

2025年度(R07年度)

## 地下水盆管理学

福島大学 共生システム理工学類  
地球環境コース  
柴崎 直明

1

## 8. 地下水障害(地盤沈下)



枯渇した湧水(喜多方カンプク清水)

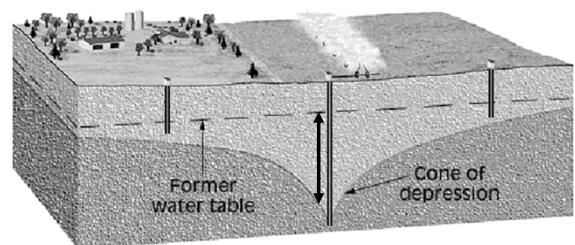
### 地下水障害とは何か？

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

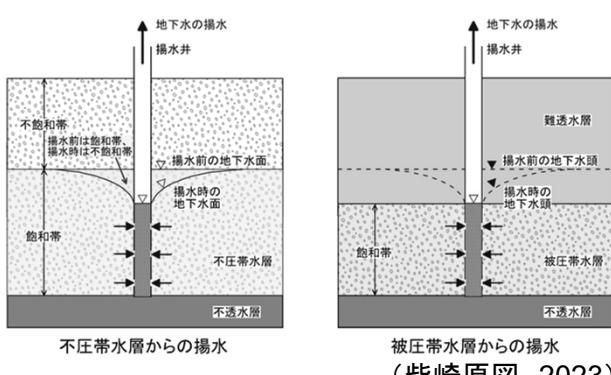
### 水位降下量(Drawdown)



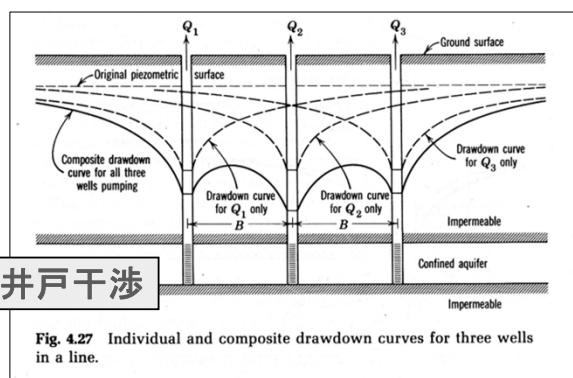
水位降下量 = (静水位) - (動水位)

Static water level   Dynamic water level

### 不透帯水層と被透帯水層からの揚水



### 複数の井戸からの揚水



【Todd, D. K. (1980) : "Groundwater Hydrology 2<sup>nd</sup> 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)

## 最近の抜け上がり状況

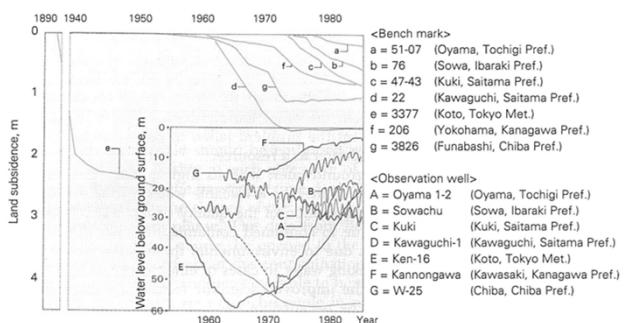


2019年の埼玉県春日部市の武里団地

(2019年7月 柴崎撮影)

19

## 関東平野における地盤沈下の歴史



(「Environmental Management of Groundwater Basins」

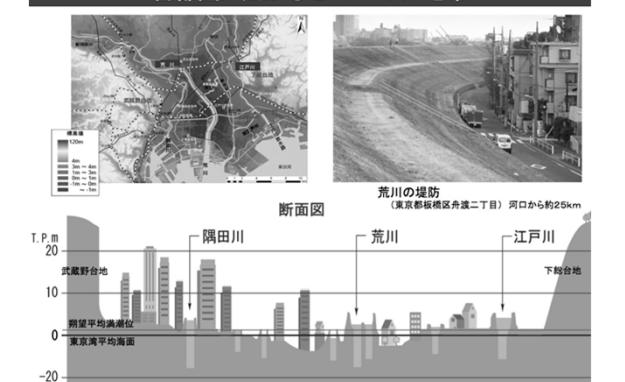
東海大学出版会より)

