

水班報告： バンコクの事例

山中 勤・三木田 慎
筑波大学陸域環境研究センター

ターゲット

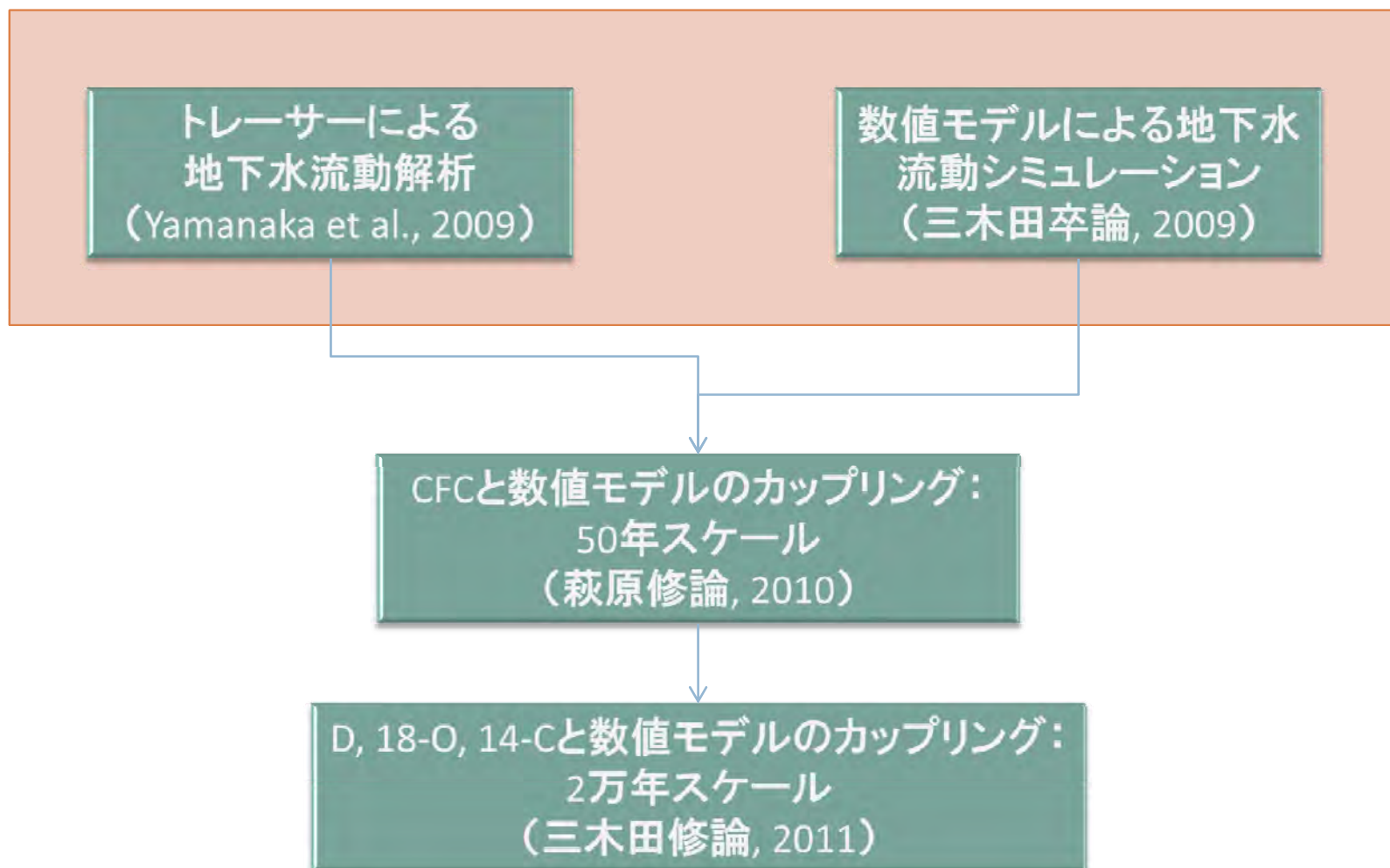
2

- 地下水の過剰揚水は地下水流動場をどのように攪乱したか？

- 地下水の過剰揚水は涵養量を加速させたか？
 - 都市部 vs 郊外
 - どの程度入れ替えが進んだか？

フレームワーク

3



Tracing a confined groundwater flow system under the pressure of excessive groundwater use in the Lower Central Plain, Thailand

Tsutomu Yamanaka¹, Jun Shimada², Maki Tsujimura³, Oranuj Lorphensriand⁴, Makoto Mikita⁵, Atsushi Hagihara³ and Sinichi Onodera⁶

Hydrological Processes 水水学会特集号 (印刷中)

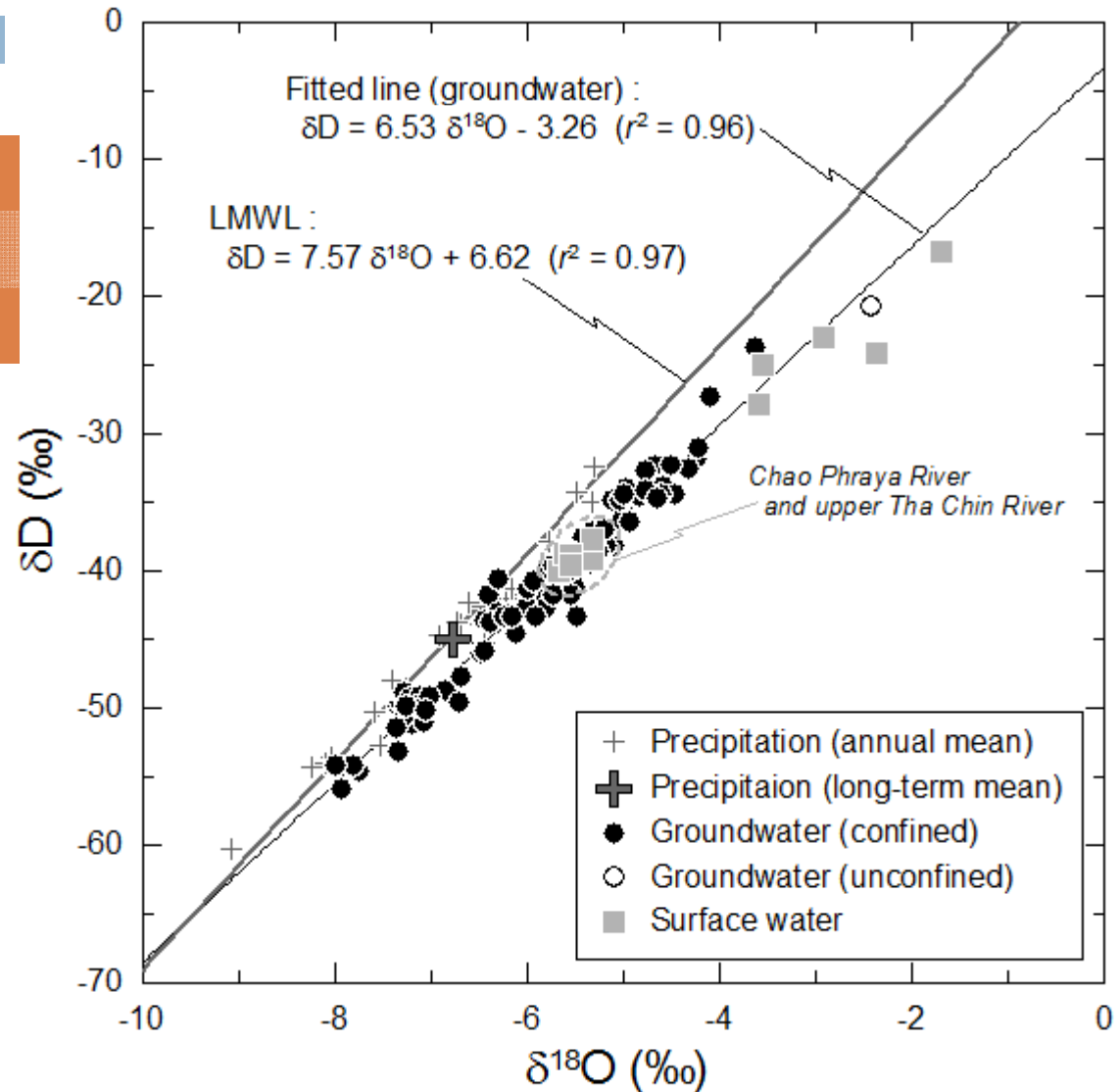
4

トレーサーによる地下水流動解析

δダイヤグラム

5

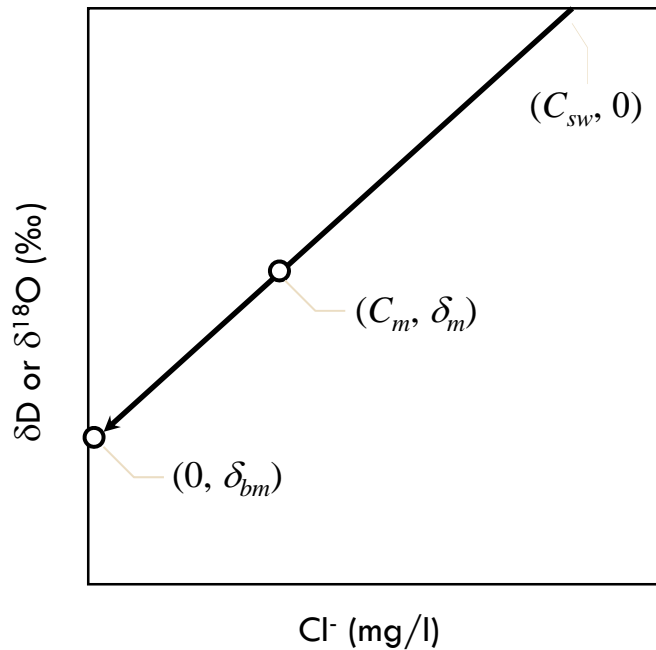
平野	山岳・丘陵
高δ	低δ
間氷期	氷期



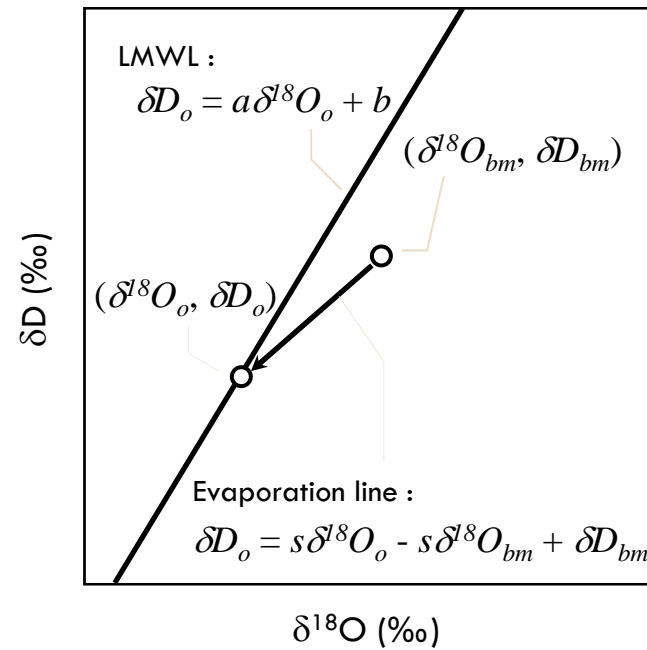
δ値の補正

6

(a) 海水混合の補正



(b) 蒸発濃縮の補正

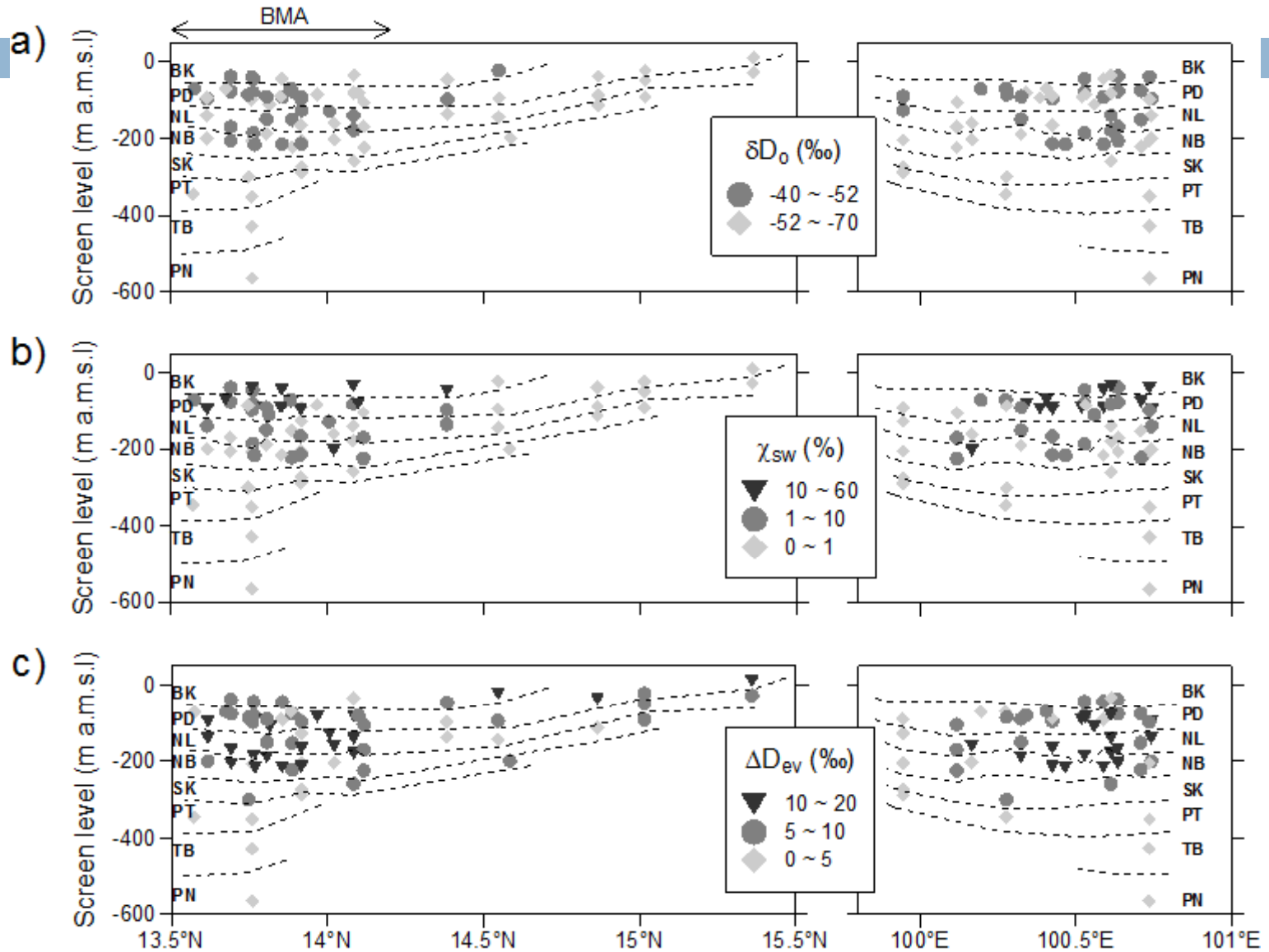


$$\delta_{bm} = \delta_m \cdot C_{sw} / (C_{sw} - C_m)$$

$$\delta D_o = \frac{\delta D_{bm} - s \cdot \delta^{18}O_{bm} - s \cdot b / a}{1 - s / a}$$

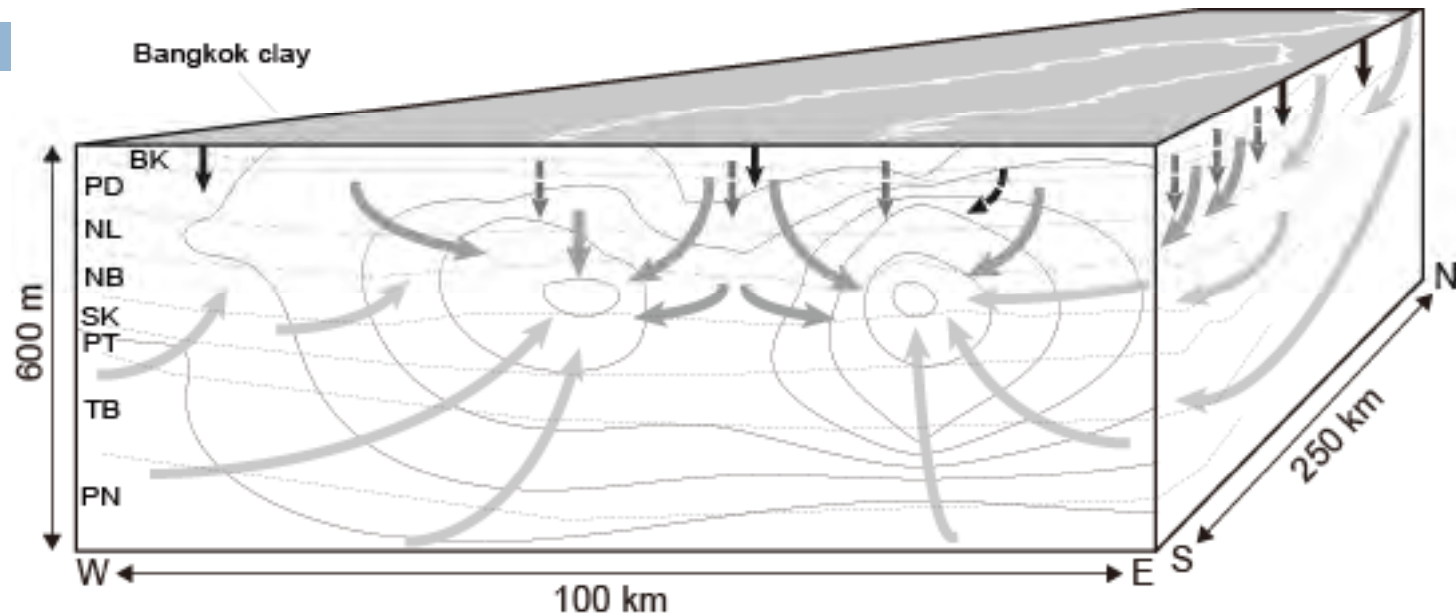
鉛直断面投影図

7



3次元地下水流動系

8



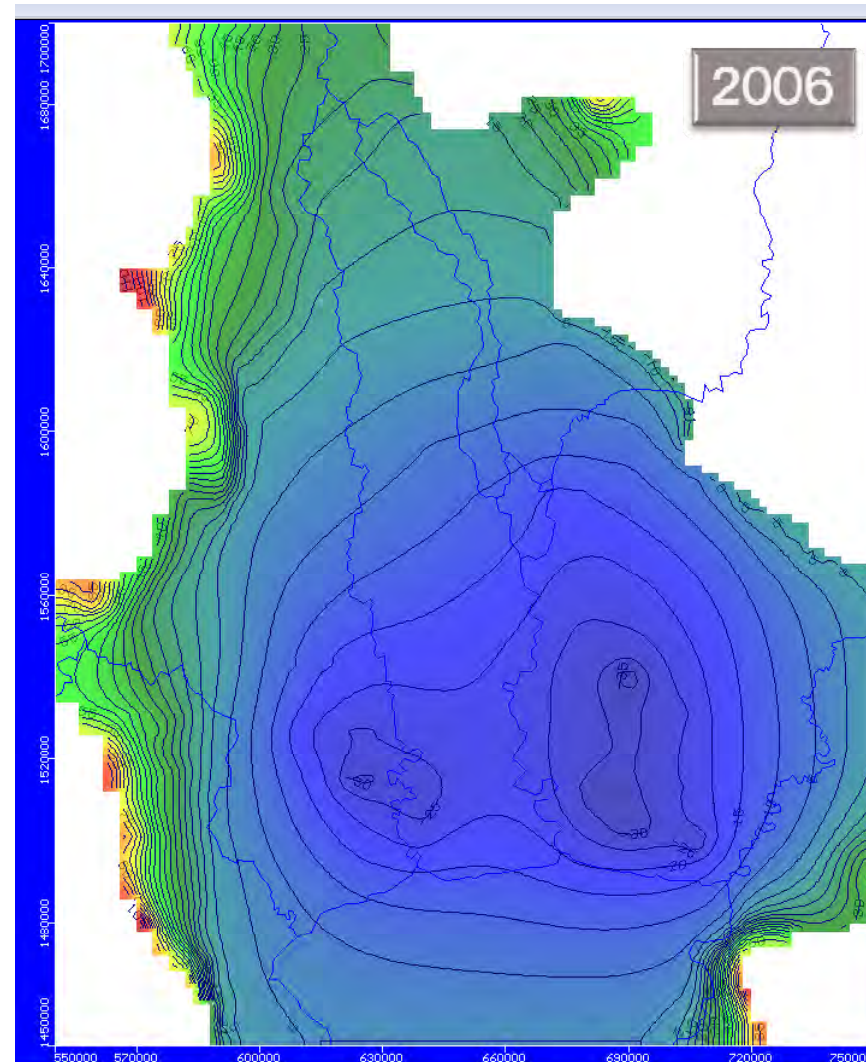
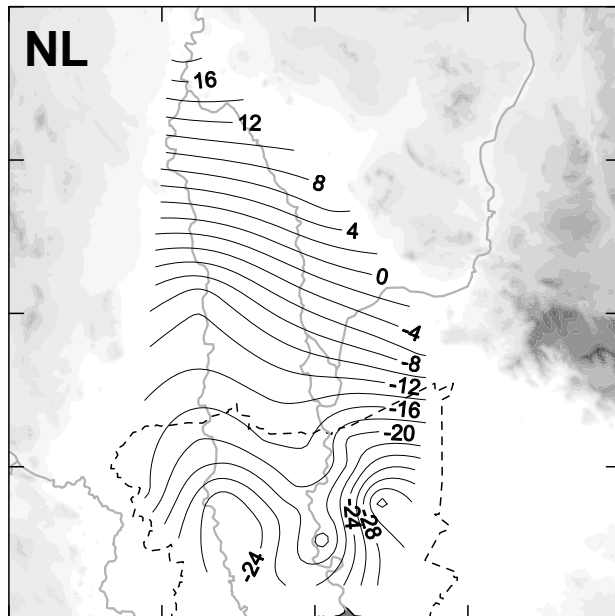
Legend		δD_o	χ_{sw}	Δ_{ev}
	Water recharged within LCP after completion of delta formation	H	L	H
	Water recharged at mangrove forests during the latter stage of delta formation	H	H	M
	Water recharged within LCP during the former stage of delta formation or earlier	H	M	H
	Water recharged during the last glacial age and/or at mountainous areas	L	L	L
	Equipotential line			
	Estimated boundary of aquifer unit			

9

数値モデルによる人間活動影響の評価と復元

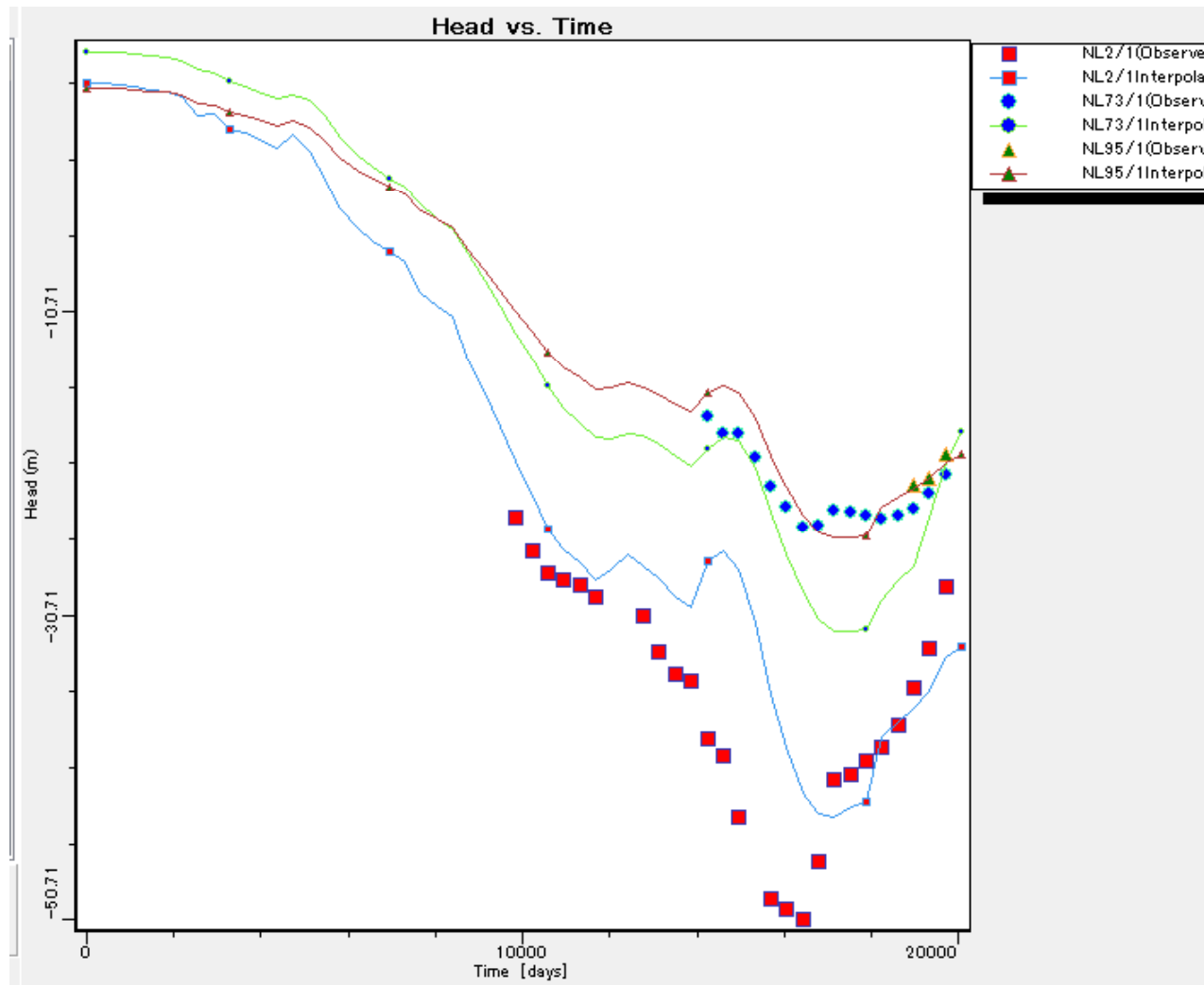
水理水等分布の再現

10



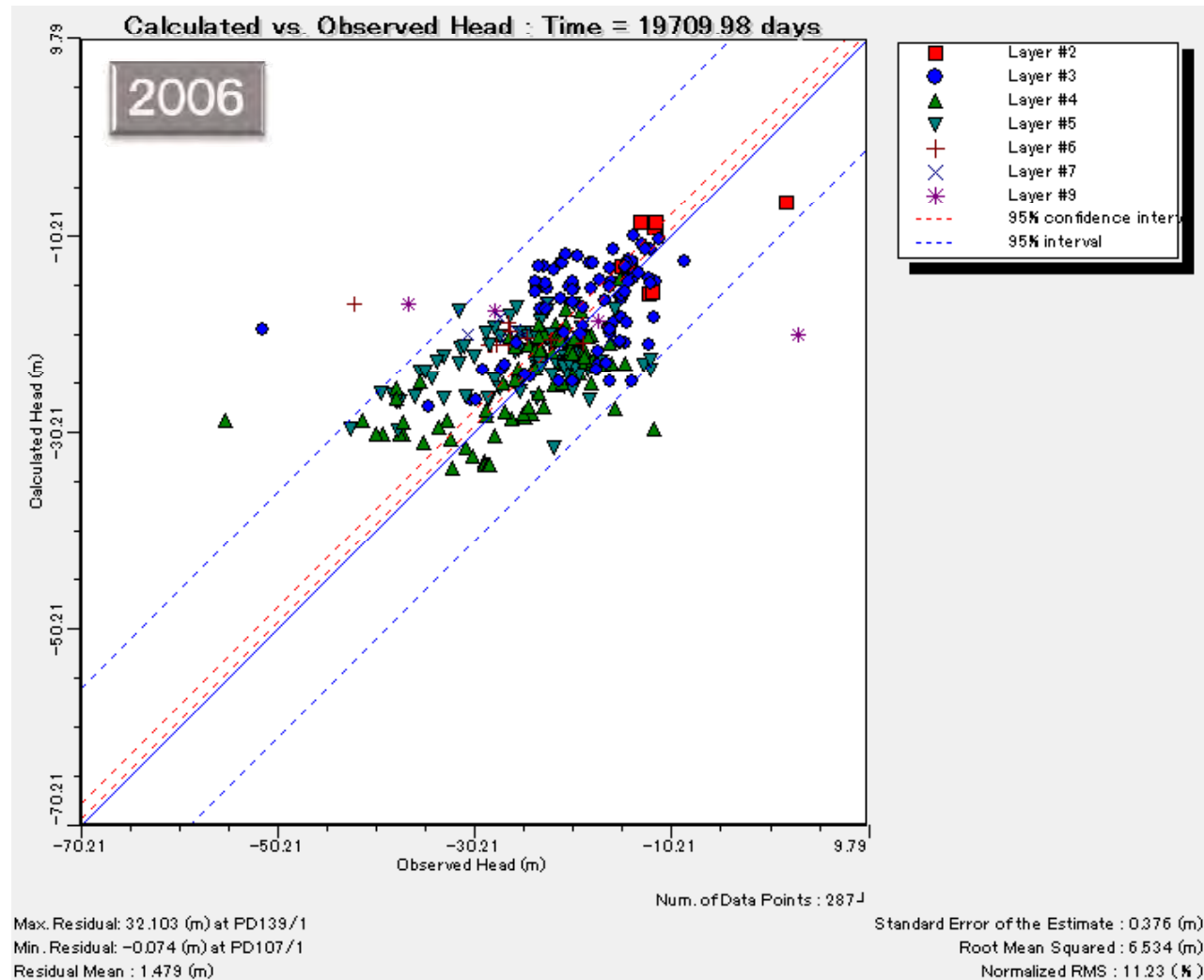
水理水頭の時間変化

11



水理水頭 計算値vs実測値

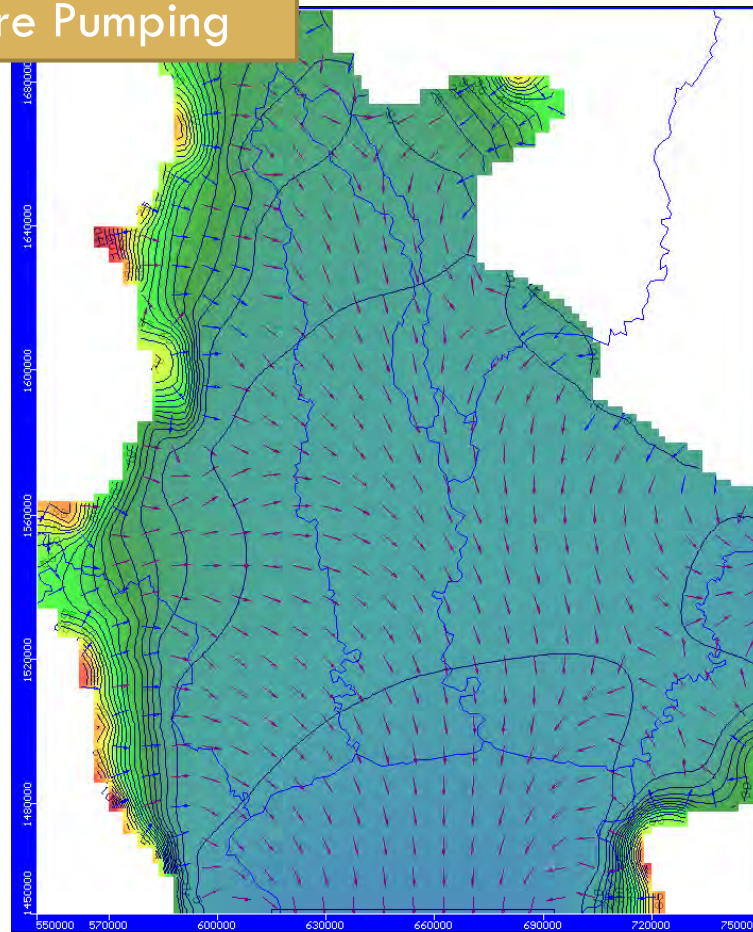
12



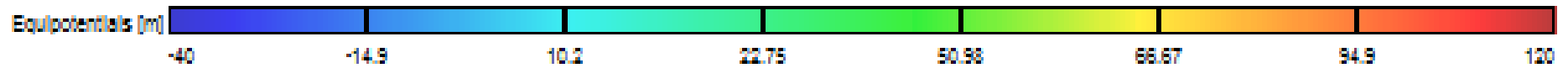
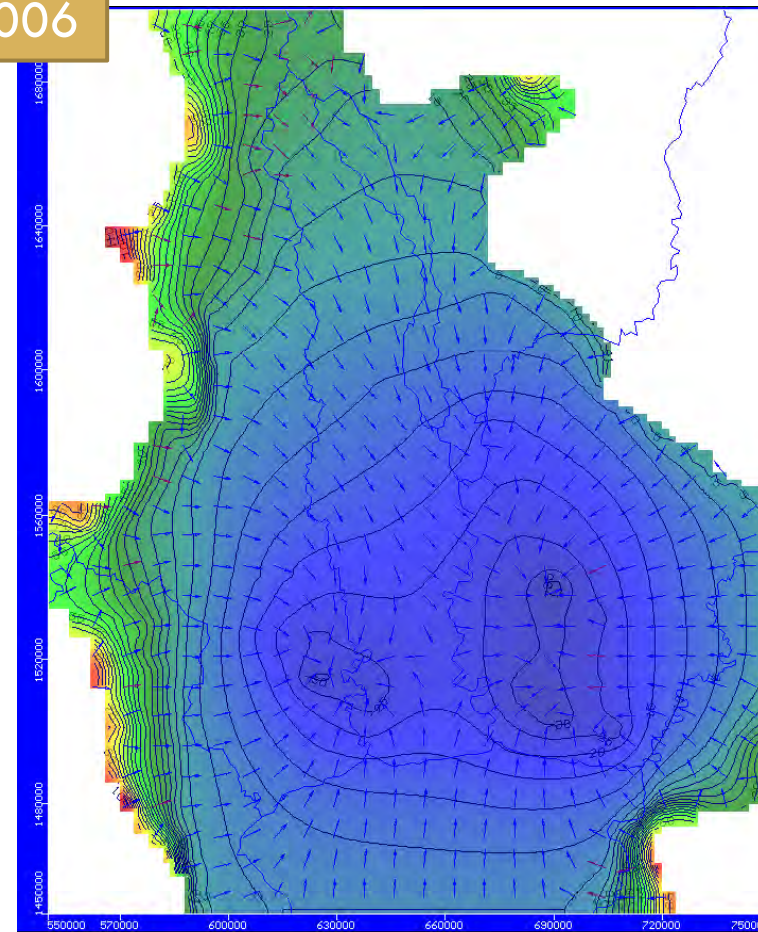
Horizontal flow; NL

13

Before Pumping



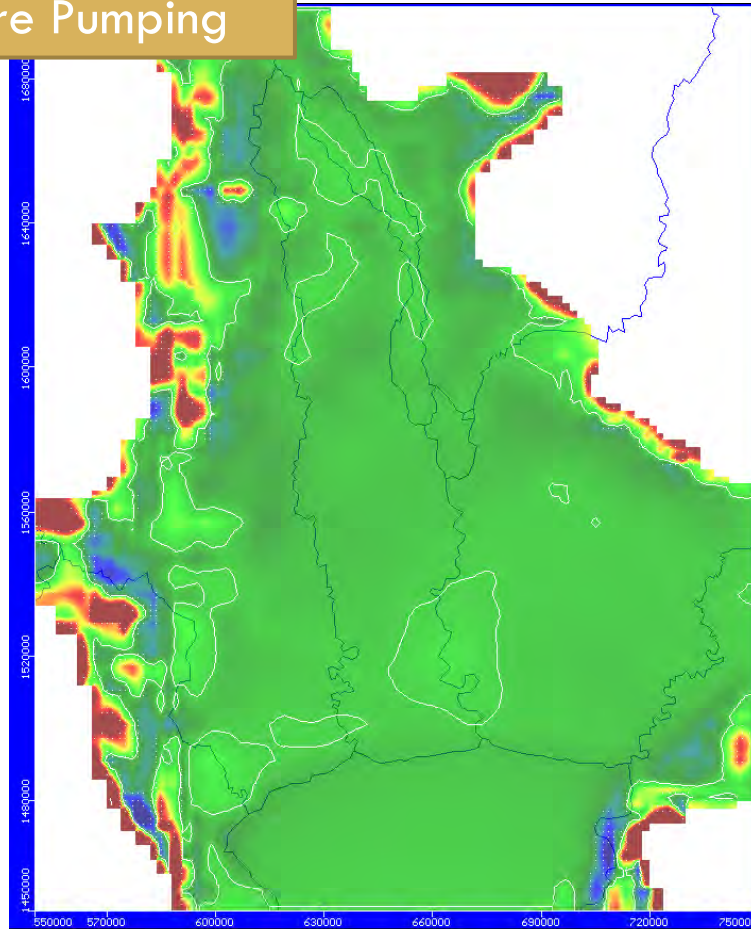
2006



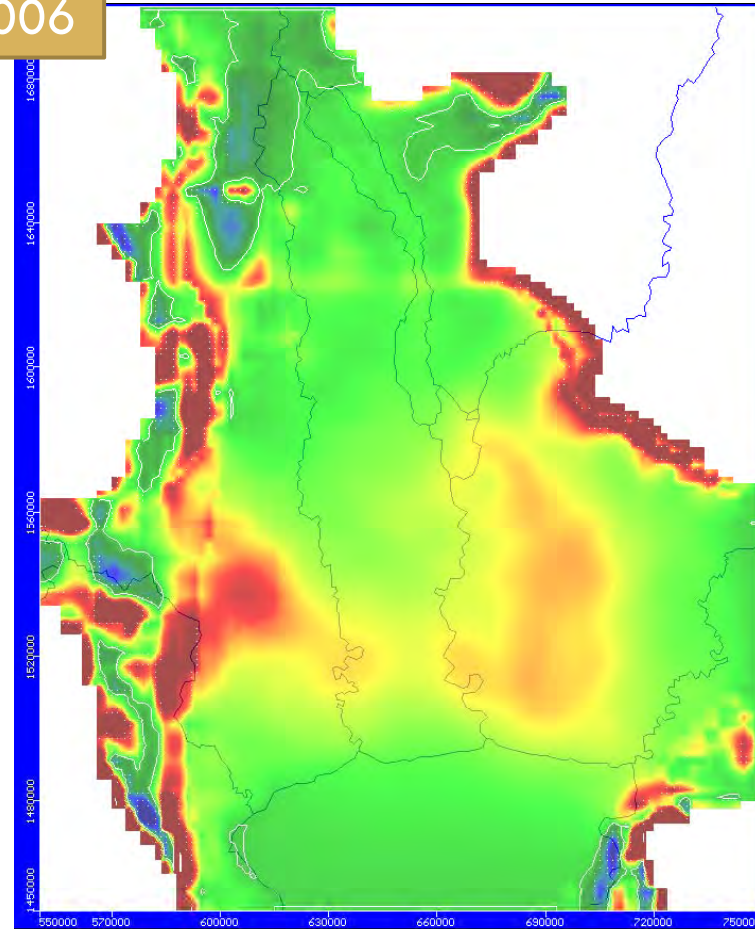
Vertical flow; BC-BK

14

Before Pumping



2006



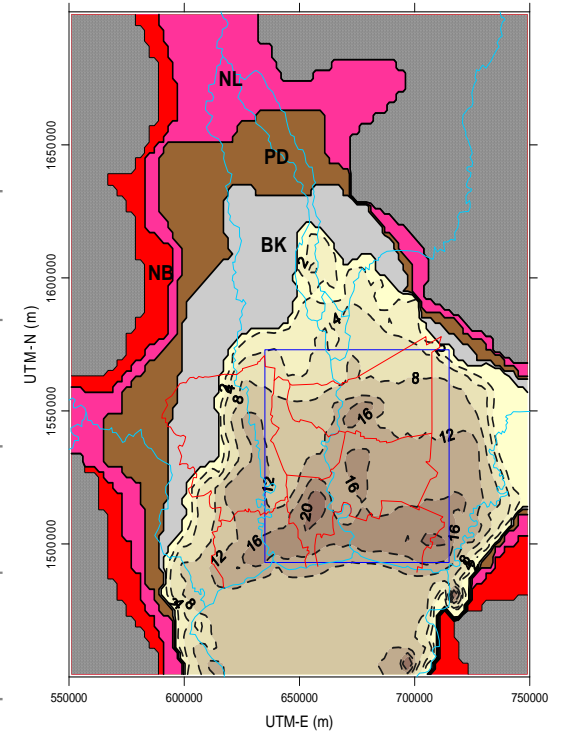
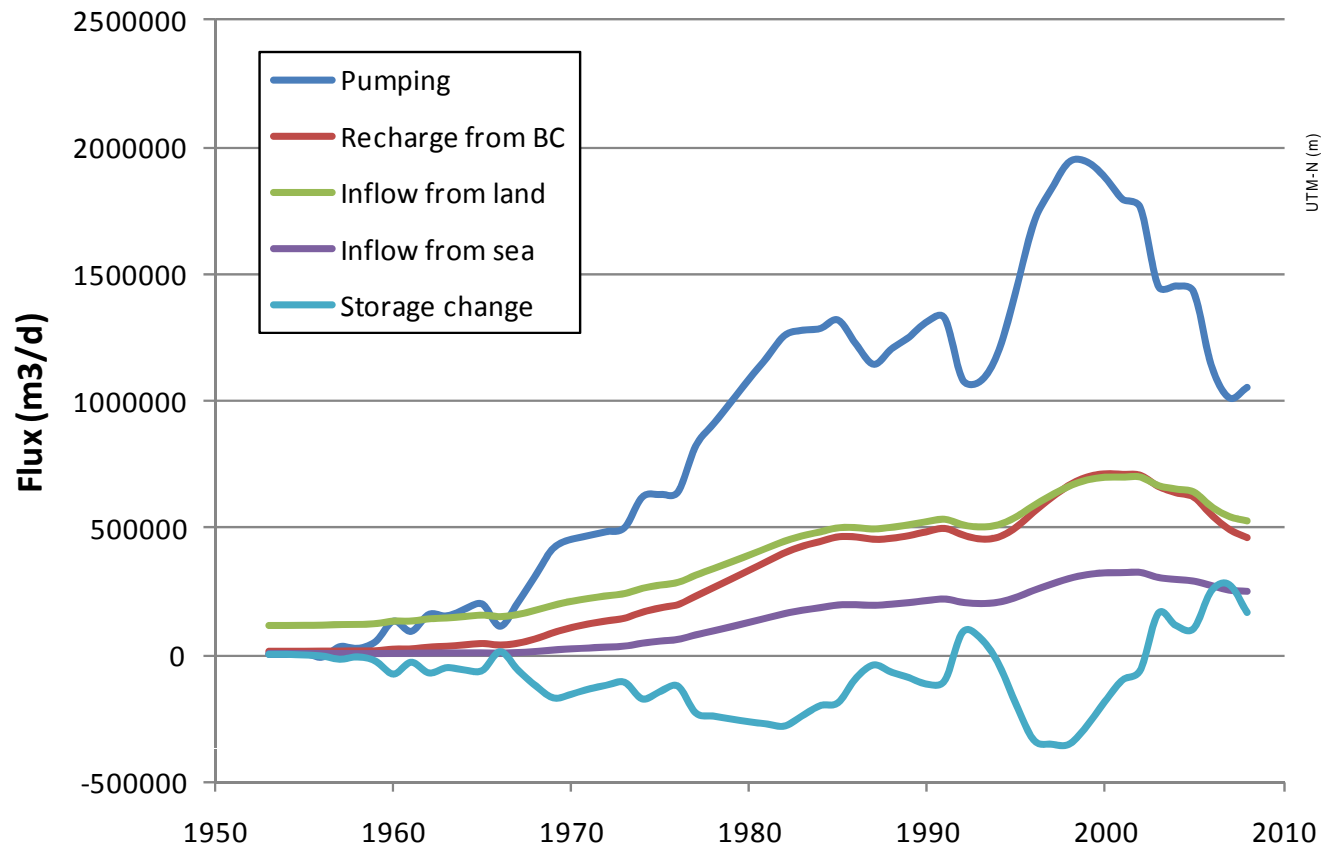
Upward

