

2017年度(H29年度)

## 地下水盆管理学概論

福島大学 共生システム理工学類  
環境システムマネジメント専攻  
柴崎 直明

## 8. 地下水障害



枯渇した湧水(喜多方キャンプ清水)

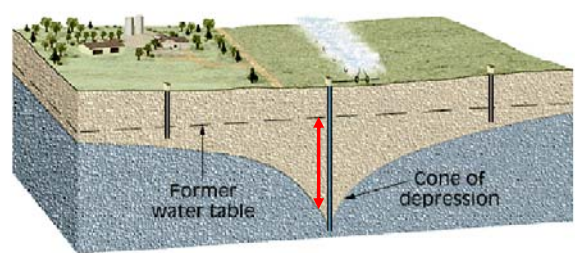
### 地下水障害とは何か？

地下水位の異常な変動に起因して発生する、地下水利用や社会生活に不都合を及ぼす障害のこと

#### 地下水障害の例

地下水位の異常低下、地盤沈下、地下水の塩水化、水質悪化など

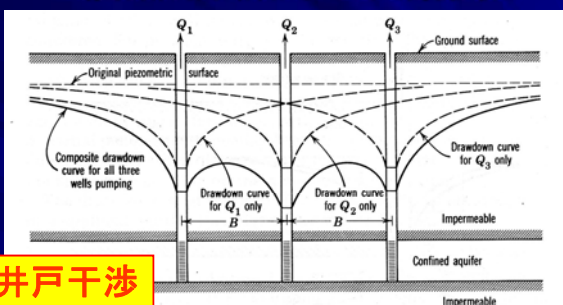
### 水位降下量(Drawdown)



水位降下量 = (静水位) - (動水位)

Static water level    Dynamic water level

### 複数の井戸からの揚水



井戸干渉

Fig. 4.27 Individual and composite drawdown curves for three wells in a line.

【Todd, D. K. (1980) : "Groundwater Hydrology 2nd Ed."より】

### 地下水位変動の主な要因(1)

#### 人為的要因

大量揚水  
かんがい  
土地利用の変化  
地下構造物  
トンネルや地下掘削  
河川改修, など

## 地下水位変動の主な要因(2)

### 自然的要因

降水  
気圧  
潮汐  
地震  
河川の水位, など

## 地下水位異常変動の要因

- ❖ 地下水開発それ自体によるもの
- ❖ 土木工事など他の原因によるもの
- ❖ 干ばつによる地下水枯渇

## 地下水障害の分類

- ❖ 地下水位の低下で直接起こる障害
- ❖ 地下水位の低下が他の現象を誘発して生じる障害
- ❖ 地下水位の上昇による障害
- ❖ 地下水位の変化を伴わない障害

## 地下水位の低下で直接生じる障害

- ❖ 自噴停止
- ❖ 井戸の枯渇, 揚水不能
- ❖ 揚水量の減少
- ❖ 井戸の相互干渉
- ❖ 湧水の枯渇, 湧出量の減少
- ❖ その他

## 地下水位の低下が他の現象を誘発して生じる障害

- ❖ 地盤沈下
- ❖ 地下水塩水化
- ❖ 酸欠空気の発生
- ❖ 地下水水質の悪化
- ❖ 地下水酸性化による鉄管の腐食
- ❖ その他

## 地下水位の著しい上昇で生じる障害

- ❖ 浮力による構造物の不安定化
- ❖ 塩類集積や塩害の促進
- ❖ 地盤液状化の促進
- ❖ 排水不良
- ❖ 作物の湿害
- ❖ その他

## 地下水位の変化を 伴わない障害

- ❖地下水汚染
- ❖地層汚染
- ❖その他

## 地盤沈下



東京都江東区の  
抜け上がった井戸  
(「日本の平野」平凡社より)

## 東京下町の地盤沈下の歴史



鉄管のしるしが、  
当時の地面  
(「日本の平野」平凡社より)

