
最もFittingの良かったのは



$V_m: 10500$   
 $q_a: 520$   
 $q_b: 120$

平均滞留時間: 16.4年

平均滞留時間



検証結果1

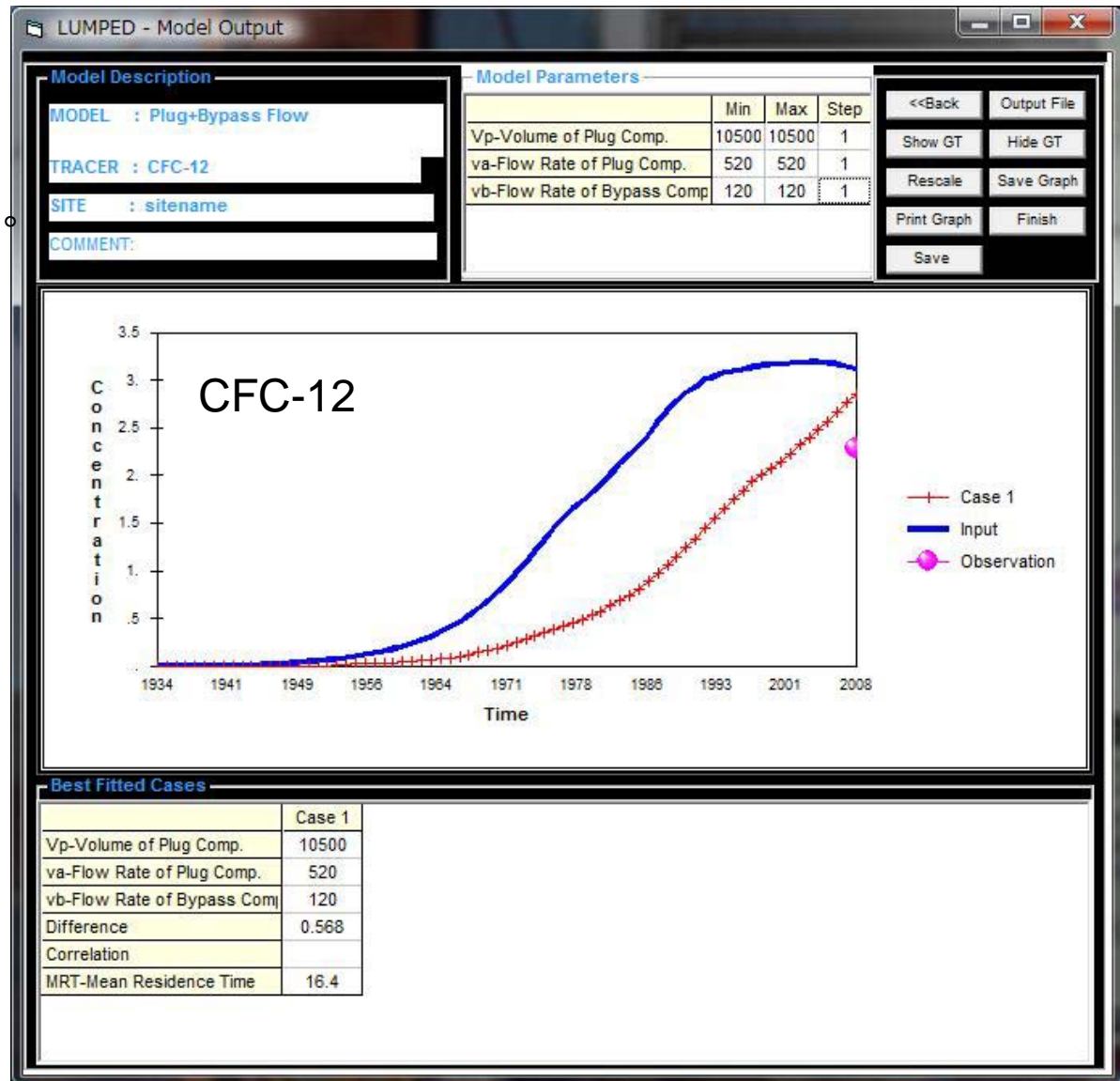
# Lumpedモデルによる計算結果 (CFC-12)