Downward

Flux B/W Layers [m/dy]



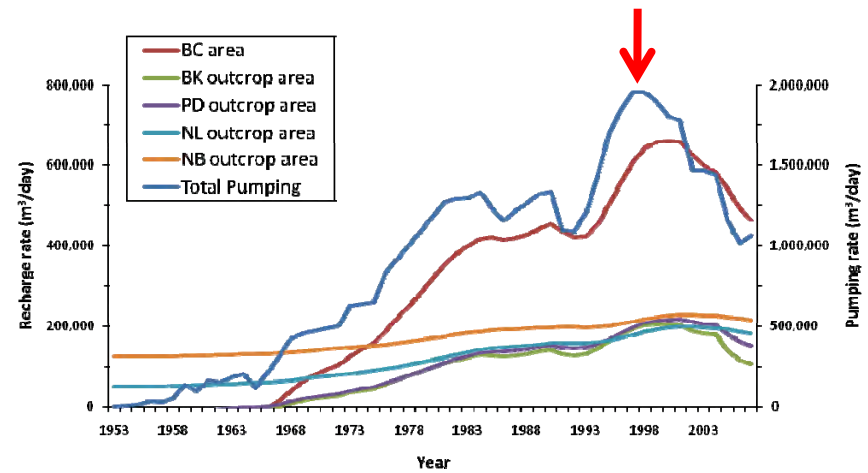
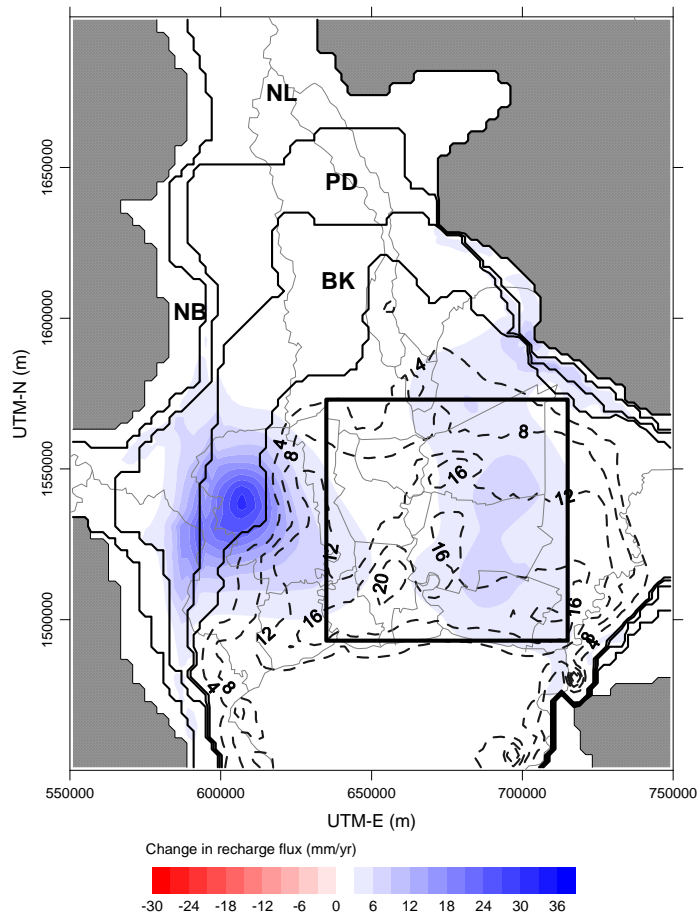
地下水収支の経時変化



涵養フラックス分布の経時変化

16

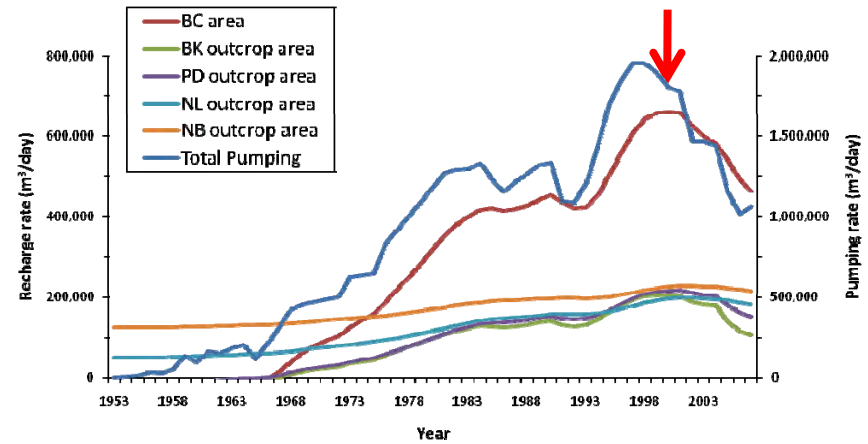
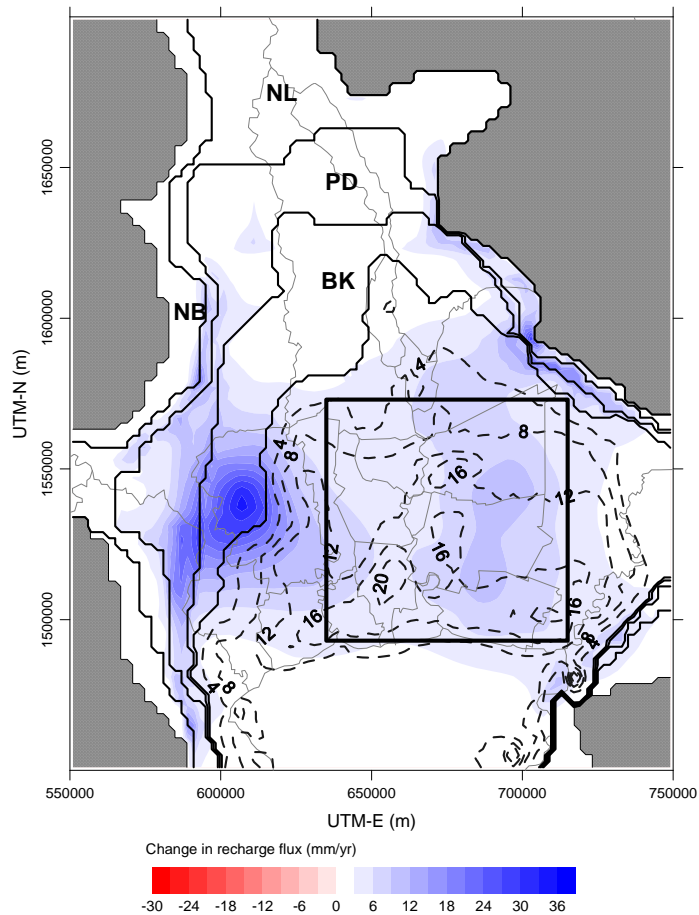
□ 1996-1992



涵養フラックス分布の経時変化

17

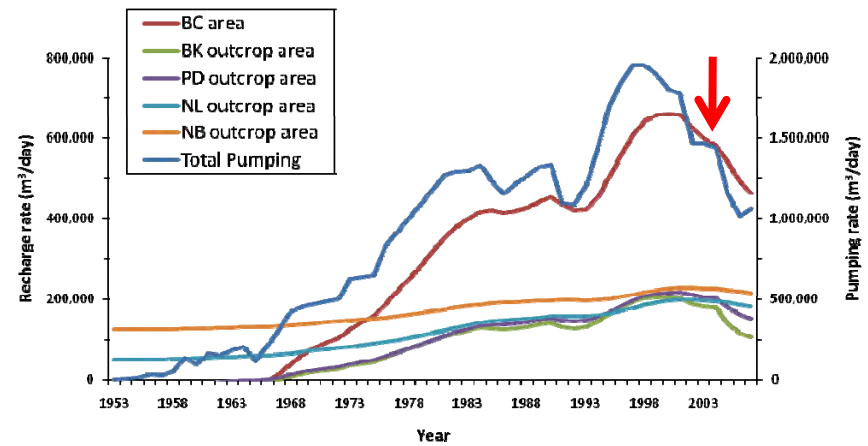
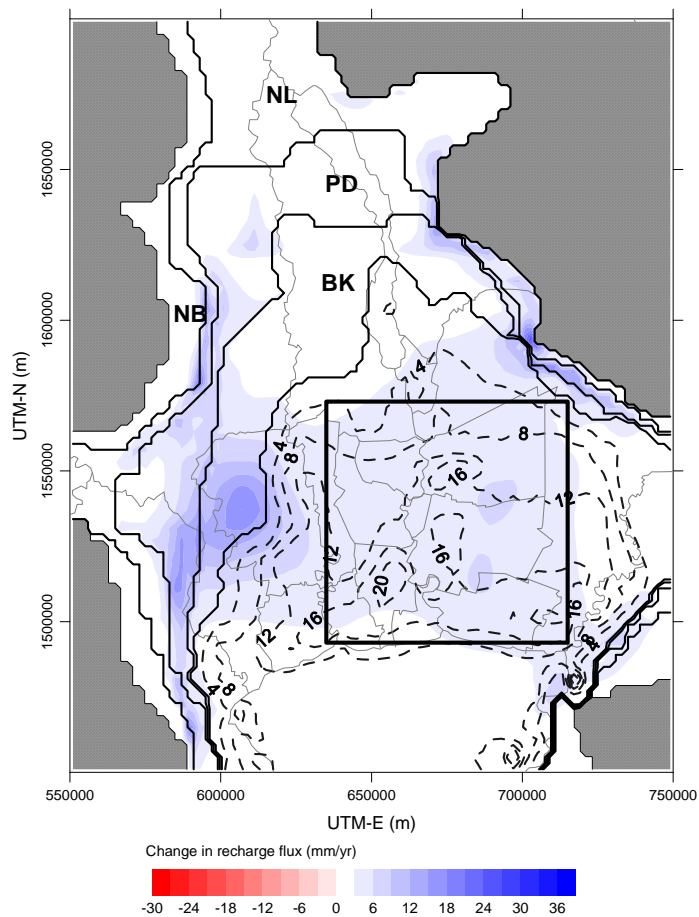
□ 2000-1992



涵養フラックス分布の経時変化

18

□ 2004-1992



入れ替え割合の3次元分布計算

19

- 初期条件

濃度 = 0 @ all grid

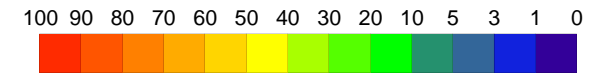
- 境界条件

濃度 = 100 (%) @ 1st-layer

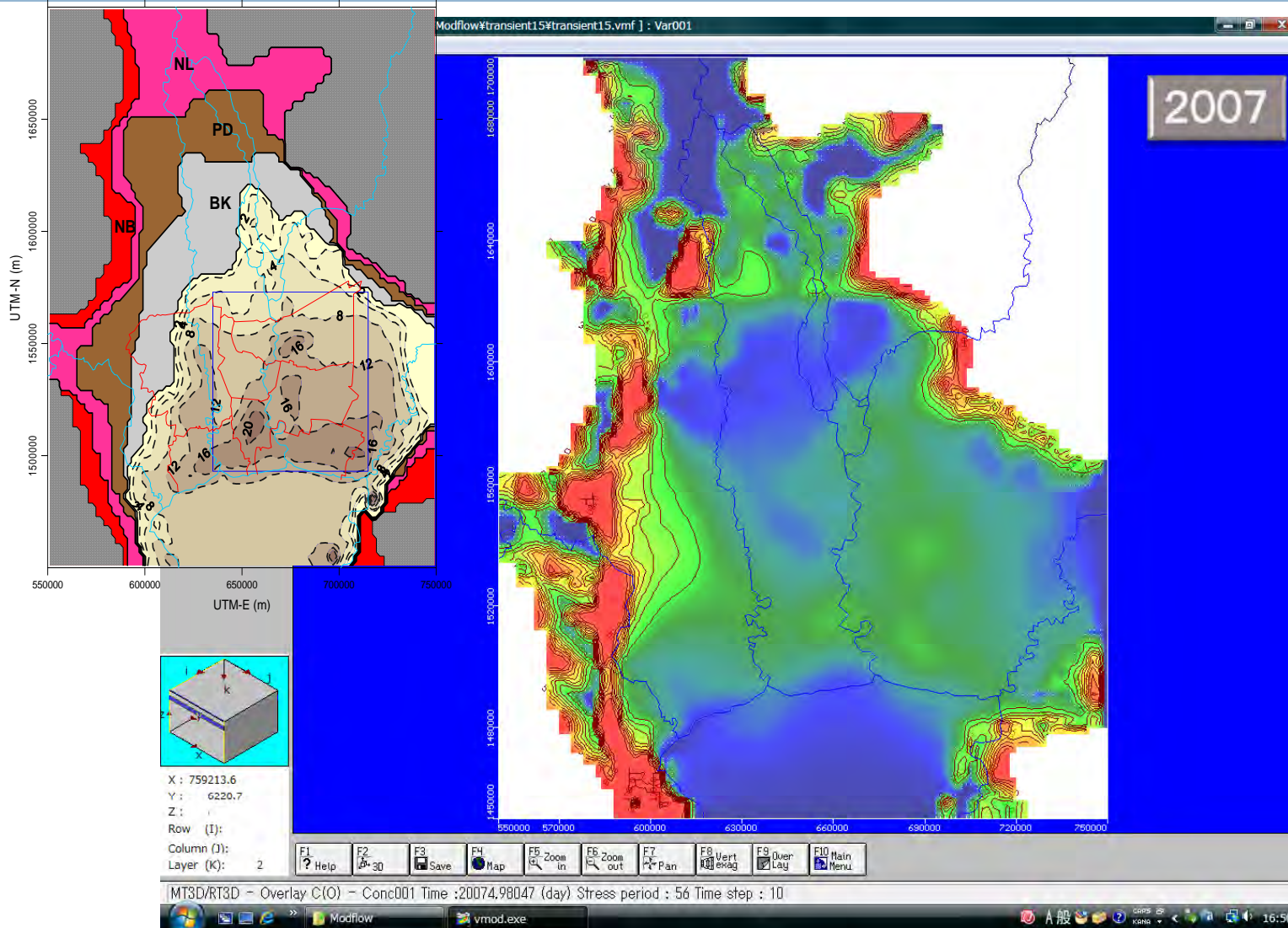
- MT3Dで溶質移動計算(ただし、分散なし)

2nd Layer(BK)

Renewed fraction (%)

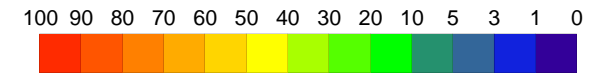


20

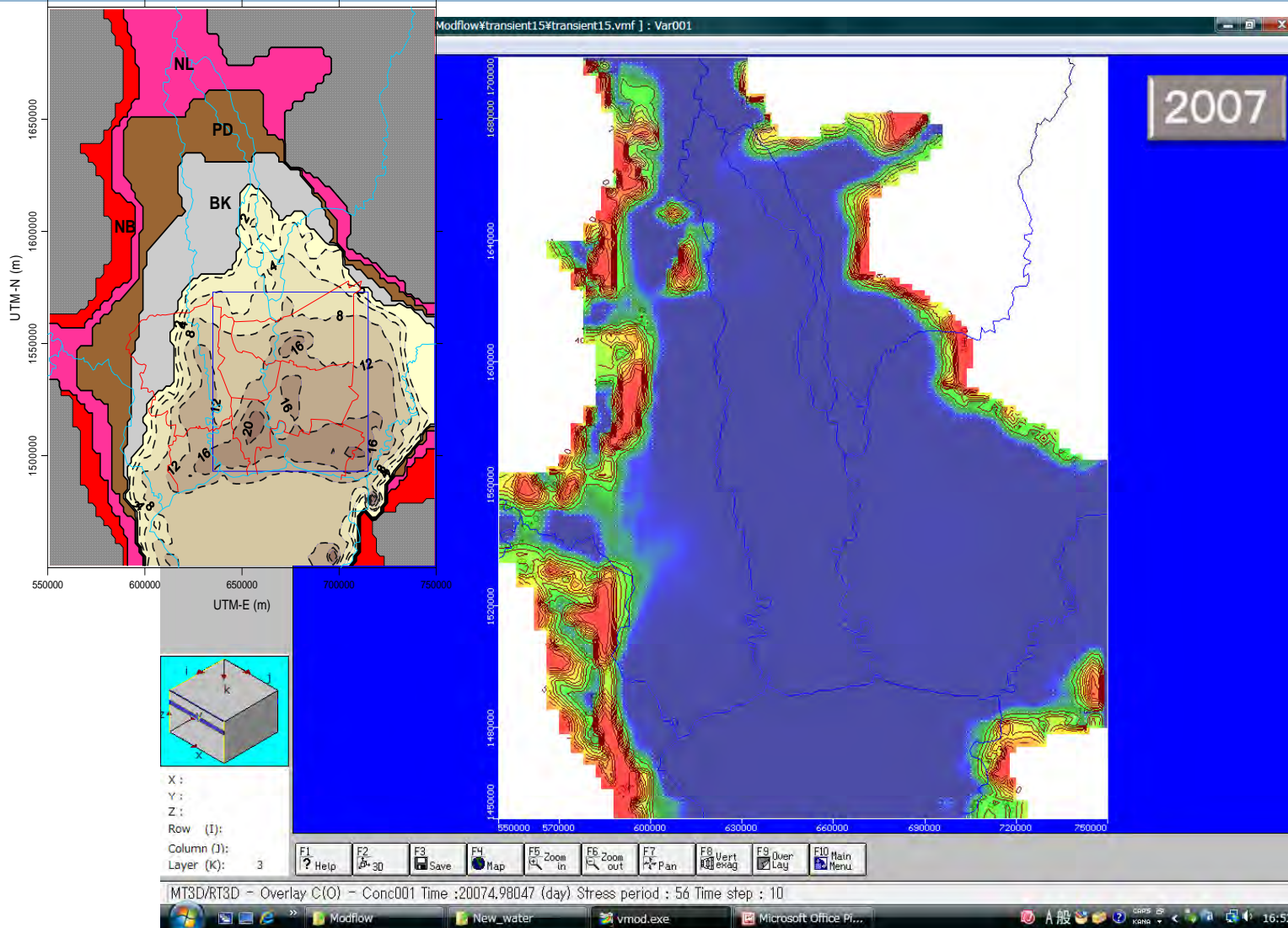


3rd Layer (PD)

Renewed fraction (%)

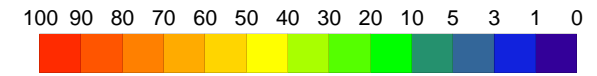


21

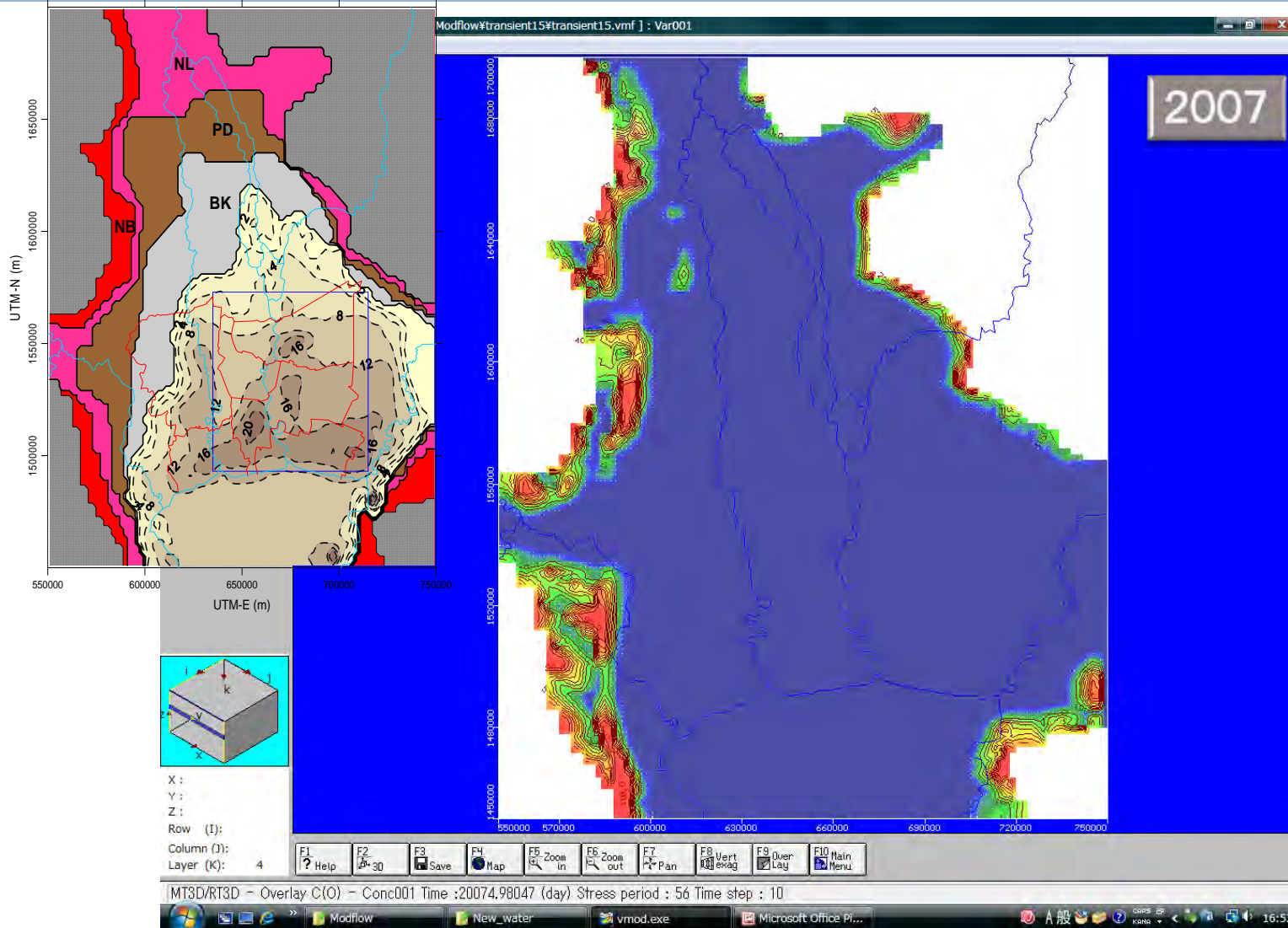


4th Layer (NL)

Renewed fraction (%)

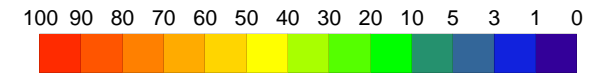


22

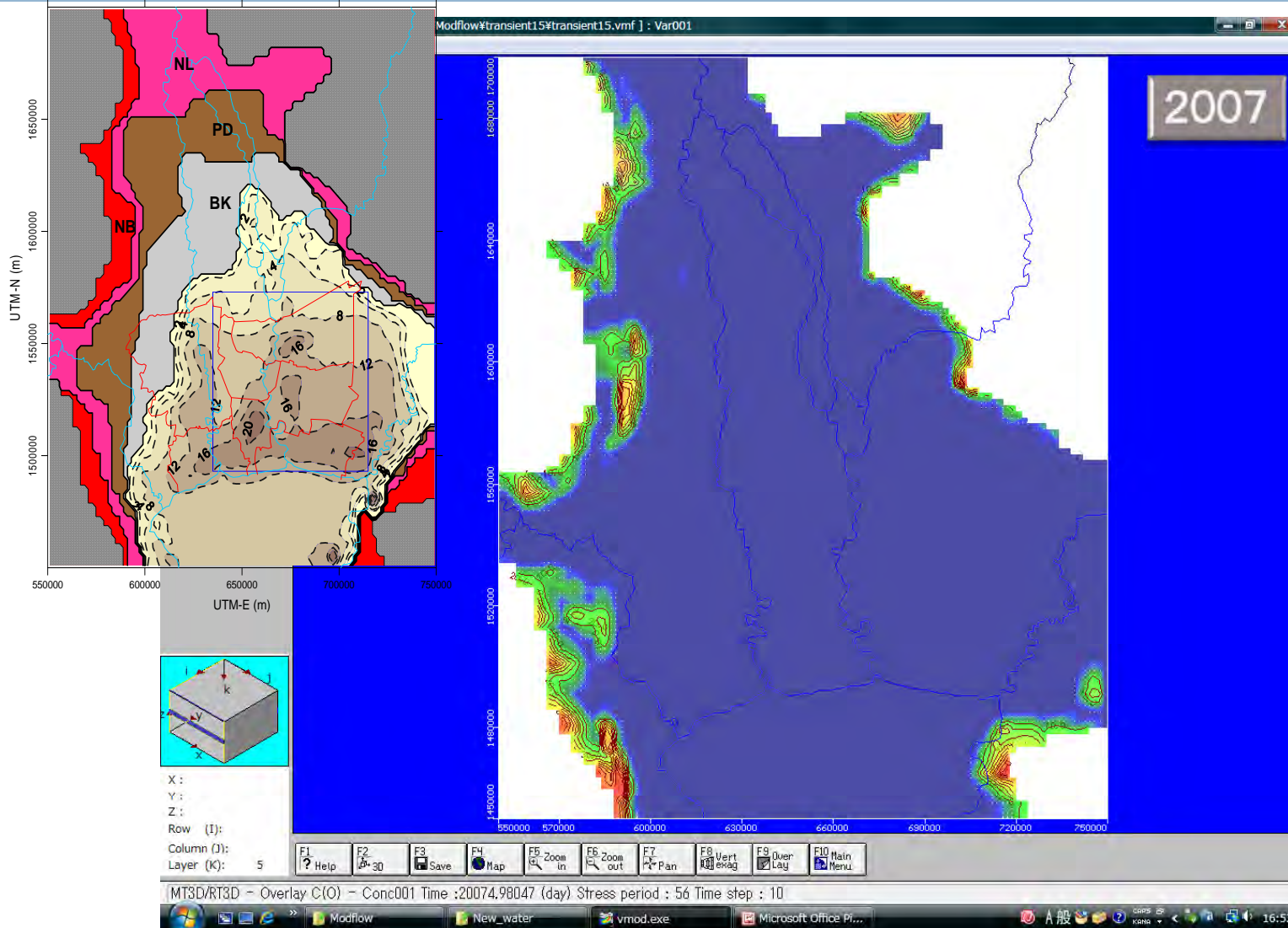


5th Layer (NB)

Renewed fraction (%)

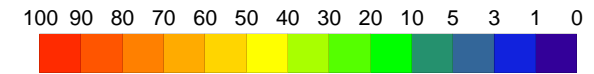


23

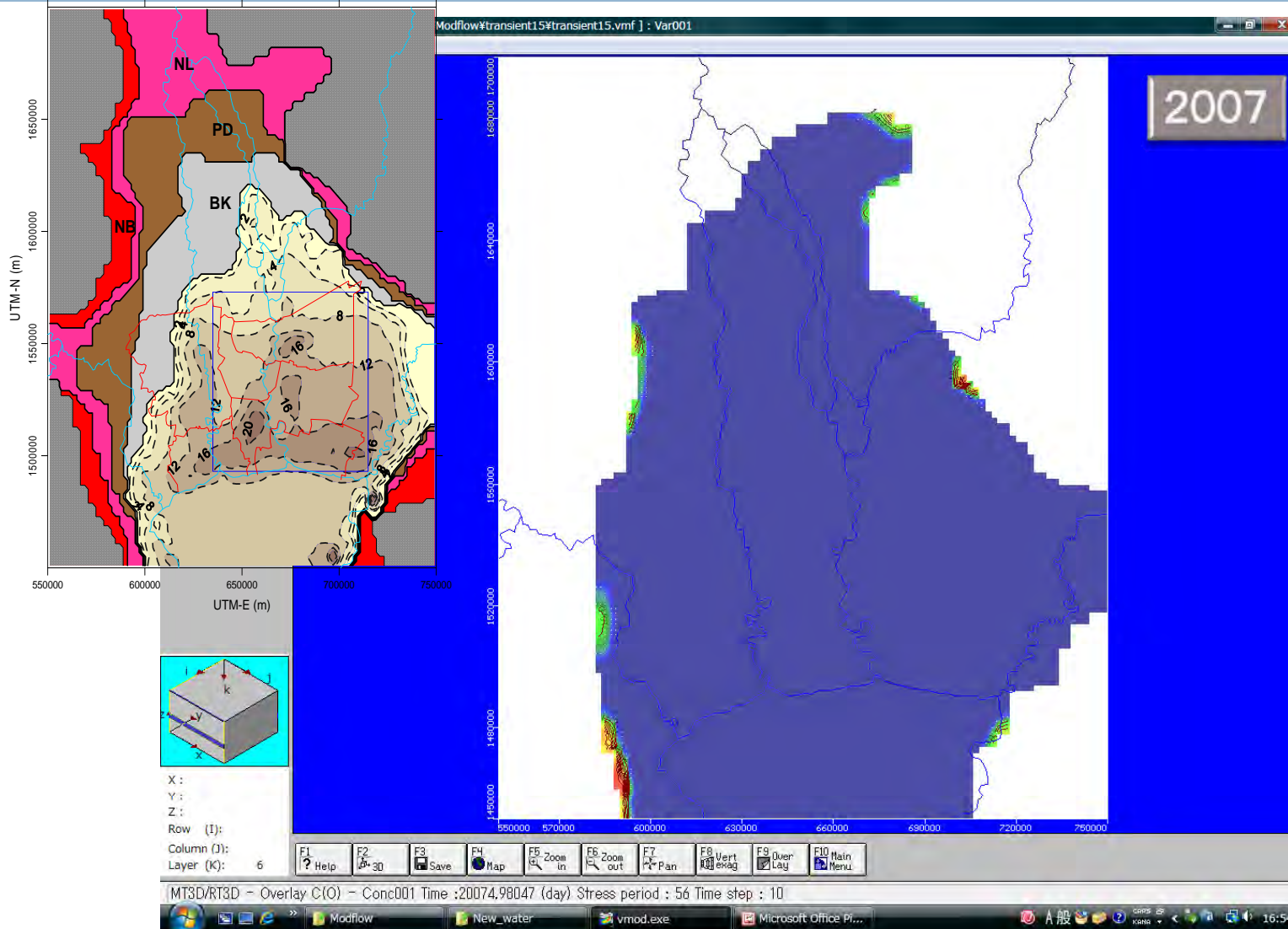


6th Layer (SK)

Renewed fraction (%)

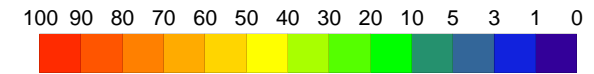


24



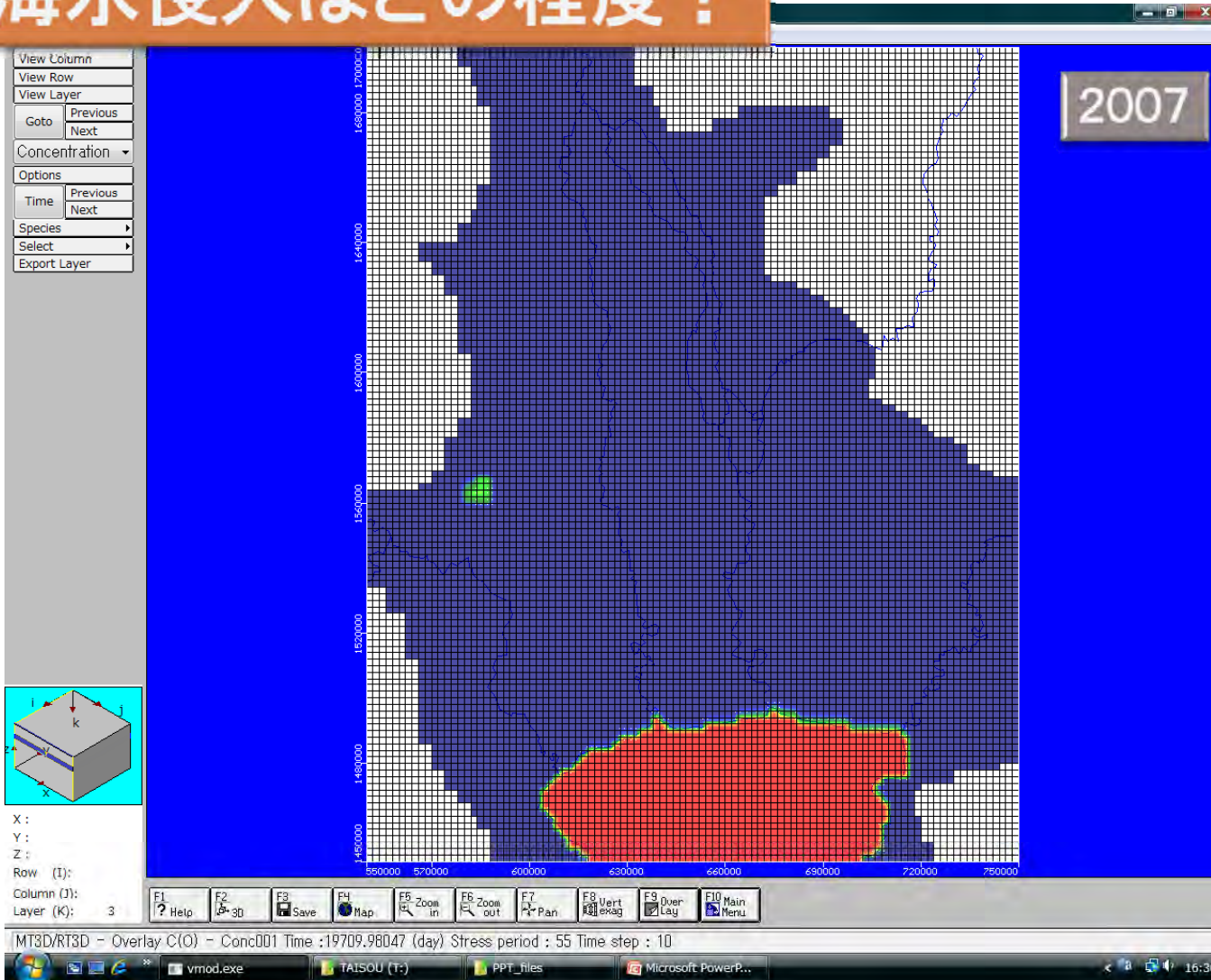
4th Layer (NL)

Sea water fraction (%)



25

(現)海水侵入はどの程度？



地球研谷口PJ2009国内会議

熊本大学

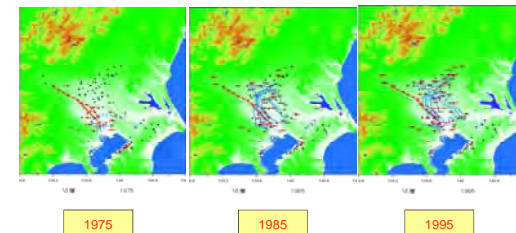
嶋田 純

『都市の地下環境に残る人間活動の影響プロジェクト』 水グループの成果

- 各都市（関東、BKK, JAK）の地下水ポテンシャル変化が把握された
- 我が国で初めてCFCs法による地下水年代を確立し、有効性と適応限界を検証した（手法開発）
- 過剰揚水に伴う若い水（浅層地下水等）の誘発涵養の存在が確認された
- それらを再現する地下水シミュレーションモデルから過剰揚水に伴う地下水流動変化の実態が把握された
- メンブレン抽出—液シン法による ^{85}Kr 地下水年代測定法を確立した（手法開発）
- アジア各都市で発生している地下水問題の時間変化とその背景の全貌を明らかにすることで、今後の地下水利用の在り方を模索した



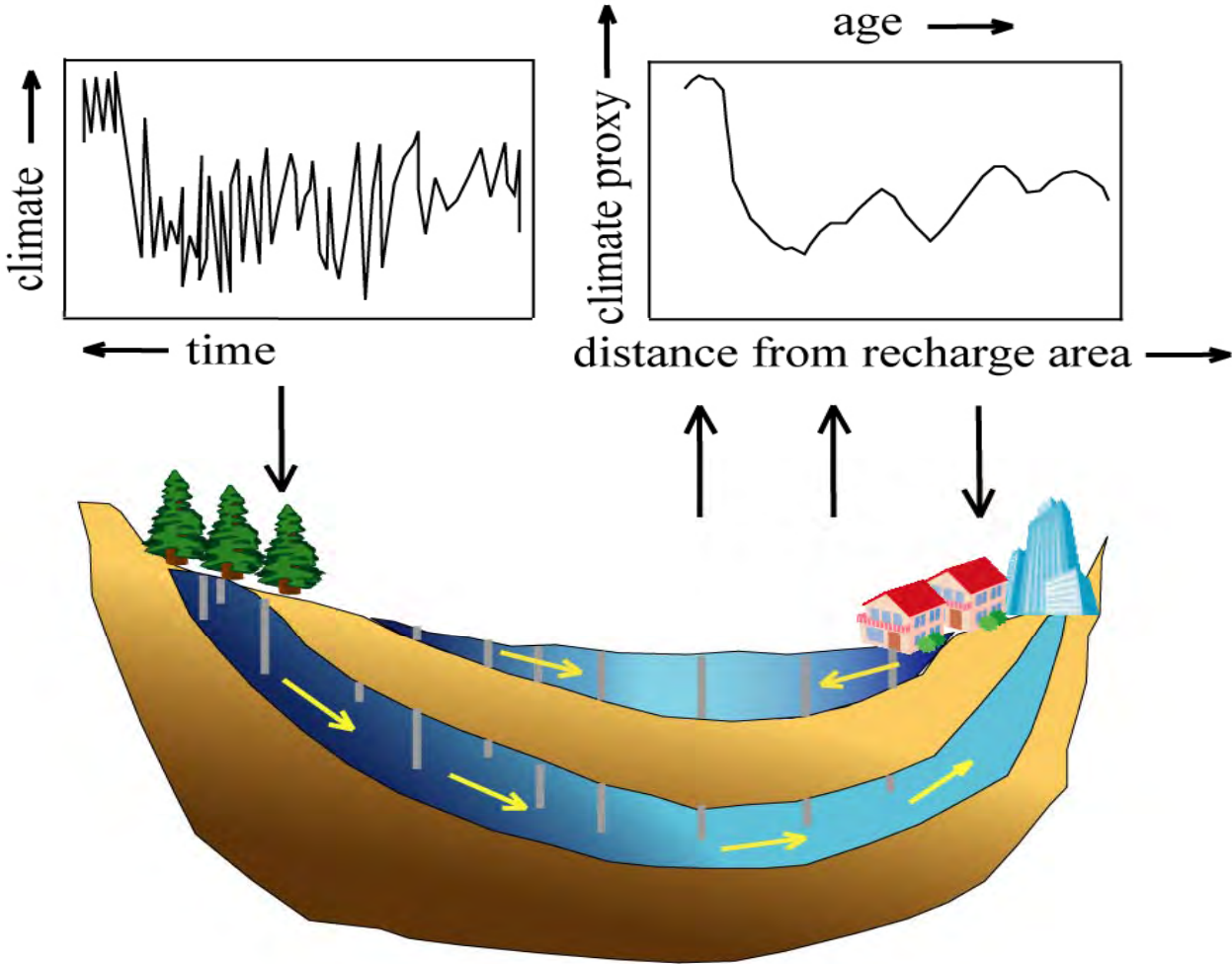
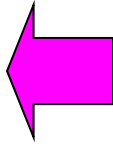
Groundwater potential during last 30years
at Kanto Plain, Japan (aquifer VI)



(Hayashi, et al., 2007)

Paleo information
(time record)
from groundwater aquifer
(recharge temperature, etc)

Groundwater flow system
information
by environmental isotopes
(residence time, recharge
temperature/altitude, etc)



(EOS.No.24,1998)

CFC and ^{85}Kr for modern groundwater age tracer

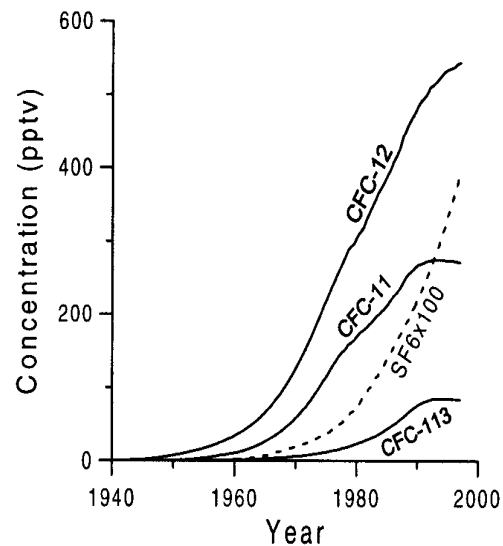


Figure 15.1 Atmospheric mixing ratios of CFC-11, CFC-12, CFC-113, and SF₆ in North American air.