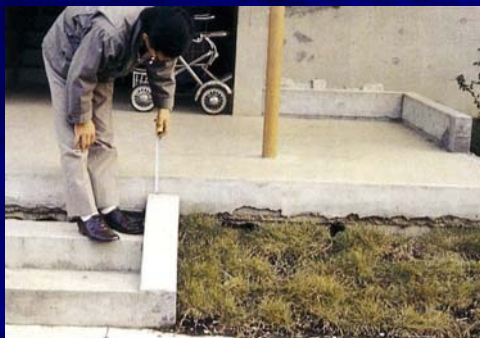
## ビルの基礎の抜け上がり(1)



1階の床が、道路面より高くなっている

(「日本の平野」平凡社より)

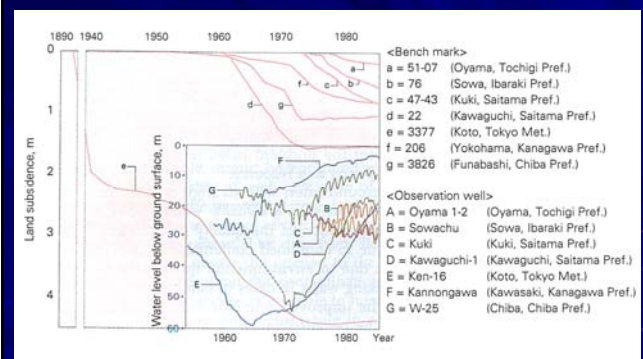
## ビルの基礎の抜け上がり(2)



完成後1年で、団地の入り口に16cmの落差

(「日本の平野」平凡社より)

## 関東平野における地盤沈下の歴史



(「Environmental Management of Groundwater Basins」

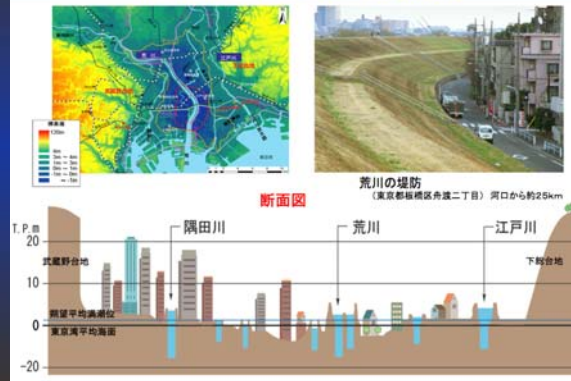
東海大学出版会より)

## 東京のゼロメートル(0m)地帯



## 東京のゼロメートル地帯の状況

首都圏に広がるゼロメートル地帯



## ゼロメートル地帯の河川水位と地盤

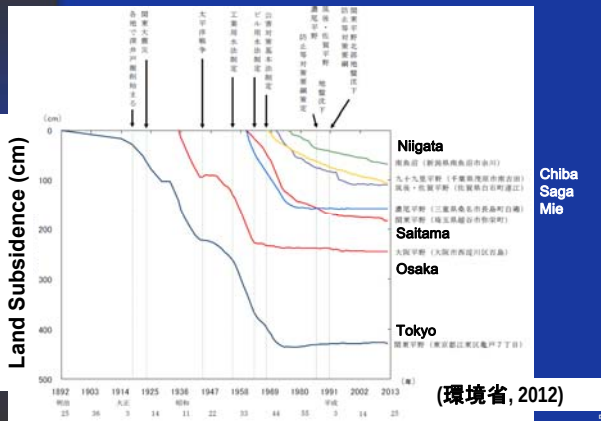


## 東京低地の地盤沈下の状況



- ← 堤防の高さ
- ← 過去最高水位 (1917年の台風による高潮)
- ← 1918年当時の地表面
- ← 満潮時海面
- ← 平均海面
- ← 干潮時海面

## 日本各地の地盤沈下の推移



(環境省, 2012)