@NW-640

トリチウムによる各パラメーターを  
入力してCFC-12で計算したところ、  
実測値よりもやや高い濃度が示された。

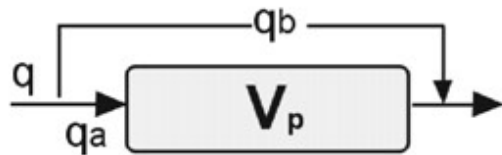


CFC-11,113等での検討と、  
2009年2月に再測定をするので  
その結果待ち



# Lumpedモデルによる計算結果(トリチウム)

最もFittingの良かったのは

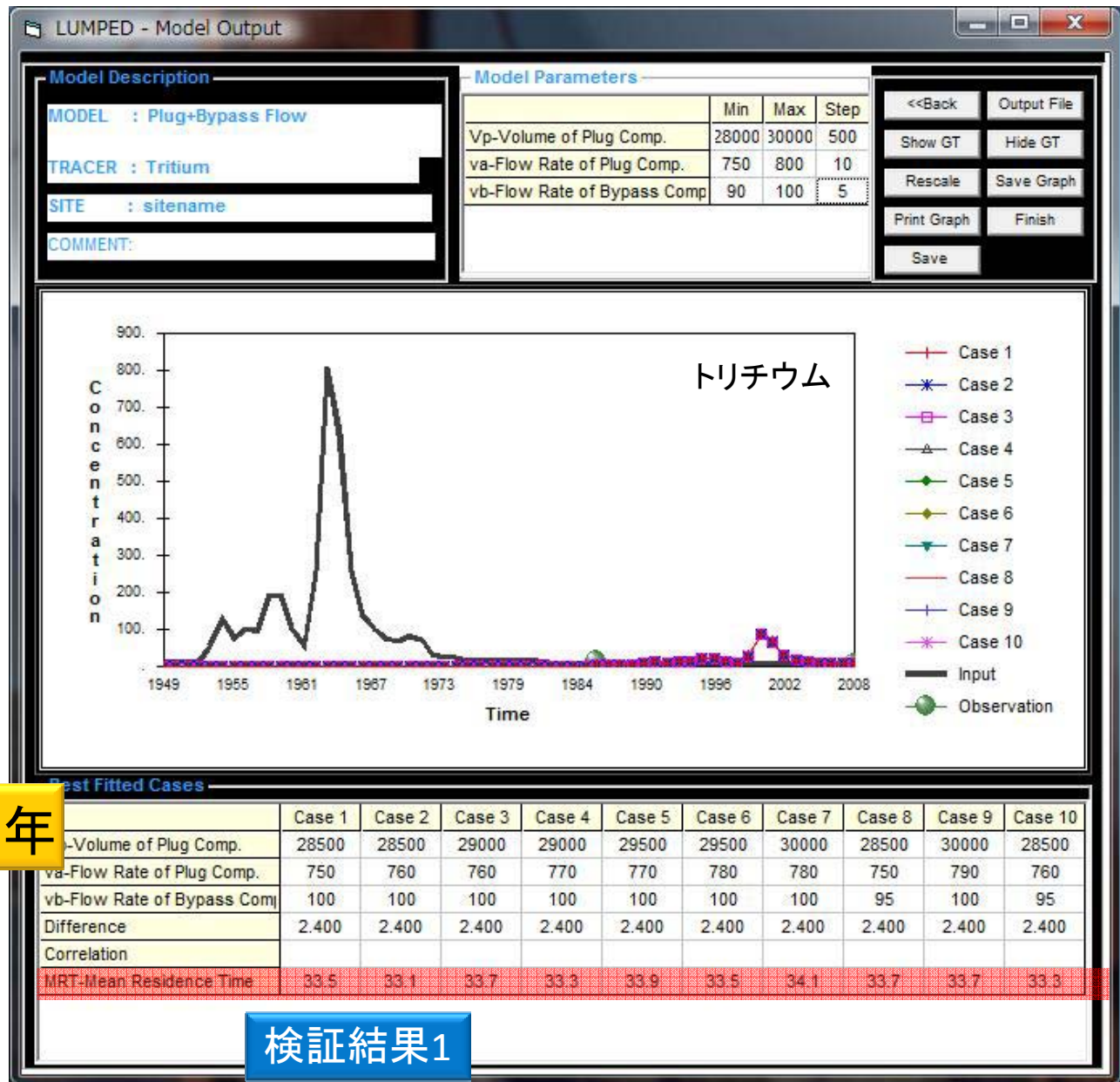


$V_m: 28500$   
 $q_a: 750$   
 $q_b: 100$

平均滞留時間: 33.5年

平均滞留時間

検証結果1

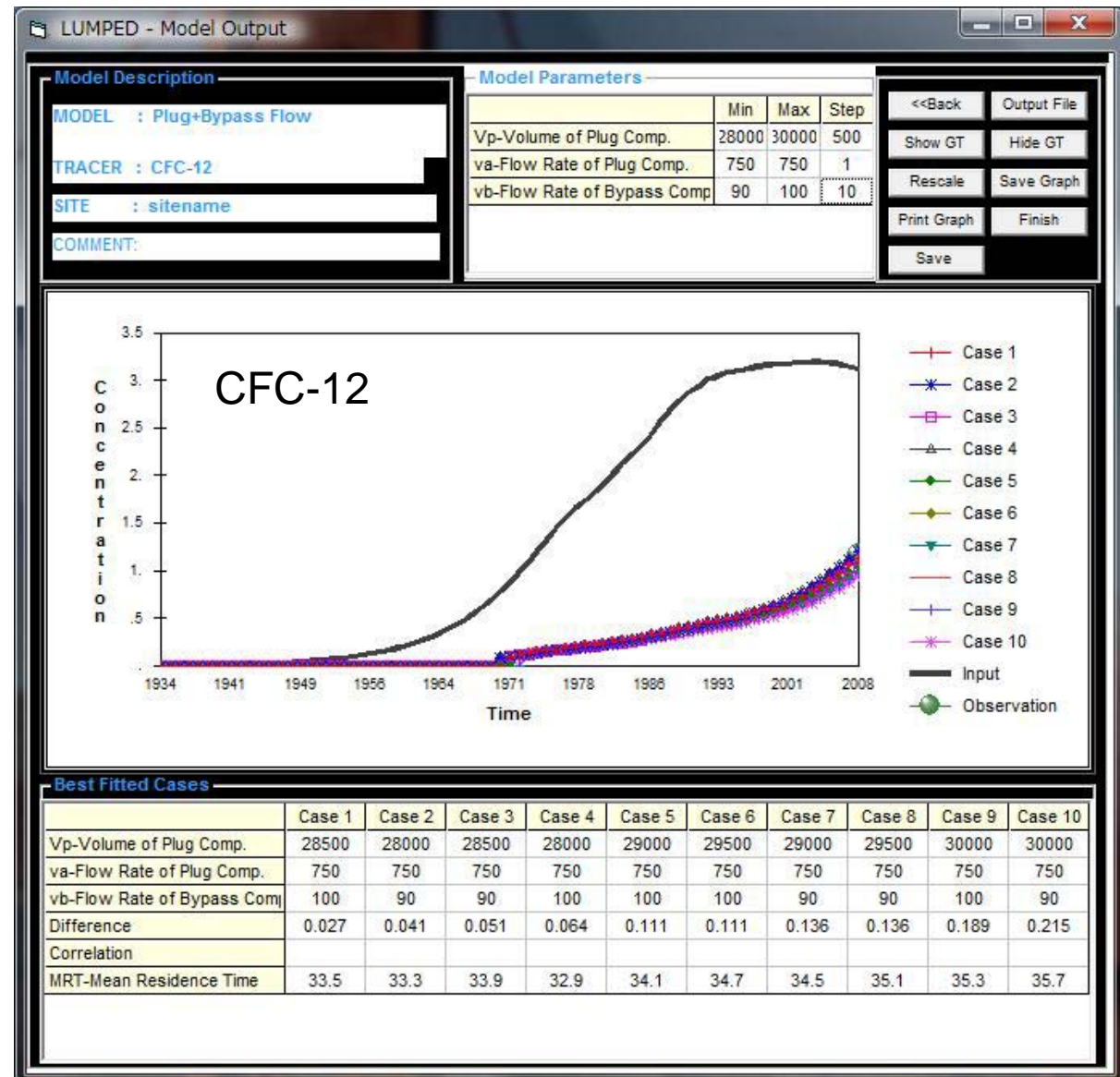


# Lumpedモデルによる計算結果(CFC-12)

トリチウムによる各パラメーターを入力してCFC-12で計算したところ、ほぼ実測値を通るモデル結果が示された。



トリチウムによって得られた流動状況がCFC-12によっても整合的であることが示された。



# 釜石 <要点>

## <水質>

Ca-HCO<sub>3</sub>タイプとNa-HCO<sub>3</sub>タイプの2タイプがみられ、採水深度の相対的に深い仙人水が、より水質進化を経た水質組成を示した。

## <安定同位体>

深部で採水した地下水ほど同位体比が軽く高い涵養成分が卓越している。

## <トリチウム>

今回採水した分のトリチウム測定は1本であるが、過去に測定された濃度から得られた減衰曲線上に乗っており、ピストン流モデルによる解釈が可能。

## <CFC>

滞留時間は地点間で有意な差がみられた(16.3~32.3年)。

最も長い滞留時間を示した試料は仙人水であった。

## <LUMPEDモデルによる滞留時間解析>

トリチウム濃度変化に一致するようなピストンモデル(一部バイパス流あり)をもとに滞留時間を算定すると共に、同一モデルを用いてフロン濃度による解析を試みたところ、実測濃度をほぼ再現しており、**亀裂系岩盤帯水層モデルの妥当性が評価されるとともに、CFCs濃度の年代指標としての有効性も検証された。**

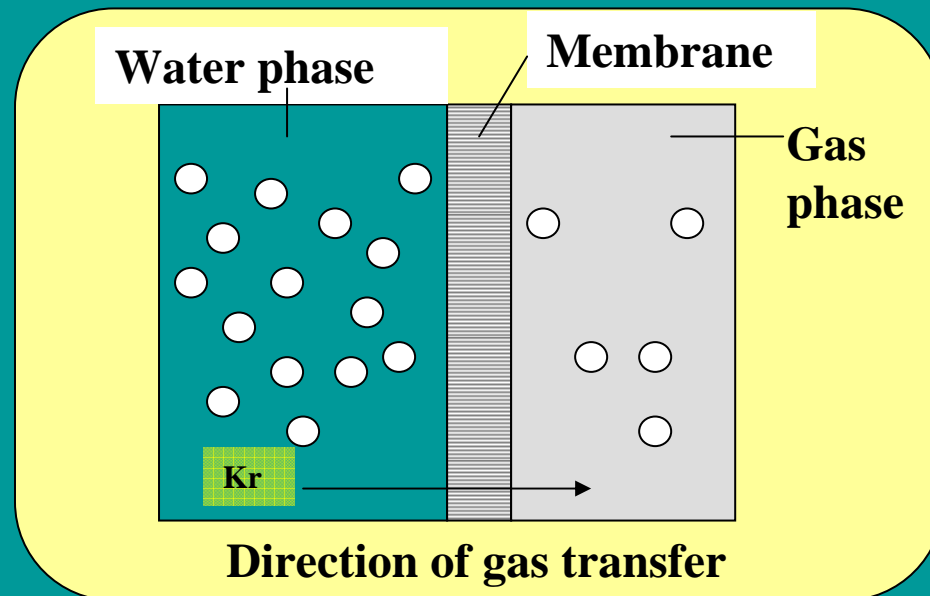
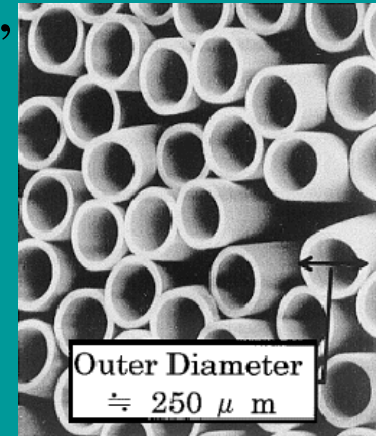
→Kr法でも同様に滞留時間評価を行う計画(2009.02末から04月)

# Membrane gas extraction system

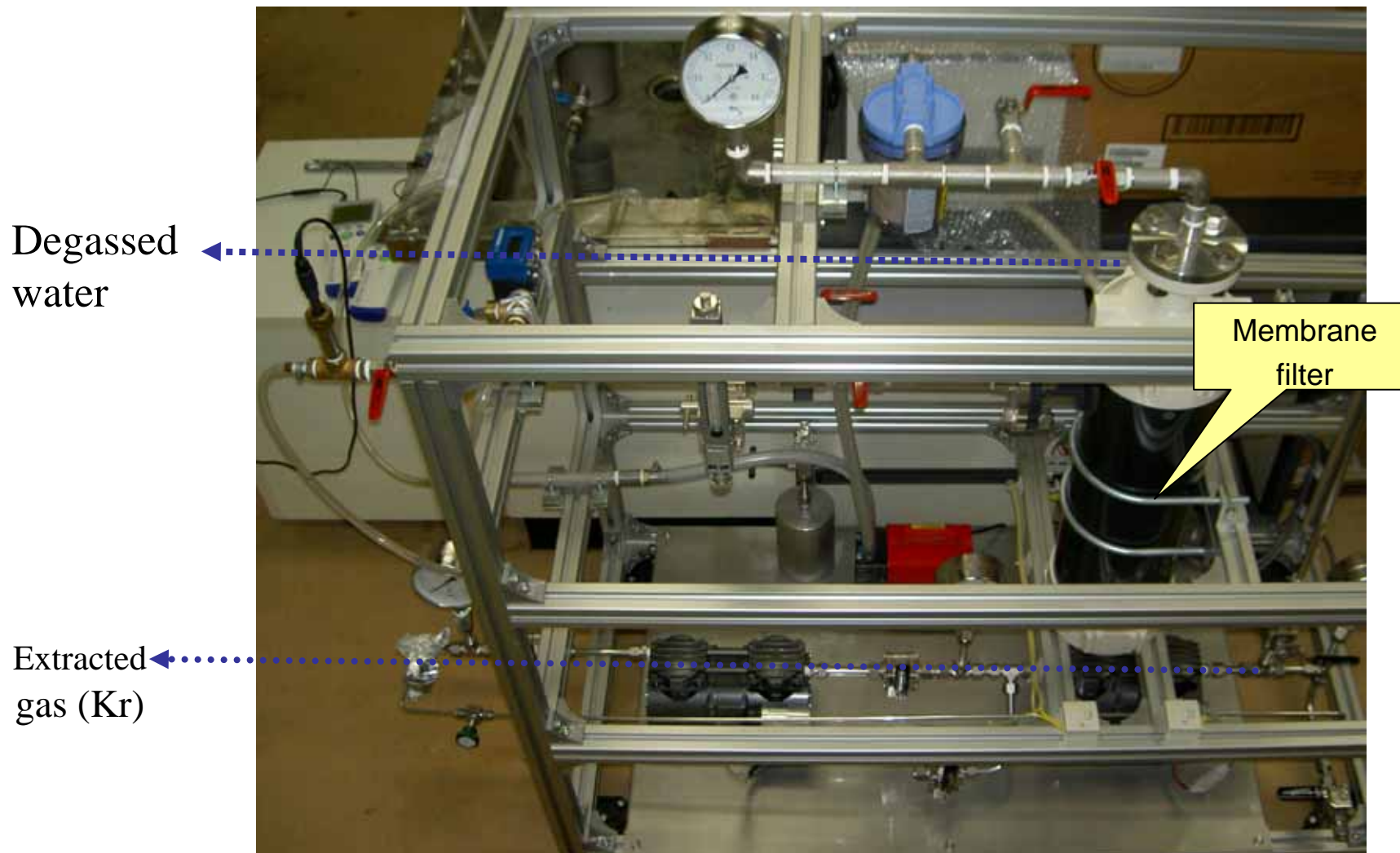
中空系脱気モジュール (SEPAREL EF-040P,  
Dainippon Ink and Chemical Co. Ltd.)