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

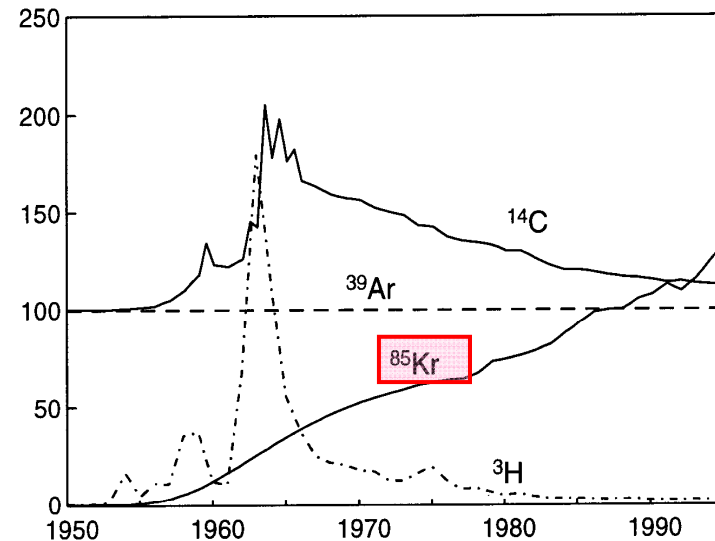


Figure 12.1 ^{85}Kr activity of tropospheric air between 1950 and 1995 compared to those of ^{39}Ar and ^{14}C , and to ^3H data representative for precipitation in central Switzerland. The vertical scale factors are: 100 = 1 Bq m⁻³ of air for ^{85}Kr , 100 % modern for ^{39}Ar (equal to 1.67×10^{-2}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

Kr-85: half life 0.7yr

Kr-85 : origin Nuclear power plant, reprocessing plant

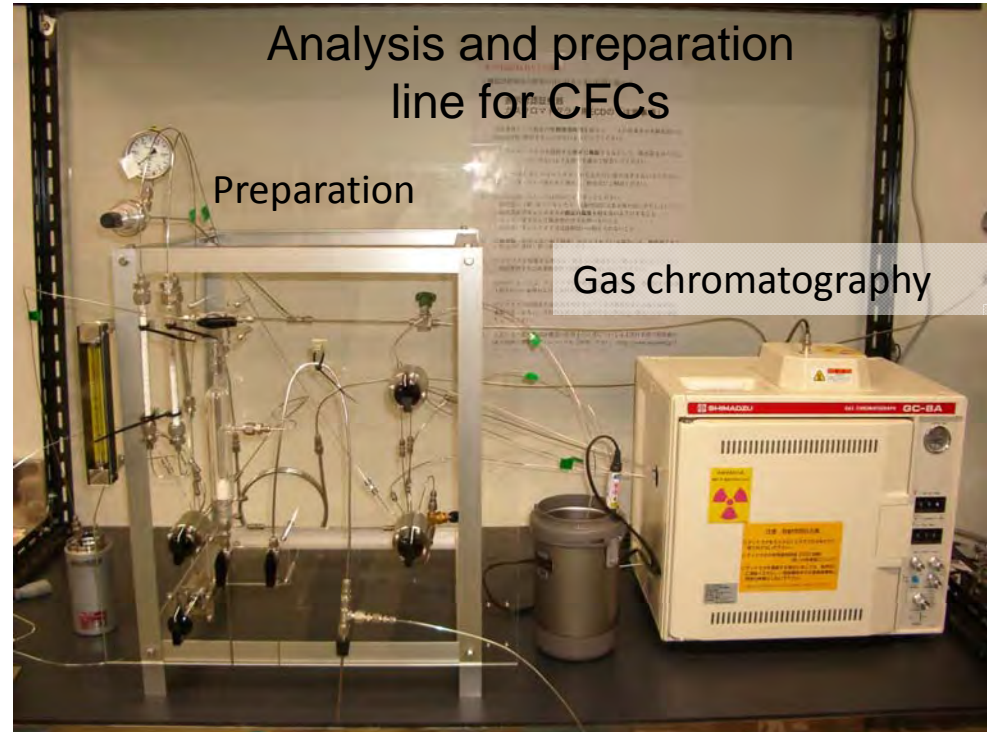
Sampling and analysis



Tube pump

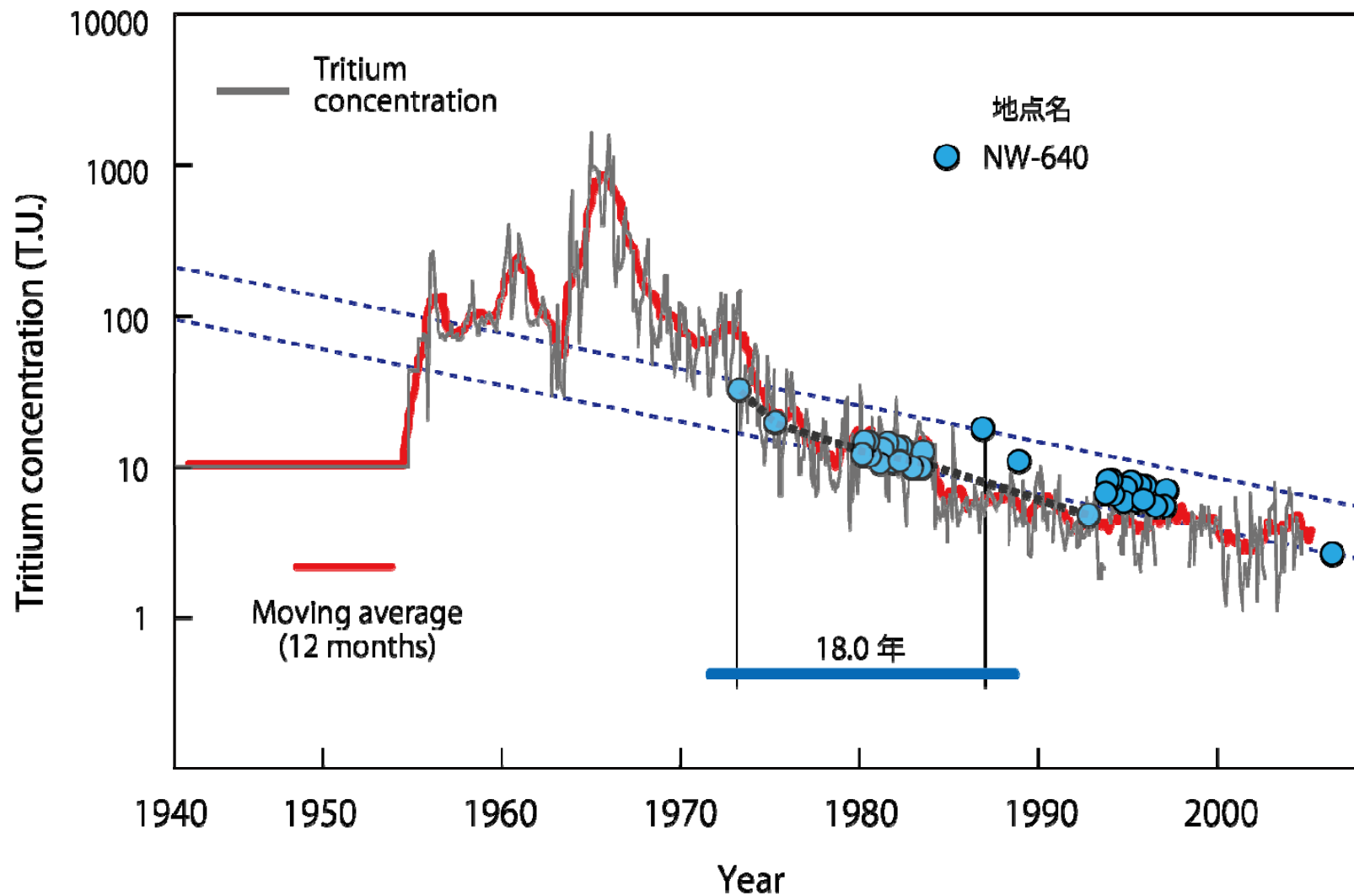


Benet pump

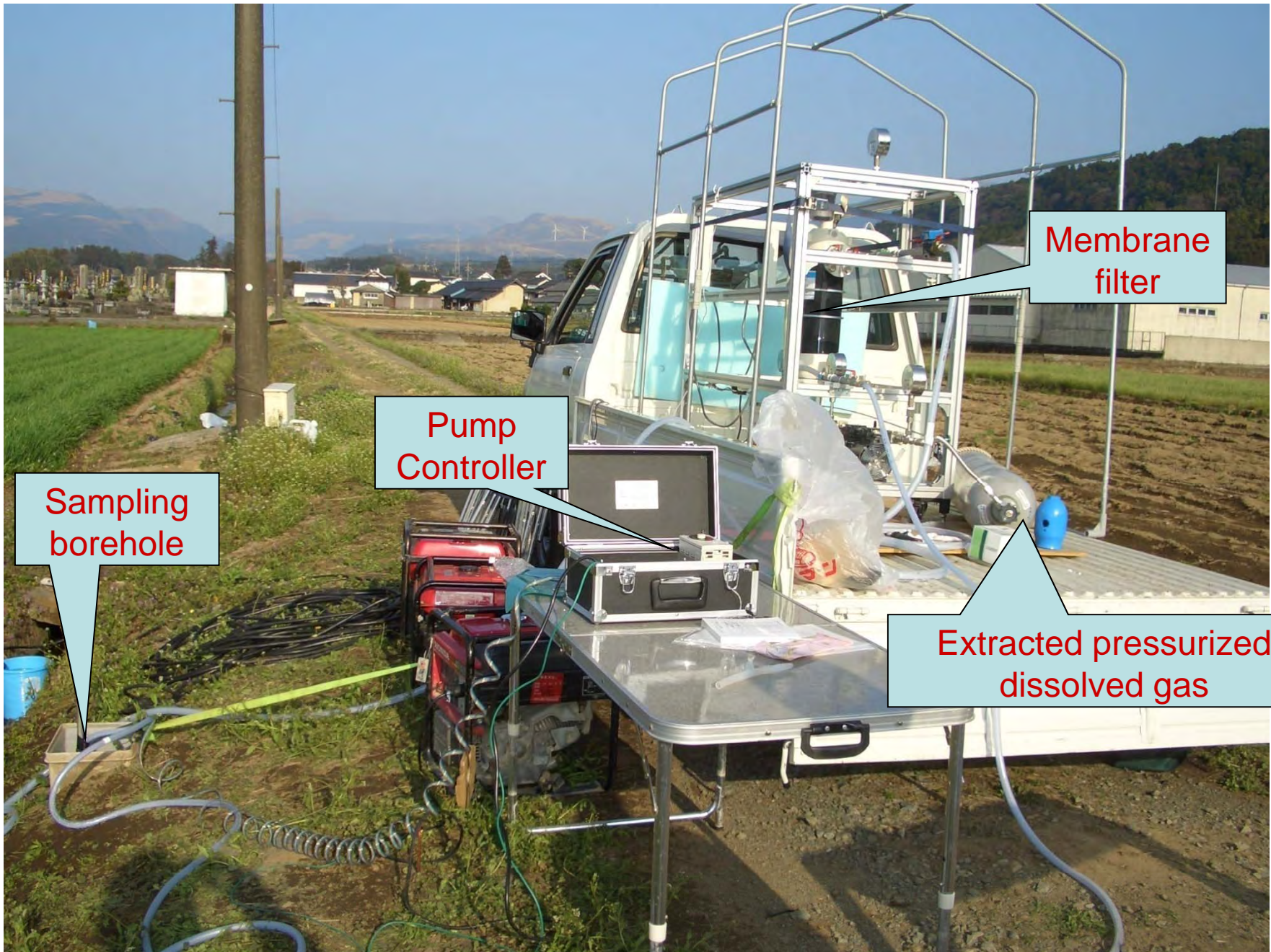


CFCs年齢の妥当性の検証～トリチウム濃度との比較～

(例:釜石)



地点名	滞留時間(ピストン流)			LUMPED (³ H)モデル	Bypass流 (%)	
	トリチウム	CFC-11	CFC-12			CFC-113
86KM10	19 or 28	28	22	23	26.3	3.5
NW640	17	—	18	22	16.4	18.8
NW377	14	14	8	18	11.7	58.3
NE417	14	—	—	5 or 17	9.1	54.5
Senninsui	31	46	32	55	33.5	11.8



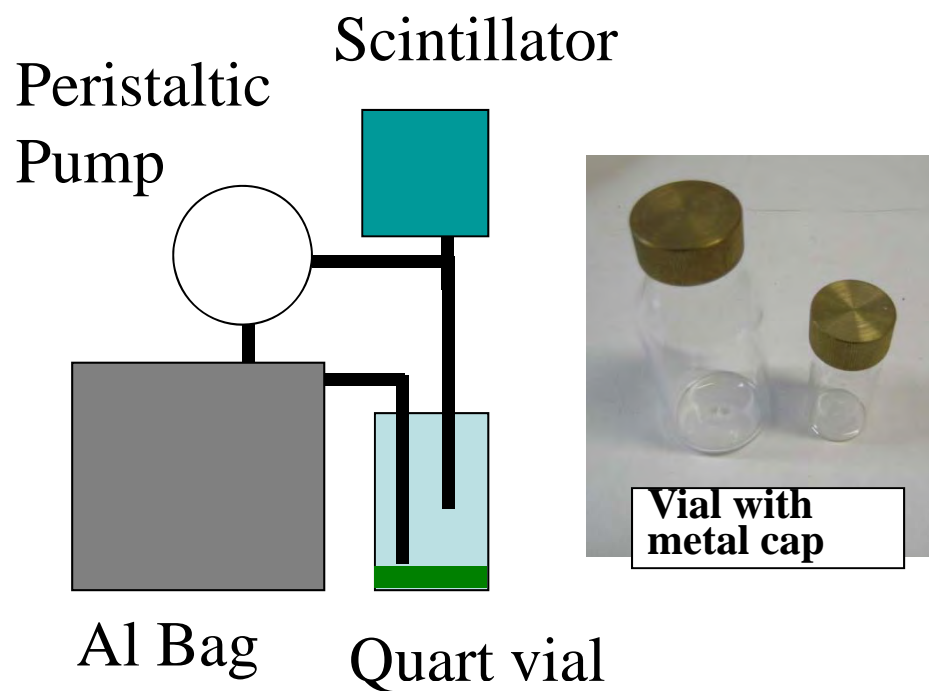
Sampling borehole

Pump Controller

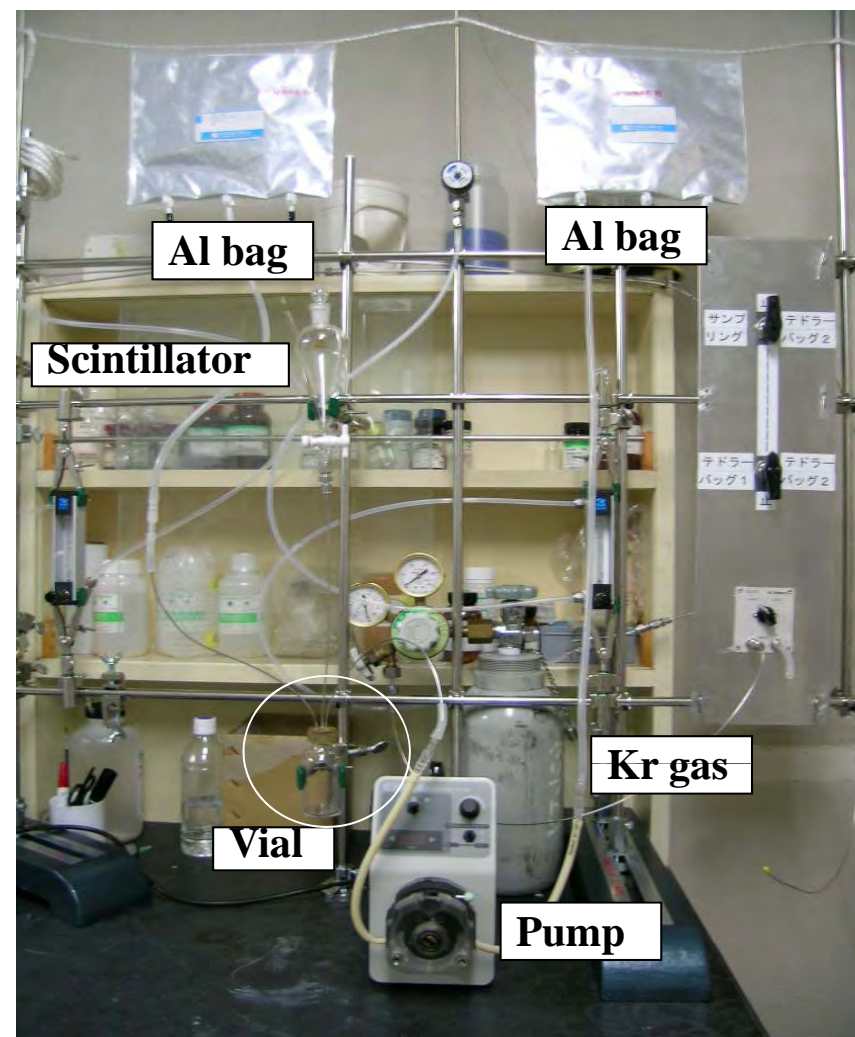
Membrane filter

Extracted pressurized dissolved gas

3. Preparation of counting sample of Kr-85



(Kr: boiling point -159.2°C)



誤差年代(一側) K=1	2003.6
大津	2003.9
誤差年代(+側) K=1	2004.2

誤差年代(一側) K=1	1998.1
江津湖	1998.4
誤差年代(+側) K=1	1998.8

2003.9
2000.5

阿蘇山

大津 - 目印

江津湖 - 目印

15.7km/6.1年 (2.6km/年)

15.7km/5.5年 (2.9km/年)
(7.8m/日)

1998.4
1994.4

熊本

天草

© 2008 ZENRIN
Image NASA
Image © 2008 TerraMetrics
Image © 2008 DigitalGlobe
ストリーミング 100%

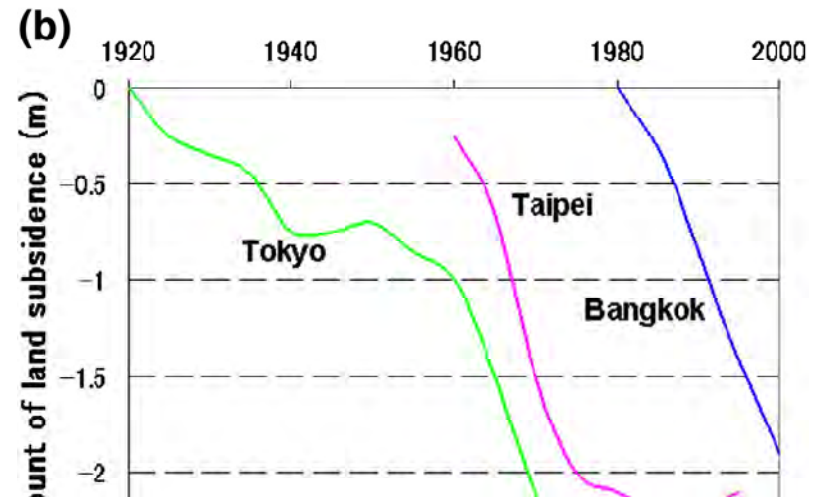
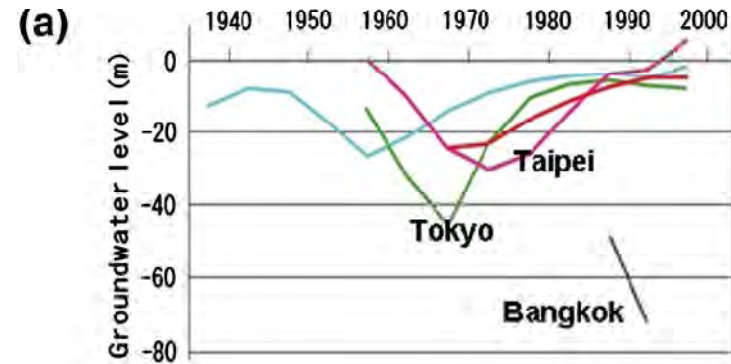
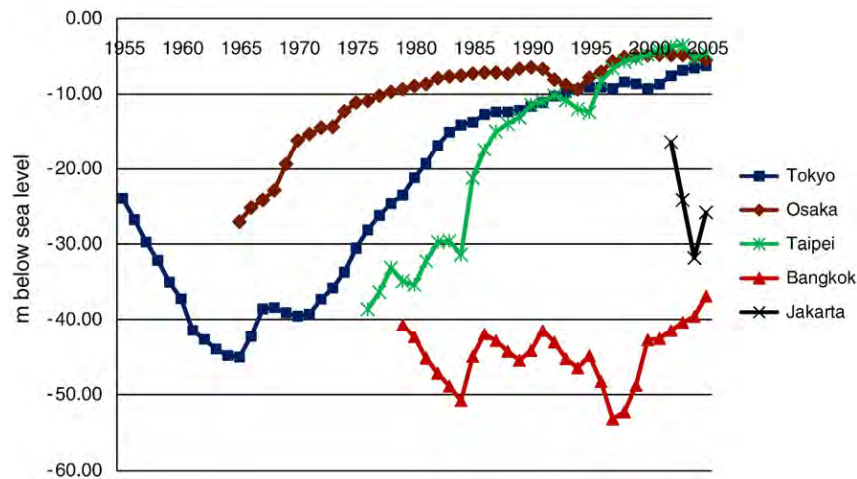
©2007 Google™

ポイント N32° 49'24.79" E130° 46'54.13"

上空 147.90 km

Trend in groundwater levels in selected areas in Tokyo, Osaka, Taipei, Bangkok and Jakarta.

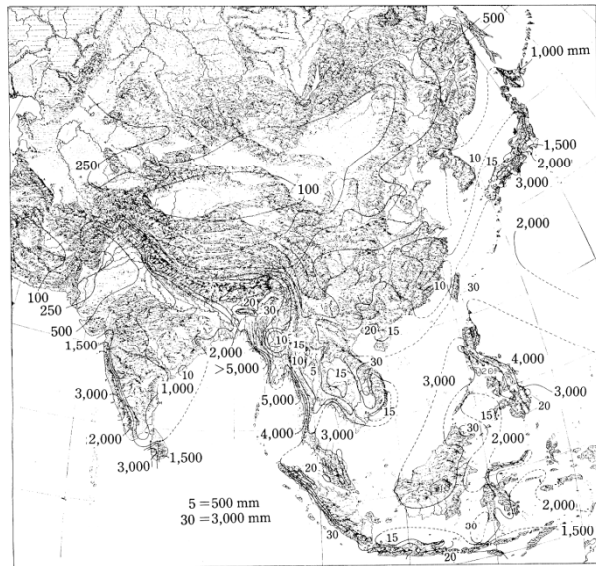
Fig. Change in (a) groundwater level and (b) amount of subsidence



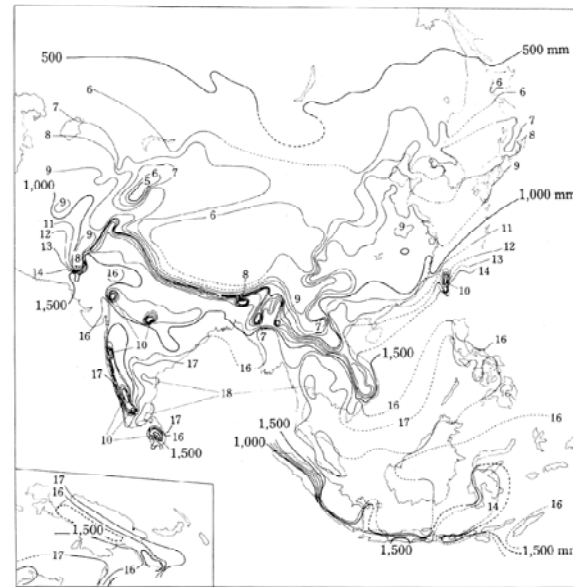
Comparison of target cities

	BKK	JAK	台北	大阪	東京	ソウル
Precipitation (mm/y)	1419	1909	2004	1400	1460	700
Actual E (mm/y)	1400	1500	1200	800	800	700
P-AE (mm/y)	19	409	804	600	660	845
Geology	Alluvium	Alluvium	Alluvium	Alluvium	Alluvium	Precam
Area(km ²)	1010	662	272	500	900	606
groundwater age (14C)	12800	7000			10577	
14 C採水井戸数	31	30			6	
population (million)	6.5	8.7(23.6)	2.8(6.8)	0.8(15.3)	12.6(34.9)	10
最大揚水量(万トン/日)	47	9.6(?)	120	33	150	12
	1980	1994	1970	1963	1970	1996
最大地下水位低下(-GLm)	-50	-25	-40	-30	-60	
	1980	2008	1975	1962	1965	
最大地盤沈下(GL-m)	-2	-2.0(?)	-2.3	-3	-4.5	

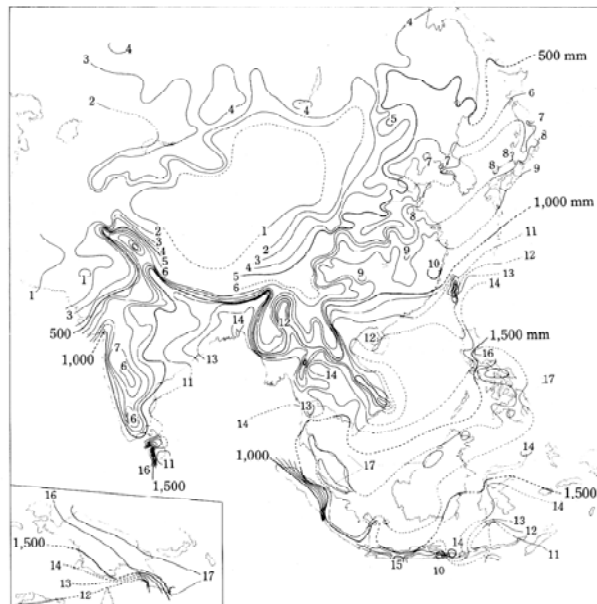
Water budget of Asia (Kayane 1972)



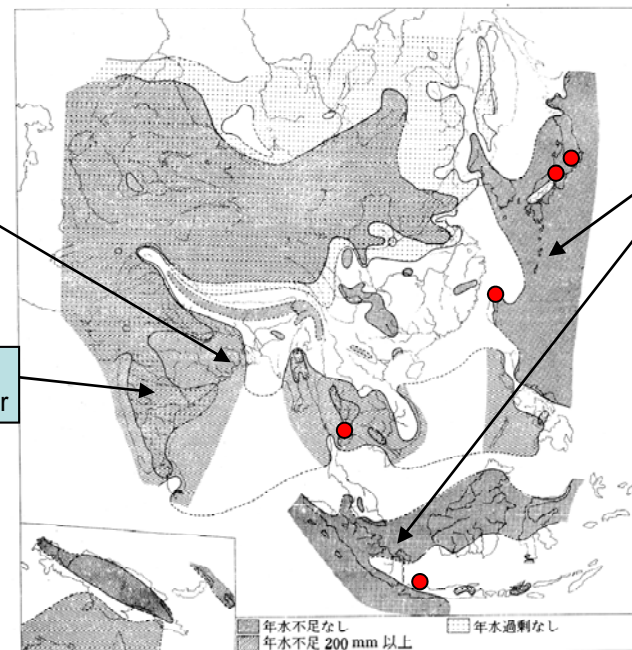
P



PE



AE



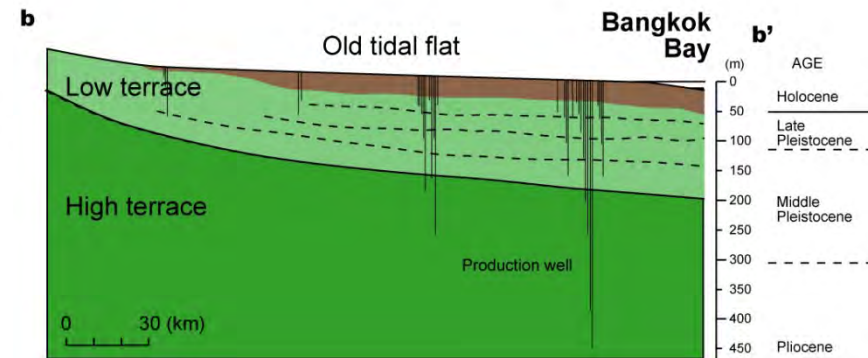
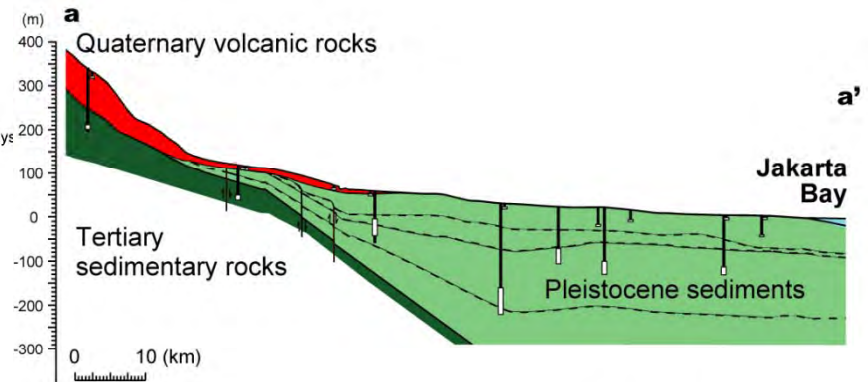
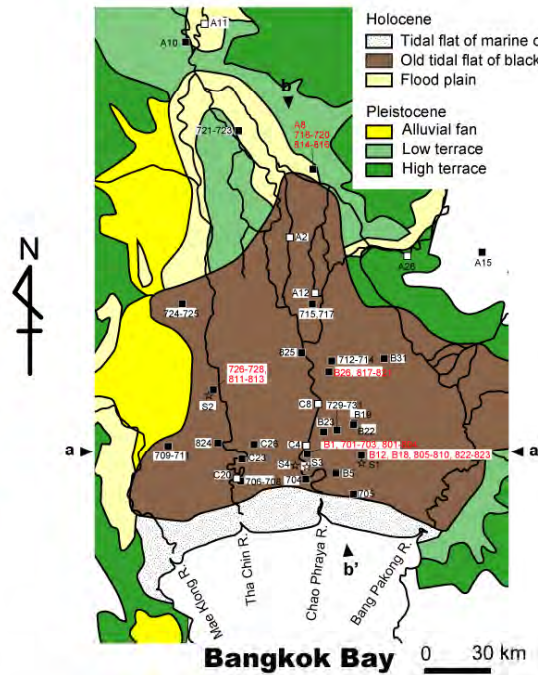
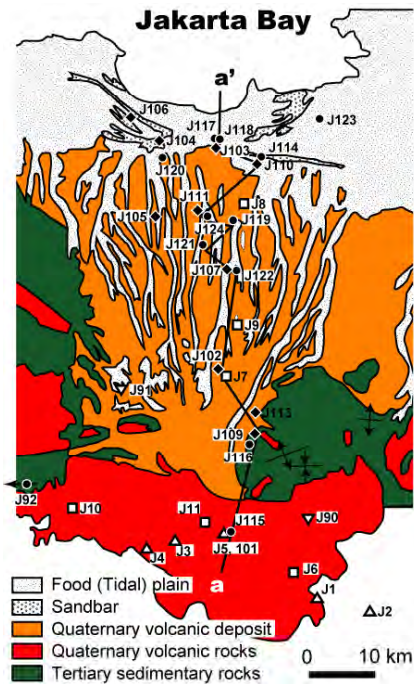
P-AE

Over 200mm/y
Water deficit

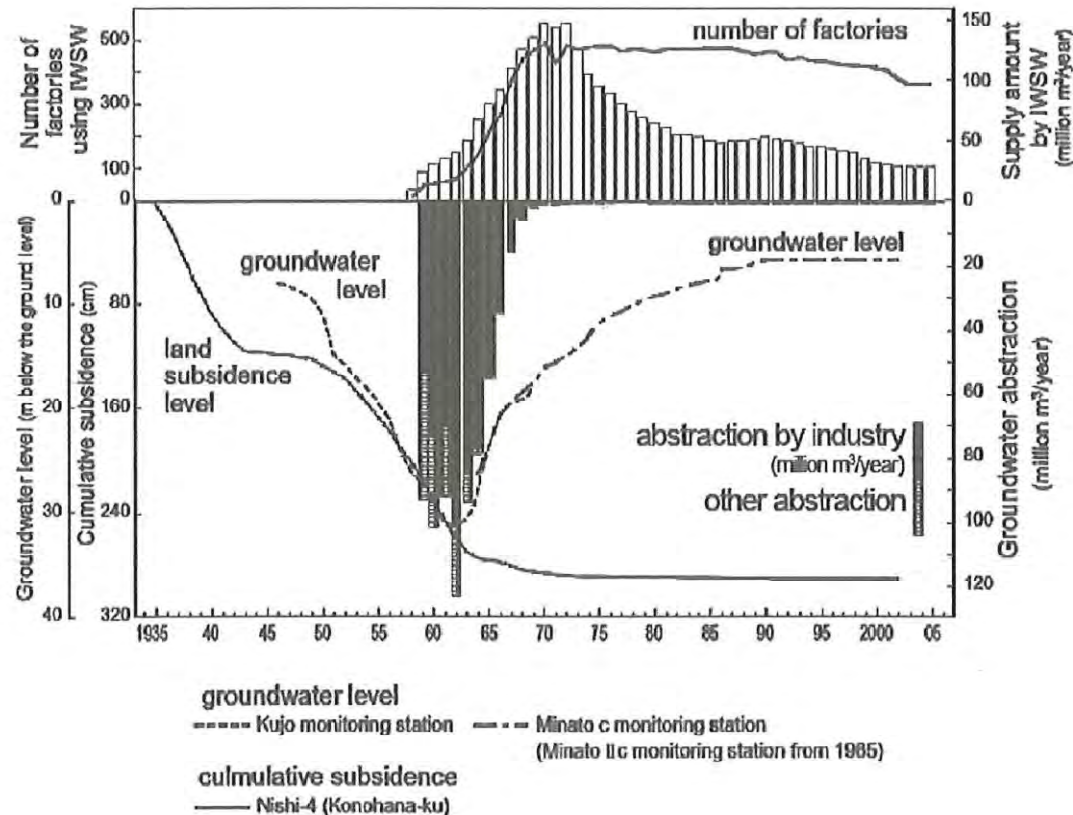
No surplus months
throughout the year

No water deficit
throughout the year

Geological setting of Bangkok & Jakarta Plain



Groundwater withdrawal at Osaka



IWSW:工業用水

Fig. 12.6. Reduction of groundwater abstraction through the provision of alternative water resources in Osaka City (IGES 2006)

Y.Kataoka and T.Kuyama, 2008

Groundwater abstraction at BKK

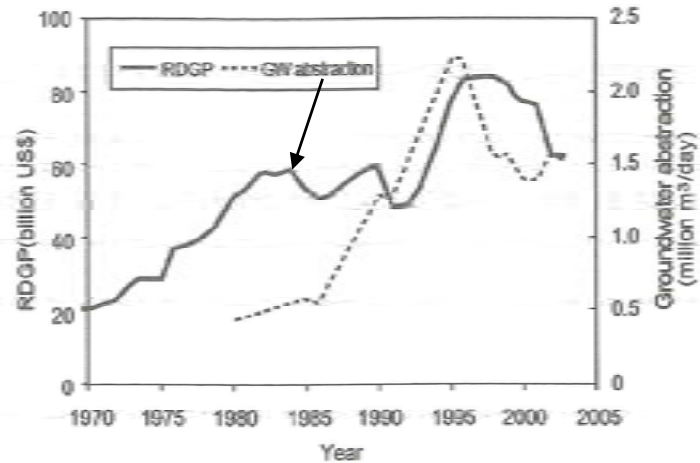


Fig. 12.2. Time course of groundwater abstraction volume and regional GDP in Bangkok. (IGES 2006)

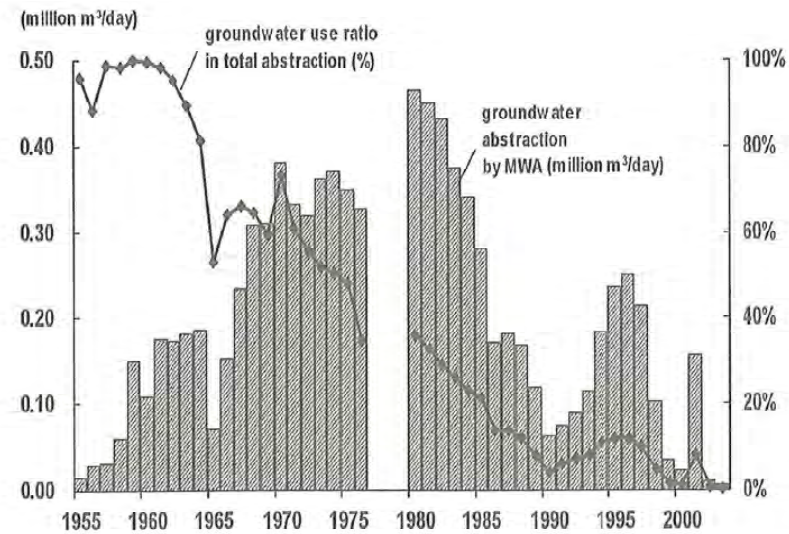


Fig. 12.4. Groundwater abstraction by the MWA and its share of total abstraction in Bangkok Metropolitan Area