56

## 世界各都市の地盤沈下

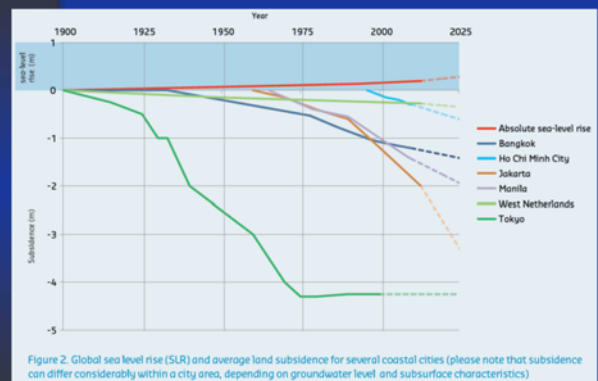
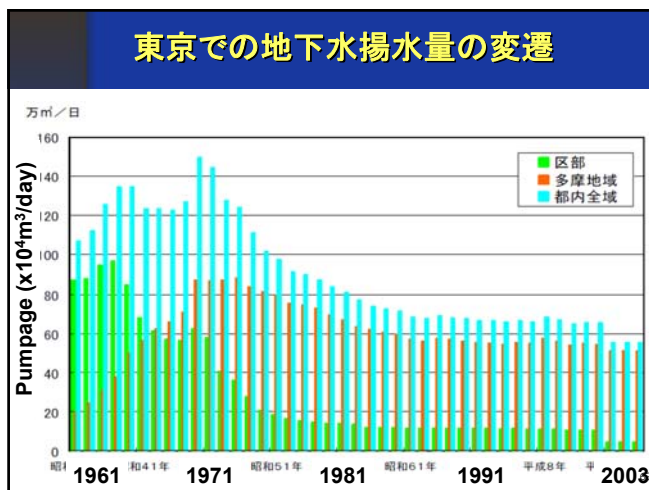
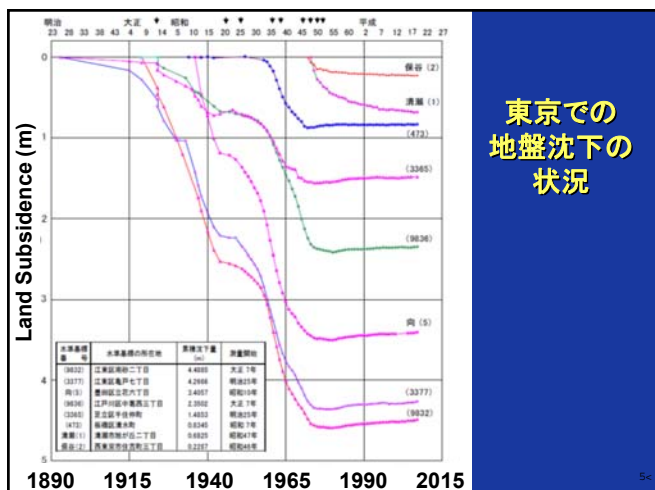
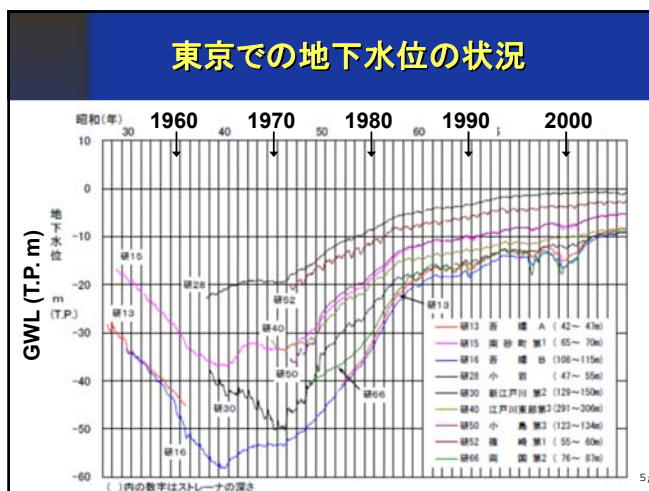
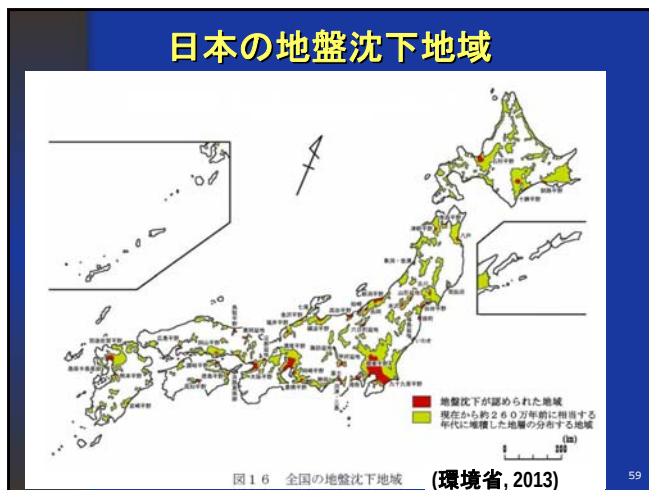
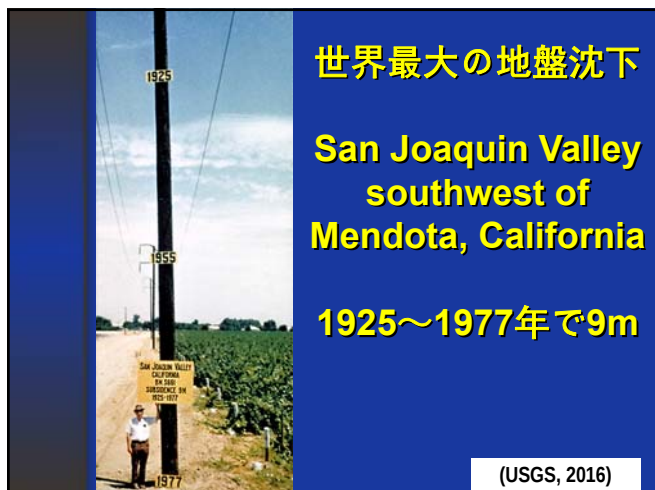