外径寸法: 180 × 673 mm

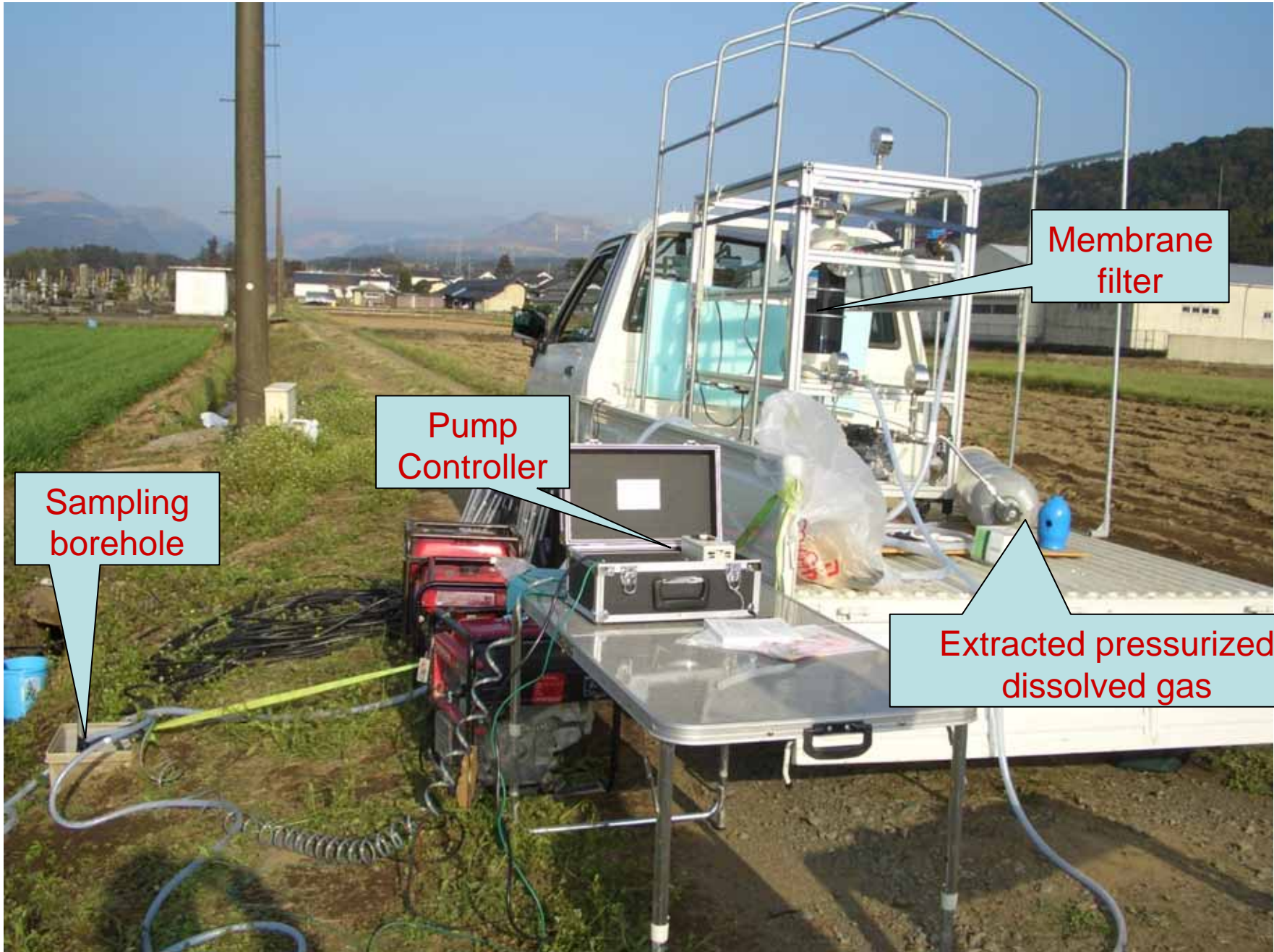
灌流方式: 外部灌流



# Kr extraction system



Flow velocity: **24 l/min** 99% of dissolved Kr has recovered  
**10 hour** continuous water flow can operate 10,000L of water  
which include necessary amount of Kr gas for LSC counting



Sampling borehole

Pump Controller

Membrane filter

Extracted pressurized dissolved gas

DO content to check the efficiency of gas extraction through membrane filter



# Kr抽出装置改良

- 外部還流タイプの中空糸膜モジュール(株大日本インキ製EF-040P)を装着したプロトタイプの溶存ガス抽出装置の小型化を図った配管を短くして、全体幅を従来の半分の長さとした。モジュールと真空ポンプ・コンプレッサー類は性能の関係から軽量化ができなかったため、全重量は、100kgと軽減にはいたらなかった。



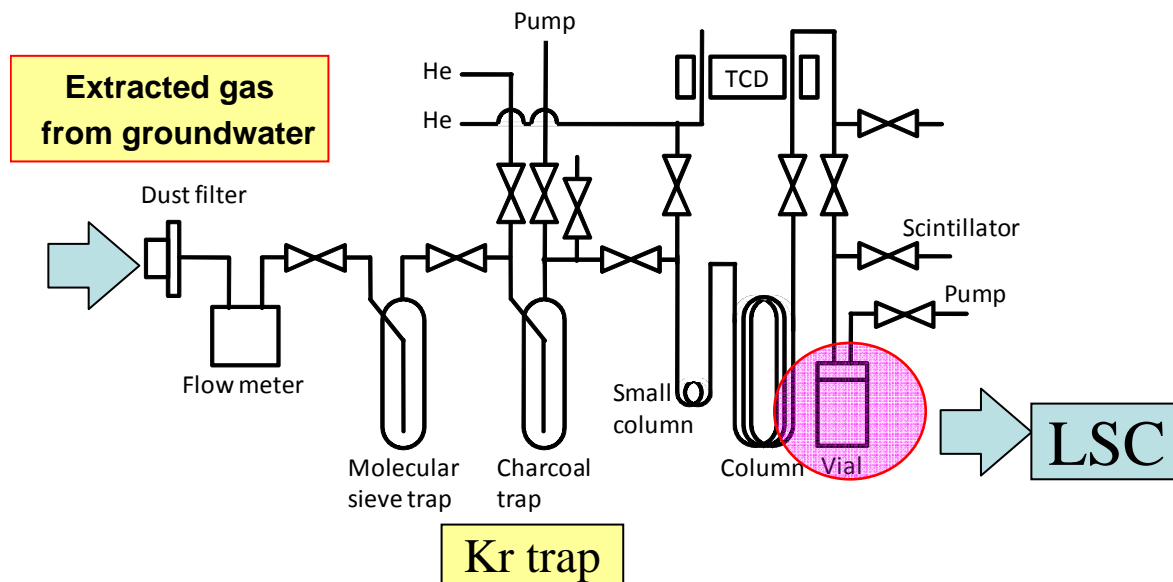
# 台湾での現位置Kr抽出実験( I )

- 2008年9月3日、9月4日台湾淡水河流域の台北Basin内の涵養域(省民)と流出域(三重)にある地下水観測井戸から、溶存酸素濃度を抽出率インディケーターとして計測しつつ地下水を揚水し溶存ガスの抽出を行った。