## 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

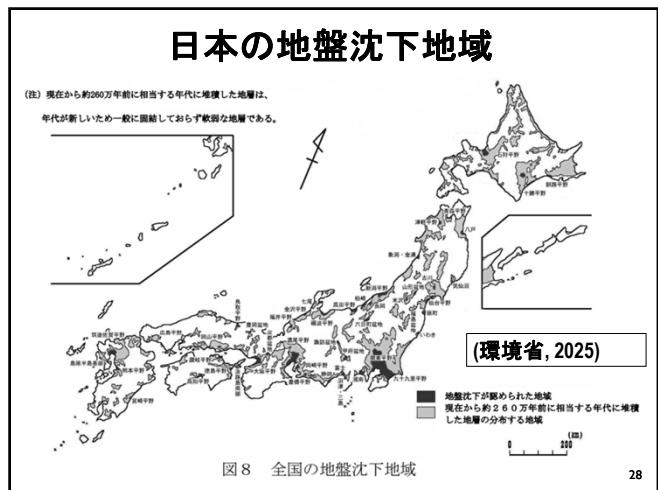
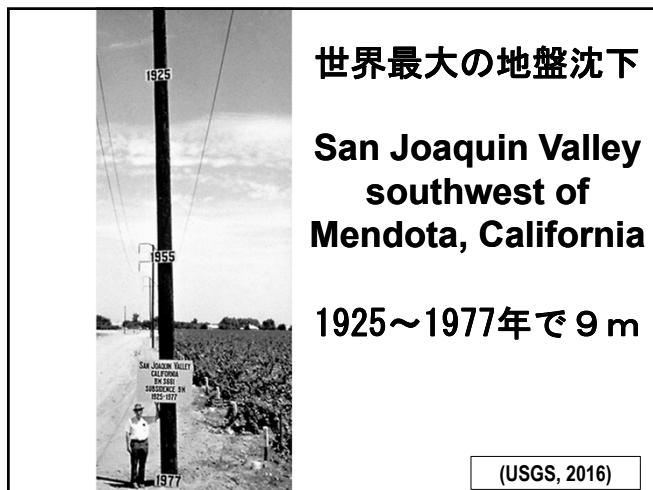
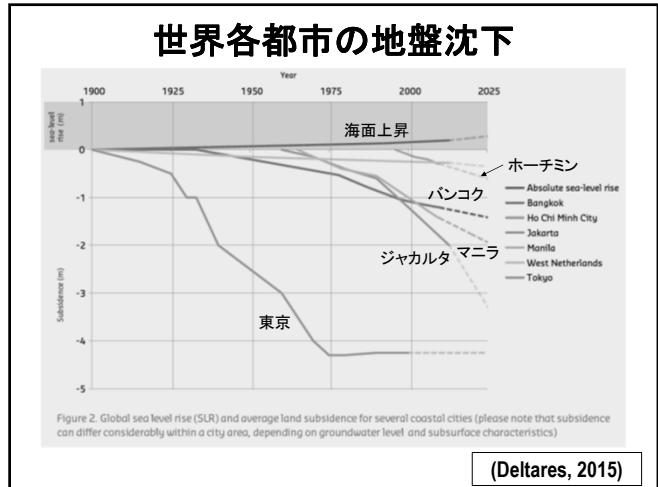
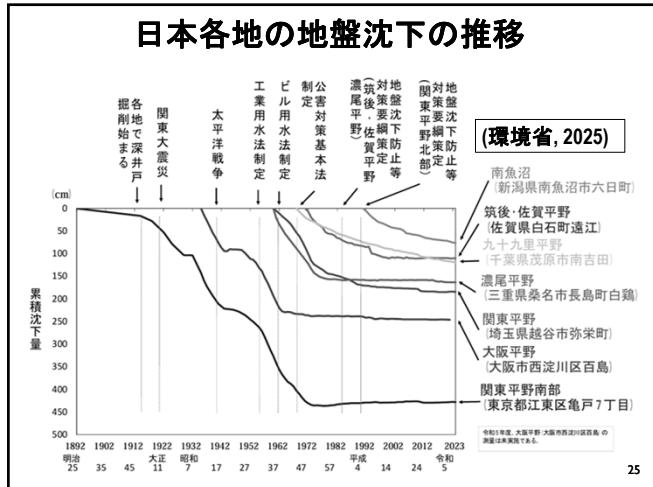
← 過去最高水位  
(1917年の台風による高潮)