Figure 2. Global sea level rise (SLR) and average land subsidence for several coastal cities (please note that subsidence can differ considerably within a city area, depending on groundwater level and subsurface characteristics)

(Deltares, 2015)



被圧地下水の揚水

The diagram illustrates the process of pumping water from a confined aquifer. A vertical well is shown with a pump at the top. The discharge rate is labeled  $Q = \text{揚水量}$ . The initial water level is indicated by a dashed line labeled  $t = 0$ . The water level in the well and the surrounding aquifer at a later time is shown by a solid line labeled  $t > 0$ . The aquifer is labeled 被圧帯水層 (Confined Aquifer). Arrows indicate the flow of water from the aquifer into the well. Below the diagram, the text 被圧帯水層の上下は不透水層で接する (The top and bottom of the confined aquifer are in contact with impermeable layers) is written.

$Q = \text{揚水量}$

$t = 0$

$t > 0$

被圧帯水層

被圧帯水層の上下は不透水層で接する

# 不圧地下水の揚水

The diagram illustrates the flow of unconfined groundwater into a well. A central vertical well is shown with a discharge rate  $Q$  indicated by an upward arrow. The initial water table is a horizontal line labeled  $t = 0$ . At a later time  $t > 0$ , the water table has lowered, forming a drawdown curve. Dashed lines represent the water table profile at  $t > 0$ . Arrows indicate the radial flow of water towards the well. The bottom boundary is labeled 不透水基盤 (Impermeable base).