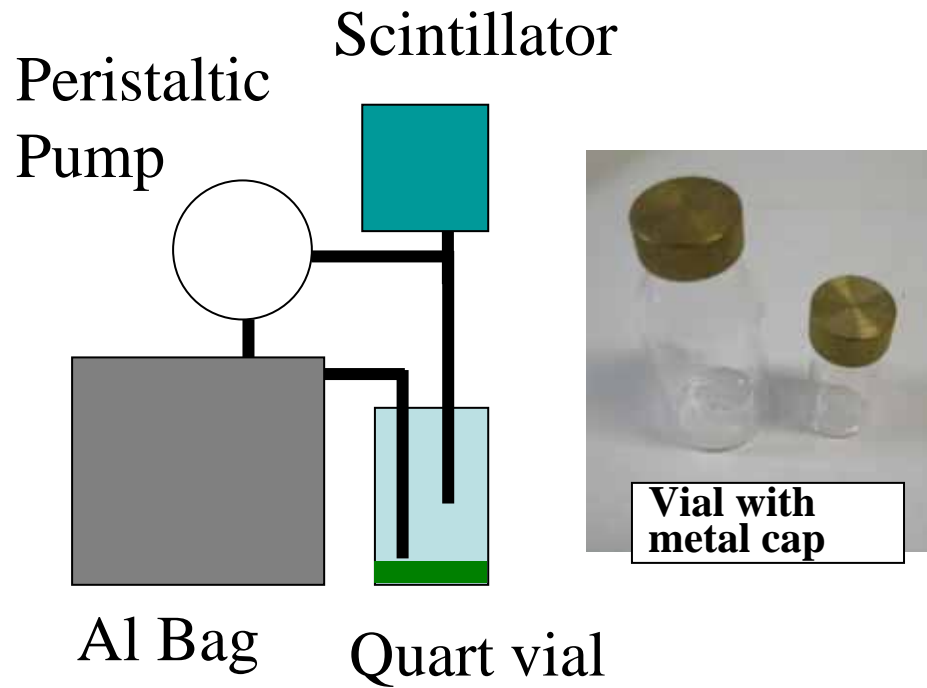


## (1) Separation and purification of Kr

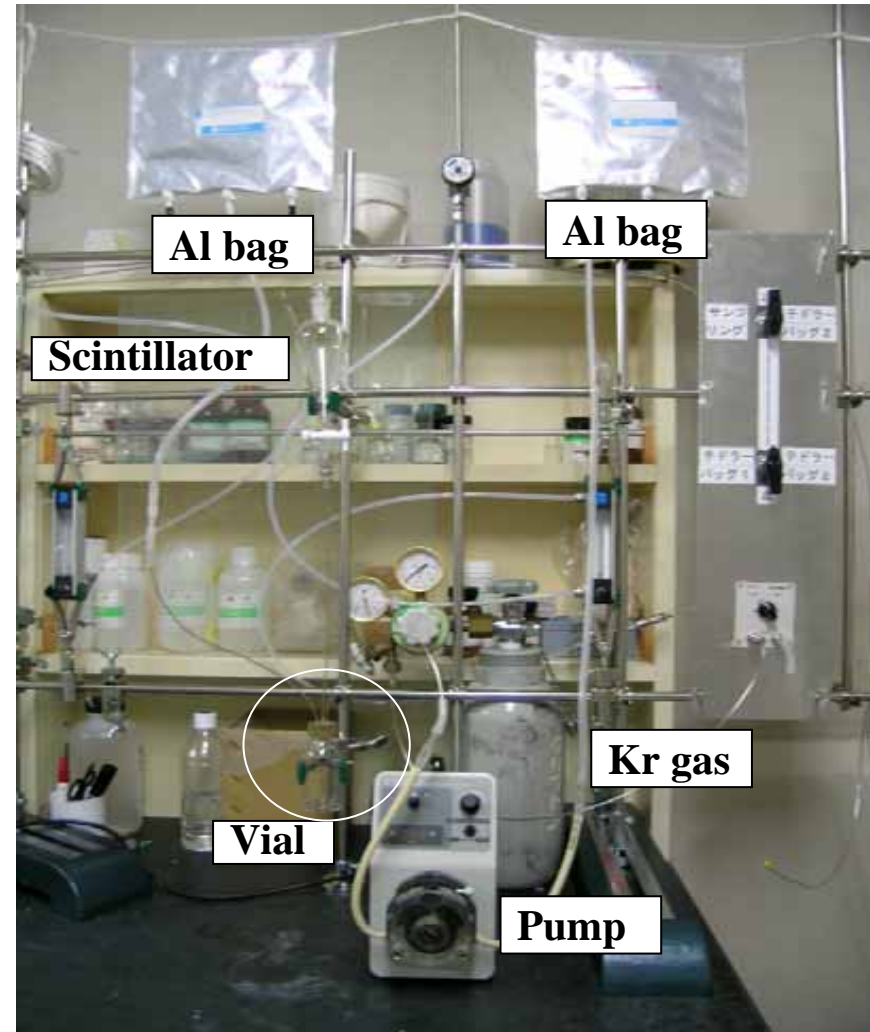
1. Kr is collected in charcoal column at  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$
2. Separation of  $\text{N}_2$  and  $\text{O}_2$  at  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  with He flow
3. Purification of Kr with gas chromatography



### 3. Preparation of counting sample of Kr-85



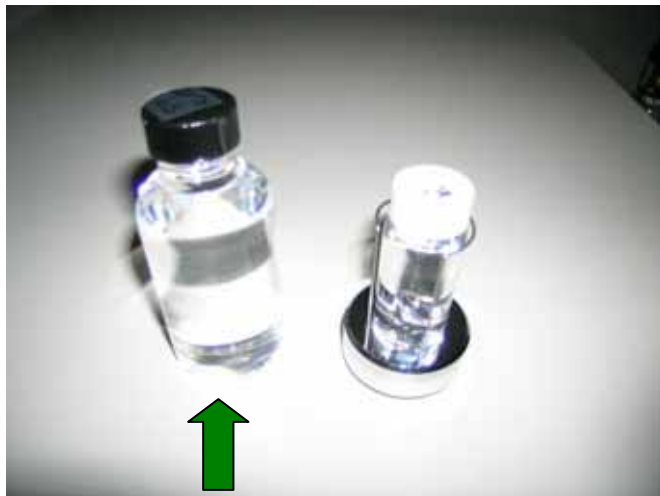
(Kr: boiling point  $-159.2^{\circ}\text{C}$ )



# 低濃度Kr-85の $\beta$ 線測定には

低バックグラウンド液体シンチレーション  
カウンター(LSC)

特注の石英バイアルに  
Krを閉じ込めて測定

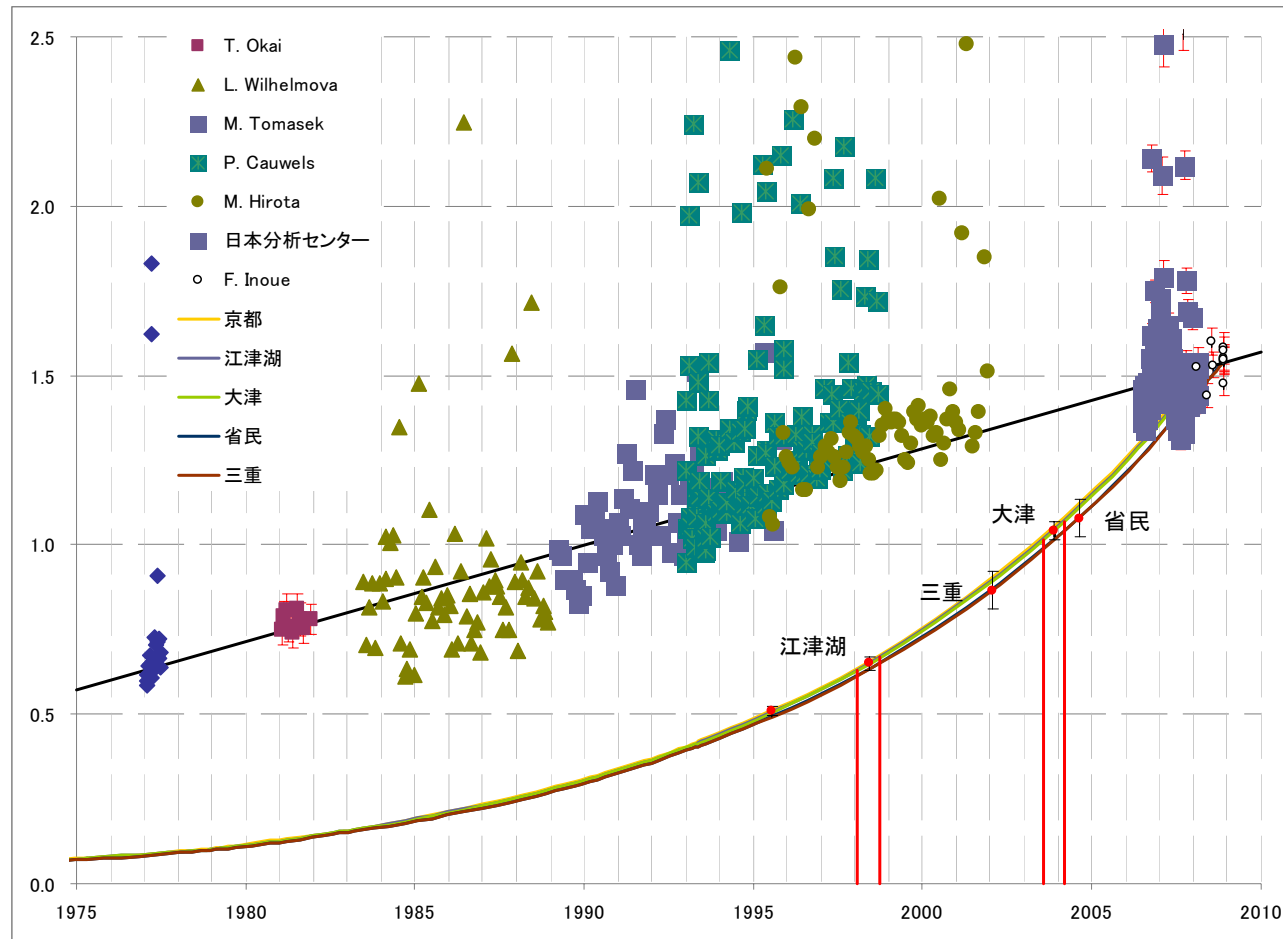


特注石英バイアル





# Kr 年代測定結果(熊本・台北)



熊本地域涵養域:大津(4年)、流出域:江津湖(10年)