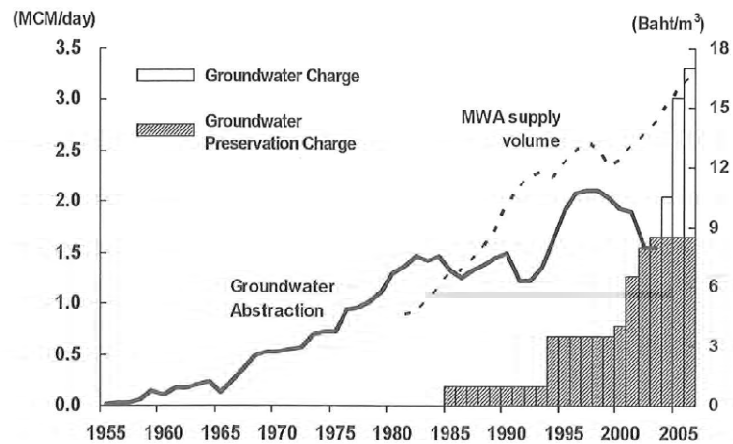
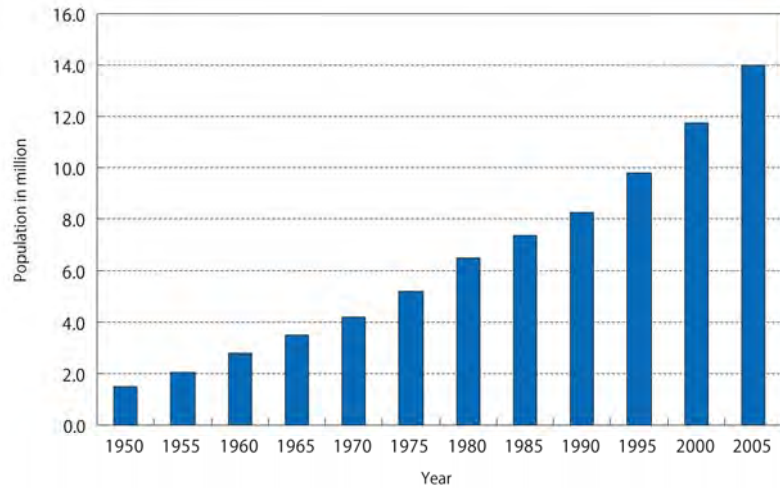
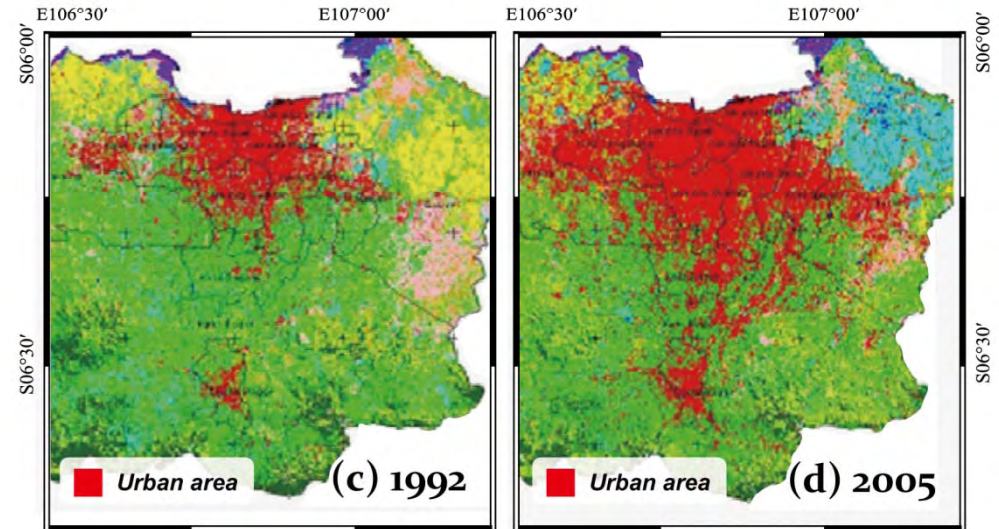
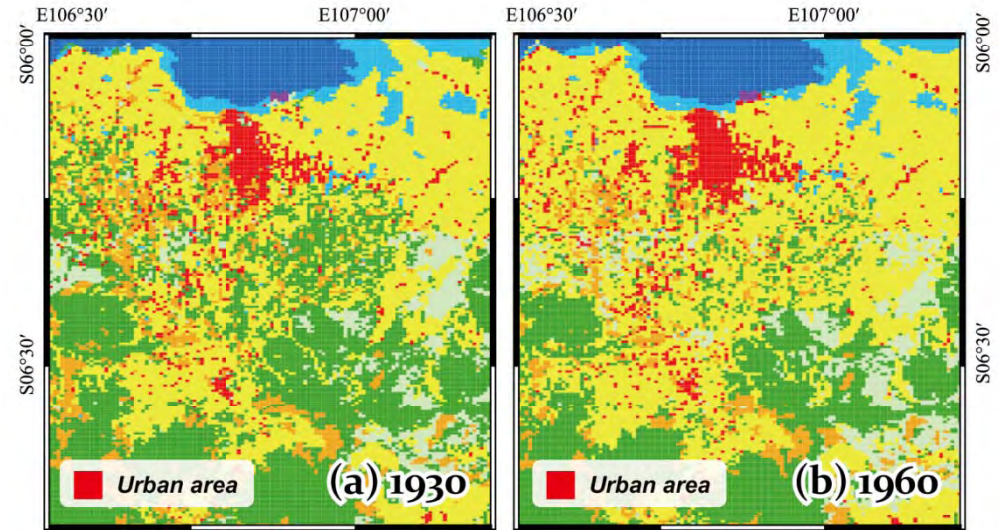


Fig. 12.5. Change in groundwater abstraction, MWA supply volume and the Groundwater Charge (Babel 2006)

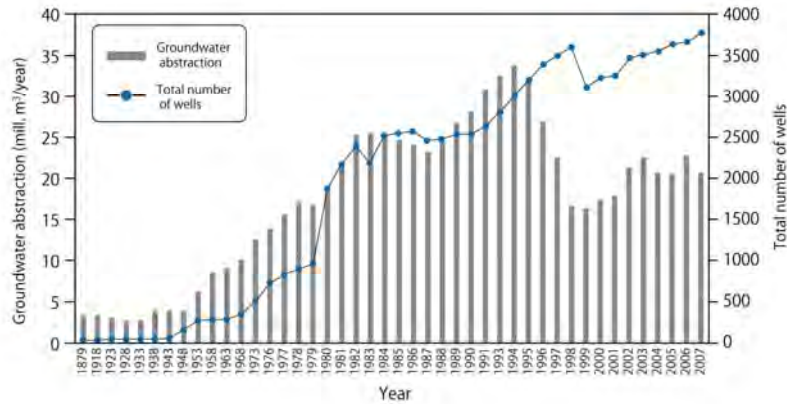
Y.Kataoka and T.Kuyama, 2008



Population



Land use



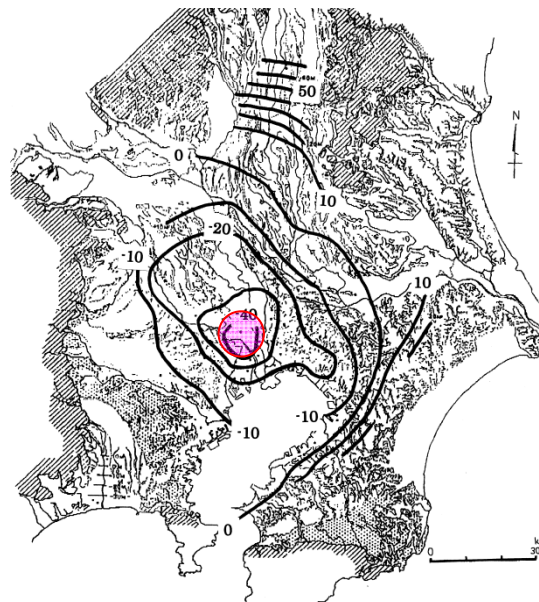
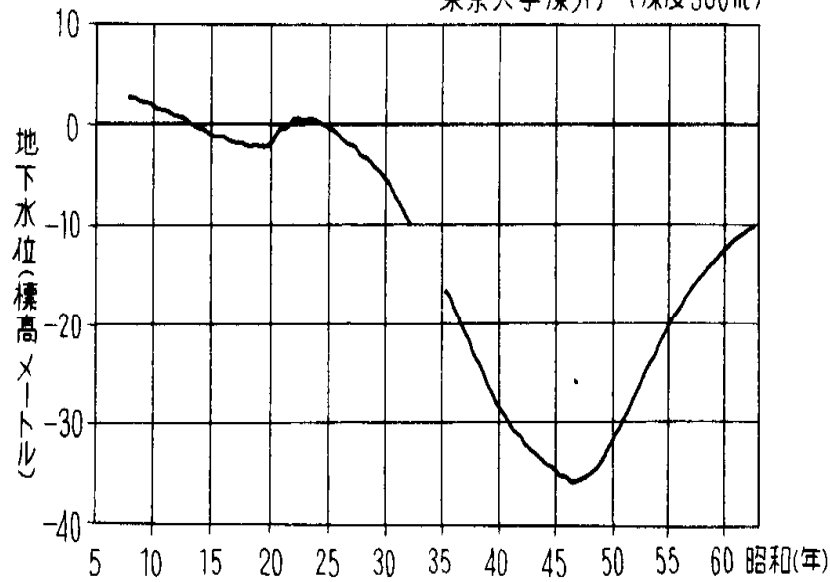
GW abstraction and Number of well

『登録井戸の揚水量の10倍の揚水量がある』(遠藤さん談)

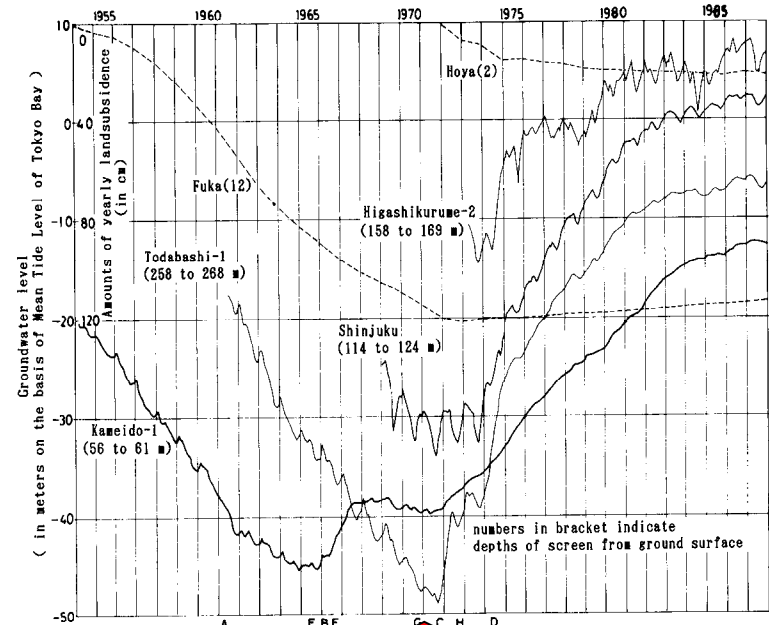
Groundwater change in Kanto plain (Tokyo)

地下水位変動グラフ

東京大学深井戸 (深度380m)

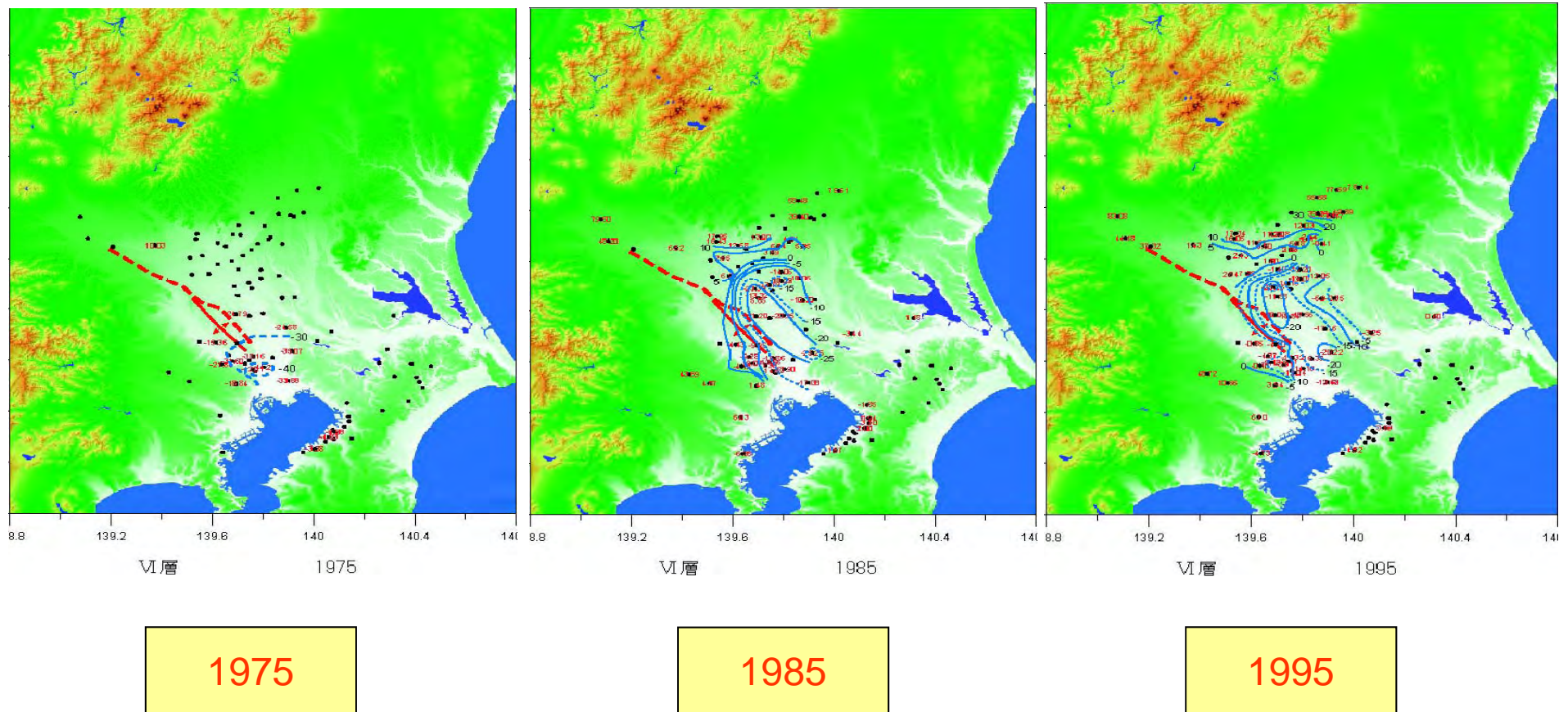


1970



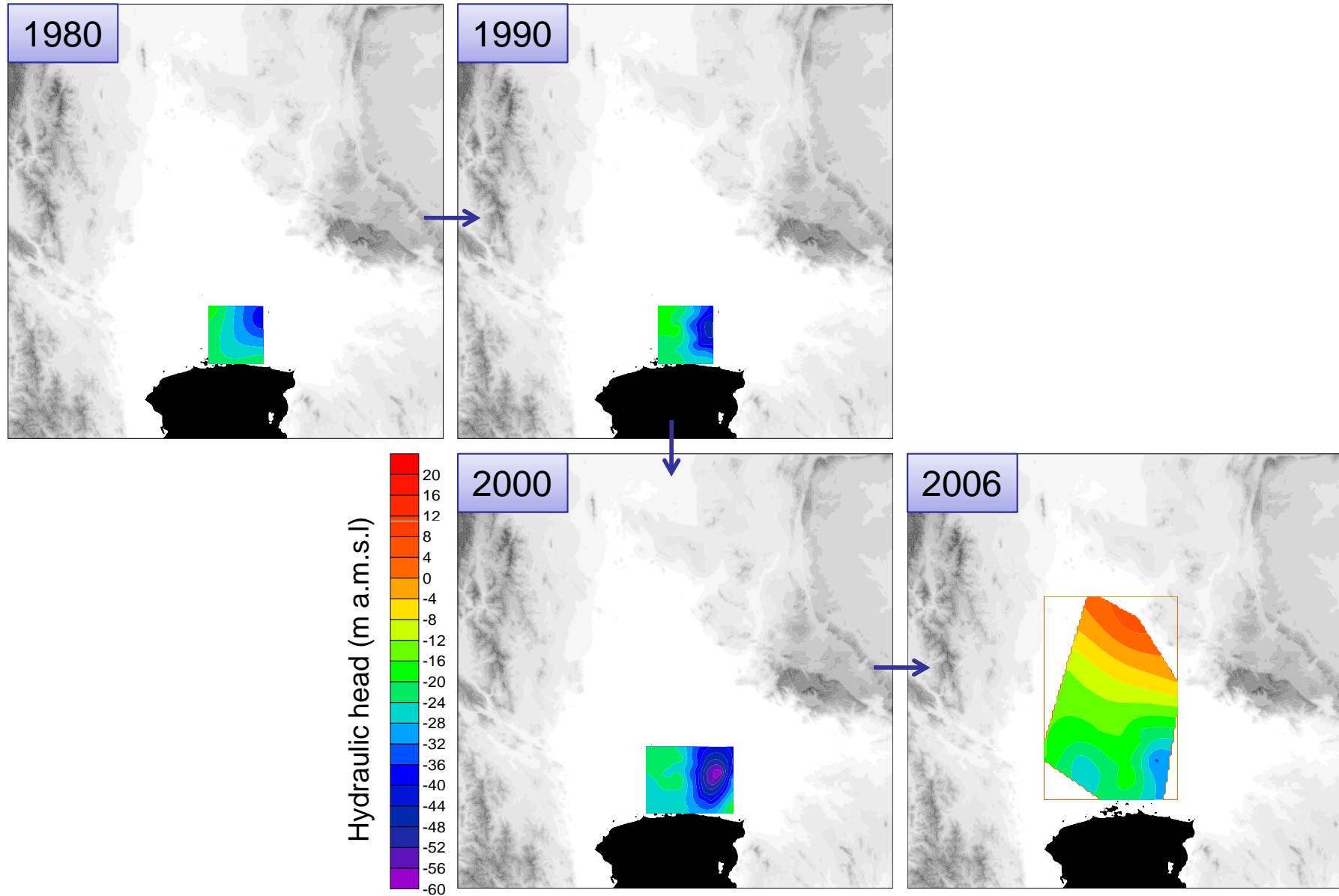
- A: In January 1961, southern part of Alluvial Land, Koto Region, was designated by the Industrial Water Law (IWL) as a restricted area where no new wells were to be installed for industrial usage.
- B: January and June 1966, pumping of groundwater for industrial usage in Koto Region was restricted by IWL.
- C: In December 1971, pumping of groundwater for industrial usage in the northern part of Alluvial Lowland called Johoku Region was restricted by IWL.
- D: In April 1974, pumping of groundwater for industrial usage was more reinforced in Johoku Region by IWL.
- E: In July 1965, pumping of groundwater for airconditioning in Alluvial Lowland of Wards District was restricted by the Law Controlling Pumping of Groundwater for Use in Building (LCB).
- F: In July 1966, pumping of groundwater for airconditioning in Terrace of Wards District was restricted by LCB.
- G: In November 1970, drilling of new wells for industrial and non-drinking usages was restricted in Tama District under the Metropolitan Ordinance.
- H: December 1972, extraction of water-soluble natural gas was suspended in the estuary of the Ara River by the means of purchase of the mining rights by Tokyo Metropolitan Government.

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

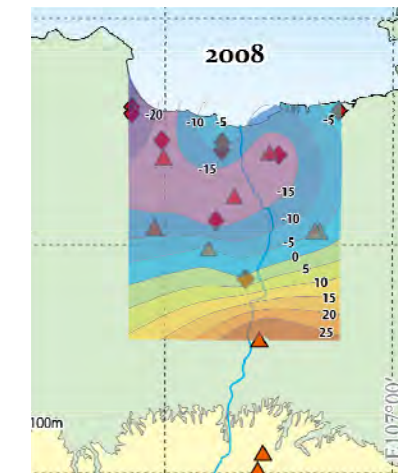
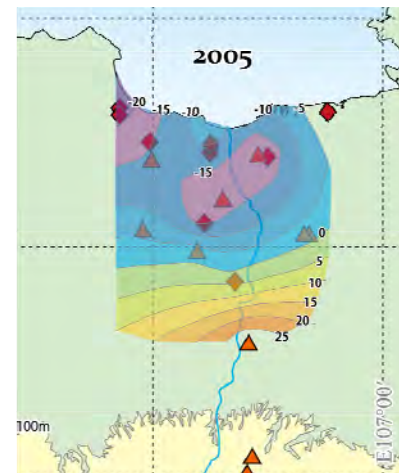
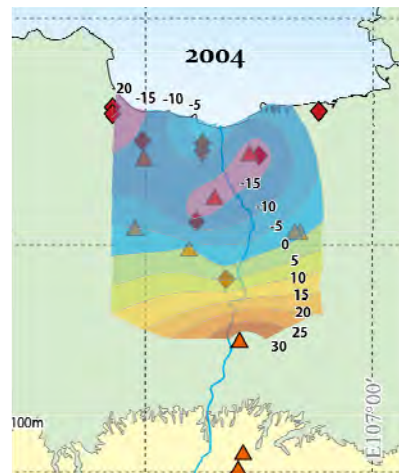
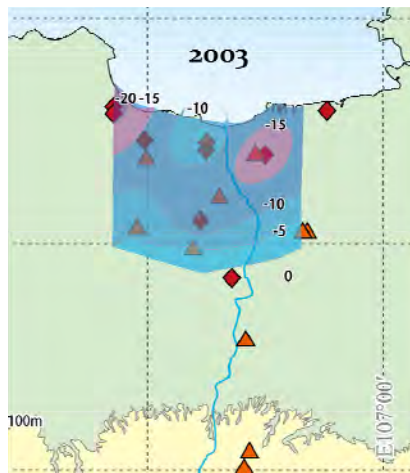
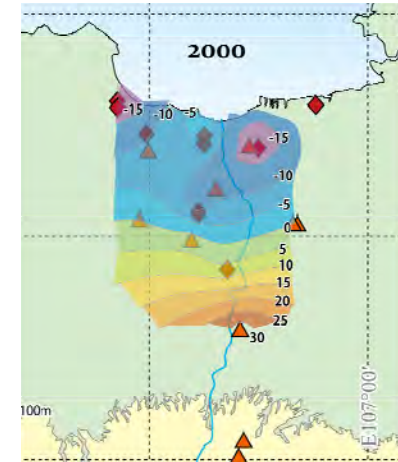
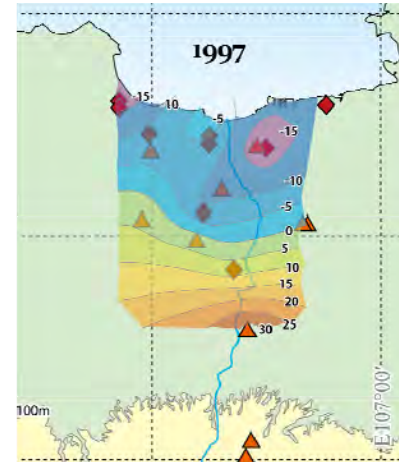
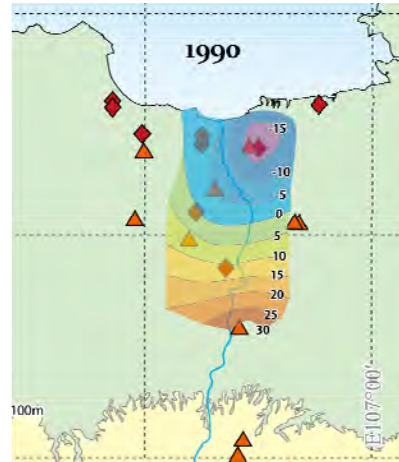
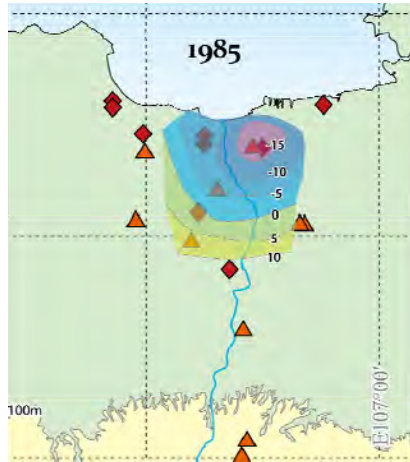


(Hayashi, et al., 2007)

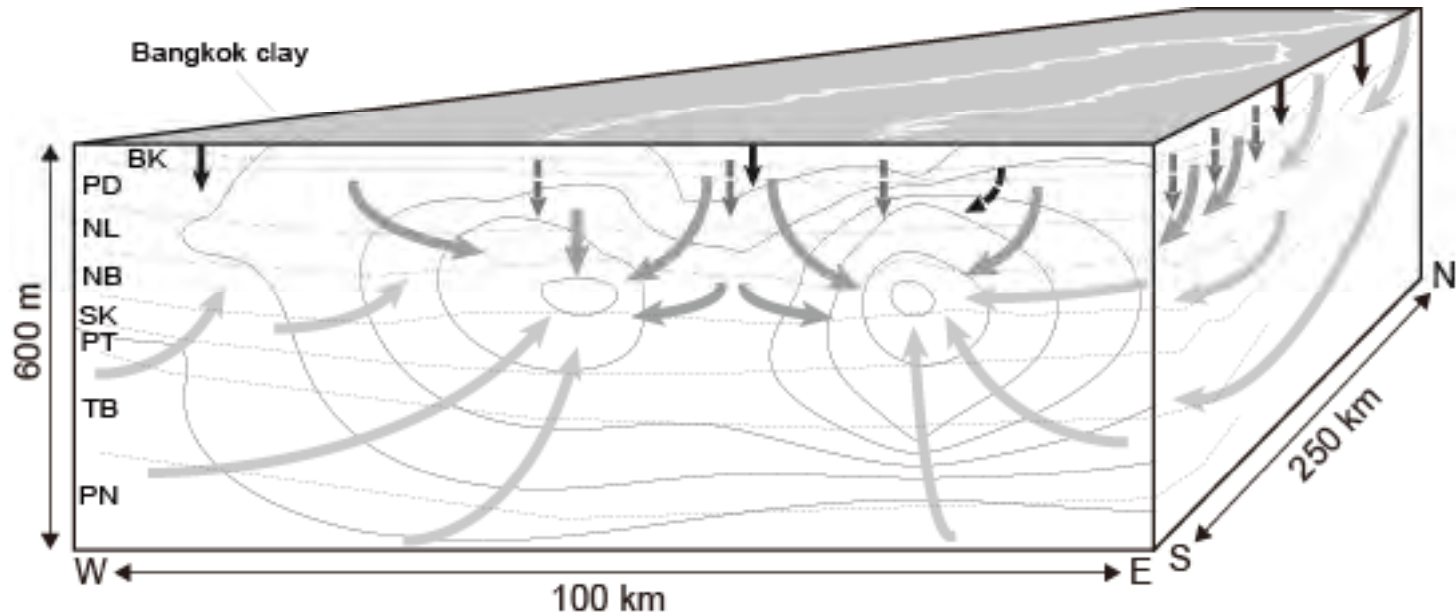
BKK NL aquifer



Jakarta地域地下水ポテンシャル変化



3次元地下水流動系



Legend		δD_o	χ_{sw}	Δ_{ev}
	Water recharged within LCP after completion of delta formation	H	L	H
	Water recharged at mangrove forests during the latter stage of delta formation	H	H	M
	Water recharged within LCP during the former stage of delta formation or earlier	H	M	H
	Water recharged during the last glacial age and/or at mountainous areas	L	L	L
	Equipotential line			
	Estimated boundary of aquifer unit			

アジアの沿岸都市の地形・地質の特徴

- 第4紀の海成・河成・湖沼成未固結沖積・洪積層 → 高い間隙率と透水性
- 沿岸のデルタ地帯の平坦地(平野)



- 賦存量の多い、流動性の高い帯水層
- 過剰揚水に伴って地盤沈下し易い
- 過剰揚水に伴って海水侵入し易い

アジアの地下水問題

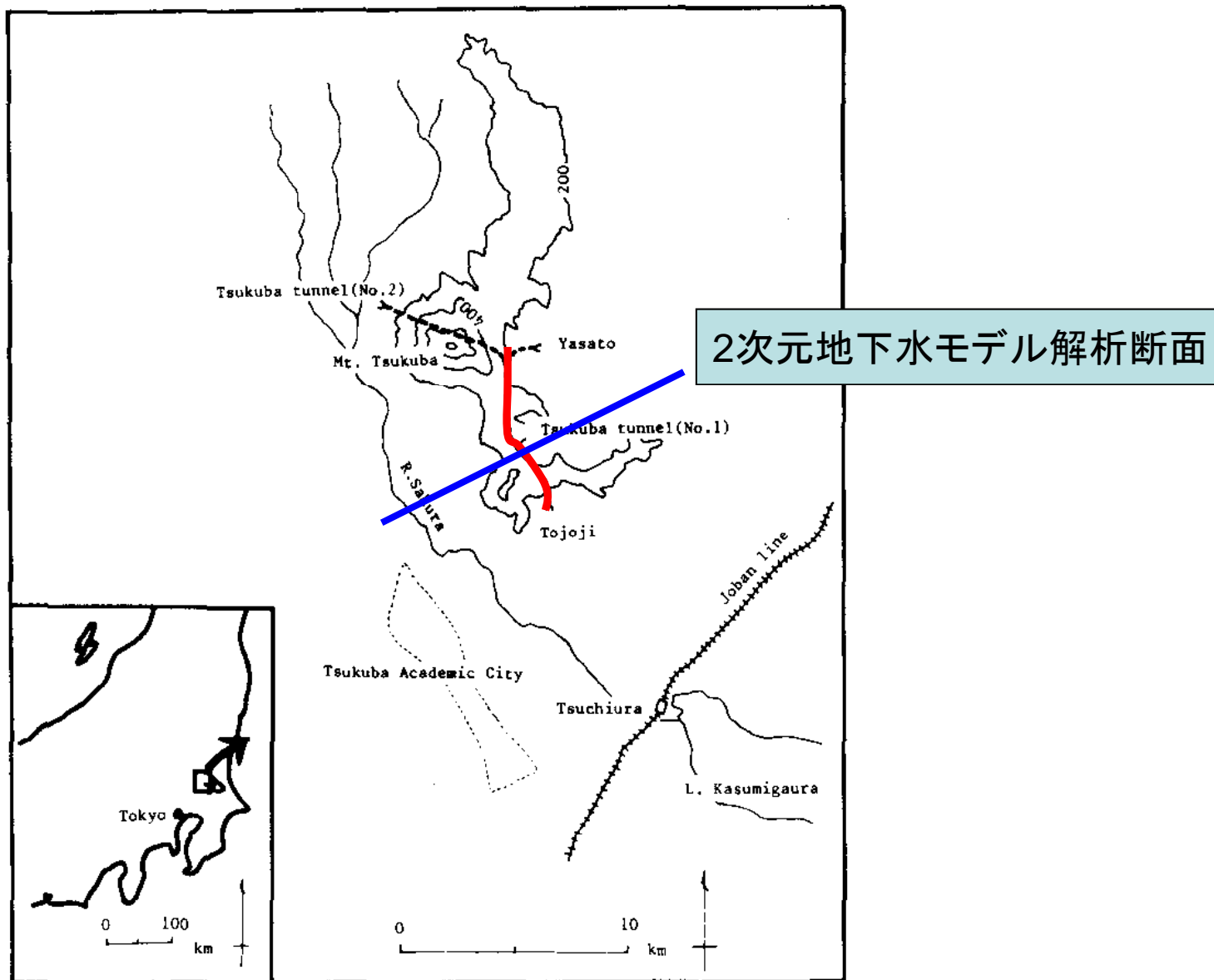
- 日本(大阪→東京→名古屋)
過剰揚水に伴う地下水災害(1960-70)
代替水源手配による揚水規制(1970年代)

(関東地域:利根川水系、関西地域:淀川水系)

潜在的(最大誘発)地下水涵養量(i_{\max})
による顕著な水位回復

$$i = P - E - R$$

$$i_{\max} = P - E$$



Location of study area.

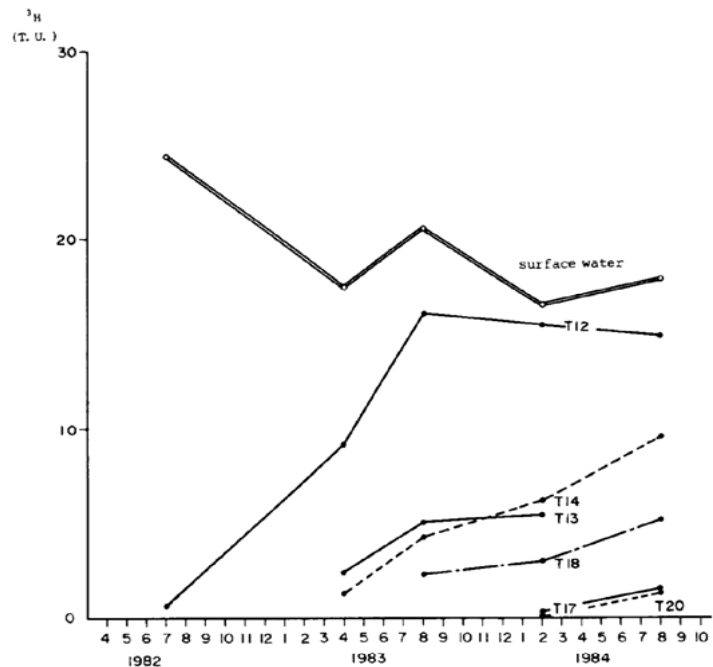


Fig. 14 Changes of tritium concentration in seepage water along tunnel, after tunnel construction.

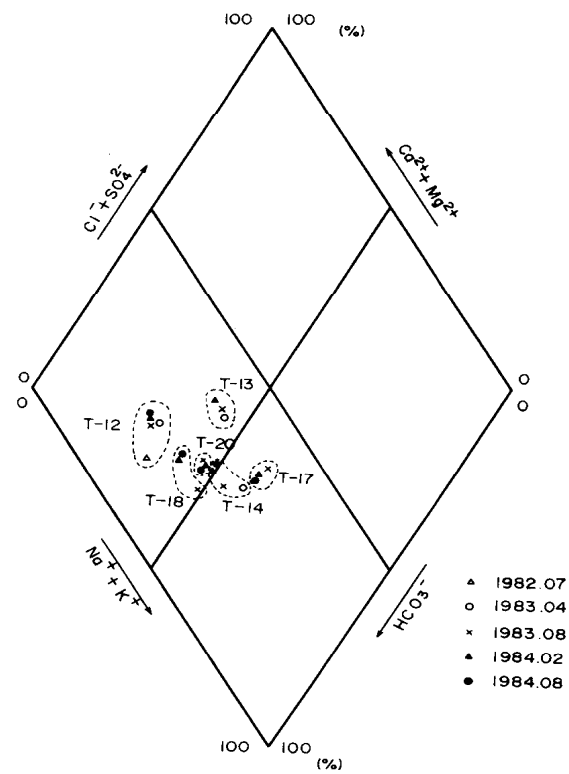
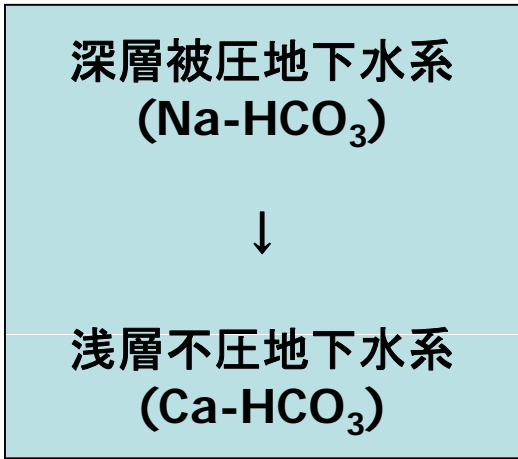
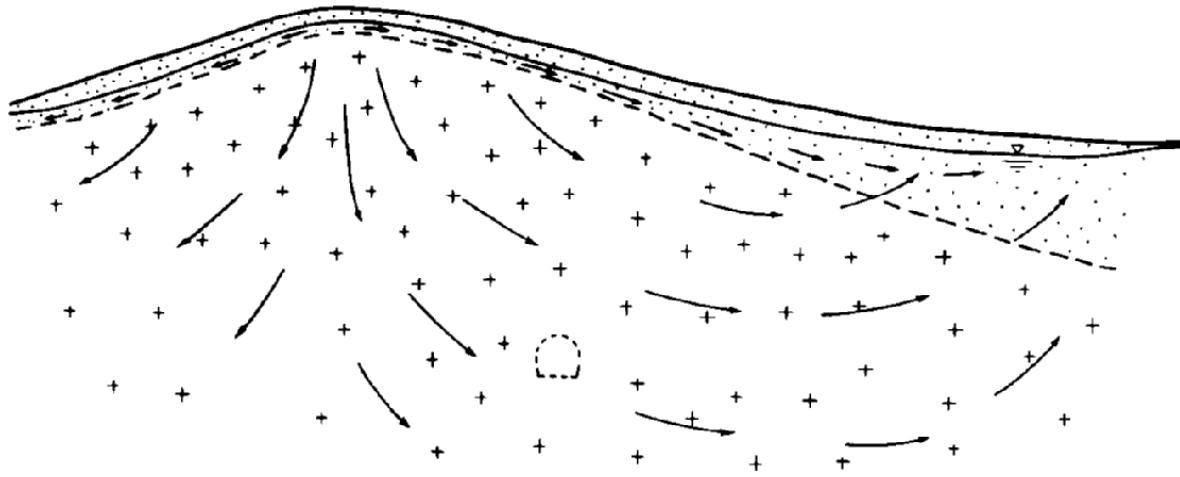


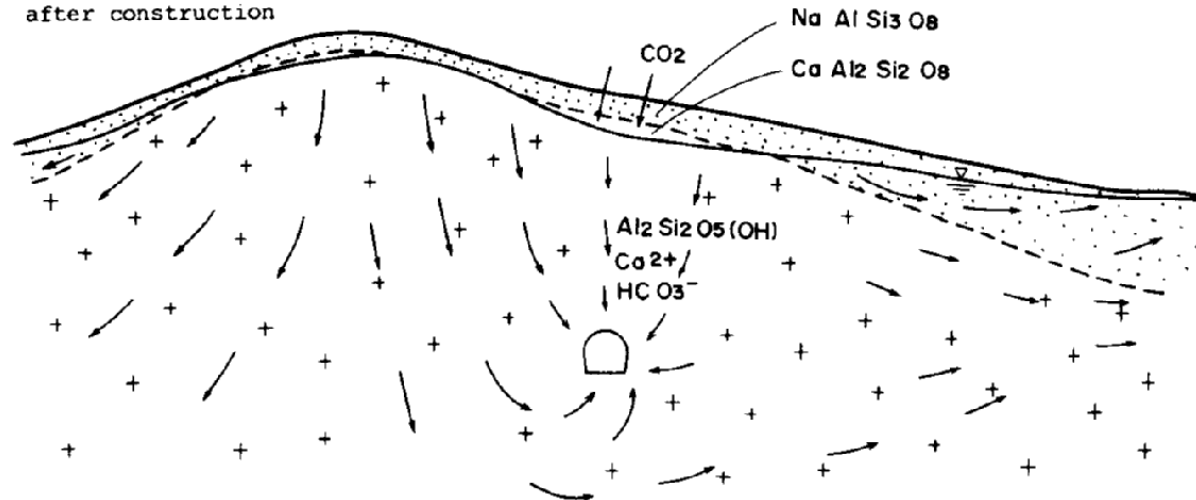
Fig. 4 Piper plot of the change of water quality for seepage water along the tunnel.



(a) before construction



(b) after construction



Conceptual groundwater flow on the cross-section around the tunnel before and after the construction.