## 被圧帯水層の貯留係数, $S$

Cross-Sectional area,  $A$

単位水位  
降下量,  $\Delta\phi$

排出された  
地下水の体積,  $\Delta V_w$

Initial Head

Confining Layer

Head after Unit Drop

Confined Aquifer

Confining Layer

$$S = \frac{\Delta V_w}{A \cdot \Delta\phi}$$

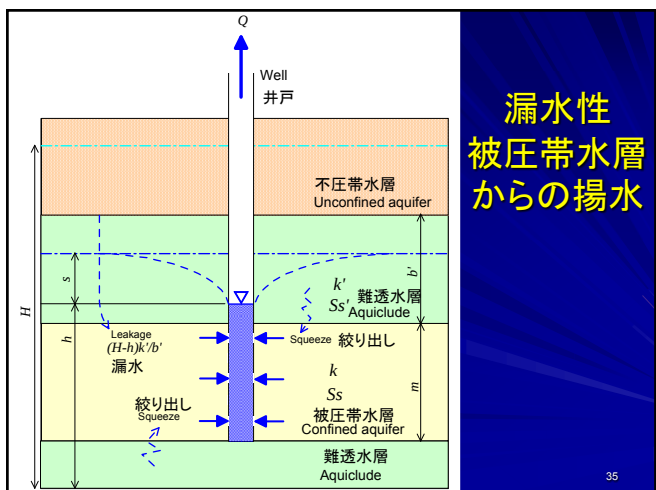
$$S = \frac{\Delta V_w}{A \cdot \Delta \phi}$$

# なぜ、地盤沈下は発生するのか？

簡単にいうと、  
地下水位低下による軟弱粘土層の収縮

やや詳しくいうと、  
主被圧帯水層からの揚水により水頭低下  
が起こり、隣接する加圧層(粘土層)から間  
隙水の絞り出し現象が発生して、加圧層が  
圧密収縮する。

主被圧帯水層からの揚水により水頭低下が起こり、隣接する加圧層(粘土層)から間隙水の絞り出し現象が発生して、加圧層が圧密収縮する。



# 地下水揚水と地盤沈下の発生

地下水揚水と地盤沈下の発生

井戸の上げ上り ↑

揚水  $Q_d$

地盤沈下

不圧水位

被圧水頭

加圧粘土層  $k', S_1$

圧縮沈下 ( $S_1$ )

主被圧水層  $k, S_2$

弾性沈下 ( $S_2$ )

水平方向湧量  $R$

加圧層

圧圧区

絞り出し  $S_q$

絞り出し  $S_q$

漏水  $L$

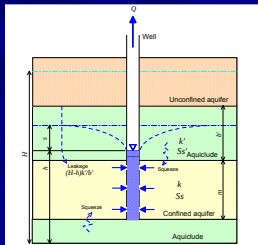
(柴崎原図)

(柴崎原図)

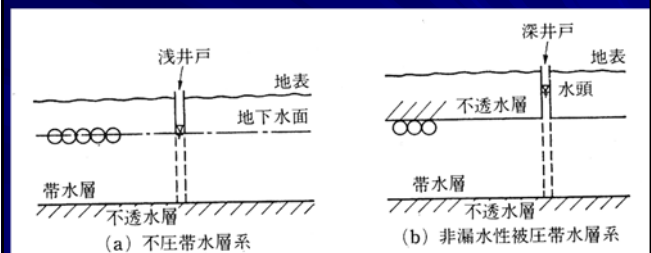
## 漏水(Leakage)とは？

地下水が、帯水層間にある難透水層を通して垂直方向に浸透する現象のこと

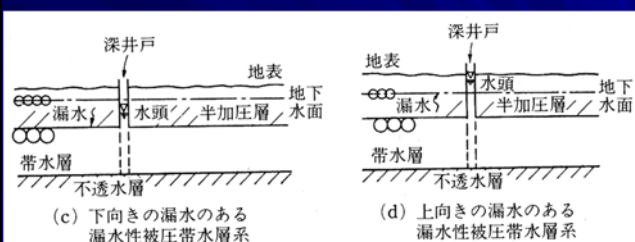
上下の帯水層内の水位(水頭)に差がある場合に生じる



## 帯水層系の基本的構図(1)



## 帯水層系の基本的構図(2)



## 漏水速度と漏水係数

帯水層の上位に半加圧層がある場合、  
ダルシーの法則より、漏水速度は、

$$\frac{Q_c}{A_c} = \frac{k'}{b'}(H - h)$$

$Q_c$ : 漏水量、 $A_c$ : 関係面積、 $k'$ : 半加圧層の透水係数、 $b'$ : 半加圧層の層厚、 $H$ : 不圧地下水位の高さ、 $h$ : 被圧地下水頭の高さ

$k'/b'$ : 漏水係数(半加圧層固有の値)