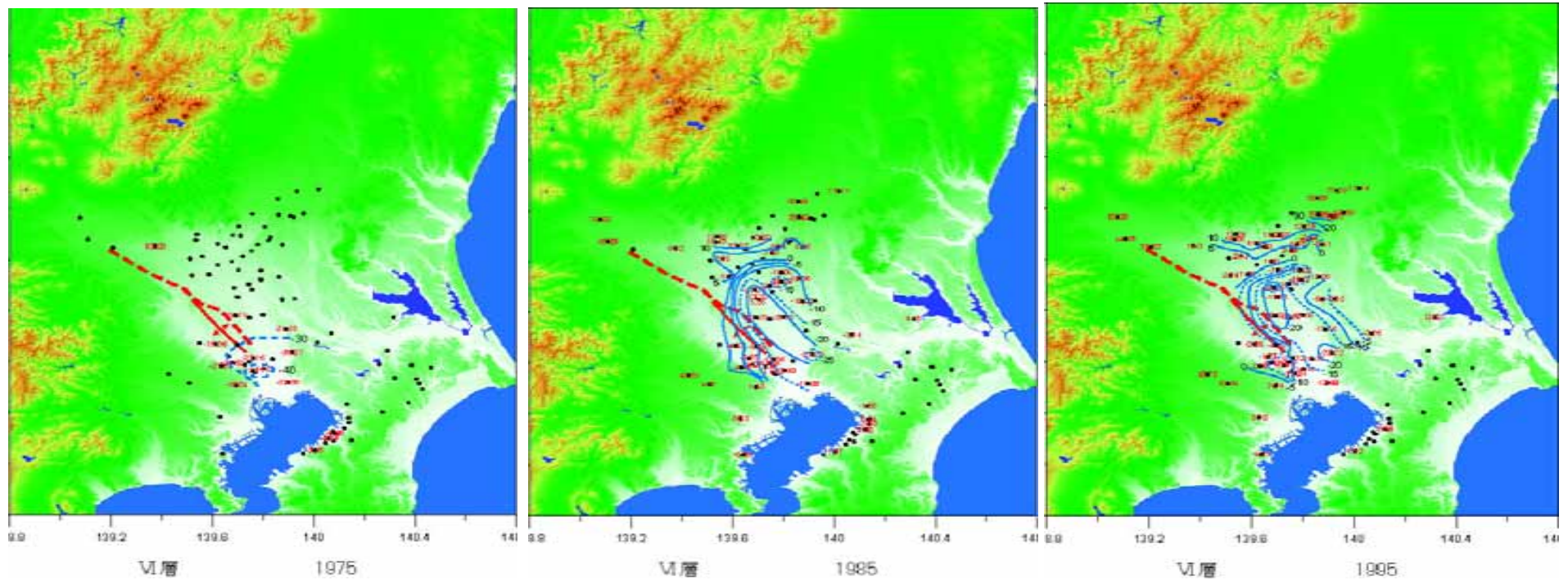
台湾盆地涵養域:省民(3.5年)、流出域:三重(6.5年) 思ったよりも若い!

(いずれも $^3\text{H}$ (低濃度),CFCs(都市汚染)は測定不能)→測定法検証の必要性(釜石鉱山)

# 結論： $^{85}\text{Kr}$ 測定地下水年代測定

- $^{85}\text{Kr}$ 測定では、若い地下水の年代が決定できる
- 地下における地下水は、年代の異なる地下水の混合で形成されていると考える。非常に若い地下水(循環性の高い地下水)と非常に古い地下水(滞留性の高い地下水)の混合を仮定すると、若い地下水の滞留時間を決定できる(メリット)
  - 流動系が比較的単純で $^3\text{H}$ ,CFCs年代測定法での検証ができている釜石鉱山での確認測定(2009.02.23-27)実施予定。
  - 北関東地域でのKr年代調査の実施(2009.03.02-07)

# Groundwater potential during last 30years at Kanto Plain, Japan (aquifer VI)



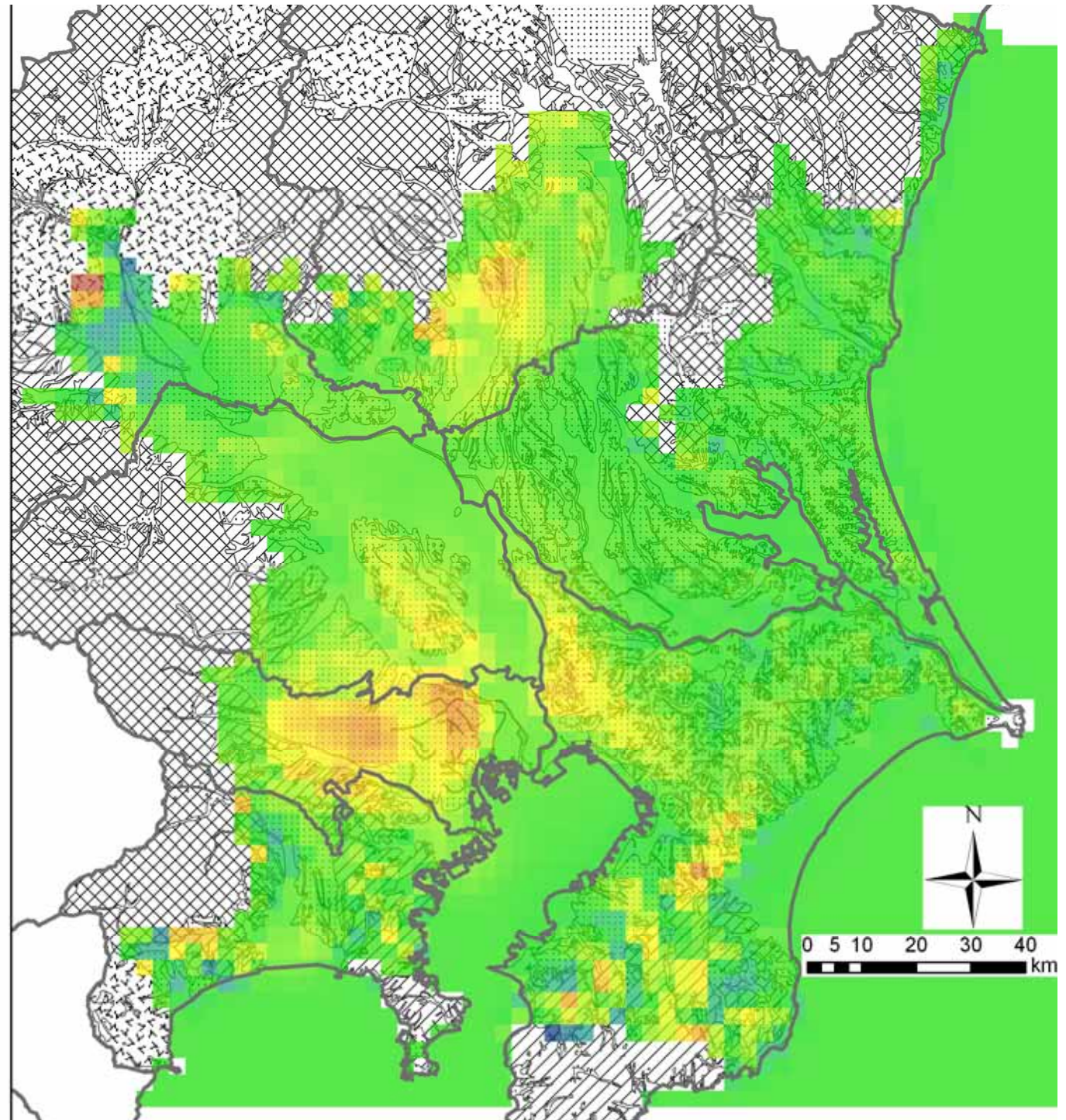
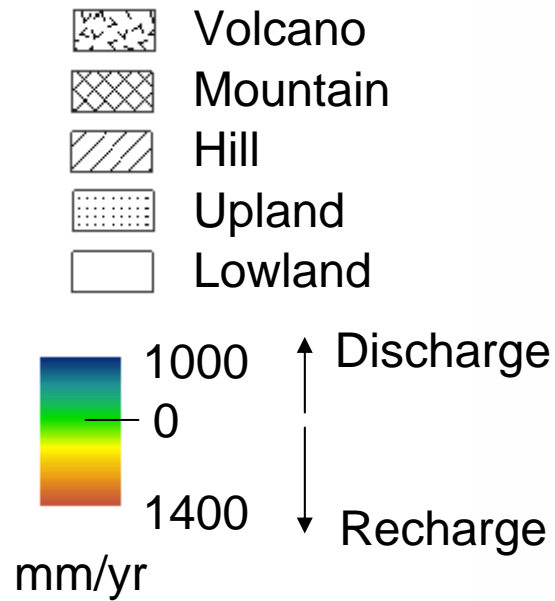
1975