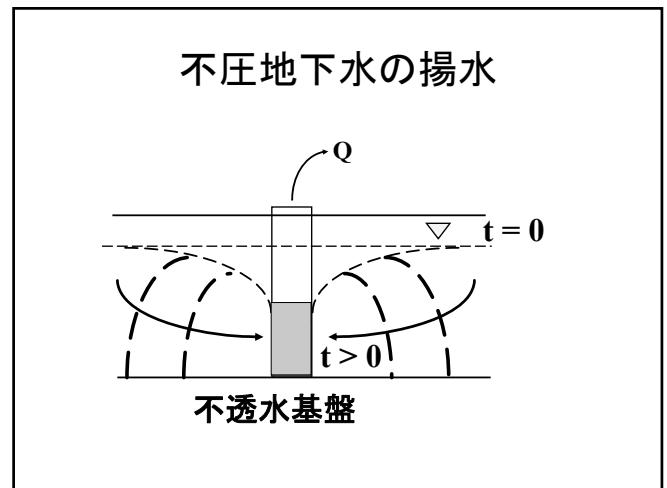
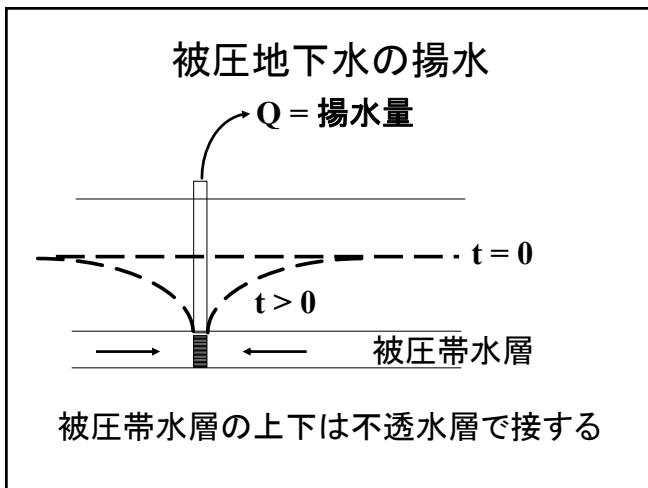
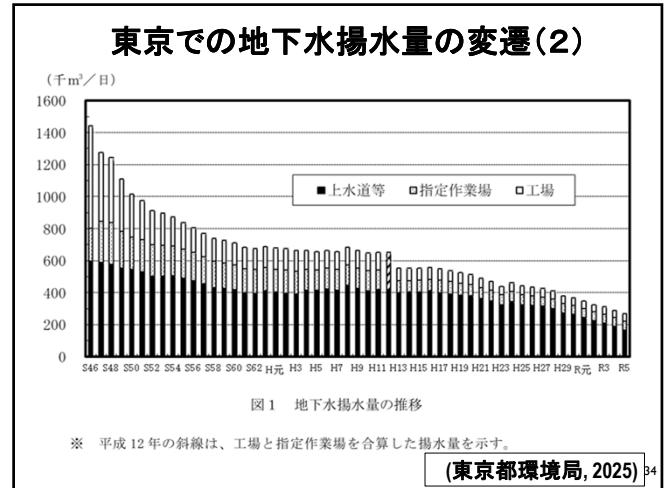
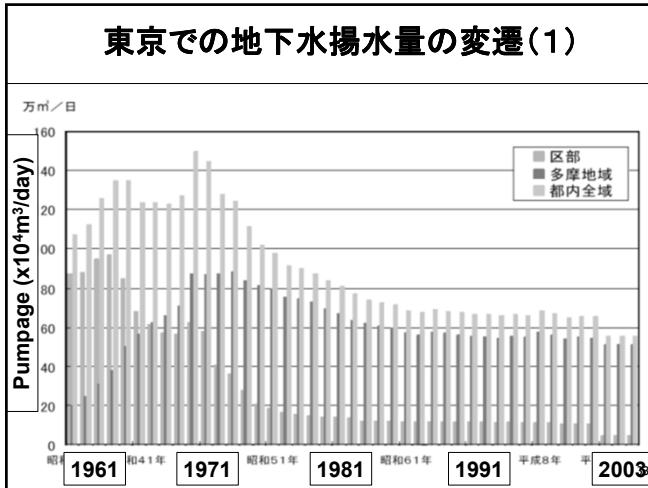
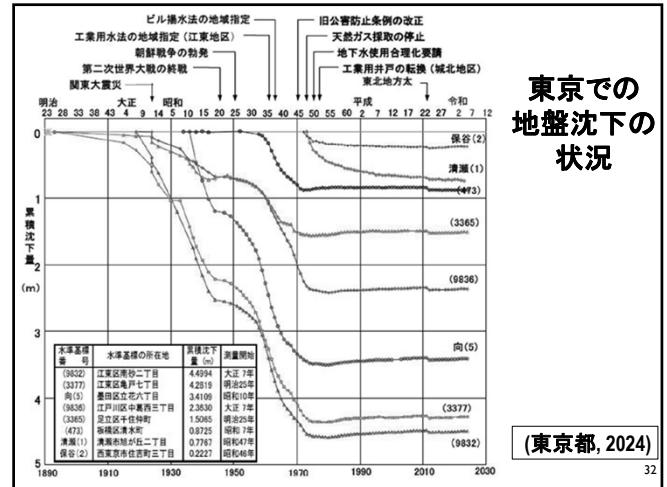
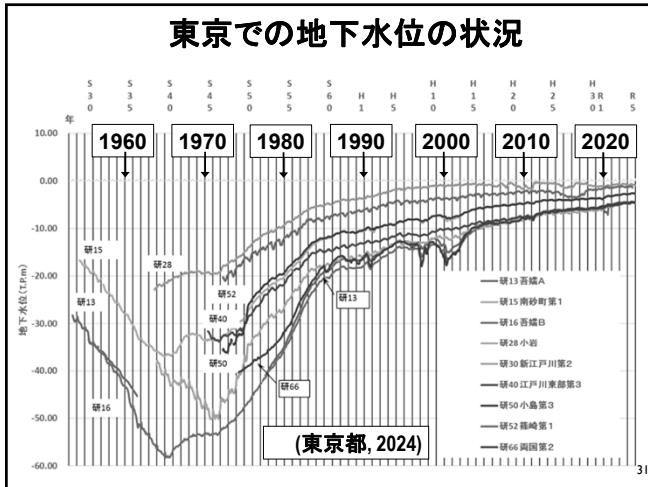
← 1918年当時の地表面