## 絞り出し現象とは？

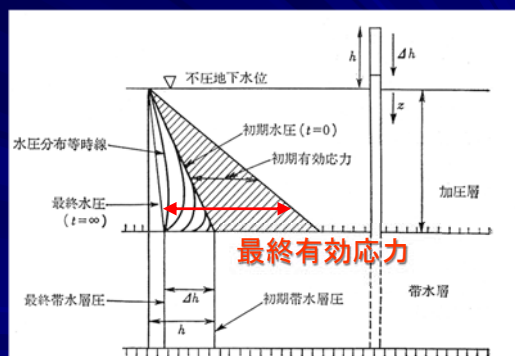
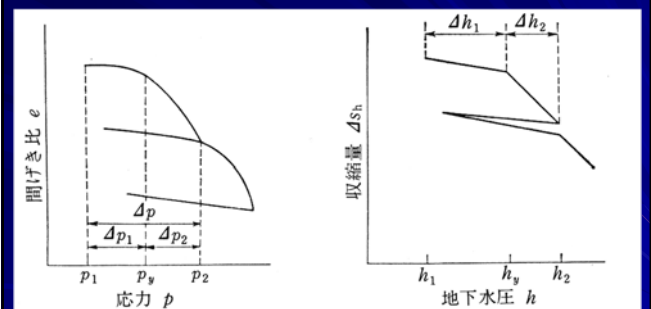


図 4.12 絞り出し現象の説明 (Domenico<sup>11)</sup> による)

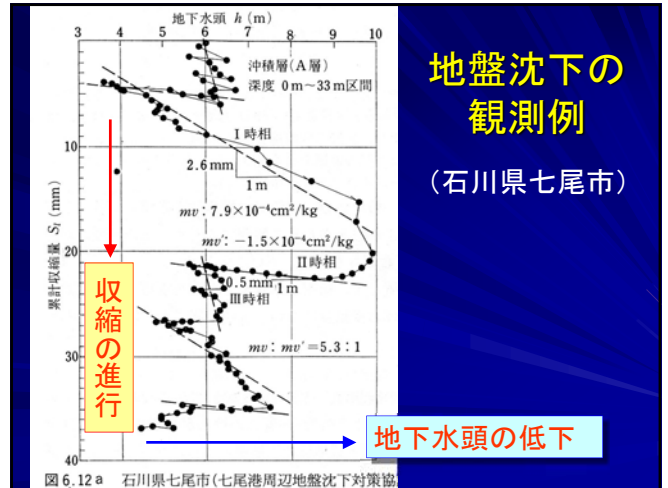
## 圧密と地層の収縮



間隙比 = 間隙の容積 / 土粒子の体積

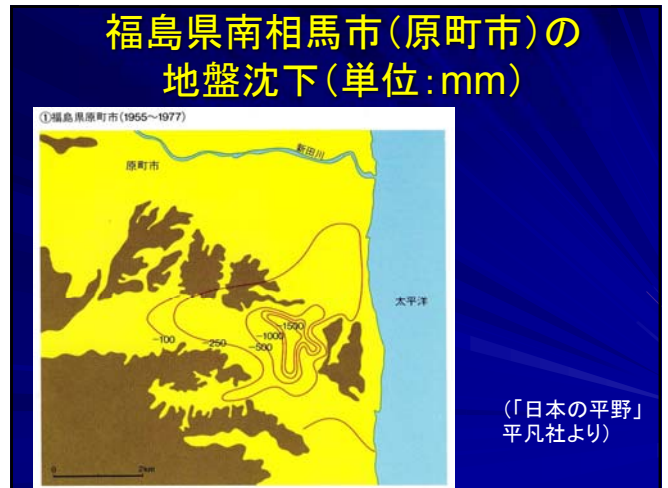
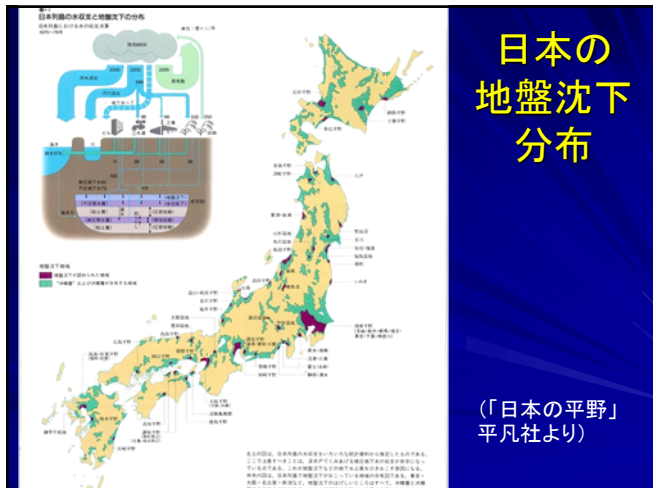