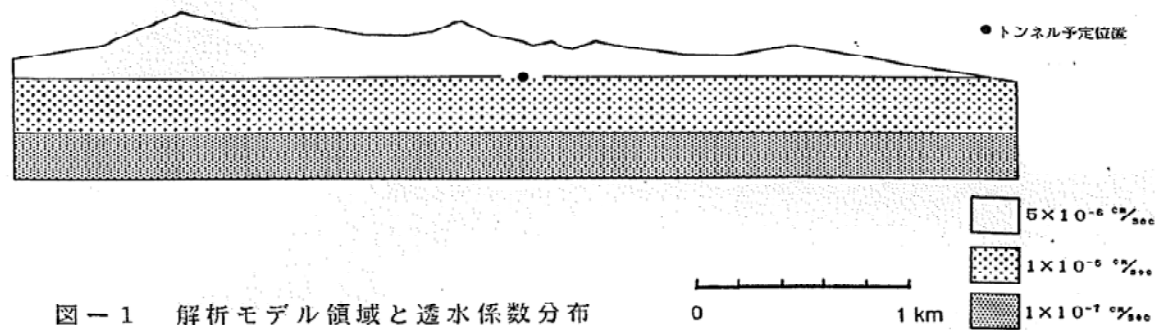


図-1 解析モデル領域と透水係数分布

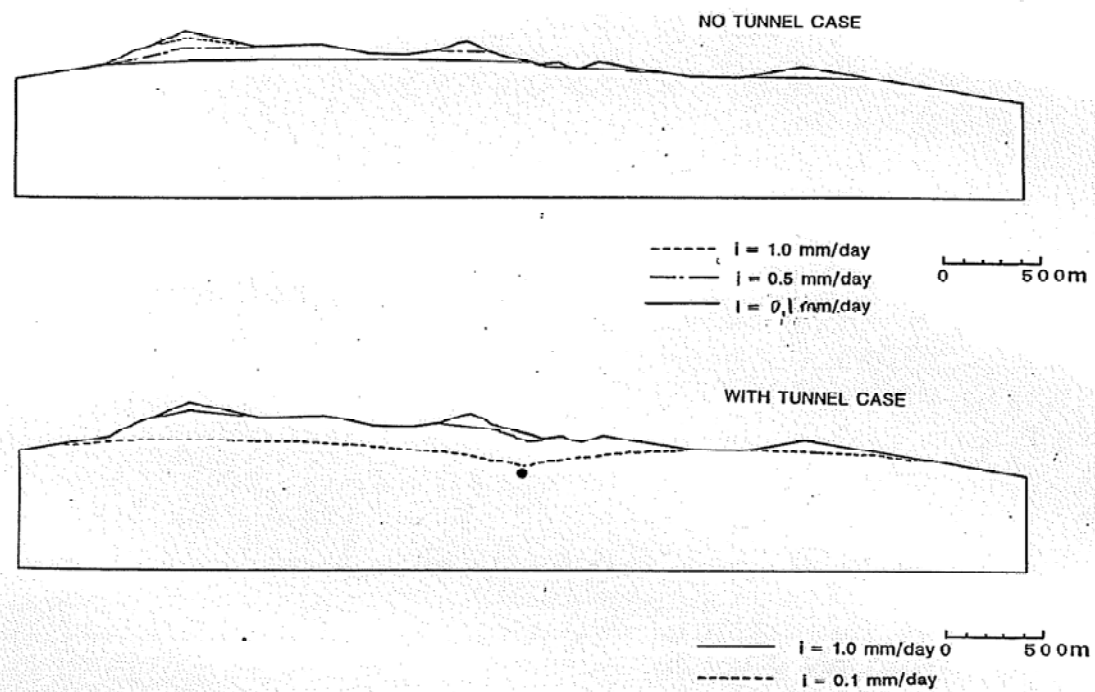


図-2 涵養量の違いに応じた地下水面形状の変化

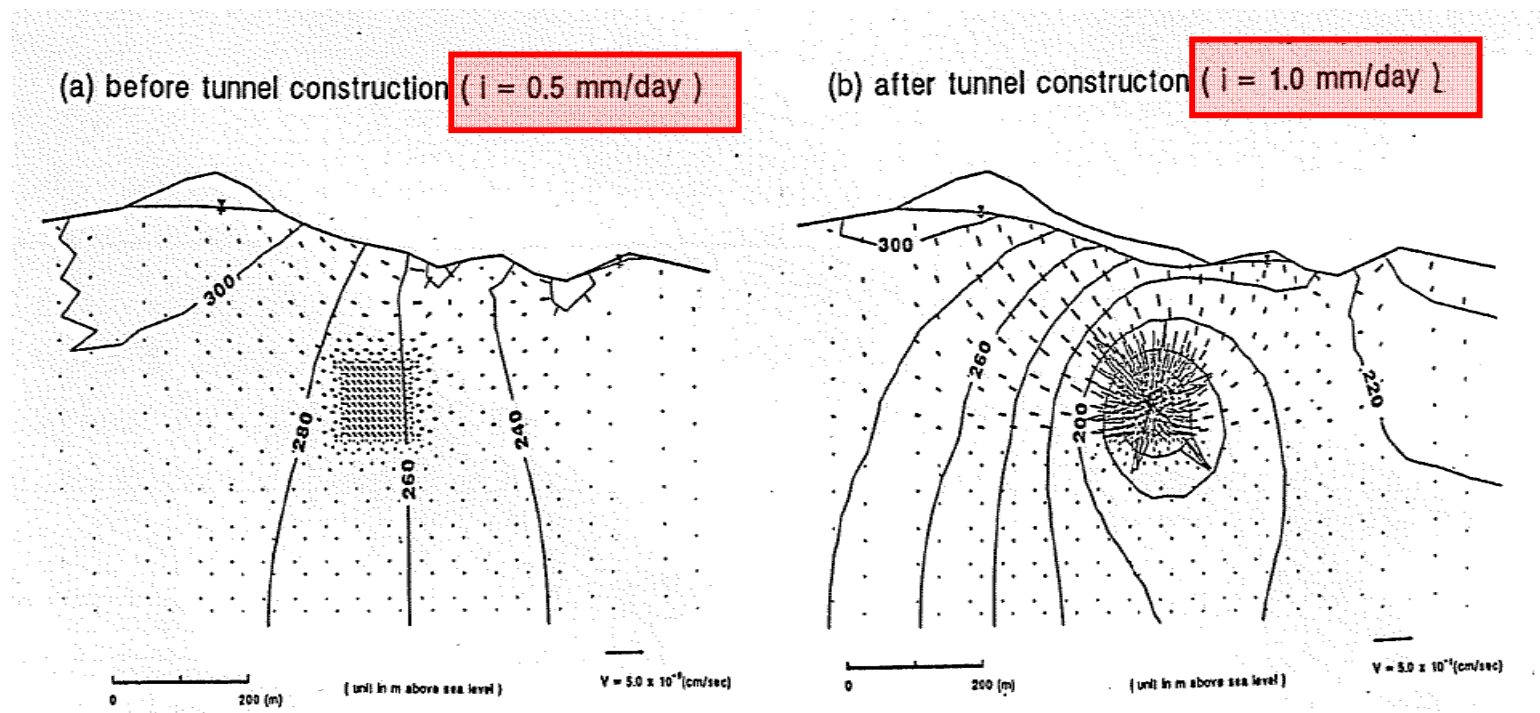


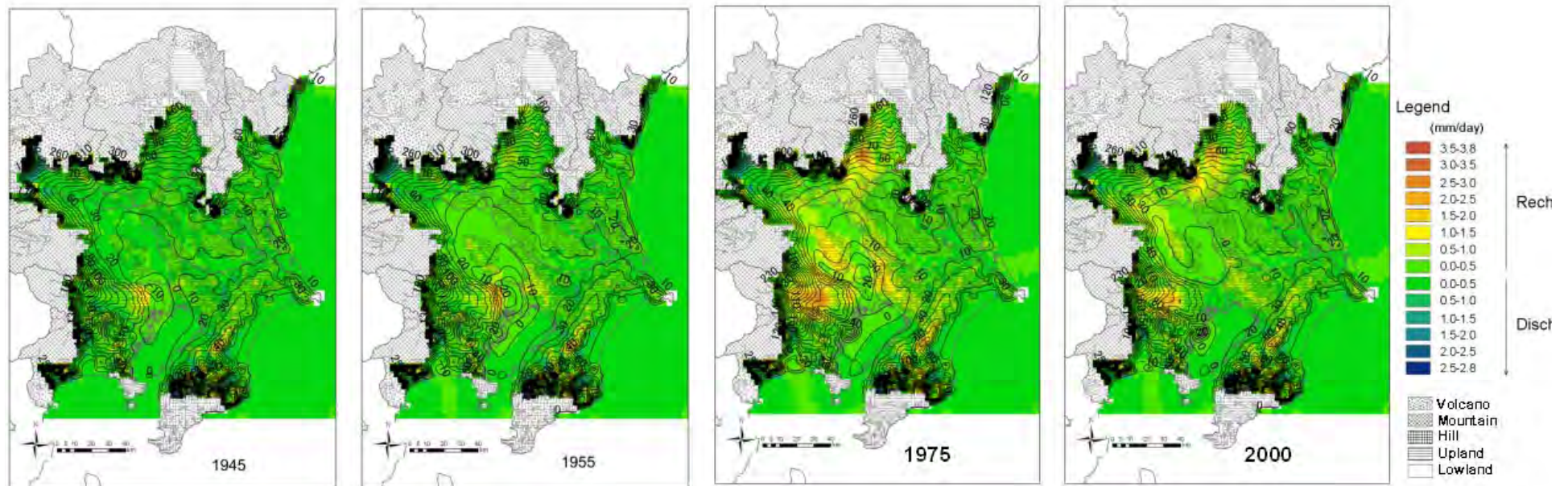
図-3 トンネル近傍の地下水流動状況の変化

トンネル上部の沢水を枯渇させないために基盤岩帯水層へ
 湧水比流量(1mm/日)相当の地下水涵養(誘発涵養)が出現した



最大[P-AP(水余剰量)]までの涵養が可能

Calculated spatial distribution of the groundwater recharge (color gradation) and hydraulic head in layer VI (contour: m) in early period after WWII and after the groundwater extraction was regulated in Tokyo.



Aichi & Tokunaga (2008)

Hydrogeological potential Recharge area of Kanto Plain (Shindo 1978)

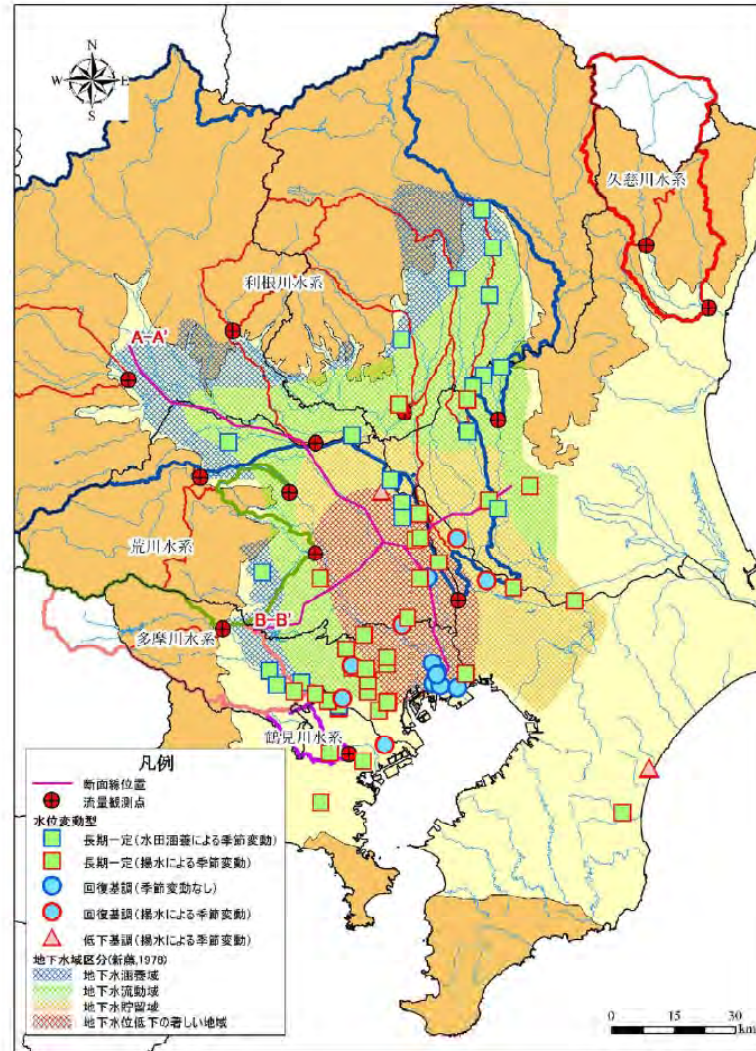
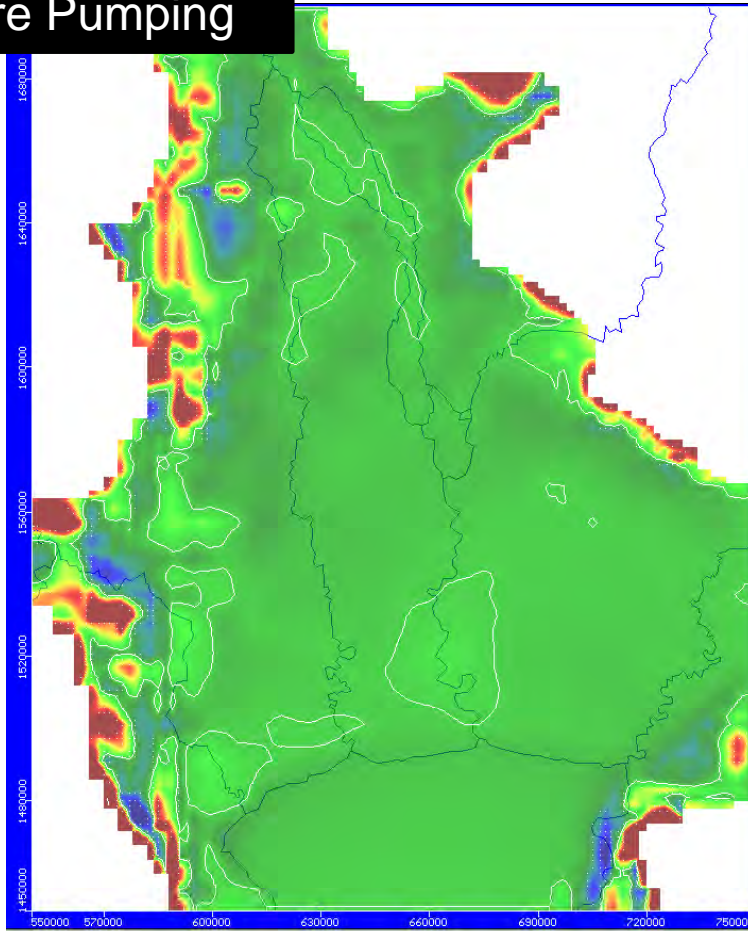


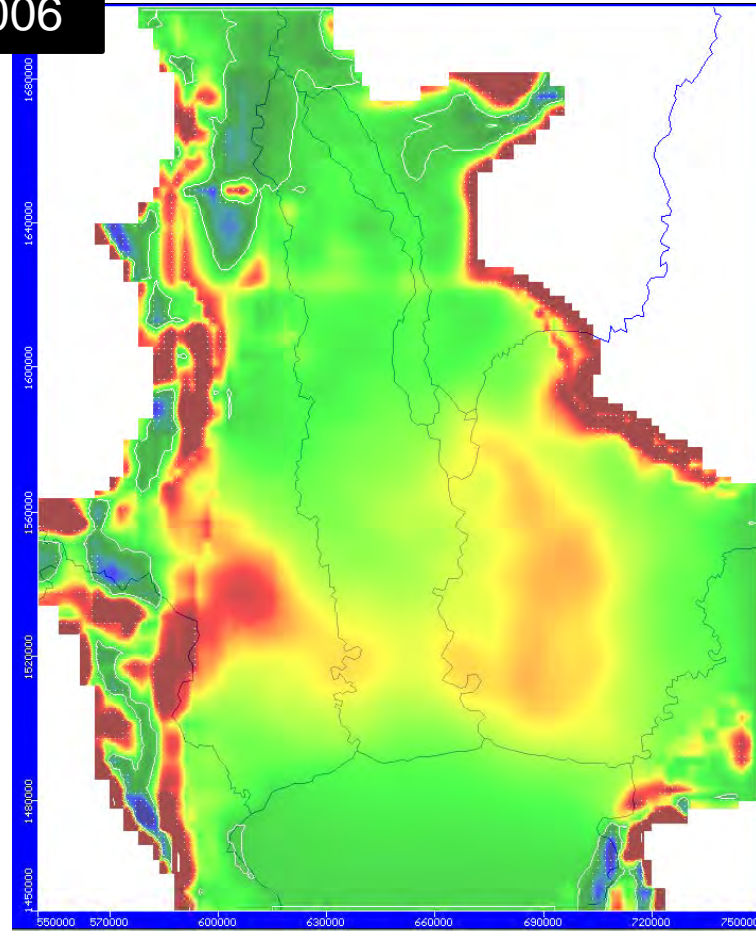
図-5.2.15 関東平野の水文地質区分(新藤, 1978)と水位変動型分布の関係

Vertical flow; BC-BK

Before Pumping



2006



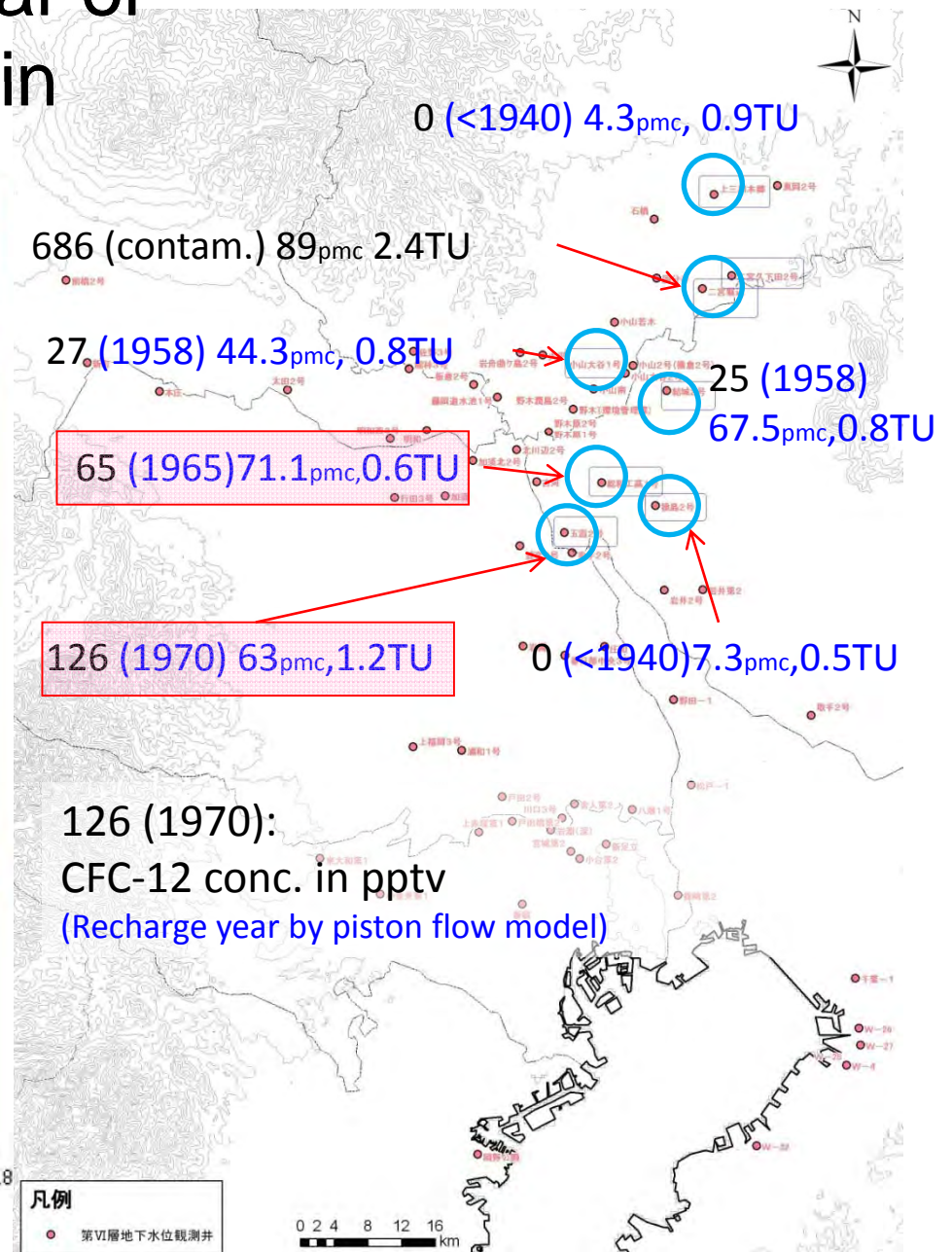
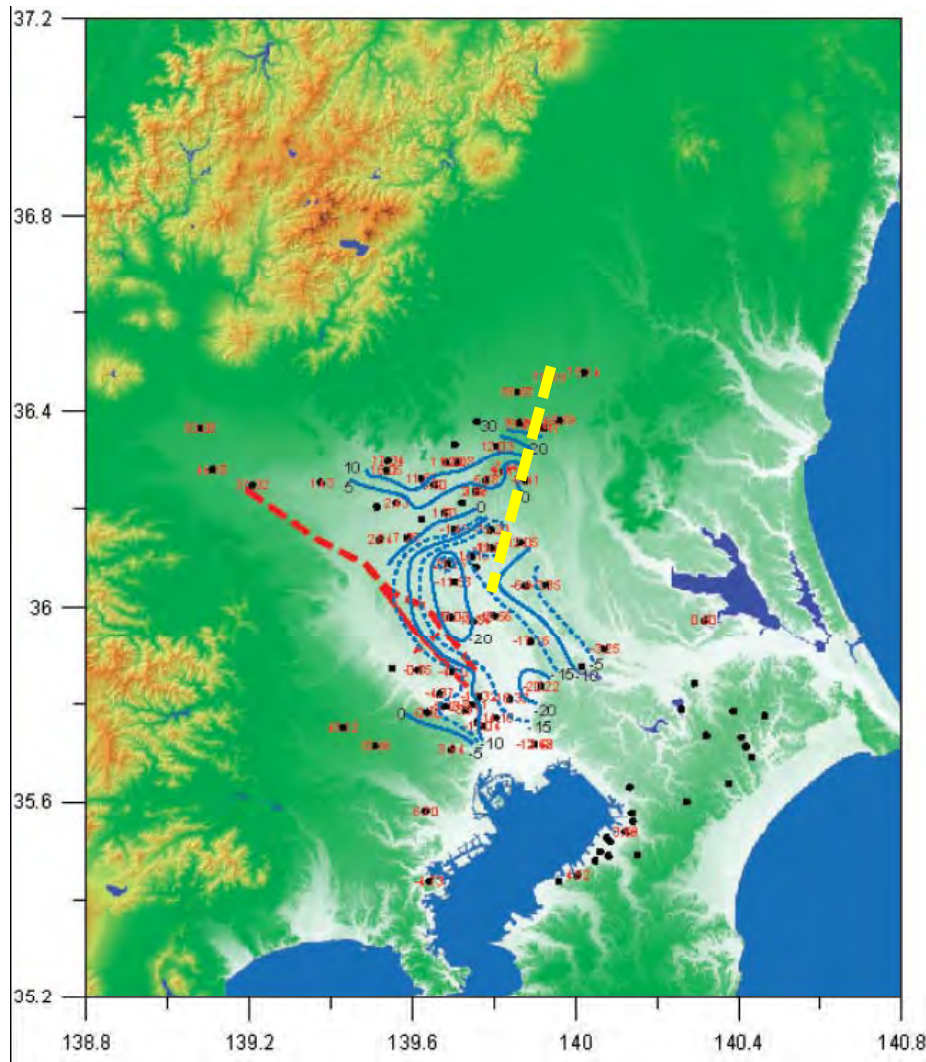
Upward

Downward

Flux B/W Layers [m/dy]

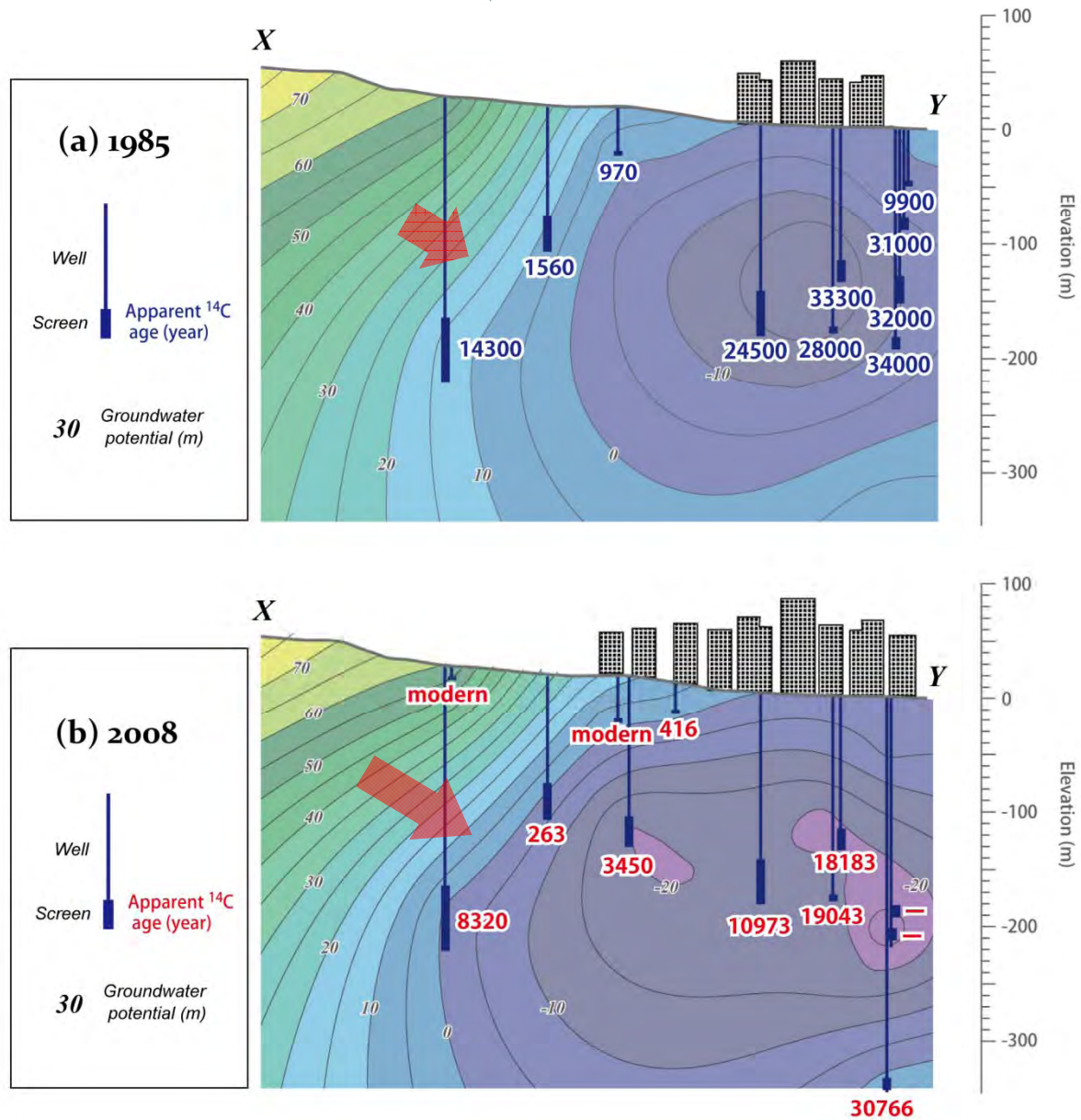


CFC-12 and recharge year of aquifer VI in Kanto Plain

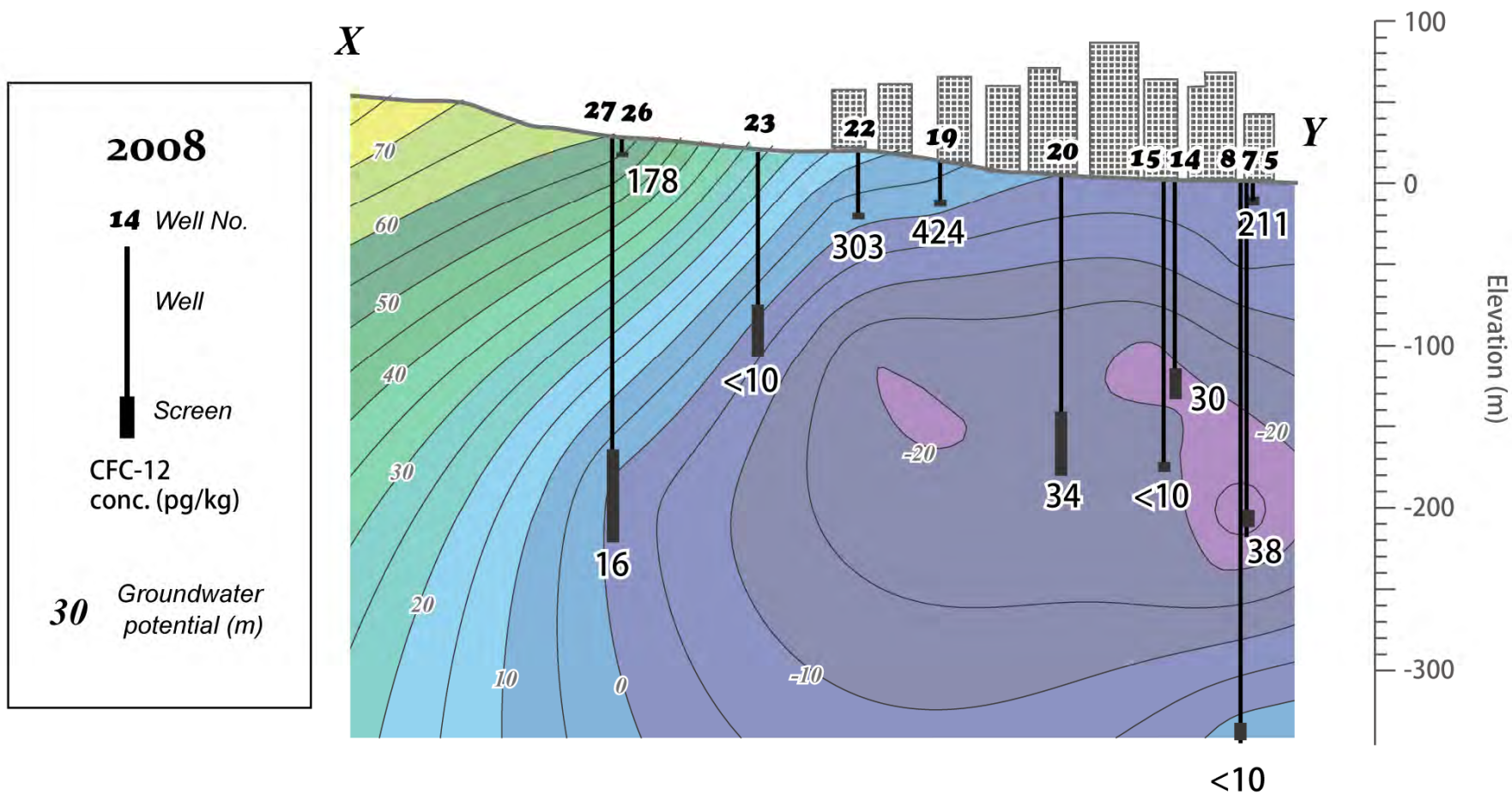


126 (1970):
CFC-12 conc. in pptv
(Recharge year by piston flow model)

過剰揚水に伴う地下水流動速度の増加 → 誘発涵養の発生！



浅層地下水および過剰揚水地域の深層地下水でCFC-12濃度が出現



The vertical distribution of CFC-12 conc. overlaid with the GW potential

アジアの地下水問題

- 日本(大阪→東京→名古屋)
過剰揚水に伴う地下水災害(1960-70)
代替水源手配による揚水規制(1970年代)

(関東地域:利根川水系、関西地域:淀川水系)

潜在的(最大誘発)地下水涵養量(i_{\max})
による顕著な水位回復

$$i = P - E - R$$

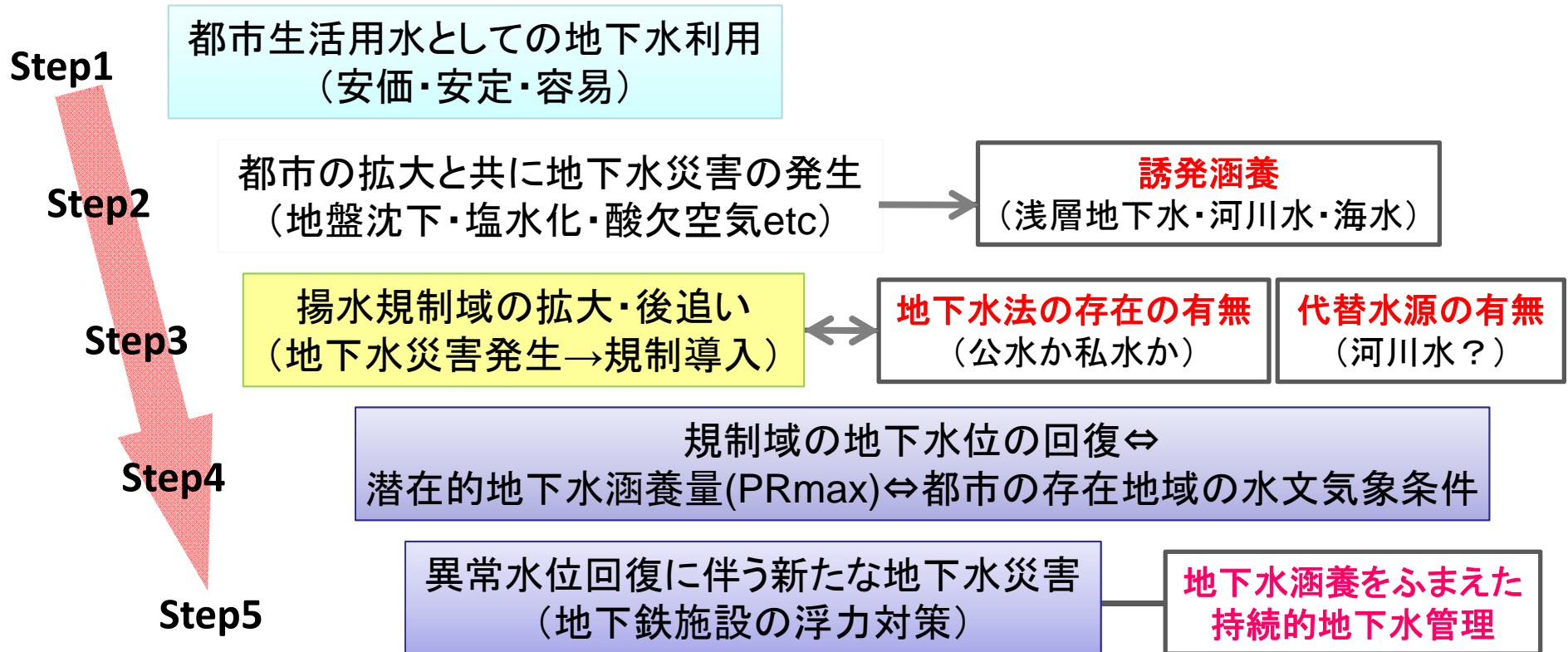
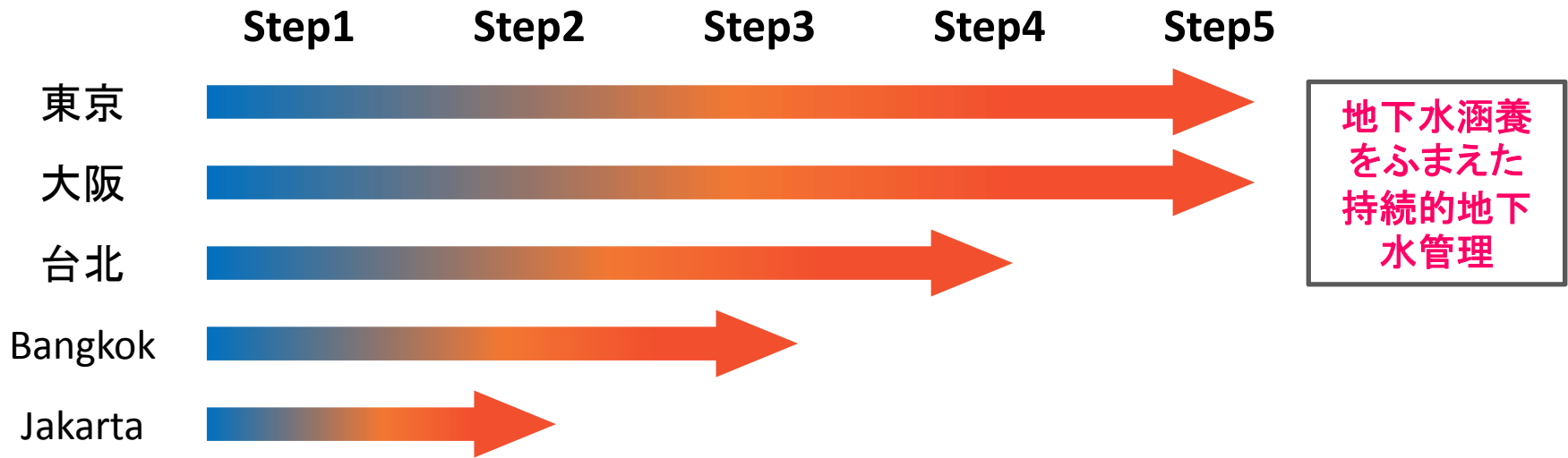
$$i_{\max} = P - E$$

アジアの地下水問題(2)

- 台北 過剰揚水→代替水源(ダム)→水位回復
(私水?) (斐(?)翠ダム)
- バンコク 過剰揚水→地下水税・代替水源→揚水規制
(公水) →水位回復途上
- ジャカルタ 過剰揚水→地下水税(不徹底)→
(公水) 揚水規制(不徹底)→水位未回復
代替水源(飲用水のみ)

アジアの地下水問題(3)

- 湿潤アジアは**潜在的地下水涵養量**はある
- 過剰揚水に伴って**誘発涵養**の発生
- 揚水規制は**代替水源**とタイアップしないと効果が発揮されない
- 地下水が**公水**と規定されていると**地下水税**が設定できるが、それだけでは不十分
- 誘発涵養も含めた地表水との競合関係を踏まえた**地下水管理**を行うべし→活発な地下水循環が存在しているので管理は可能！

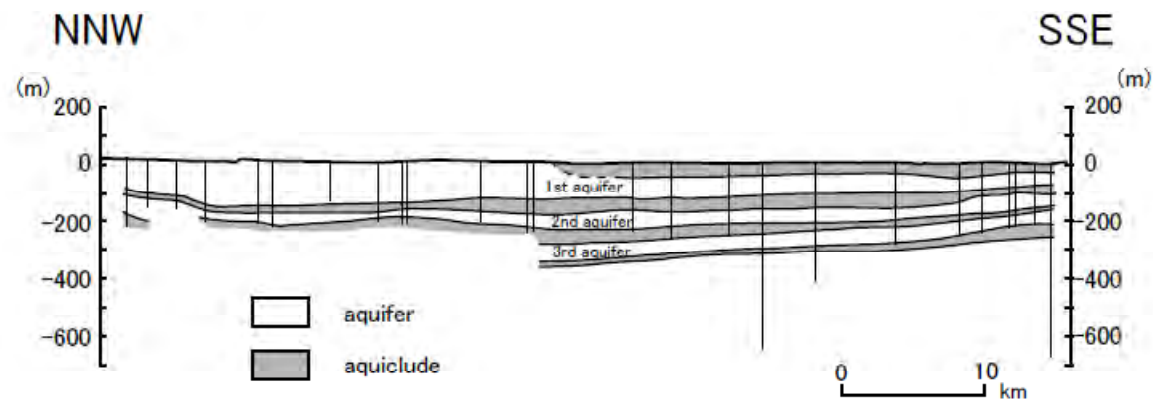
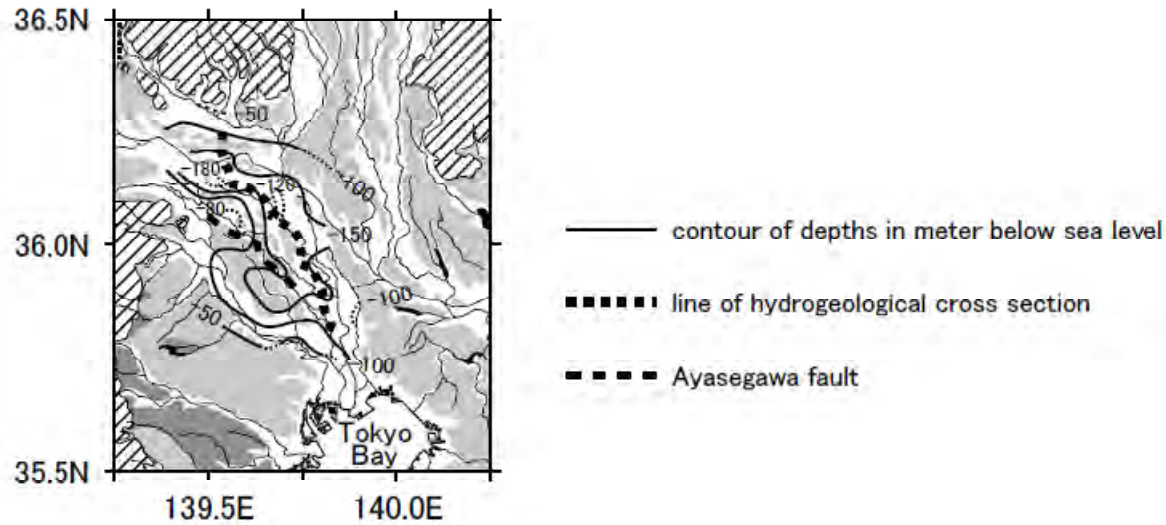


これまでの成果と今後の課題

- CFCs法は、都市域においては年代トレーサーとしての利用は難しいが、過剰揚水に伴う誘発涵養の指標として利用できる(BKK, JAKでの解析的検討)。
- アジアの諸都市では、潜在的な地下水涵養が存在する水文条件のため、地下水を管理して利用することが可能である。
- 若い地下水年代取れサーとしてKr85法の確立を目指す。(釜石鉱山再調査完了、ジャカルタでのKr採水調査(2010・01－02?)