1985

1995

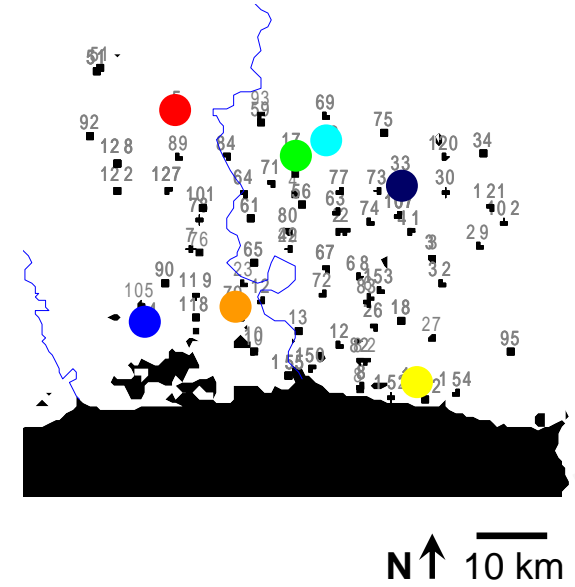
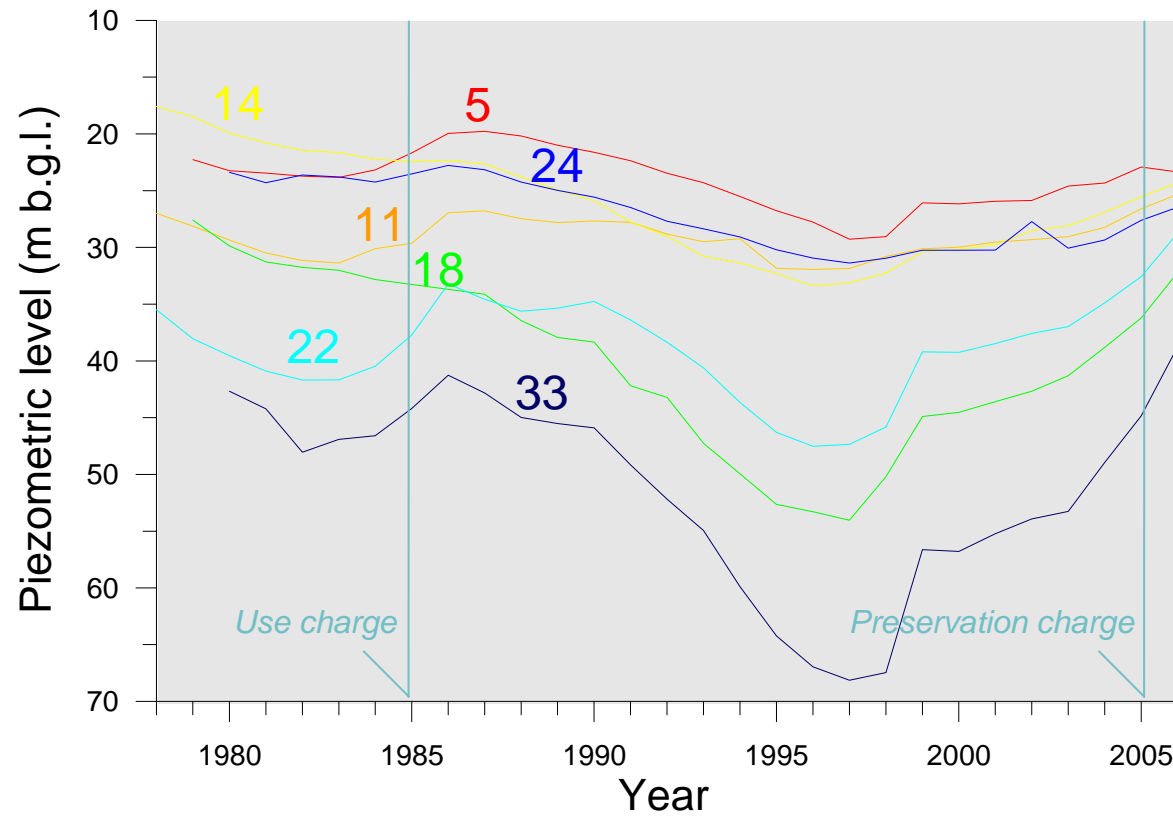
(Hayashi, et al., 2007)

# Calculated recharge at 1970



# NL aquifer

- Tentative restoration in mid-80's
- Remarkable depression at northeastern area
- Maximum depression at 1997 and then restoration



Maximum depression  
= 25 m (1980-1997)

# 解析対象期間

- 1950年以前
  - 揚水なしの定常状態を想定
- 1950年～現在
  - 揚水データを与えて非定常計算

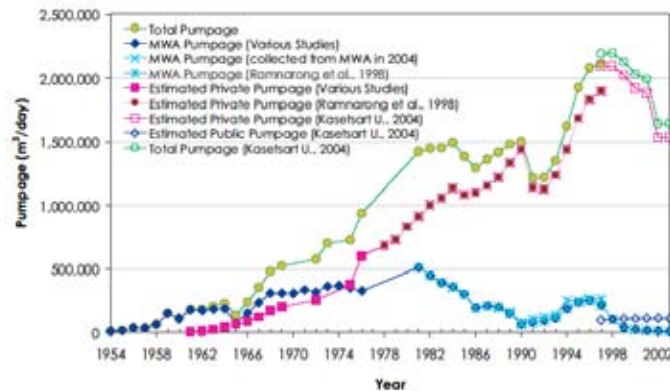
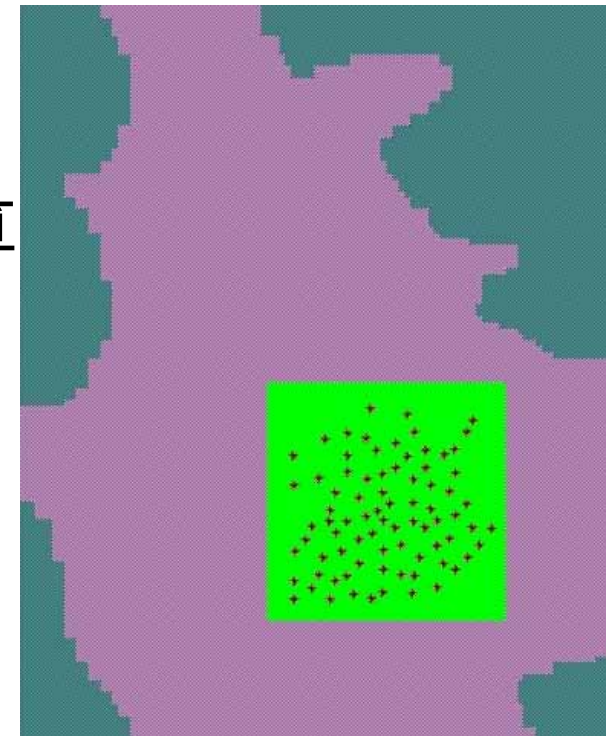
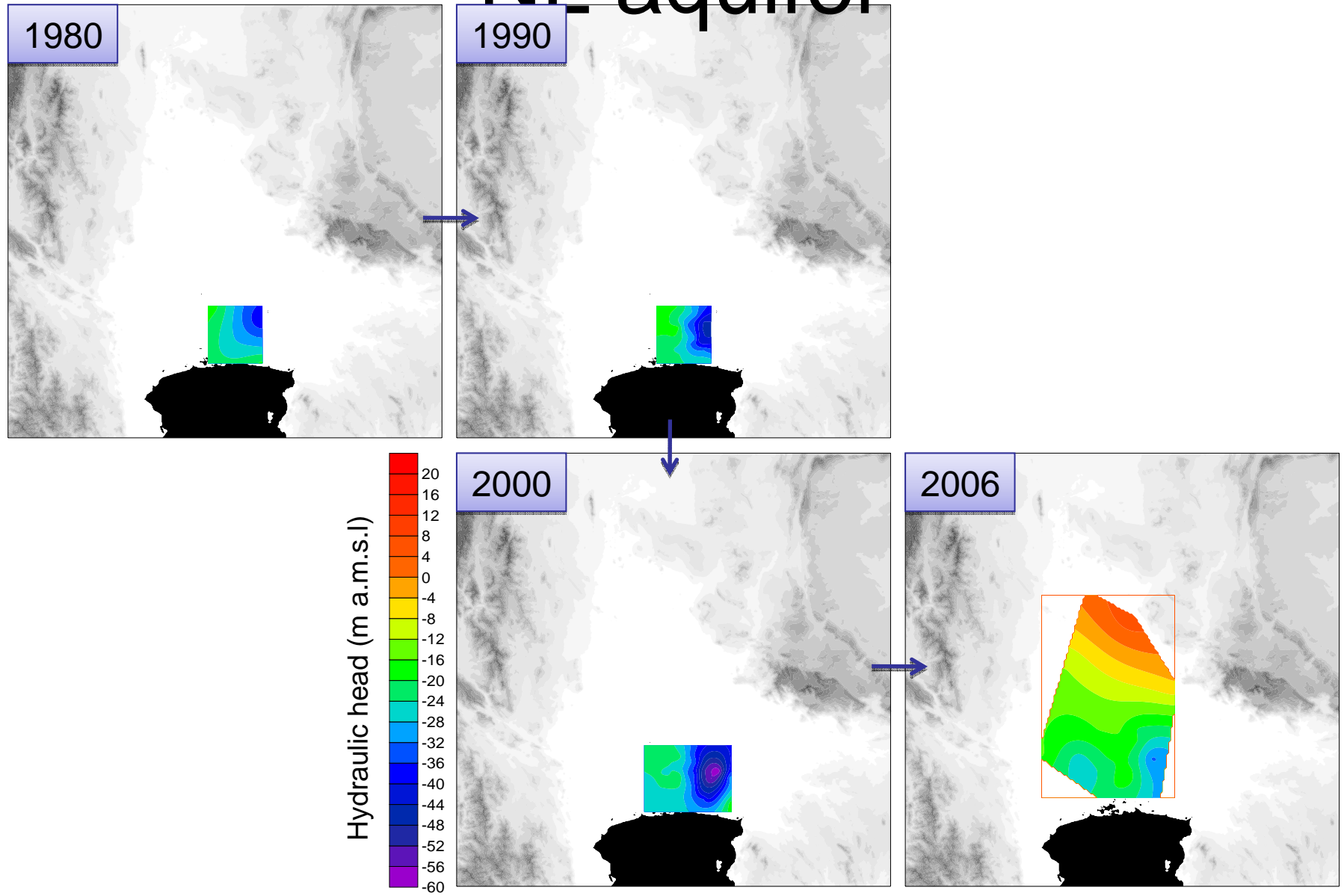


Figure 2. Groundwater Pumpage in Bangkok and Surrounding Areas  
Source: ATT and DMR, 1978; Ramnarong et al., 1998; Kasetsart University, 2004