## 地下水・地盤沈下観測井の構造



## 地盤沈下の観測例

(石川県七尾市)



## 地盤沈下の被害

農業分野:

田畑の不等沈下、水路の破損・機能低下、揚排水機場の破損・機能低下など

インフラ:

道路・鉄道・水道施設等の破損、建物の抜け上がりなど

防災分野:

高潮・洪水災害の拡大、構造物の不安定化など



## 水路への被害(濃尾平野)



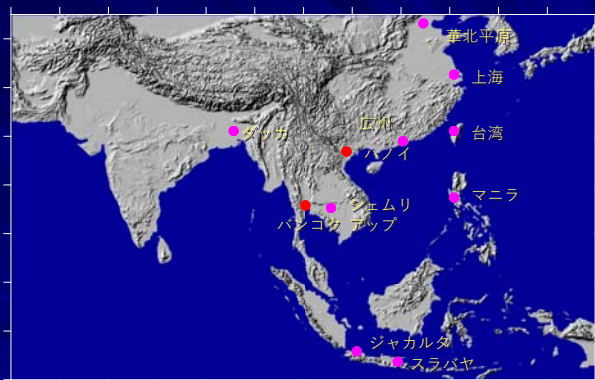
(「濃尾平野の地盤沈下と地下水」名古屋大学出版会より)

## 地盤沈下による川の水面の上昇



石川県七尾市の例 (「日本の平野」平凡社より)

## アジア各地での地盤沈下

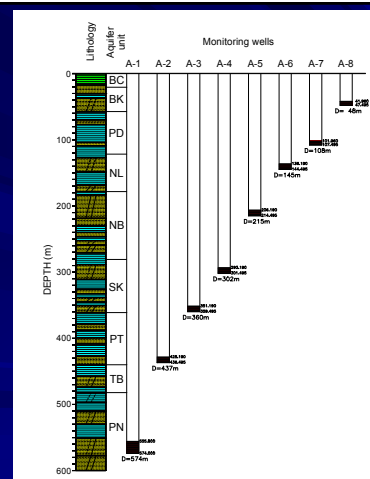
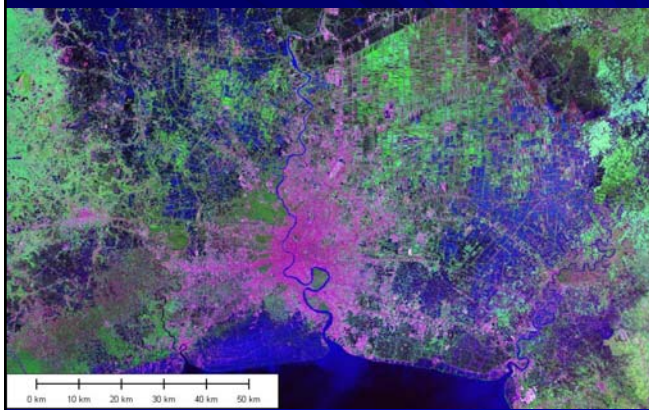