Geological setting of Kanto Plain



T. Hayashi, et al., 2009

台北盆地(1)

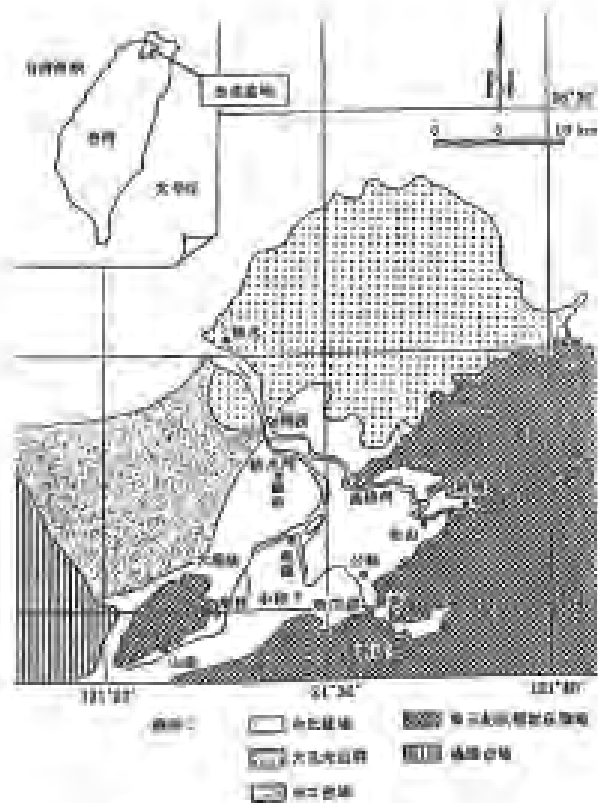


圖-1 台北盆地的位置圖

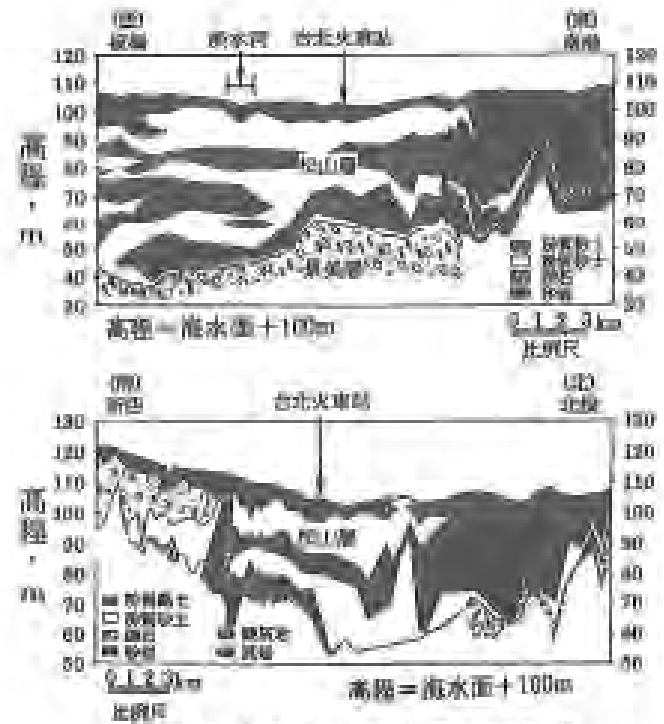
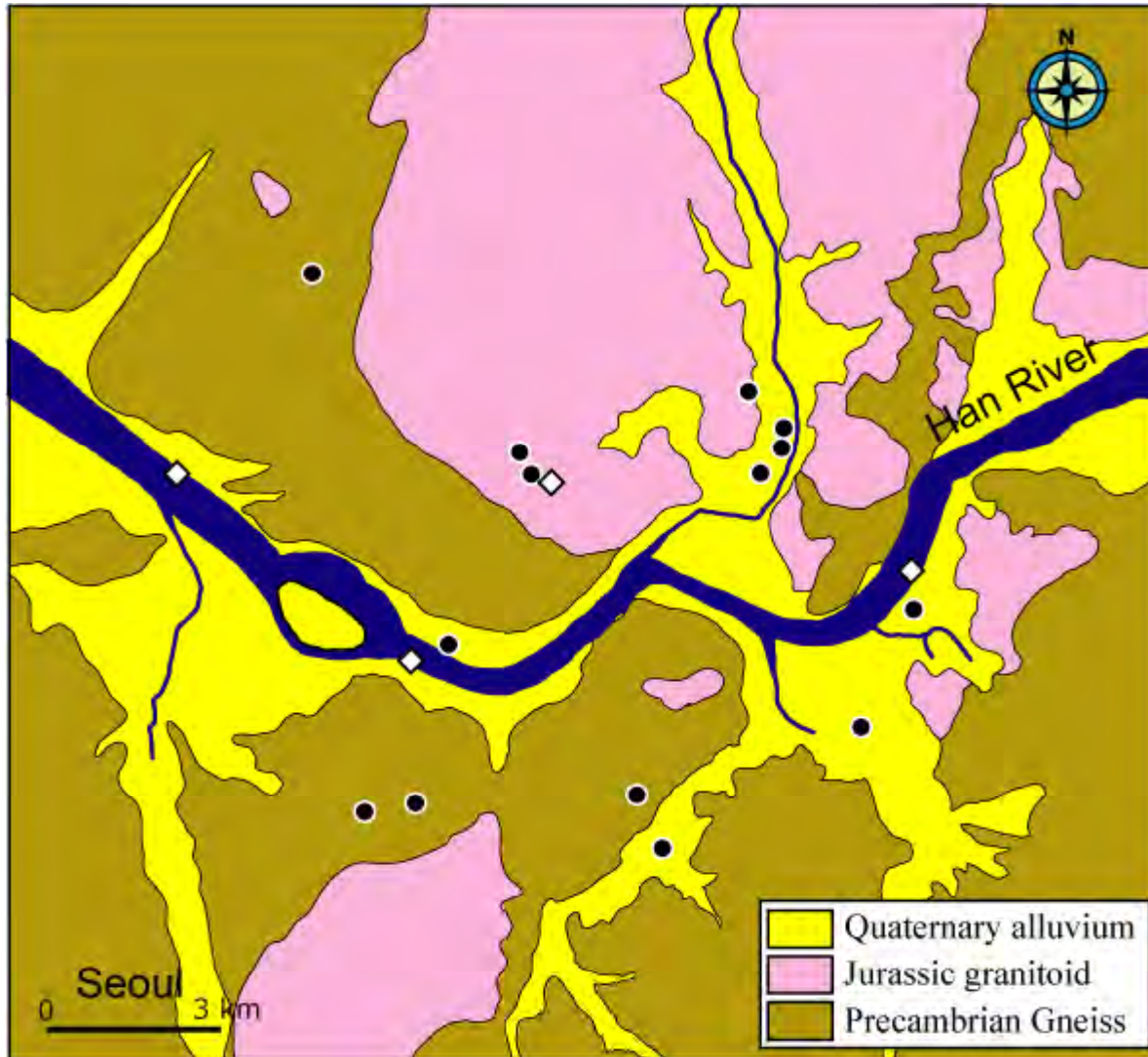


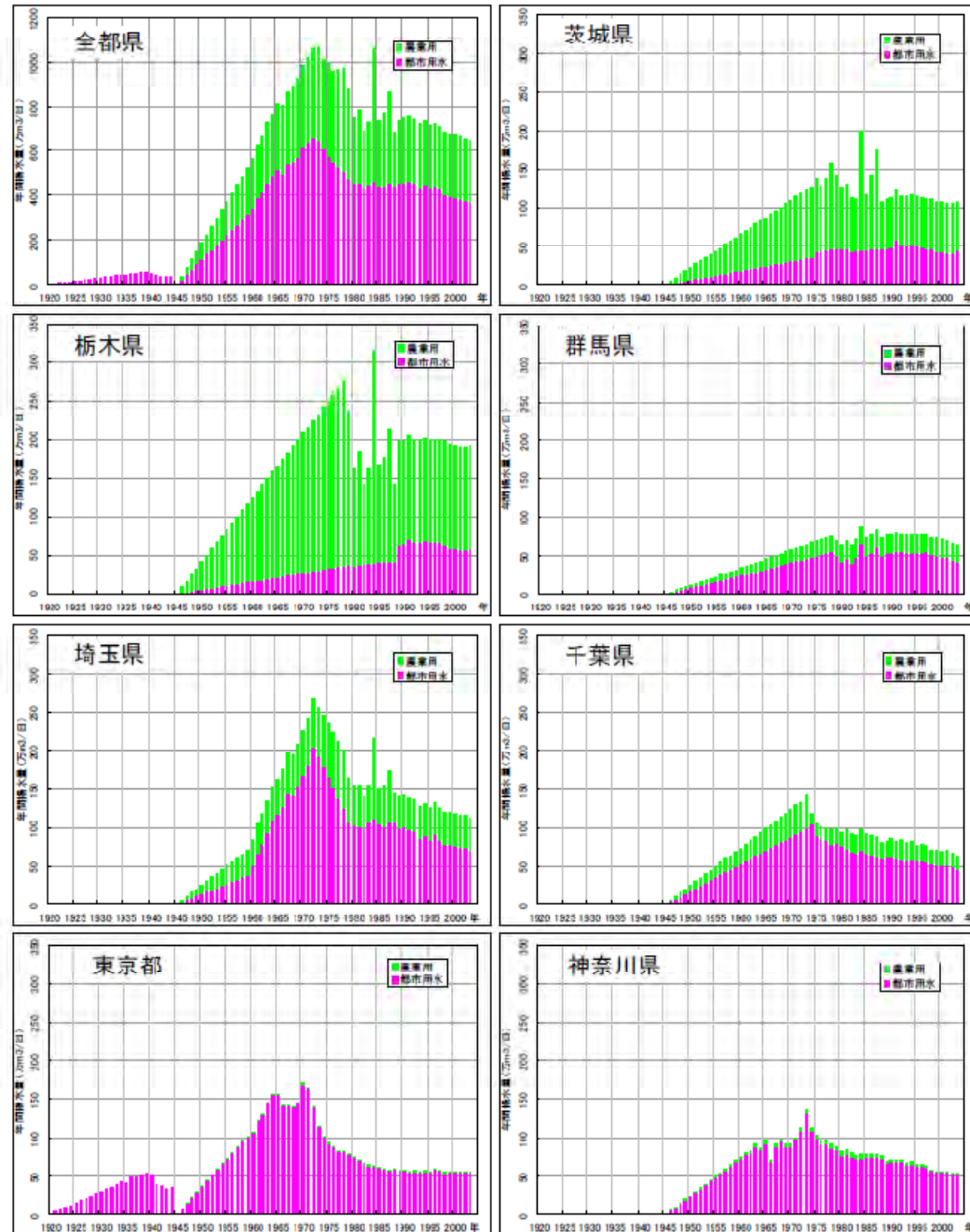
圖-2 台北盆地的地層断面圖

Geological setting of Seoul Area



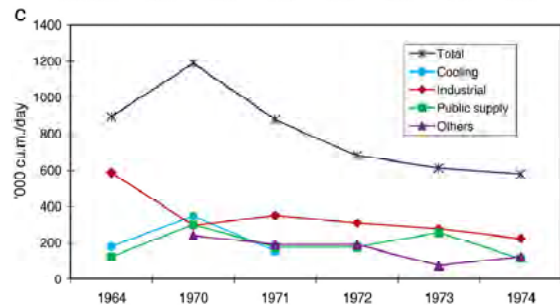
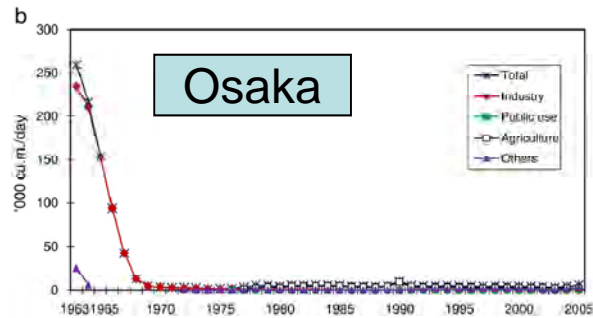
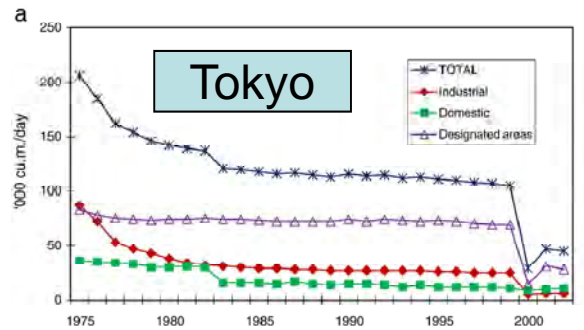
T.Hosono, et al., 2009

Change of groundwater abstraction at Kanto Plain (Max: 1000万m³/日)

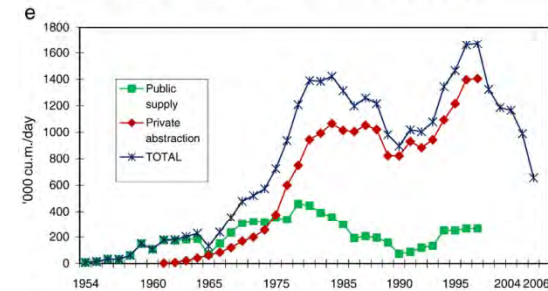
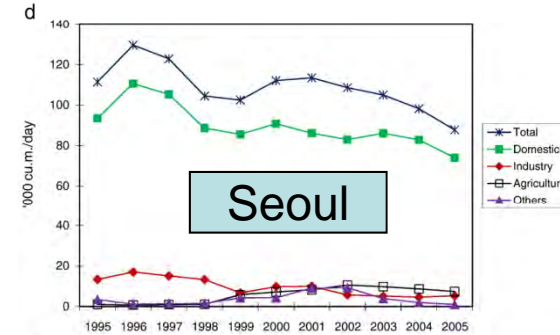


図一5.1.6 都県別・用途別地下水利用量の経年変化

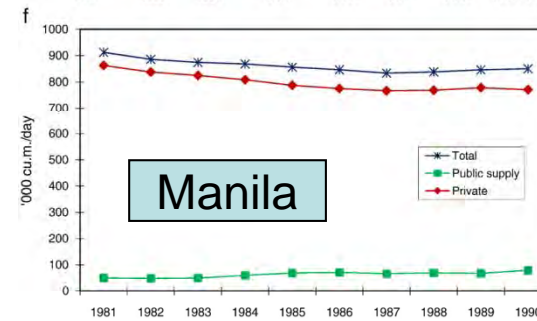
Fig. (a) Volume of groundwater abstraction by sector in the 23 Ward Areas of Tokyo. (Before 2000 the volume of groundwater from small wells (diameter of less than 21 cm²) was estimated as 99,000m³/day, but after 2000 when regulations were changed and small industries were required to report their actual consumption, the reported volume of abstraction was found to be less than the previous estimates. This resulted in a sharp decrease in volume since 2000). (b) Volume of groundwater abstraction by sector in Osaka city. (c) Volume of groundwater abstraction by sector in Taipei Basin. (d) Volume of groundwater abstraction by sector in Seoul. (e) Volume of groundwater abstraction by sector in Bangkok. (f) Volume of groundwater abstraction by sector in Manila.



Taipei



Bangkok



Manila

台北盆地(2)

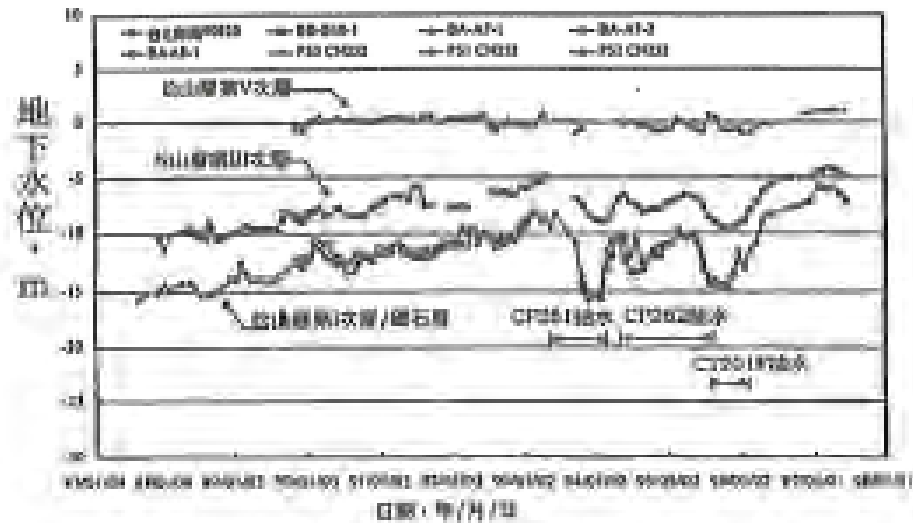


图-4 淺二區崁山層の各帯水層の地下水変動曲線⁷¹⁾

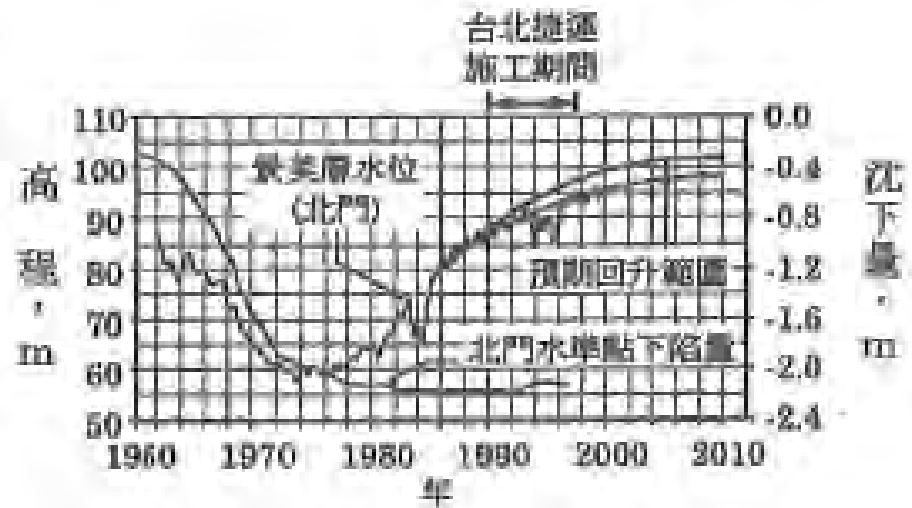


图-5 1960年から台北市内の景美層の地下水水位変化と地盤沈下量⁷²⁾

台北盆地(3)

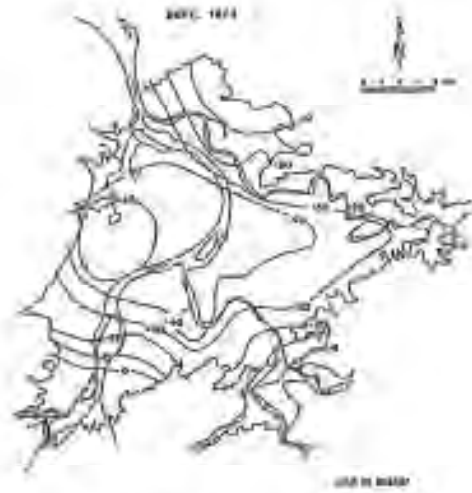


图-6 景美層の地下水位分布図(1975)⁷⁾

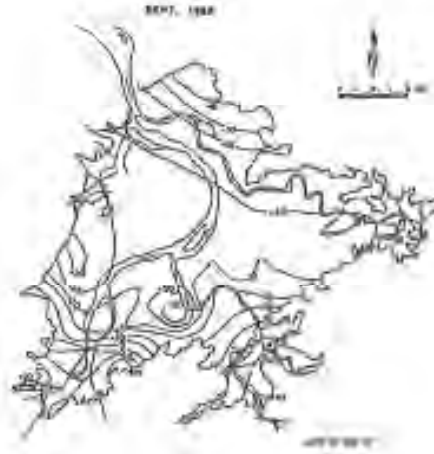


图-7 景美層の地下水位分布図(1985)⁷⁾



图-8 景美層の地下水位分布図(1988, 1993)⁸⁾

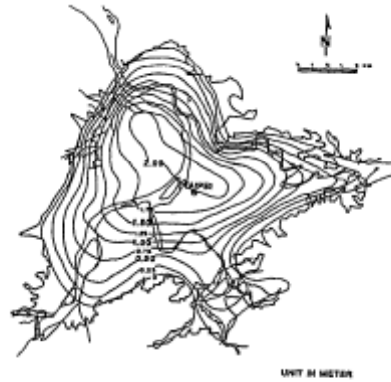


图-9 台北盆地の地盤沈下量(1955~1987)⁷⁾

Comparison of target cities

Table 1: Size of the cities and geology of the study areas.

	Seoul	Taipei (*)	Bangkok	Jakarta (*)	Manila (*)
Population (million)	10	2.8 (6.8)	6.5	8.7 (23.6)	1.6 (9.9)
Area (km ²)	606	272	1010	662 (1360)	39 (636)
Geology	<ul style="list-style-type: none"> • Alluvium • Jurassic granitoid • Precambrian gneiss 	<ul style="list-style-type: none"> • Alluvium • Pleistocene volcanic rocks • Oligocene-Miocene sedimentary rocks 	<ul style="list-style-type: none"> • Holocene-Recent tidal plain • Pleist-Holocene sedimentary deposit 	<ul style="list-style-type: none"> • Holocene-Recent tidal plain • Pleistocene volcanic rocks • Tertiary sedimentary rocks 	<ul style="list-style-type: none"> • Holocene-Recent tidal plain • Plio-Pleistocene sedimentary rocks

(*) The population and area including surrounding urbanized area.

Kanto	Osaka
15	10
900	500?
Alluvium	Alluvium

Growth of Asian Nations

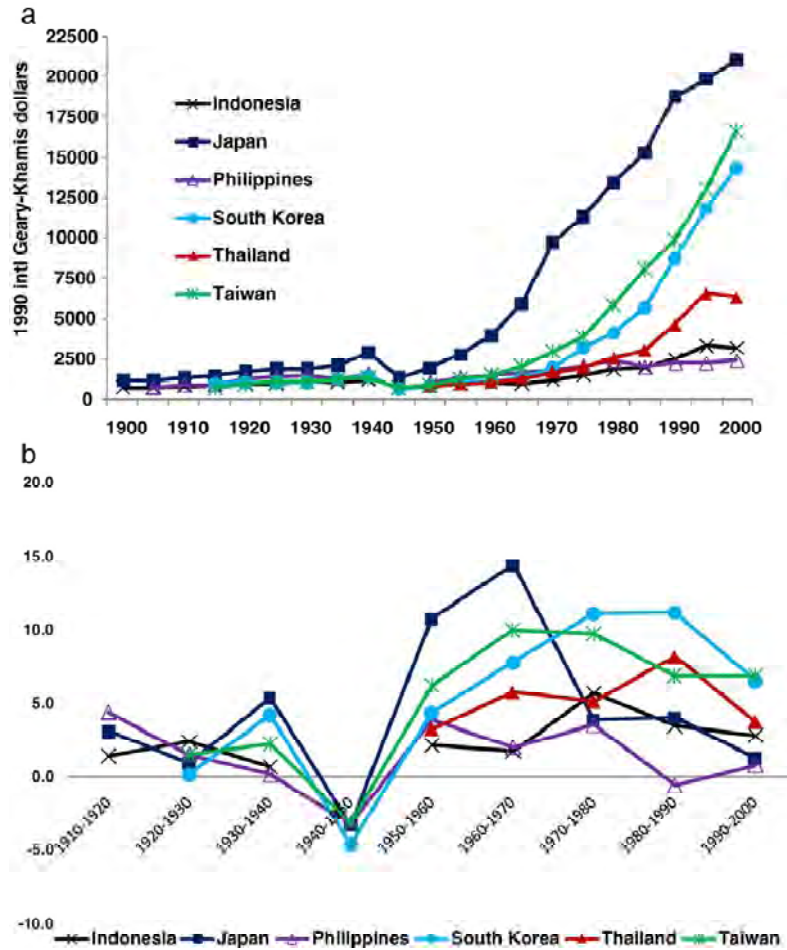
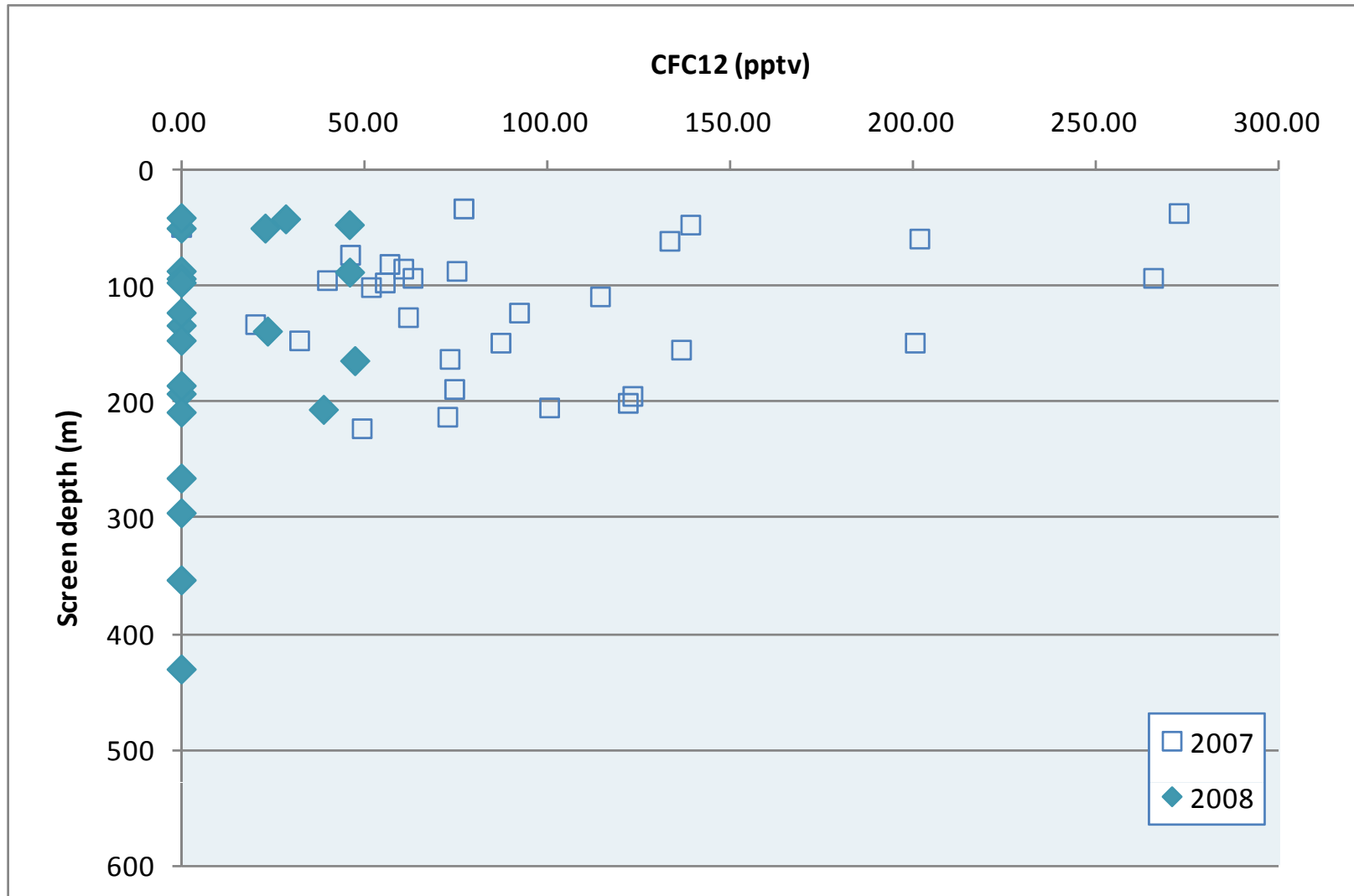


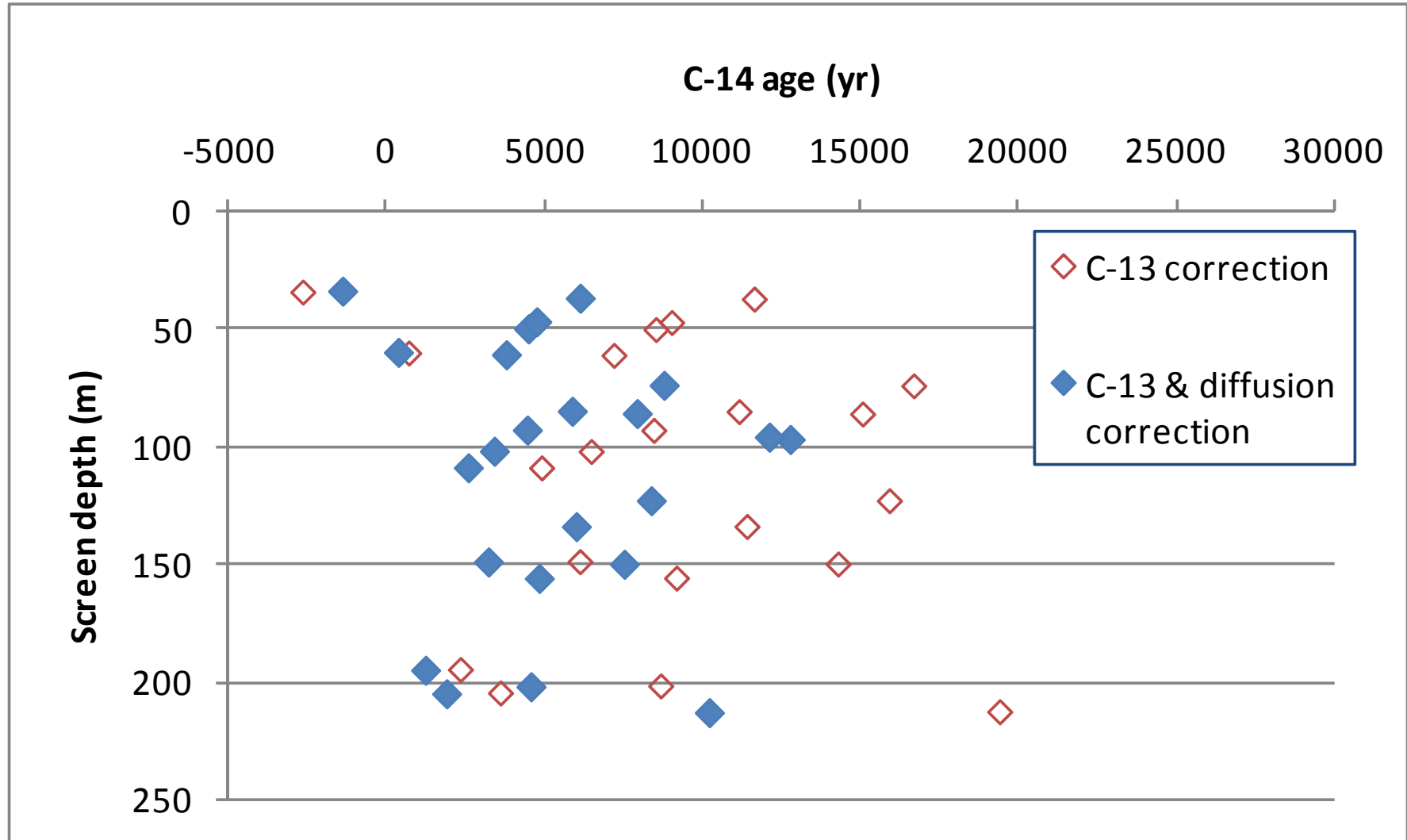
Fig. (a) GDP per capita from 1900–2000. (b) GDP per capita growth rate (%).

K. Jago-on, et al., 2009

2007年 vs 2008年

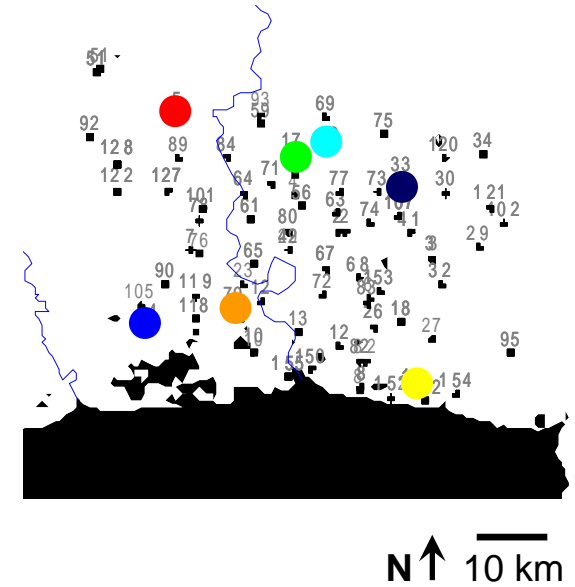
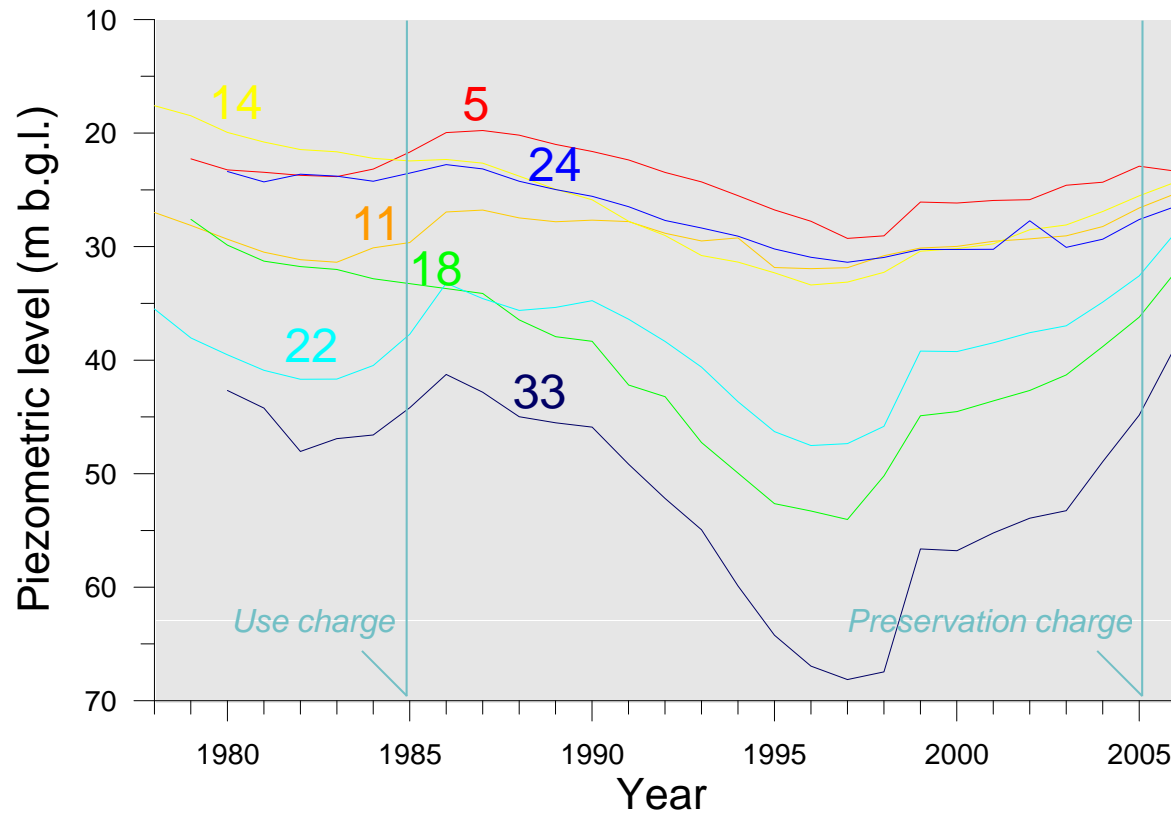


C14年代

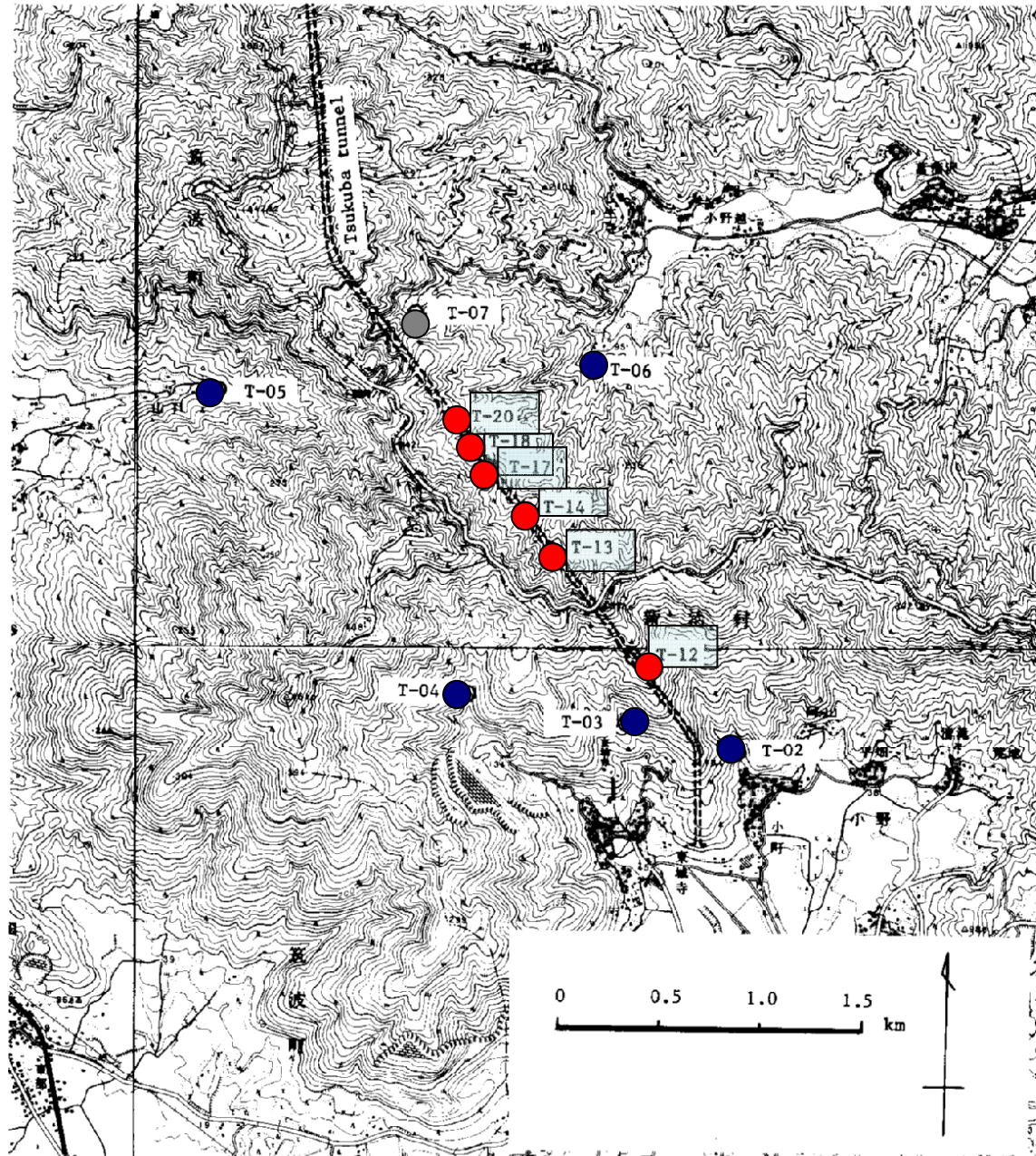


NL aquifer

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

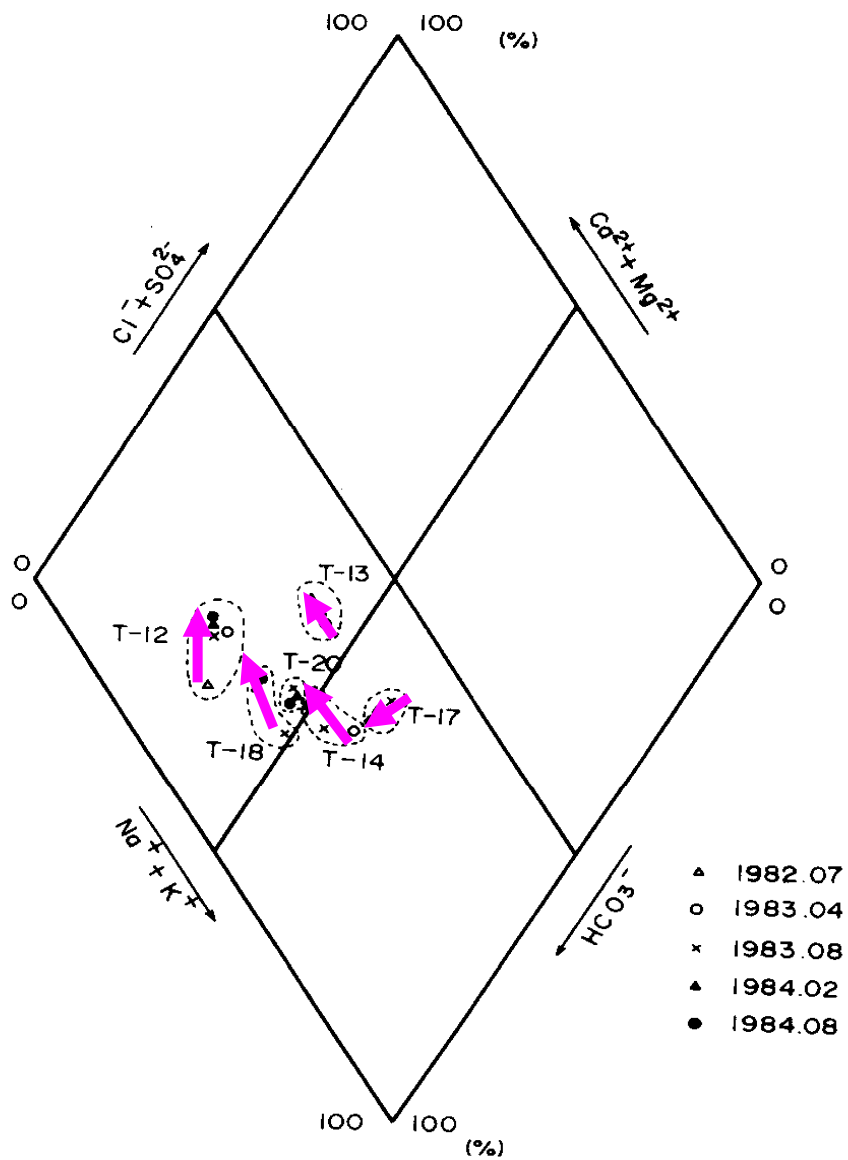


Maximum depression
= 25 m (1980-1997)



- トンネル湧水
- 周辺表流水

Sampling points for surface water and seepage water along the tunnel.