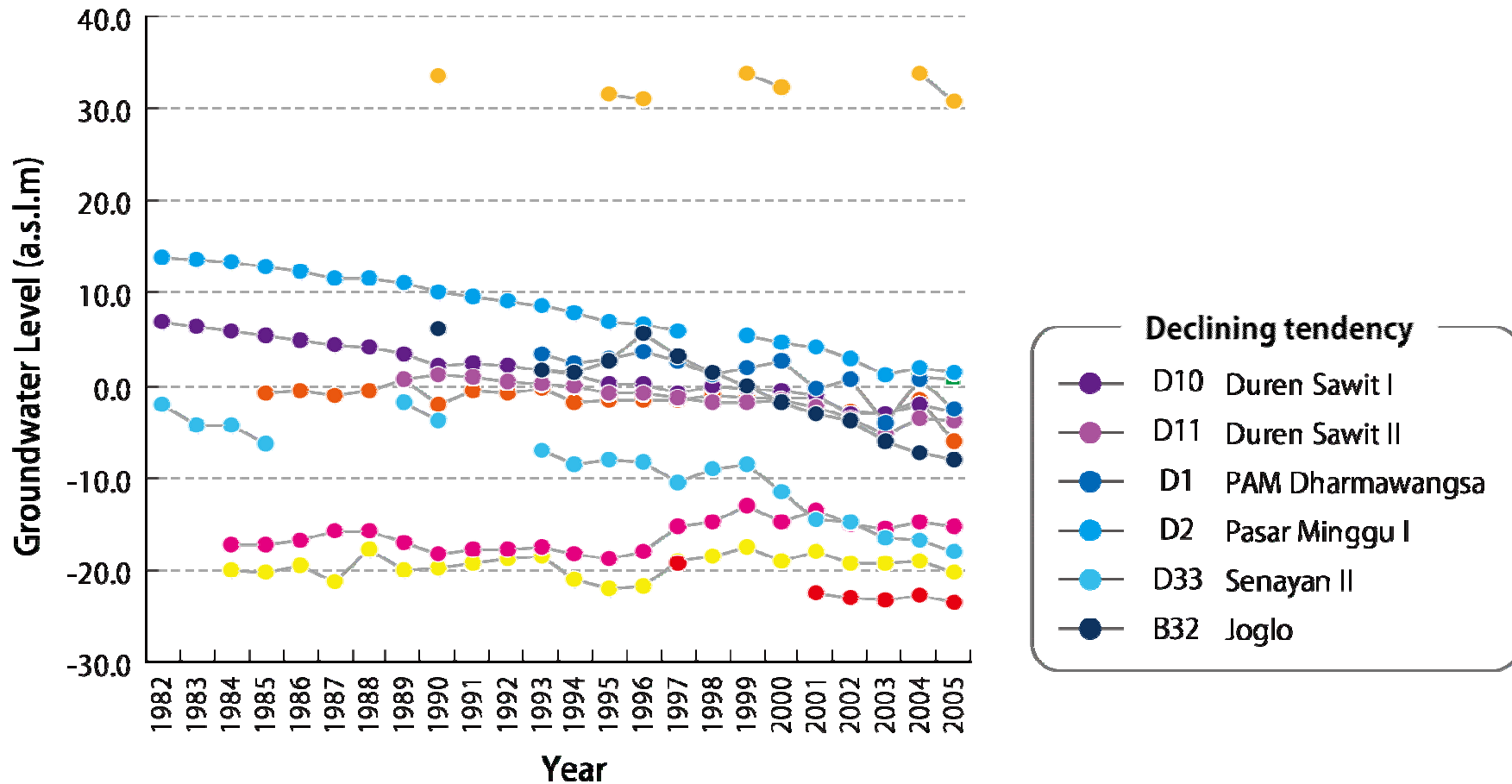
[IGES \(2007\)](#)



# NI aquifer

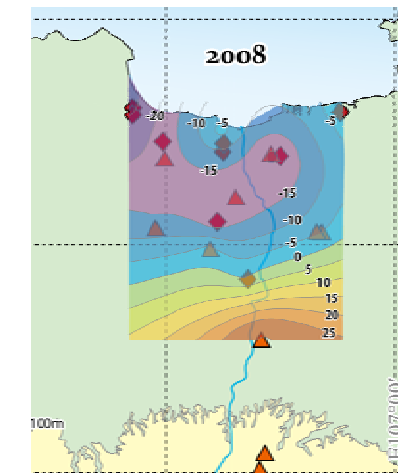
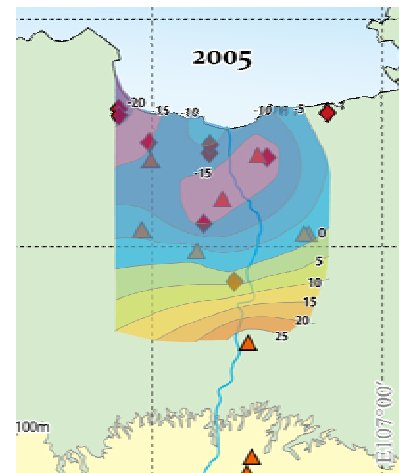
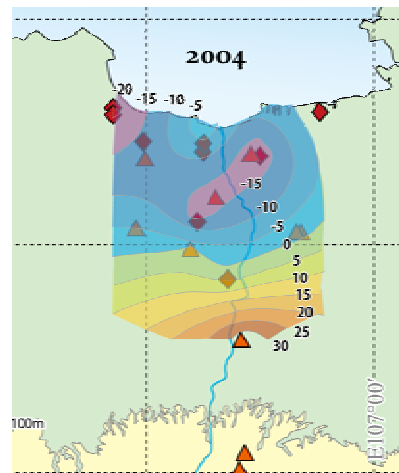
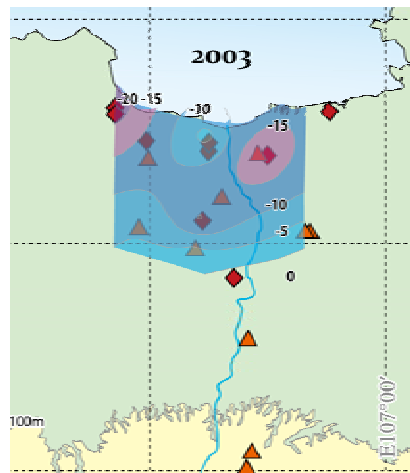
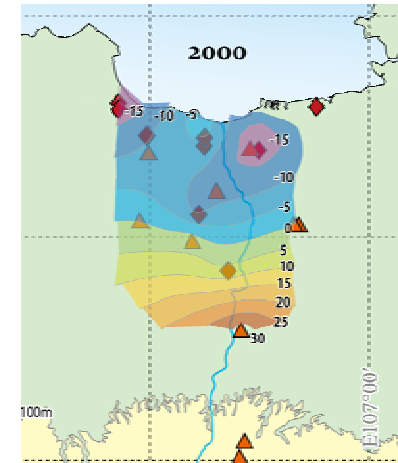
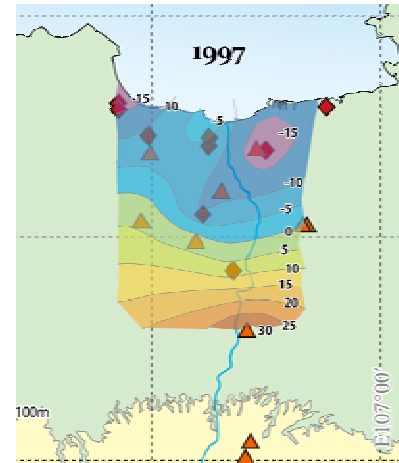
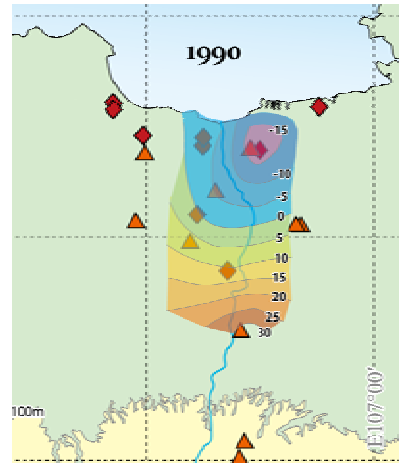
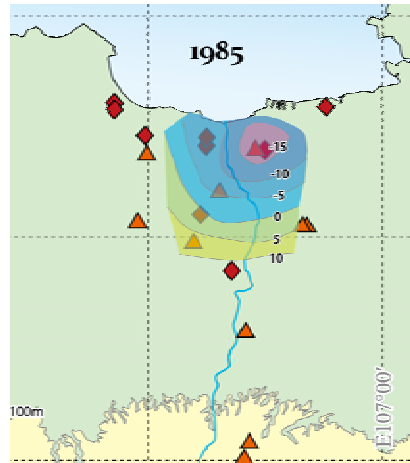