51

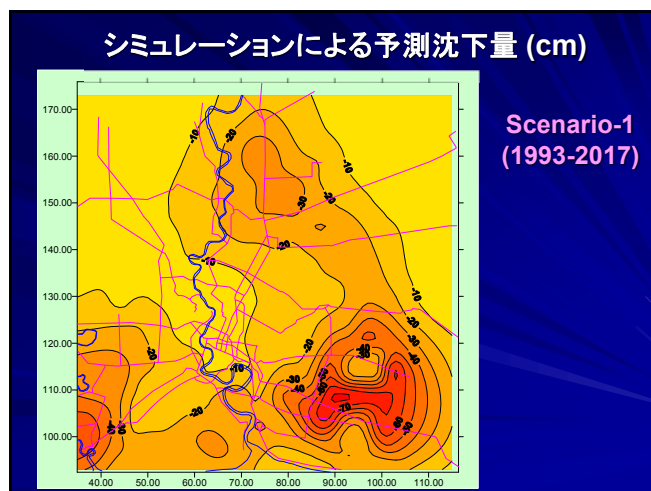
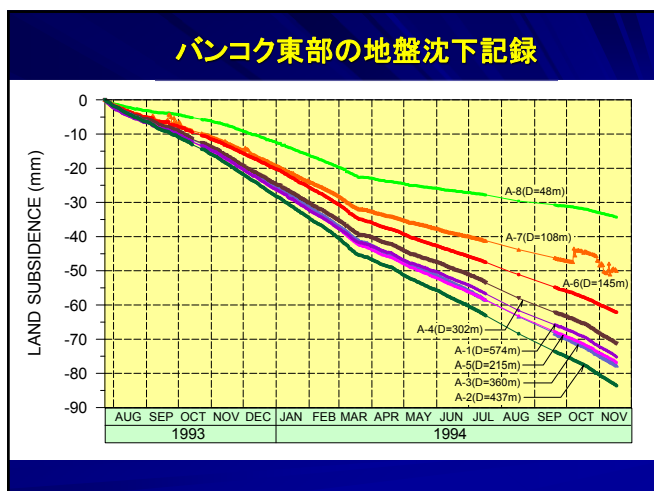
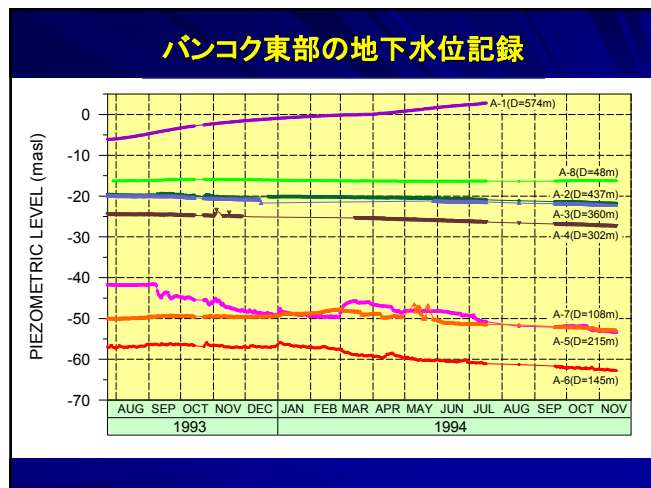
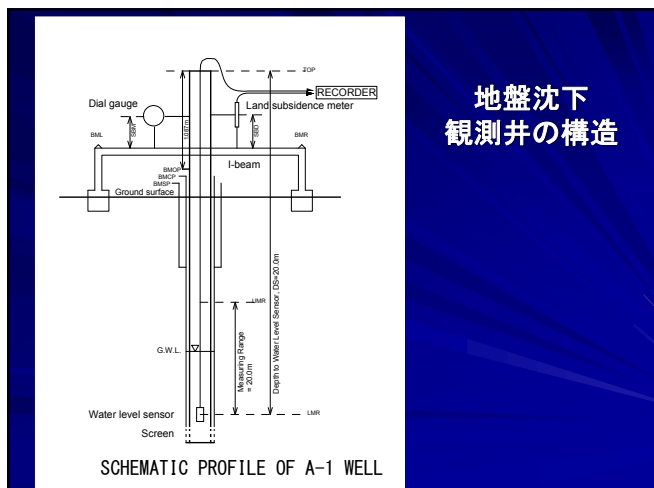
## バンコク市街地の風景



## バンコクの衛星画像



バンコク東部の  
JICA地盤沈下  
観測井



### 参考文献

水収支研究グループ編  
「地下水資源・環境論—その理論と実践—」  
共立出版、1993年