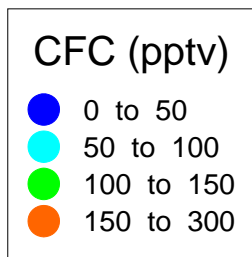
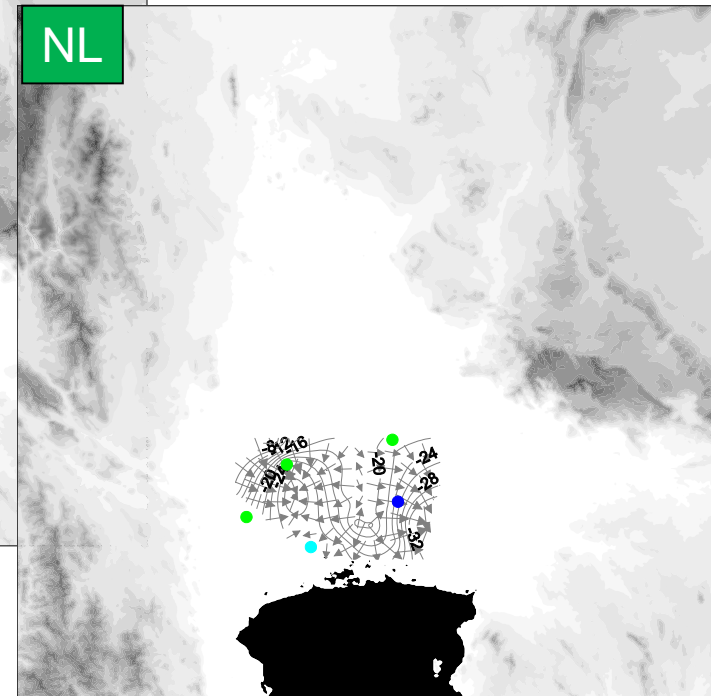
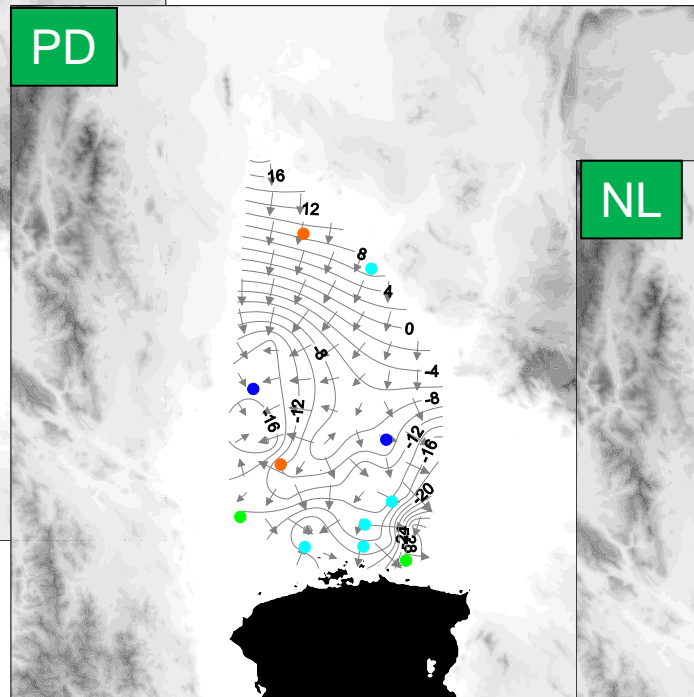
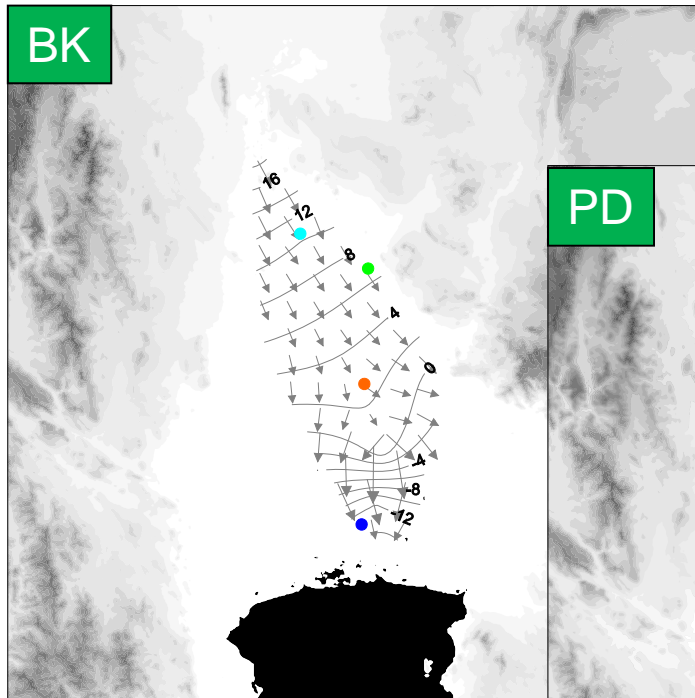
深層被压地下水系
(Na-HCO₃)

↓

浅層不压地下水系
(Ca-HCO₃)

Piper plot of the change of water quality for seepage water along the tunnel.

BKK 帯水層のポテンシャル分布 とCFCs分布



Kr-85放射能分析

新しい年代測定法の確立

九州大学アイソトープ総合センター

百島則幸

CFC and ^{85}Kr for modern groundwater age tracer instead of ^3H

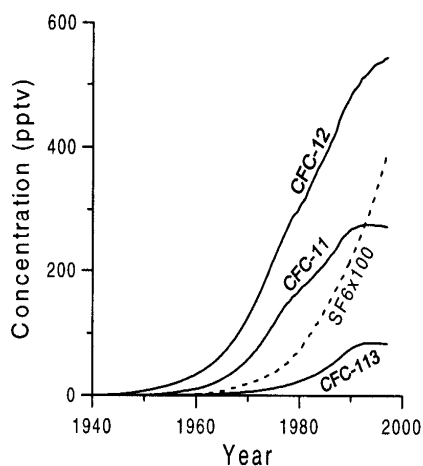


Figure 15.1 Atmospheric mixing ratios of CFC-11, CFC-12, CFC-113, and SF₆ in North American air.

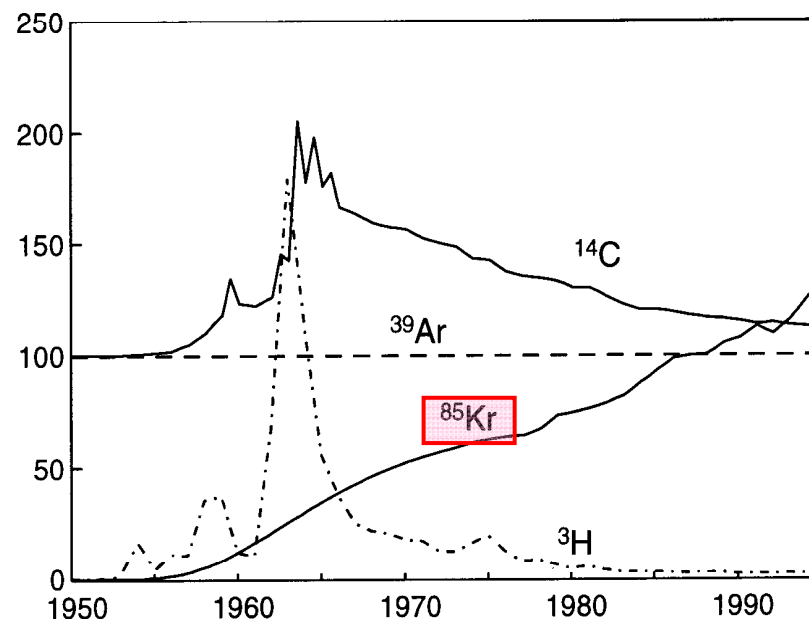


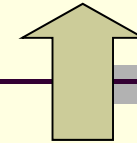
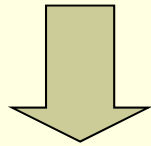
Figure 12.1 ^{85}Kr activity of tropospheric air between 1950 and 1995 compared to those of ^{39}Ar and ^{14}C , and to ^3H data representative for precipitation in central Switzerland. The vertical scale factors are: 100 = 1 Bq m⁻³ of air for ^{85}Kr , 100% modern for ^{39}Ar (equal to 1.67×10^{-2}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

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

Kr-85: half life 10.7yr
Kr-85 : origin Nuclear power plant, reprocessing plant

大気 (Kr+Kr-85)
Kr: 大気中濃度 1.14ppm

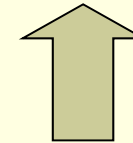
地下水年代決定



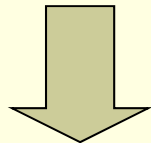
Kr-85放射能測定

地表水に大気成分溶解

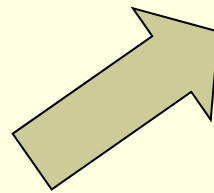
地下水中Kr濃度: $6-8 \times 10^{-8} \text{ml/g water}$
(0.06-0.08ml/1000 L)



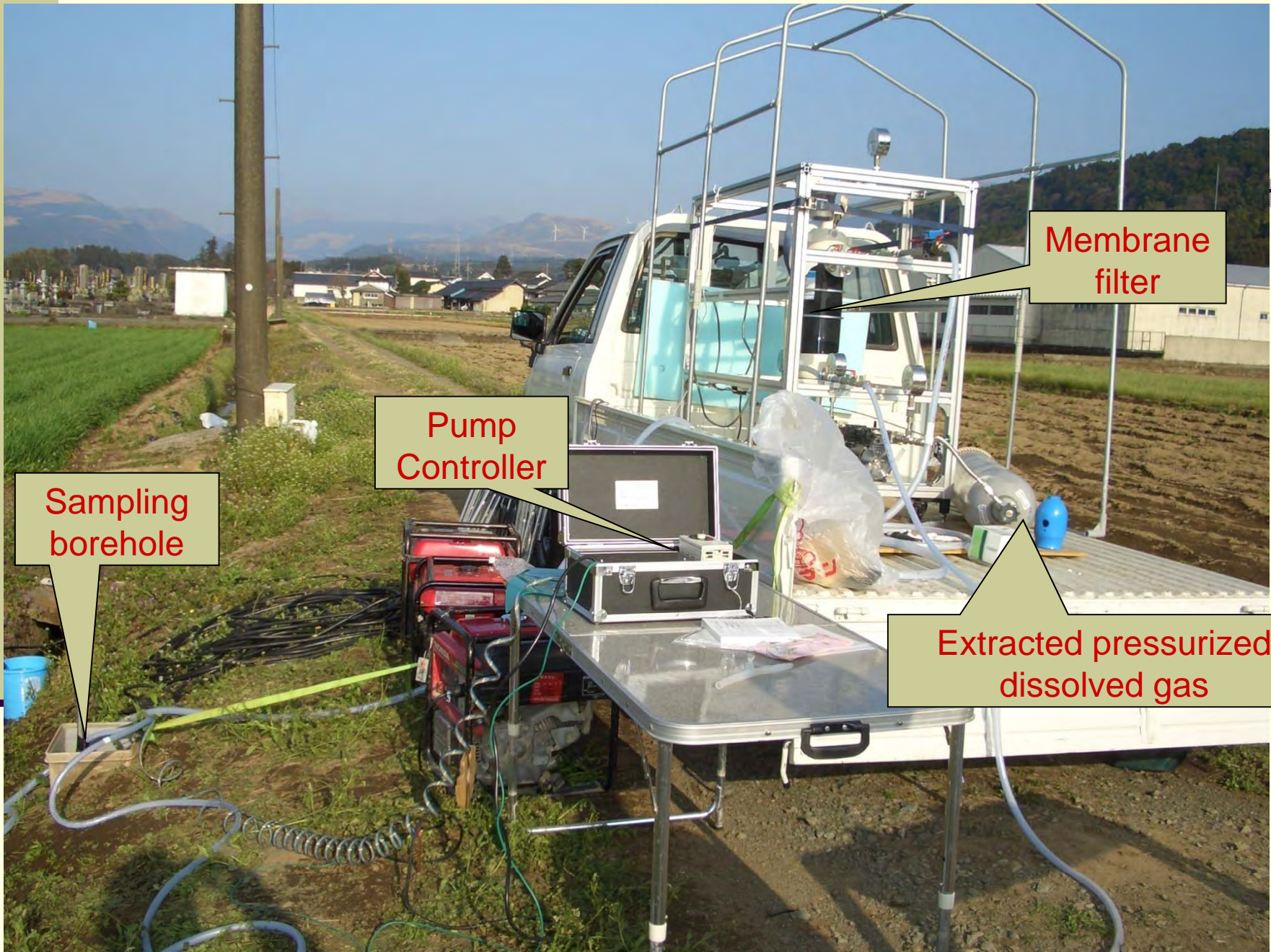
Krの分離精製 (大気中Kr分離)
他気体成分 (N₂, O₂, CH₄··)



溶存気体成分の回収



地下水溶存ガスへの対応が必要
1. 二酸化炭素
2. メタン



Sampling borehole

Pump Controller

Membrane filter

Extracted pressurized dissolved gas



低濃度Kr-85のβ線測定 液体シンチレーション計数法の提案

特注の石英バイアルにKrを
閉じ込めて測定

微量Kr-85の測定が可能

低BG測定(石英バイアル)

高計数効率(LSC)



特注石英バイアル

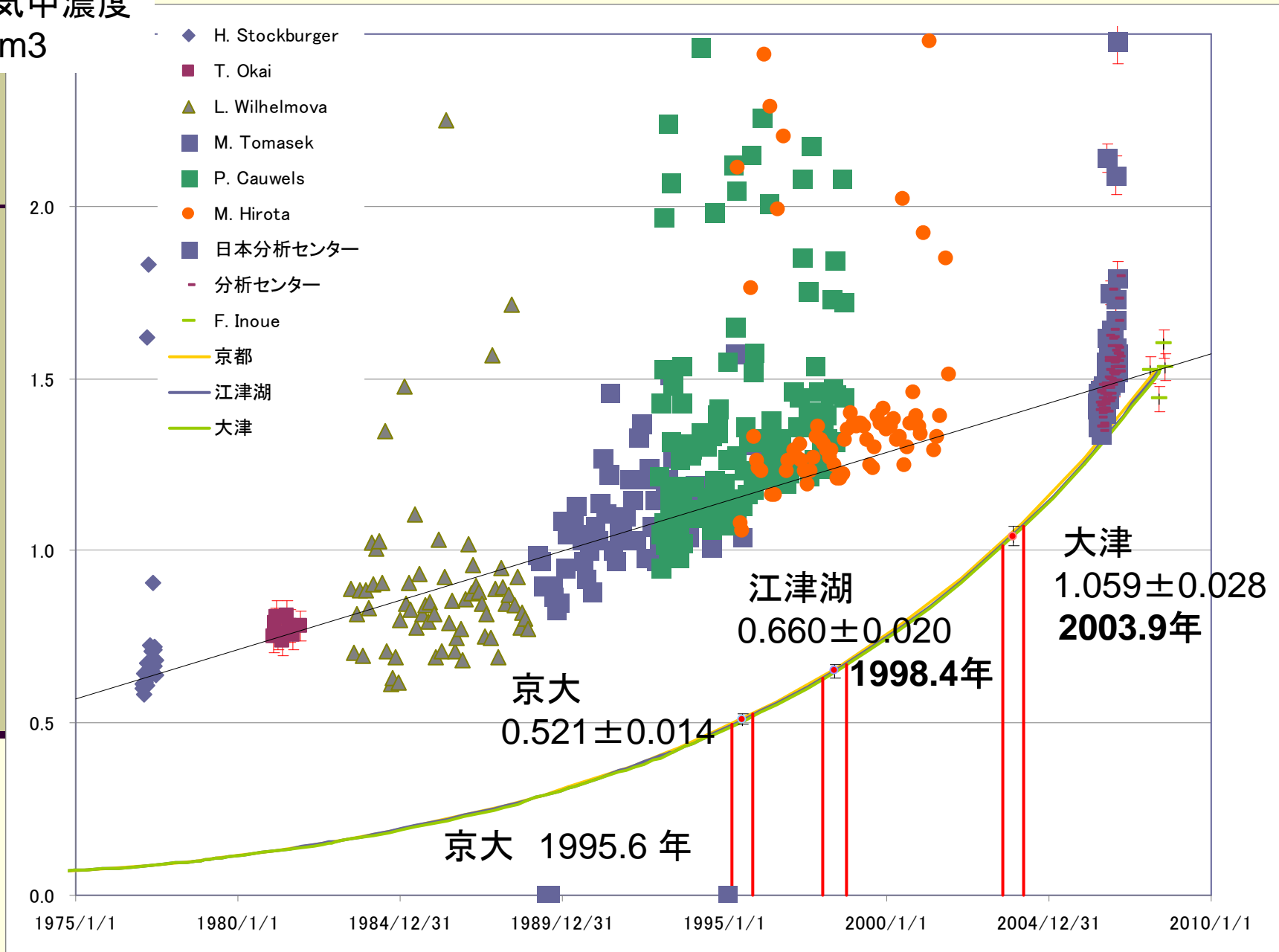


ALOKA LB-5

地下水年代測定への適応

- 京都大学原子炉実験所井戸水
(6m³、2007年12月18日)
- 熊本市江津湖自噴井
(5178.9 L、2008年3月14日)
- 熊本市大津観測井
(6542 L、2008年3月15日～16日)

大気中濃度 Bq/m³



台湾地下水年代測定への適応

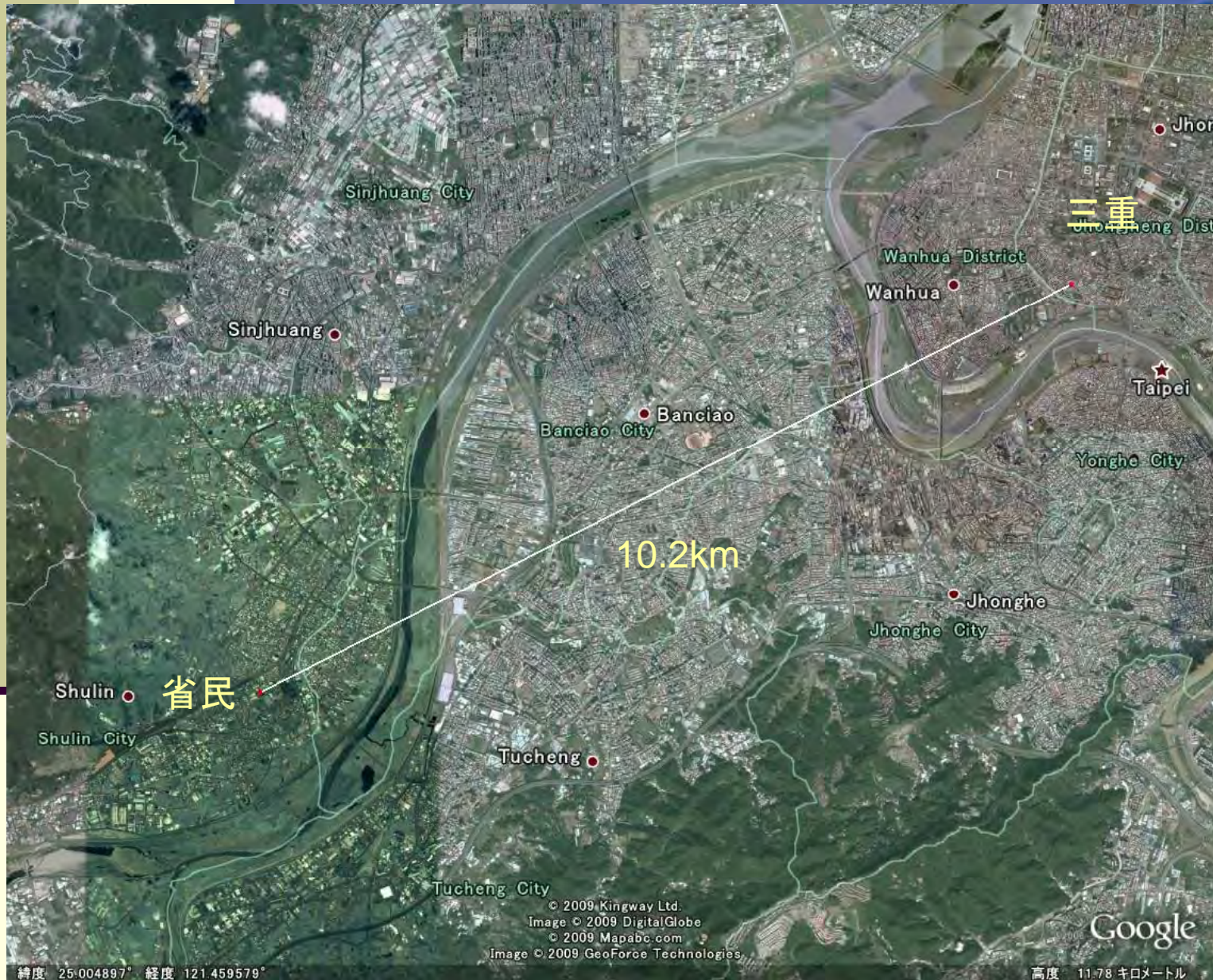
■ 省民 (2245.7L、2008年9月3日)

涵養域

■ 三重 (2146.3L、2008年9月4日)

流出域

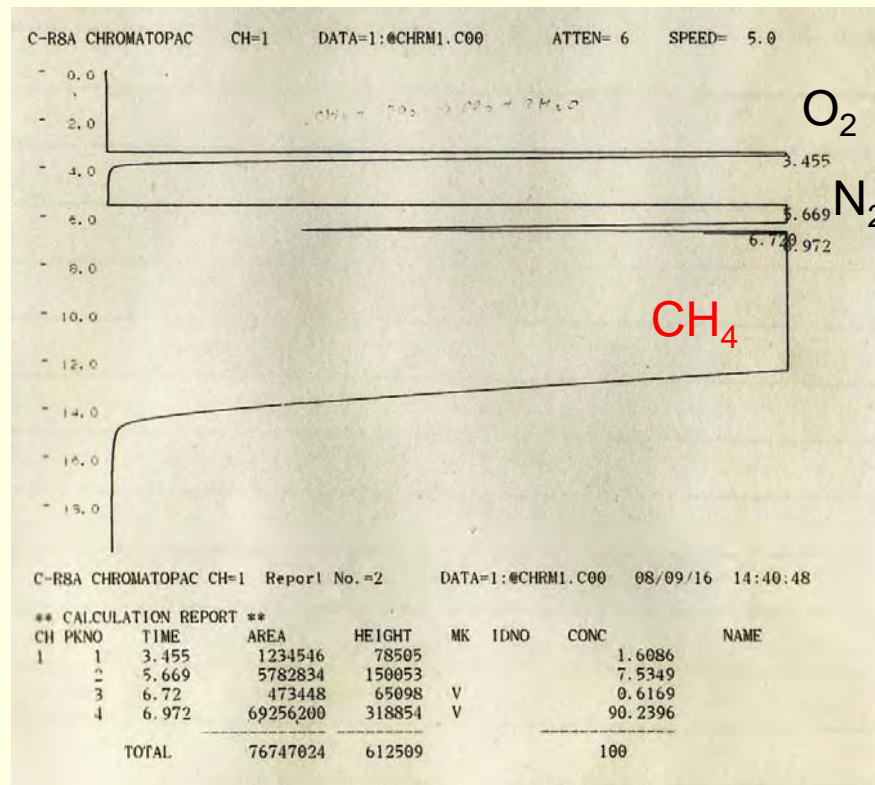
現地: アルカリ処理、He洗浄



©2008 Google
高度 182.55 キロメートル

Google
高度 11.78 キロメートル

台湾の省民地下水中のメタン

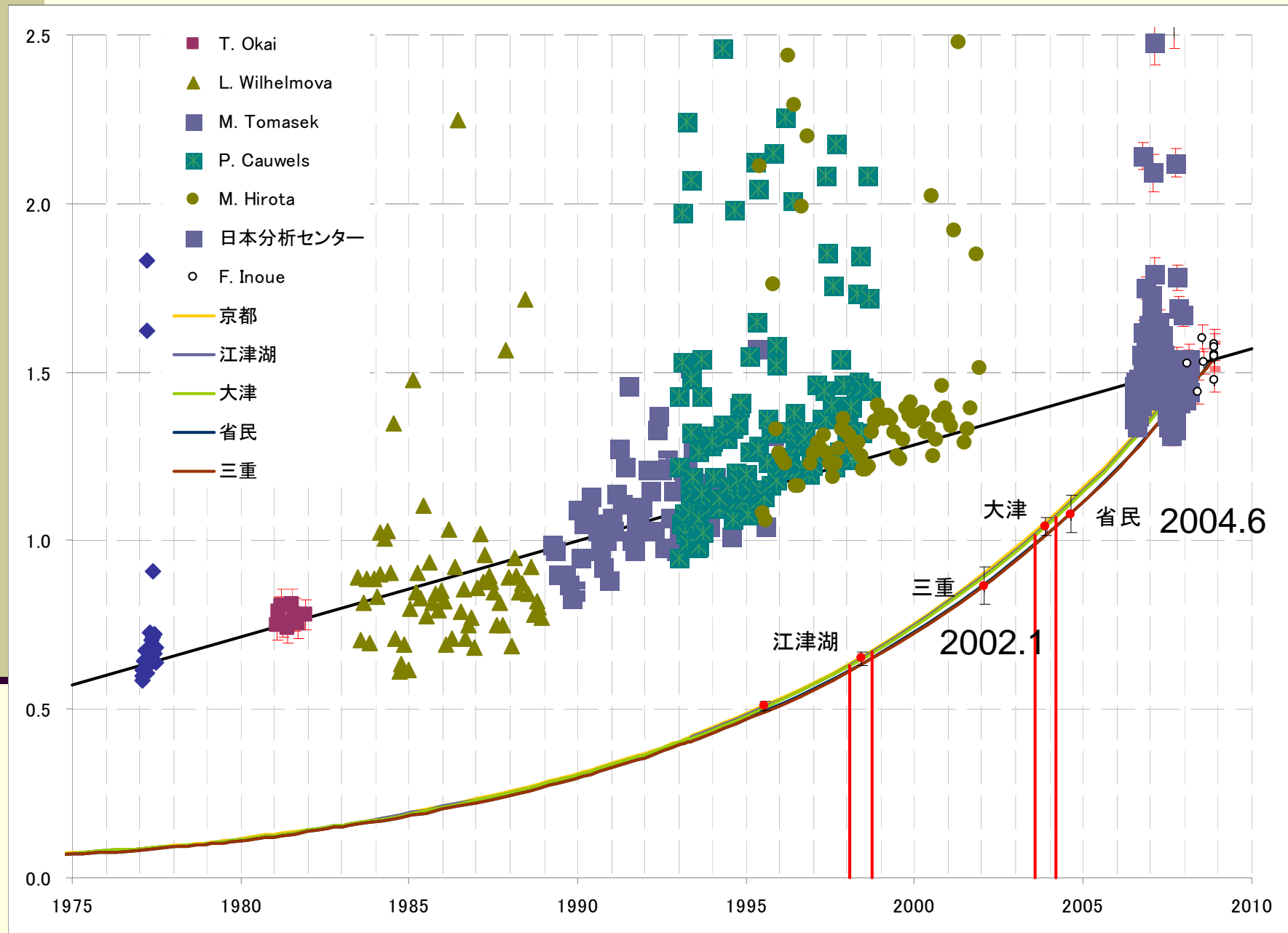


台湾省民のガスクロマトグラム

1. 大量のメタンが含まれていた(93ml)。Kr分離不完全。分離ガスはAlバッグに回収後、燃焼でメタンを除去。分析

2. 燃焼処理法(酸化銅)の提案。還元状態の水に対応



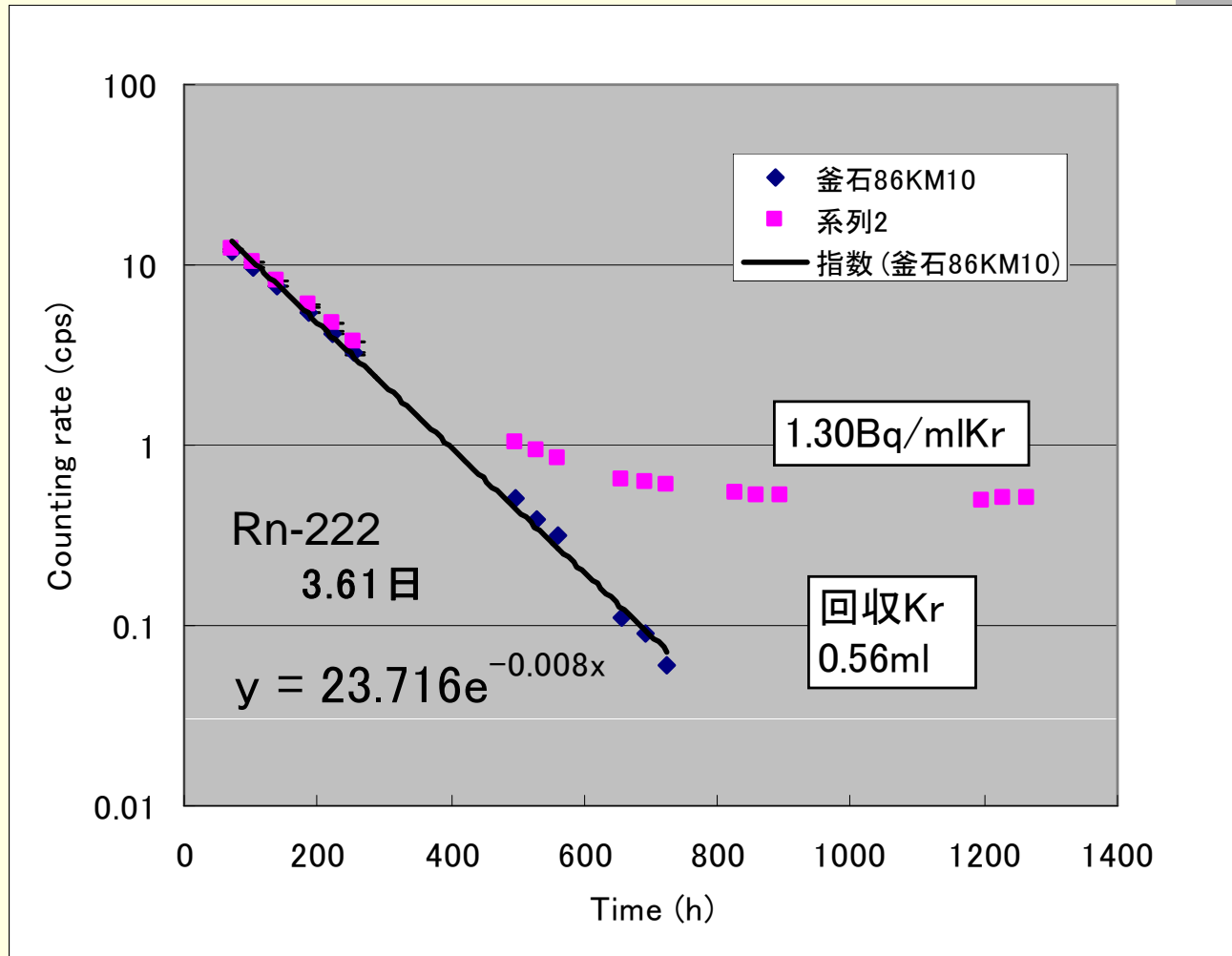


地下水年代測定への適応

- 釜石－86（岩手県）
(2009年2月23～28日)
- 釜石－仙人水（岩手県）
(2009年2月23-28日)
- 五霞（茨城県）
(7m³?、2009年3月2-4日)

放射能測定(釜石-86)

(サンプリングから10-16日経過)



大気Kr-85

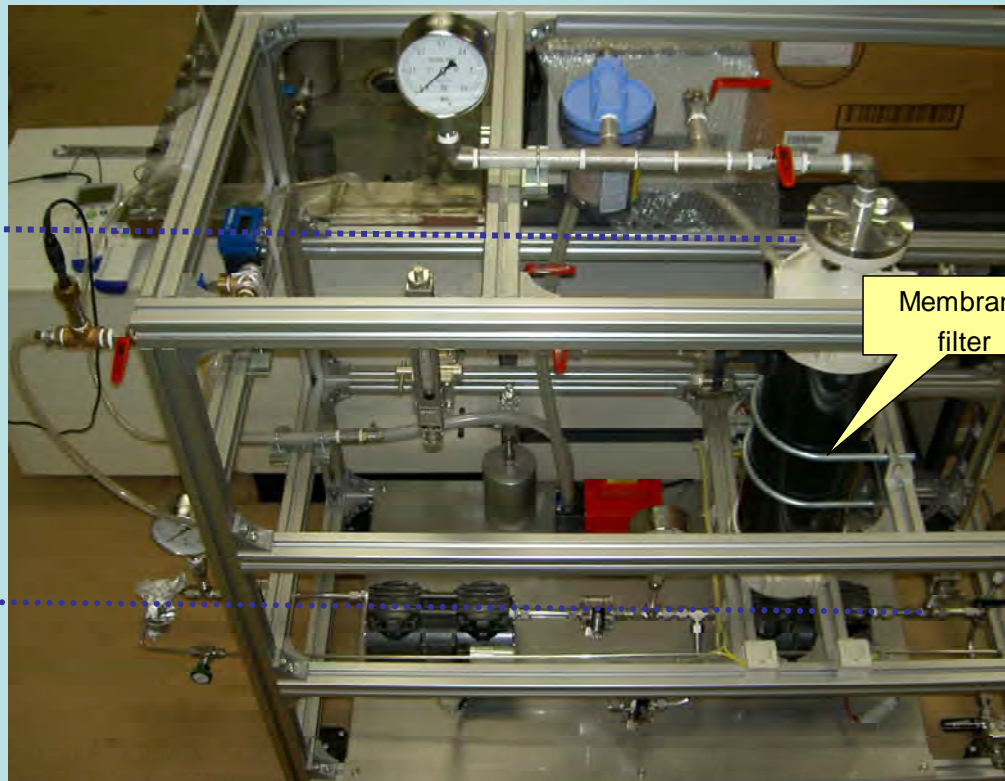
1. 32Bq/ml Kr

回収ガスに外気の混入が疑われる。Kr-85濃度が現大気に近い。

Kr extraction system

Degassed
water

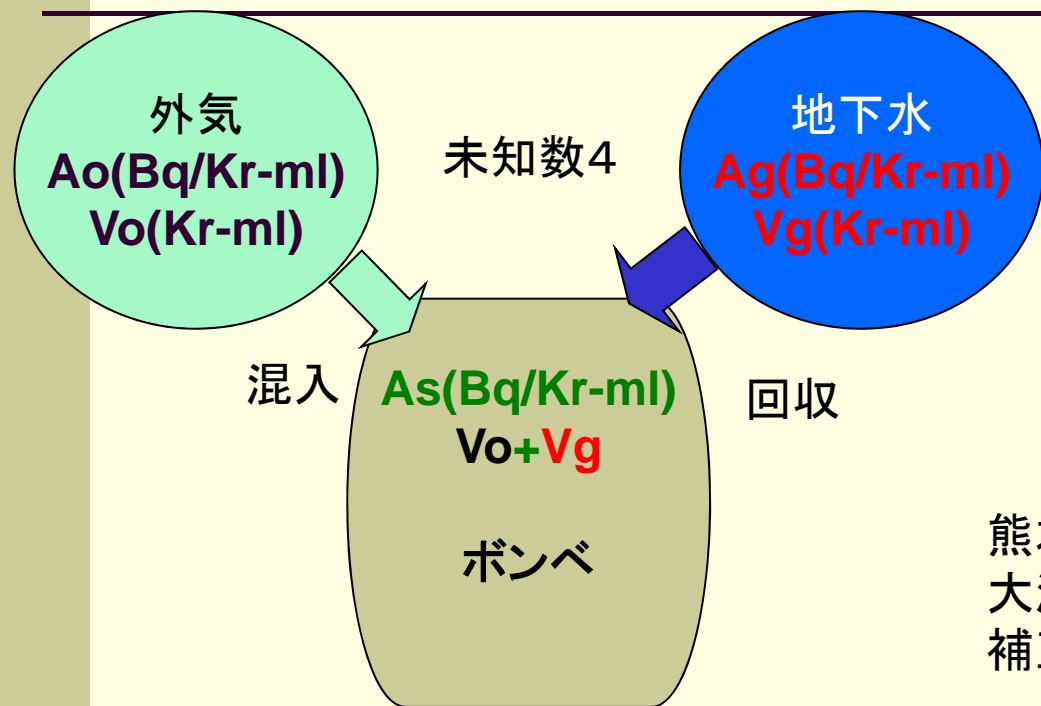
Extracted
gas (Kr)



- 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

回収ガスへの大気の混入は真空ポンプが原因、経年劣化。
ポンプの構造上リークは避けられない(要データ補正)

溶存気体回収における外気混入の補正



補正条件

外気(大気)

1. ポンプによる混入率(0.1L/min)

2. Kr-85濃度1.5Bq/1000L大気

地下水中Kr溶存量

3. 0.06ml/1000L地下水

上記条件で補正

熊本

大津 6542 L (740min)

補正值 0.773Bq/m³

江津湖 5178.9 L (398min)