# 地下水ポテンシャルの経年変化 (N=12; 1982 ~ 2005)

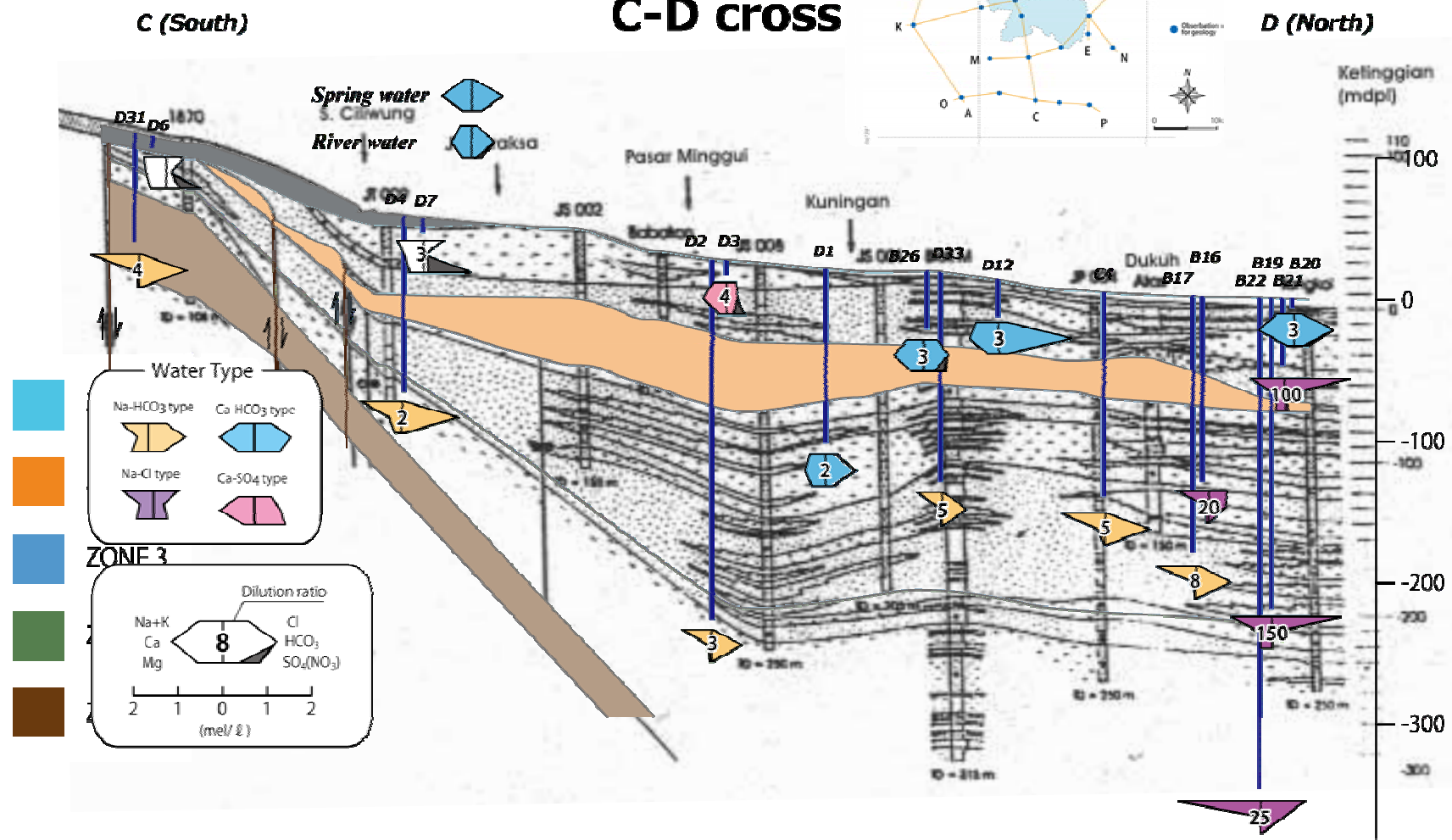
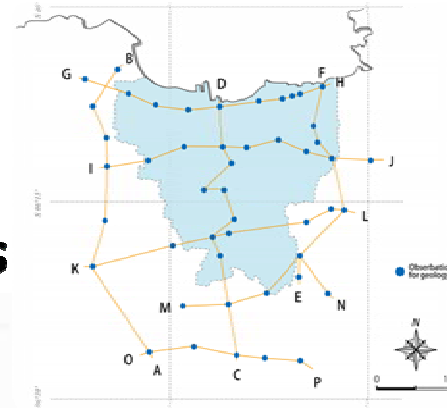


過剰揚水に伴う地下水頭の異常低下している地域がある

# Jakarta地域地下水ポテンシャル変化

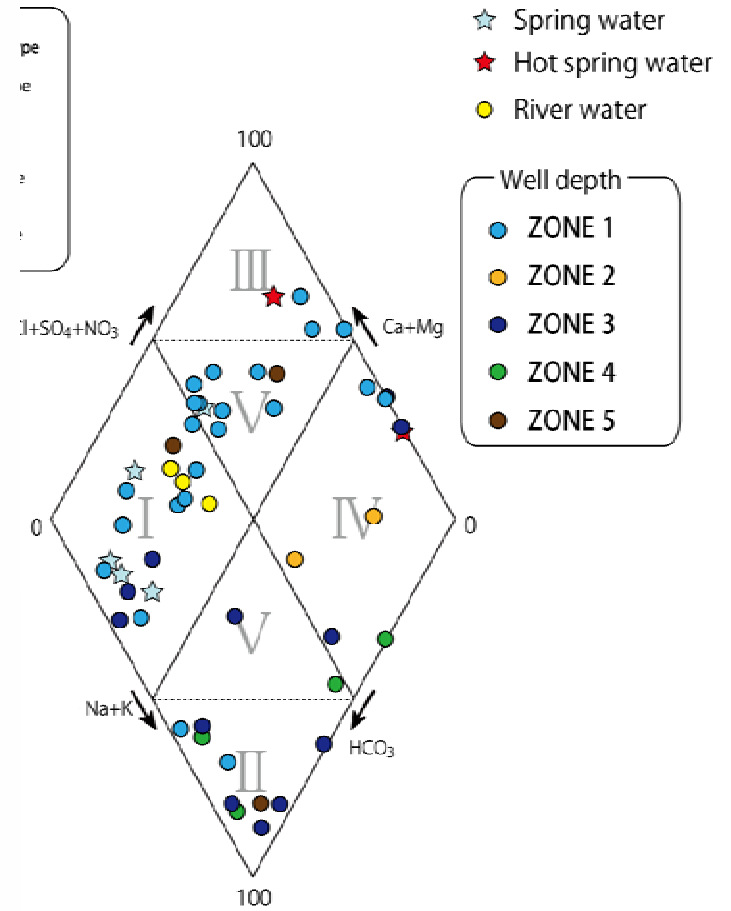
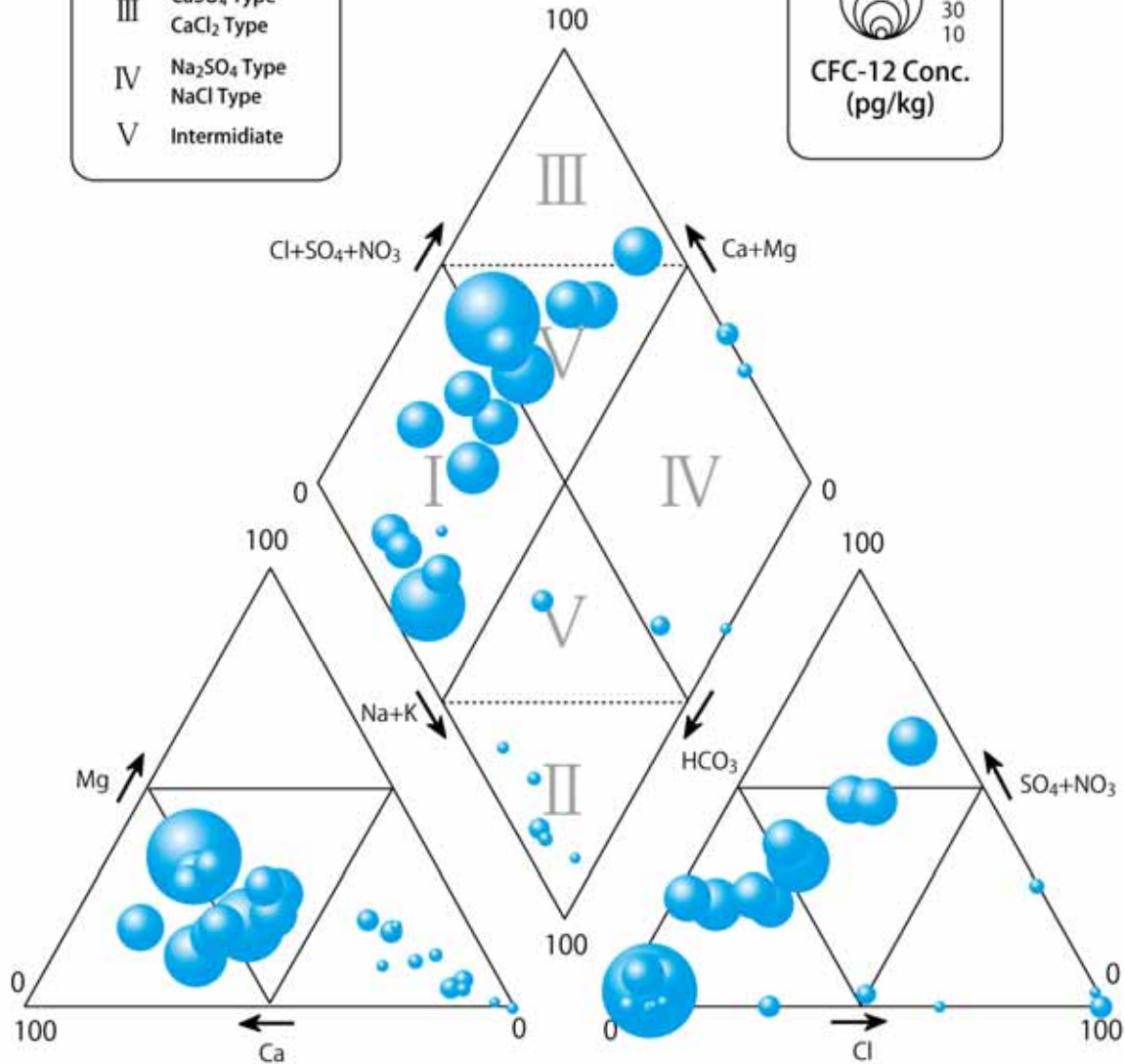
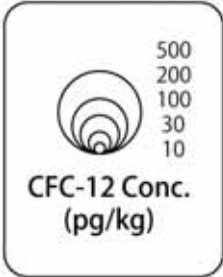


# Jakarta地域の水文地質構造



# Water type and CFC-12 concentration

- I Ca(HCO<sub>3</sub>) Type
- II NaHCO<sub>3</sub> Type
- III CaSO<sub>4</sub> Type  
CaCl<sub>2</sub> Type
- IV Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Type  
NaCl Type
- V Intermediate



# 水Gのこれまでの成果と2009年度計画

- CFCs、Kr85の年代測定手法はほぼ確立した
- 関東平野、BKK, Jakartaのポテンシャル変化データはほぼ集まり、過剰揚水とその後の回復状況が判明。関東は完了、BKKは回復開始、Jakartaは未回復状態
- 乱れの少ないラインを抽出し、加速化された地下水流動下での都市化の影響履歴を地下水水質から再現するもくろみは、関東、BKKでは混入した回復水による擾乱(?)のため不明瞭?
- Jakartaは水頭未回復なので、上記の目論見が残存する可能性が期待できる? 2009年度調査に期待!