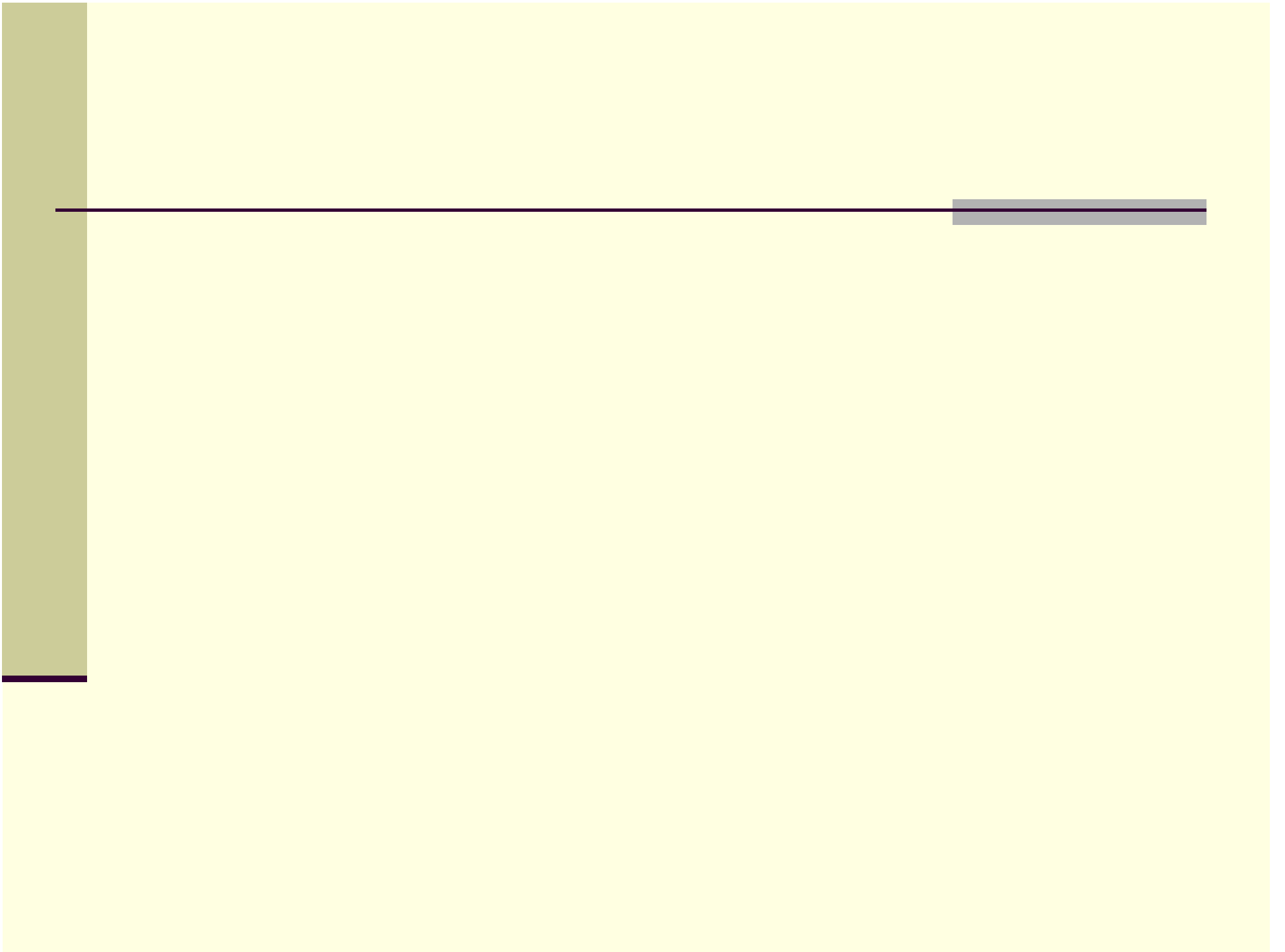
補正值 0.459Bq/m³

As(Bq/Kr-ml)

放射能測定

今後

- 釜石と北関東（リベンジ）
 - 86KM10(自噴)8609L(2009年10月19-21日)
 - (サンプリング終了)
- 酸化銅触媒によるメタン酸化の適応
$$\text{CH}_4 + 4\text{CuO} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{Cu}$$
- He除去操作の簡略化の適応
- ジャカルタ地下水？



Kr-85分析

- 二酸化炭素の除去
アルカリ溶液バブリング

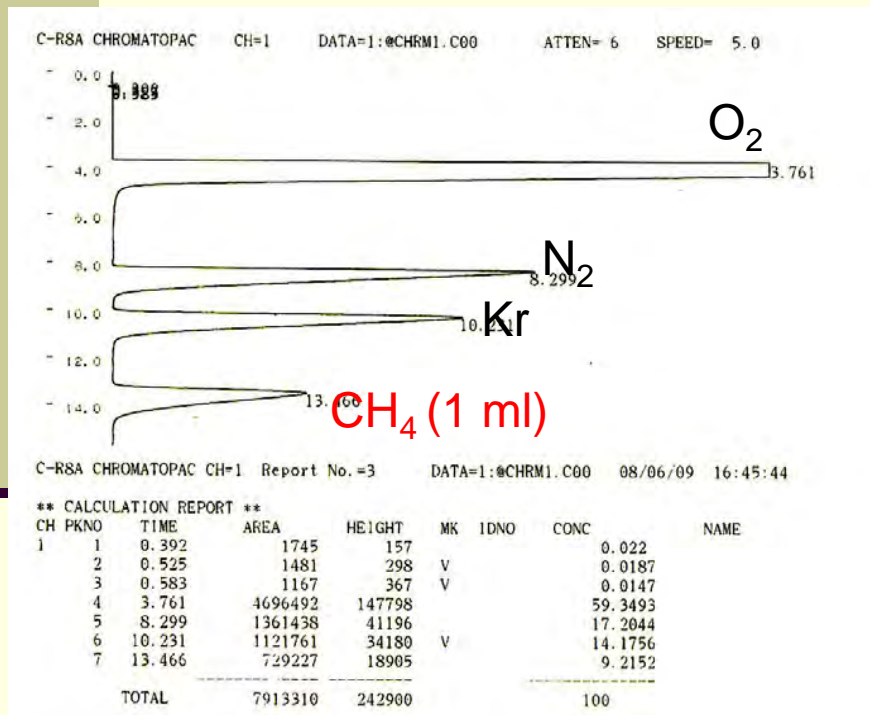
大量の炭酸ガスの除去(1)

4連の3モル
NaOH溶液に
バブリングさせ
て取除く

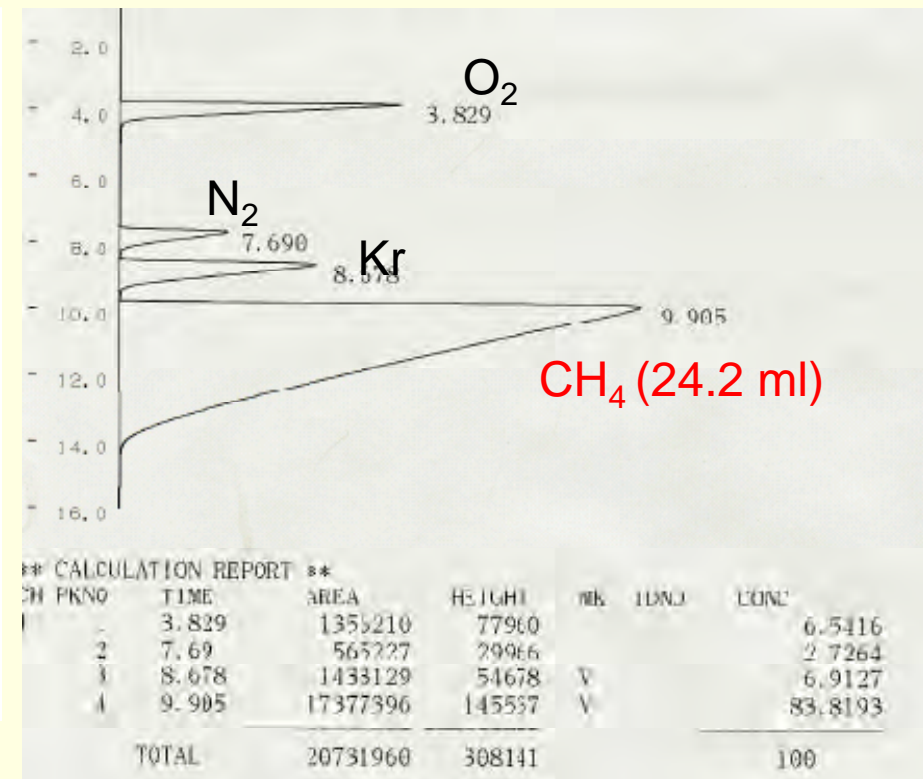


大津と京大の地下水中のメタン

熊本市大津観測井



京都大学原子炉実験所井戸水



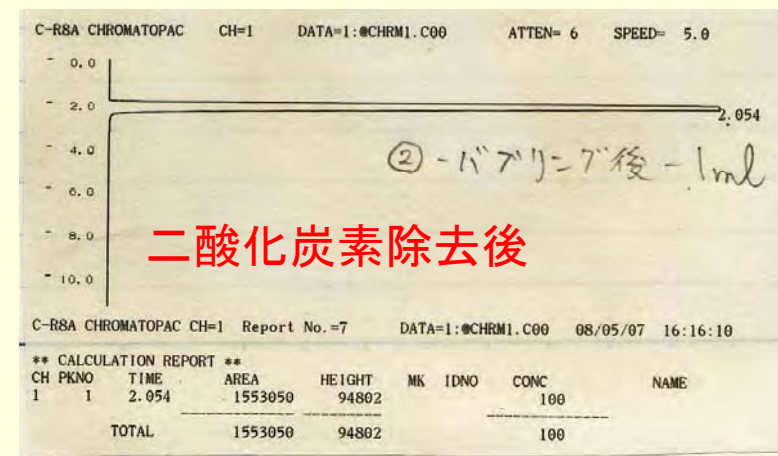
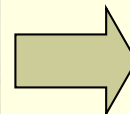
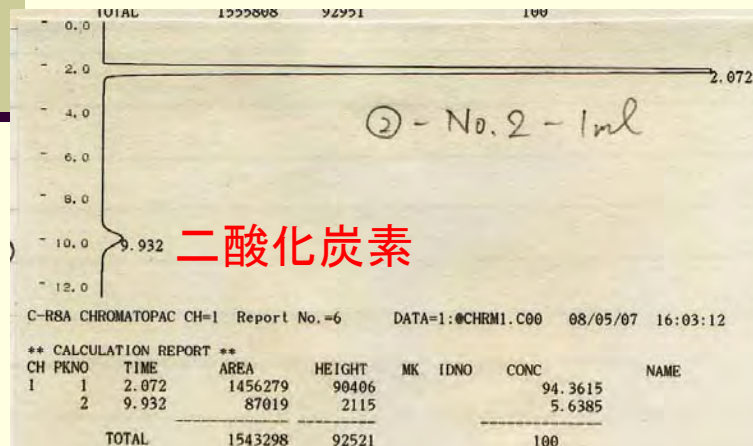
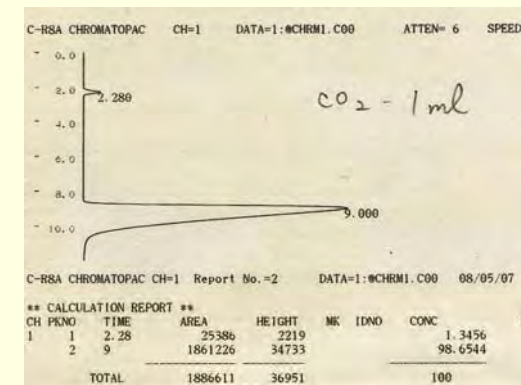
大量の炭酸ガスの除去(2)

溶存ガスはバブリング装置、ガラストラップ
(ドライアイス温度)を通してバルーンに回収



大量の炭酸ガスの除去(3)

- 京都大学原子炉実験所井戸水 (二酸化濃度約5%)
(6m³(分析ガス量約170L)、2007年12月18日)
- 熊本市江津湖自噴井 (二酸化濃度5.6%)
(5178.9 L (分析ガス量144L)、2008年3月14日)
- 熊本市大津観測井 (二酸化濃度4.6%)
(6542 L (分析ガス量186L)、2008年3月15日~16日)



Sheng-Min

井名	省民	井號	1070211
地下水分區	臺北盆地	井別	自計站
設置日期	20020708	水位高(公尺)	
距地面高(公尺)		井頂高(公尺)	13.8
井管口徑(英吋)	16	井深(公尺)	45
完鑿日期	20020708	完鑿深度	47
TM二度分帶X坐標	292187	TM二度分帶Y坐標	2763912

San Chong

地下水測站站況			
井名	三重(s)	井號	010211T1
地下水分區	臺北盆地	井別	自計站
設置日期	19710101	水位高(公尺)	2.8
距地面高(公尺)	0	井頂高(公尺)	2.1
井管口徑(英吋)	6	井深(公尺)	107.3
完鑿日期		完鑿深度	128.3
TM二度分帶X坐標	298448	TM二度分帶Y坐標	2772776

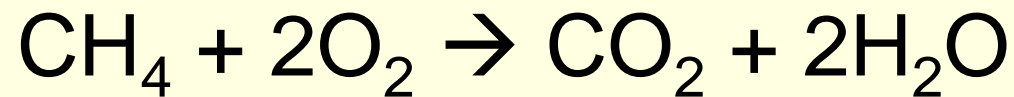
台湾と熊本地下水の比較

採水時データ	水温 (°C)	pH	EC (ms/m)	ORP (mv)	DO (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)
省民(涵養域)	24.3	6.26	42	-57	1.17	144.7
三重(流出域)前	24.8	7.51	38	-212	0.14	181.5
三重(流出域)後	—	—	—	—	—	171.7

	EC (μ S/cm)	pH	水温 (°C)	DO (mg/l)	ORP (mV)
江津湖自噴井	215	7.05	18.5	5.73	16
大津観測井	217	6.86	21.7	5.05	—

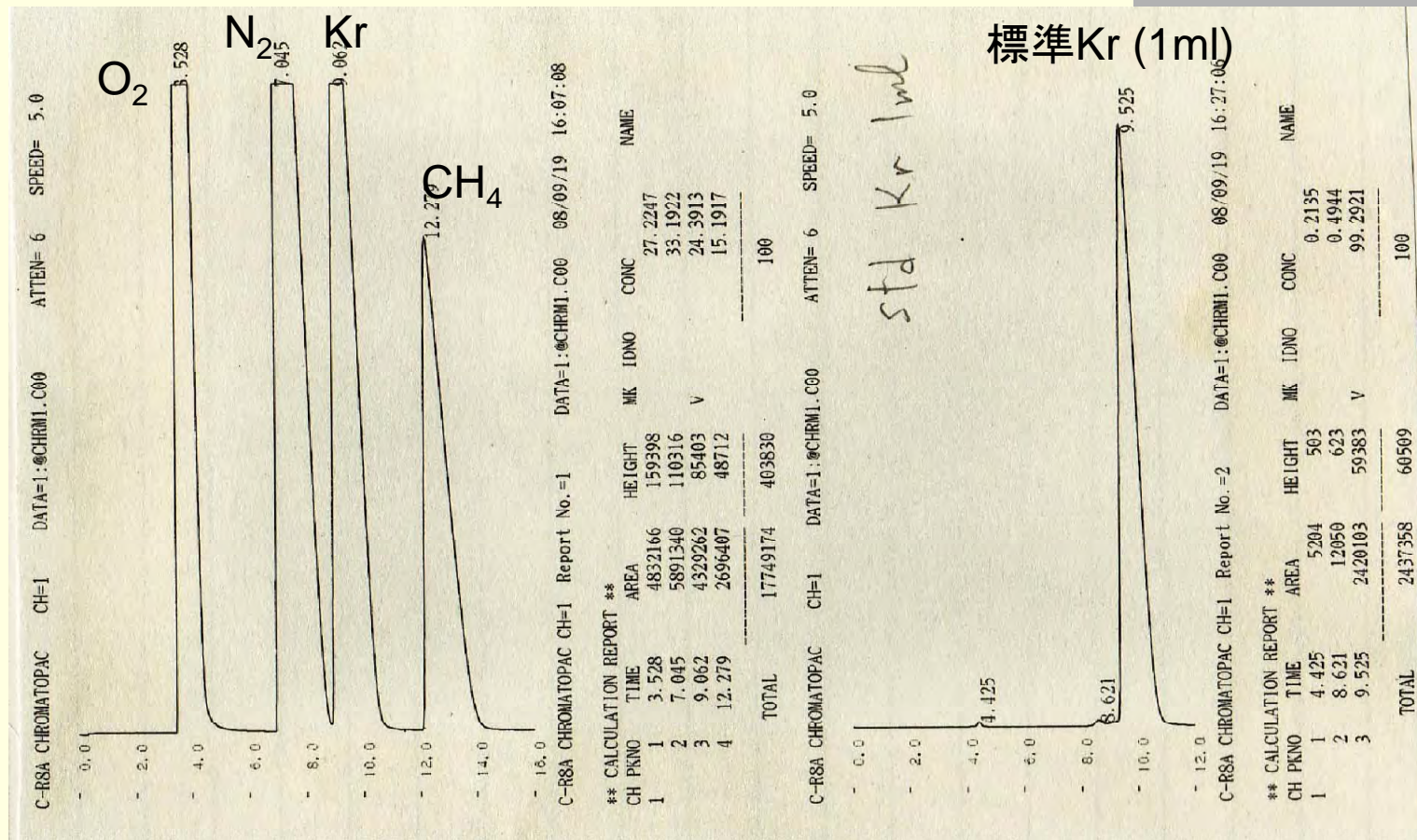
Kr-85分析

メタンの除去（酸化）



燃焼には酸素が必要

市販酸素ガス中のKrの分析



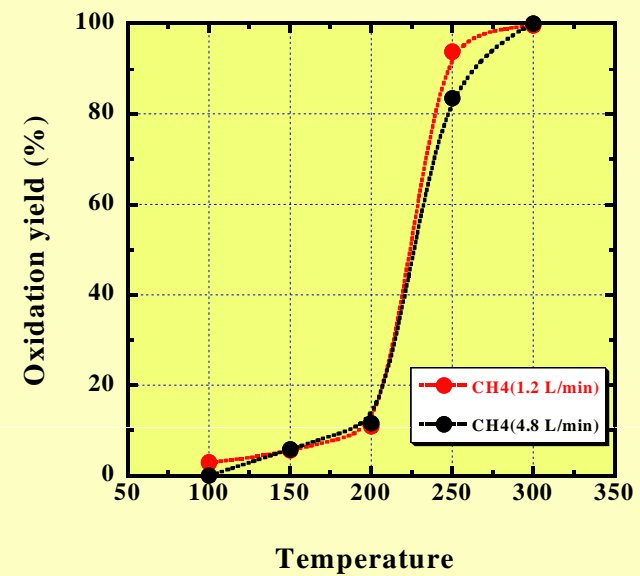
この酸素ガスにはKrが16.4ppm含まれていた。メタン酸化処理には使用できない。(大気中Kr 1.14ppm)

水の電気分解により無Kr酸素の製造



触媒によるメタン酸化

0.24wt%Pd, 3mm in diameter alumina
DASH-220D(NECHEMCAT Co. Lt.)



省民

- Kr分離回収(日本):
- 1. ガスクロマト分離1 2008年9月14日 メタン大量(分離できずCH₄約100ml?)、KrフラクションをAlバッグへ回収
- 2. ガスクロマト分離2 2008年11月7日、電気分解で発生させた酸素(300ml)をAlバッグに添加、Pd触媒(350°C)を通して酸化後、活性炭トラップ捕集⇒Heパージ(1L/min 2h)⇒ガスクロ分離
- 回収Kr面積: 14.04万、標準Krガス1mlの面積(237.4万)
- 回収Kr量: **0.0550ml**(0°C, 1atm) 2245.7L

Kr 3.4 ml (江津湖、5179L)

Kr 4.29 ml (大津、6542L)

三重

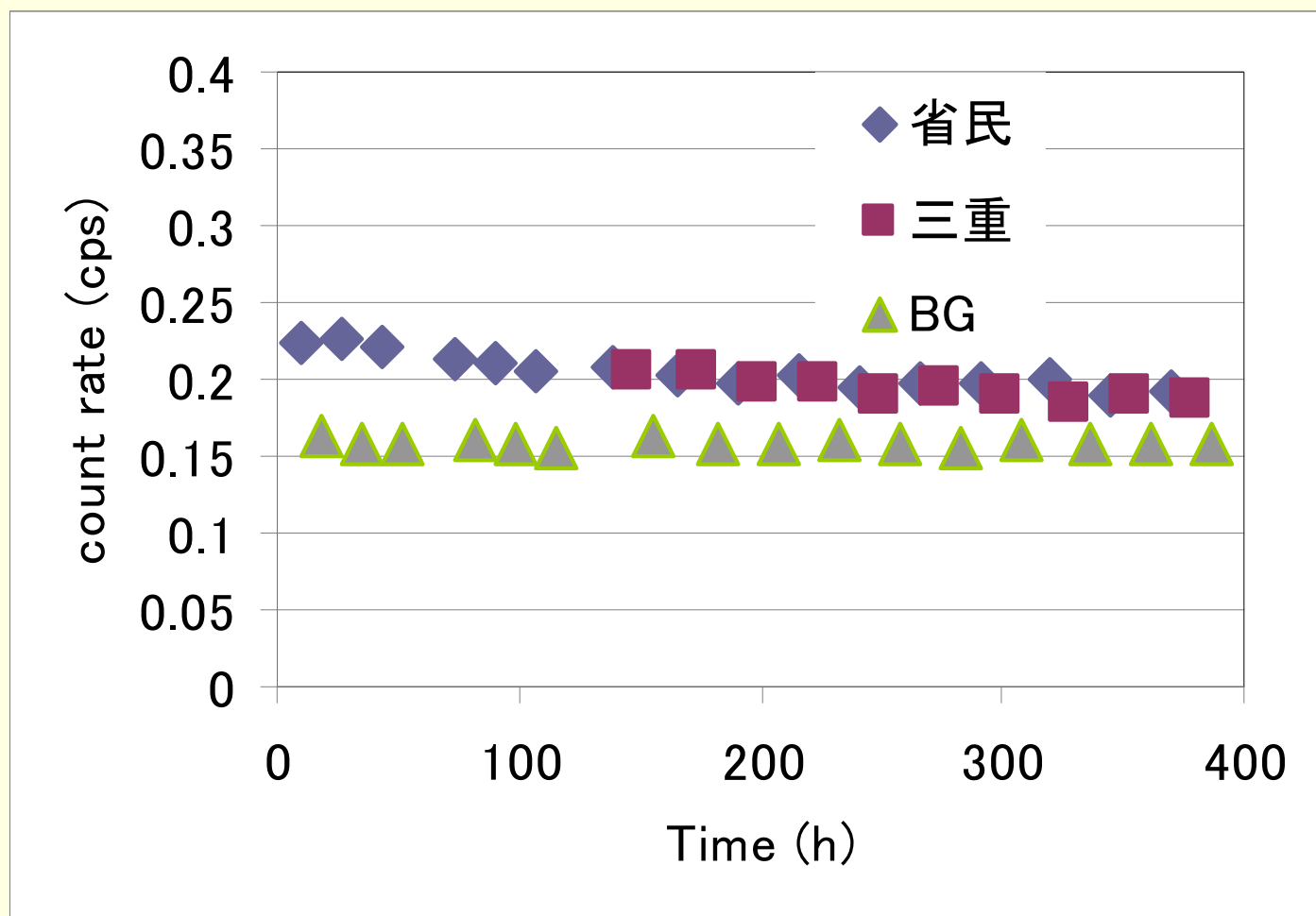
- Kr分離回収(日本):
- 1. ガスクロマト分離1 2008年11月11日 メタン大量(分離できずCH₄約700ml?)、KrフラクションをAlバッグへ回収
- 2. ガスクロマト分離1 2008年11月13日、電気分解で発生した酸素(10L)をAlバッグに添加、Pd触媒(350°C)を通して酸化後、活性炭トラップ捕集⇒Heパージ(1L/min 2h)⇒ガスクロ分離
- 回収Kr面積: 13.64万、標準Krガス1mlの面積(237.2万)
- 回収Kr量: **0.0536ml**(0°C, 1atm) 3462.5L

Kr 3.4 ml (江津湖、5179L)

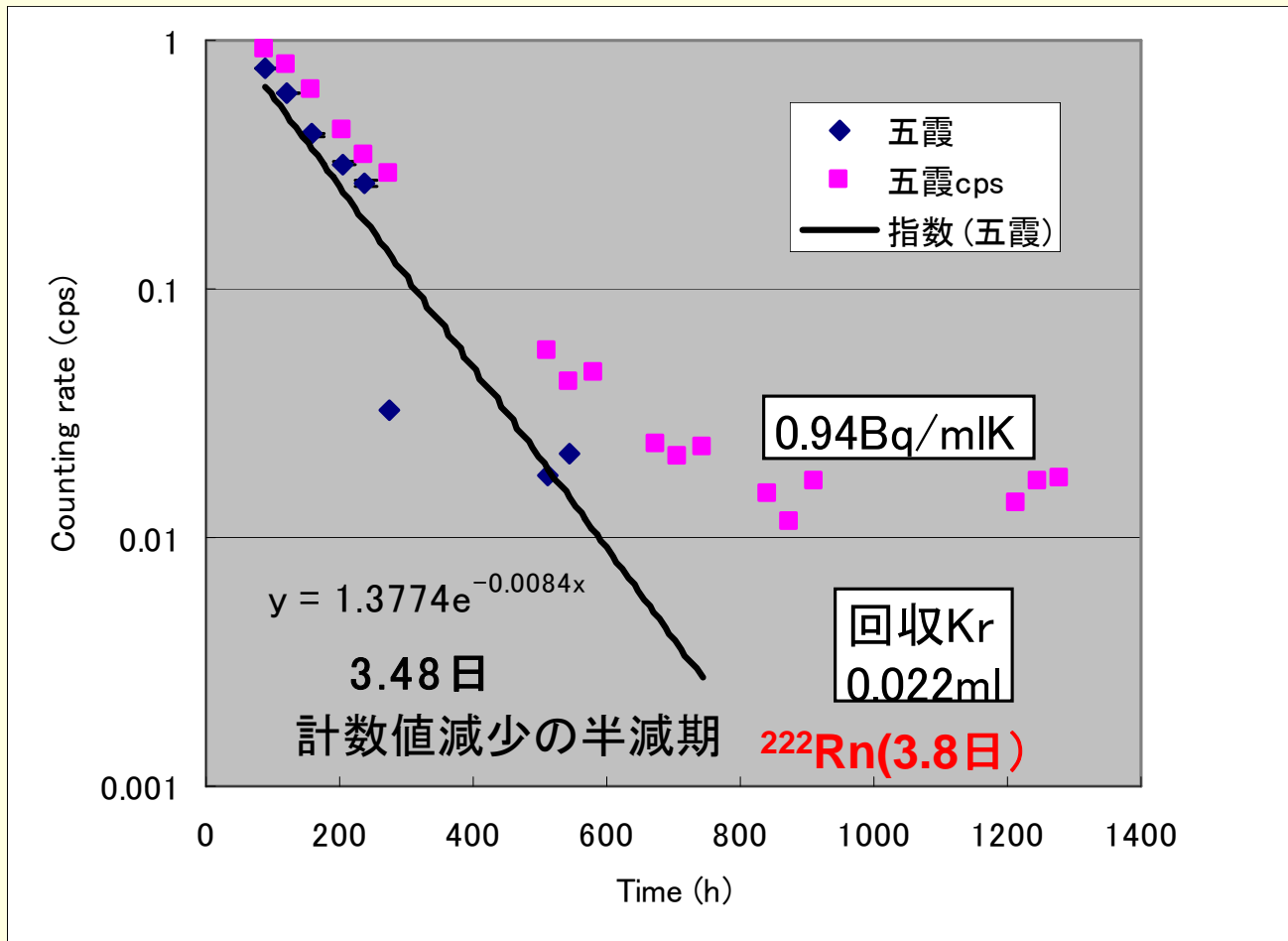
Kr 4.29 ml (大津、6542L)

計数値の経時変化(台湾地下水)

サンプリングから約60日経過

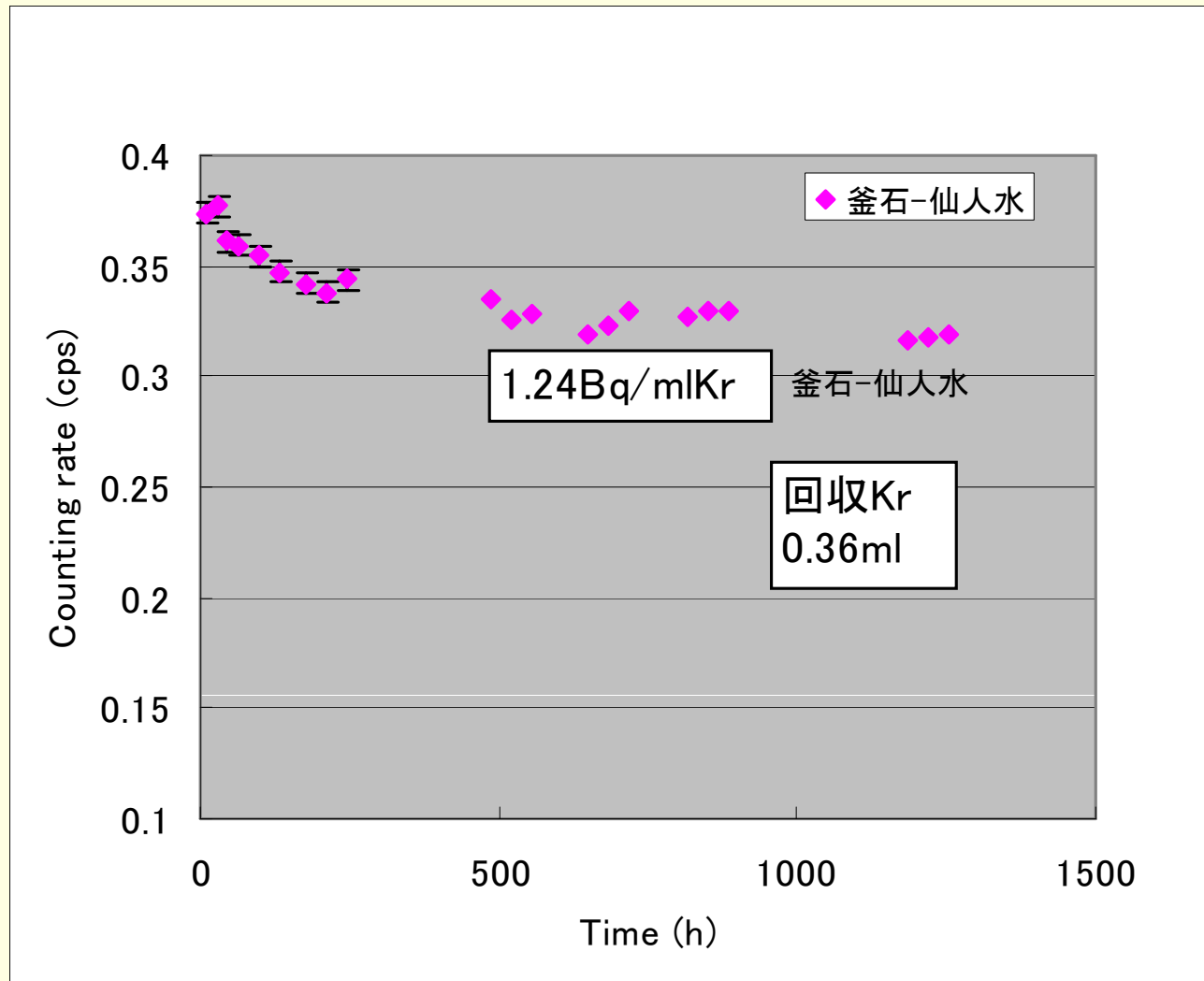


五霞(北関東) (サンプリングから7日経過)



大気Kr-85
1. 32Bq/ml Kr

釜石-仙人水



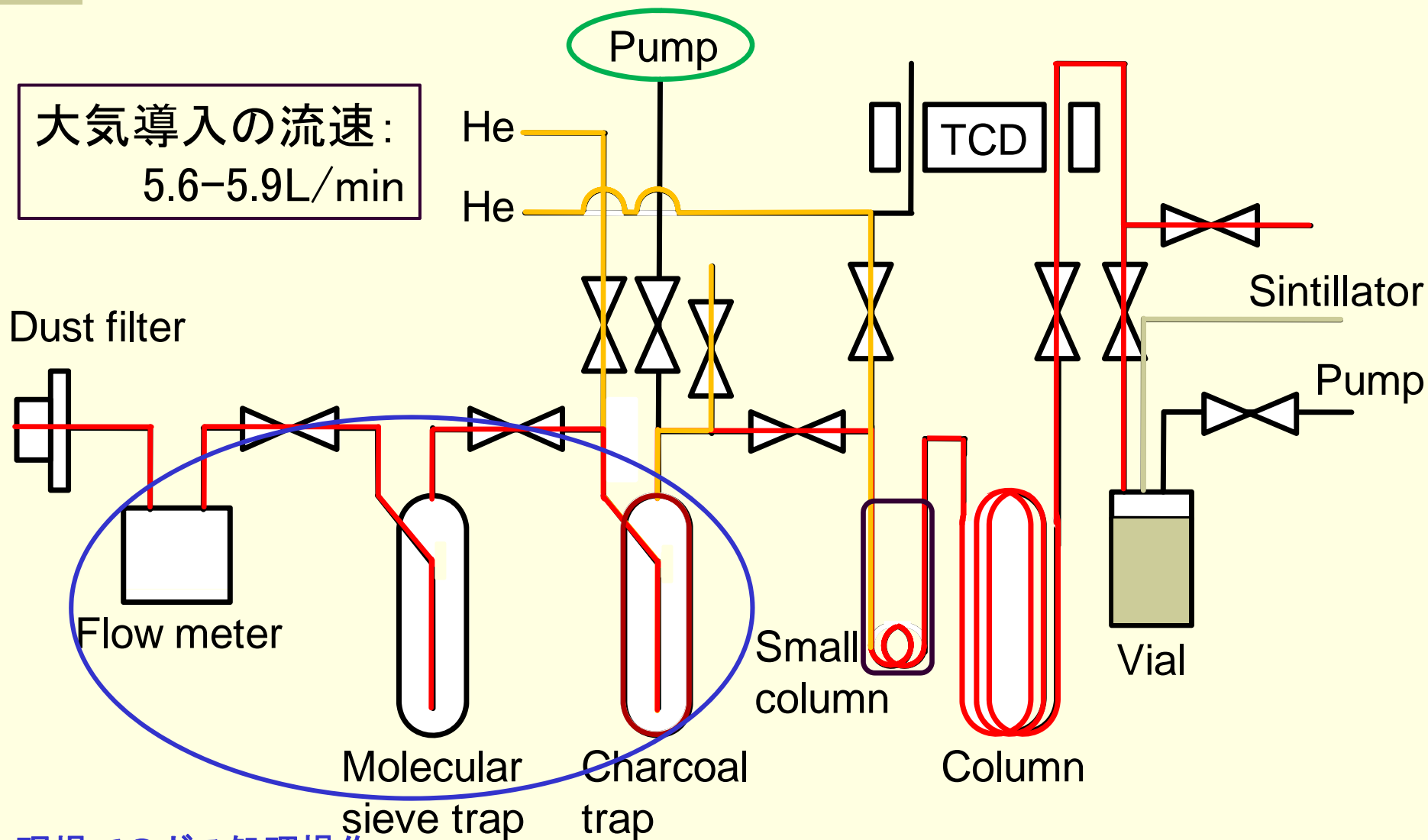
大気Kr-85

1.32Bq/ml Kr

Kr-85分析

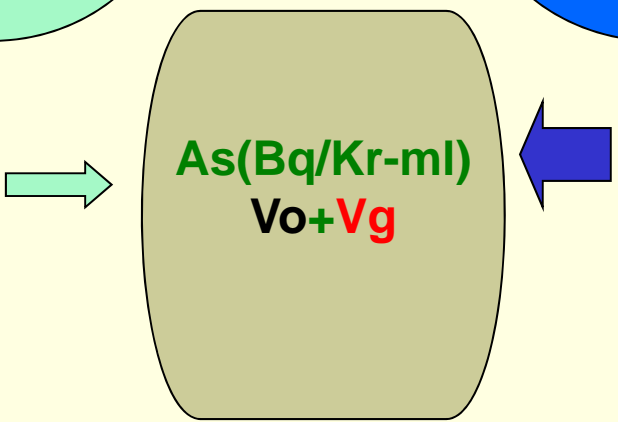
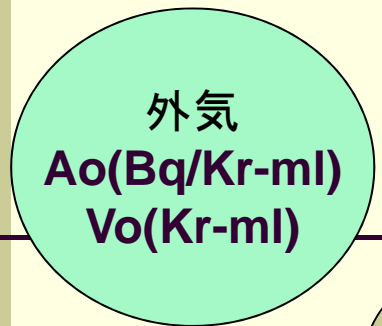
- 溶存ガス回収装置のリーク
 - 回収ガスへの大気混入の可能性(装置改良要)
 - 台湾?、釜石・五霞は大気汚染
- メタンの除去(燃烧酸化)
 - 酸化銅による酸化(低酸素溶存ガスへの対応、電気分解発生酸素ガスによるメタン酸化処理を省く)
- 試料前処理方法の改良
 - Heガスを使用しない(特に海外への対応)

Kr分離・捕集装置



現場でのガス処理操作

大気中Krの分離装置ガスクロマトグラフ



$A_s(\text{Bq/Kr-ml})$

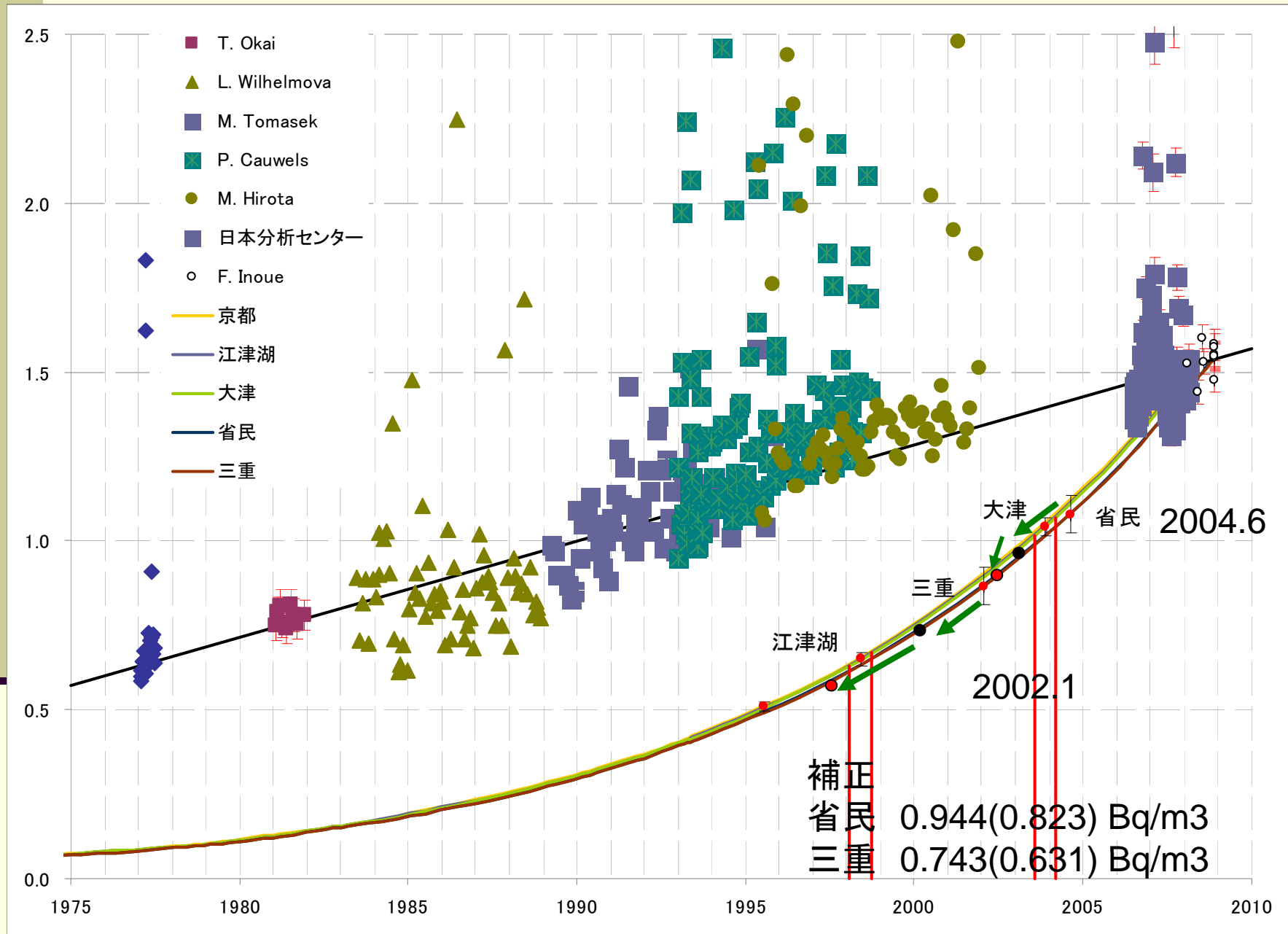
1. 外気(現在空気)
 $A_o = 1.32 \text{ Bq/ml}$
2. 0.1L/min
 $V_o = 0.1 \times \text{Time} \times 1.14 / 1000$
3. 0.06ml/1000L
 $V_g = 0.06 \times \text{Water} / 1000$

台湾
 省民 2245.7L (128min)
 $V_o = 0.0146 \text{ Kr-ml}$
 $V_g = 0.135 \text{ (90.2\%)}$
 $A_s = 0.957 \text{ Bq/ml (0.828 Bq/ml)}$
 0944 Bq/m^3

三重 3462.5L (178min)
 $V_o = 0.0203 \text{ Kr-ml}$
 $V_g = 0.208 \text{ (91.1\%)}$
 $A_s = 0.769 \text{ Bq/ml (0.651 Bq/ml)}$
 0.743 Bq/m^3

Kr 0.0550ml (省民、2245.7L)
 Kr 0.0536ml (三重、3462.5L)

補正
 省民 0.944 Bq/m³
 三重 0.743 Bq/m³



測定精度（誤差（K-1））

(1) Kr-85標準ガス値付

2.5%

証明書に記載

(2) Kr-85標準ガスサンプリング

0.46%

シリンジでのKr-85標準ガス
サンプリング誤差(n=5)

(3) ガスクロによるKr定量

0.33%

安定Kr定量誤差(n=5)

放射能測定以外の誤差は2.563%

これに放射能測定の計数誤差が加わる