← 満潮時海面

← 平均海面

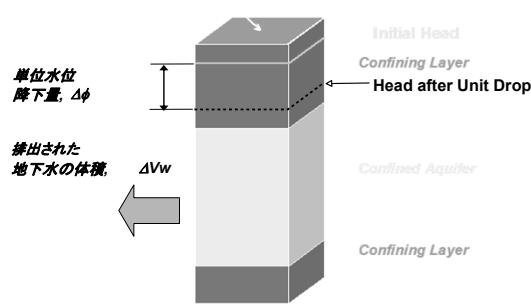
← 干潮時海面





## 被圧帯水層の貯留係数, $S$

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



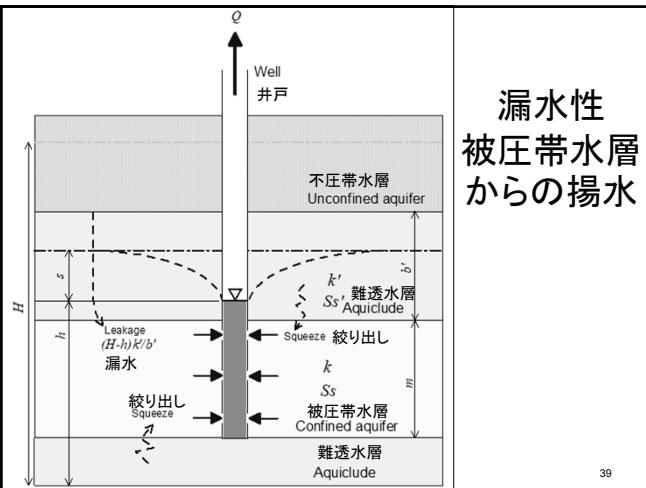
## なぜ、地盤沈下は発生するのか？

簡単にいうと、

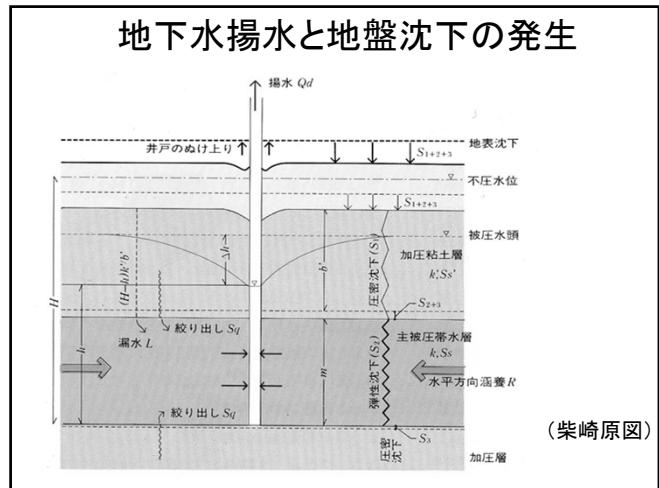
地下水位低下による軟弱粘土層の収縮

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。



## 漏水性被圧帯水層からの揚水

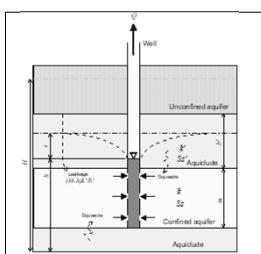


## 地下水揚水と地盤沈下の発生

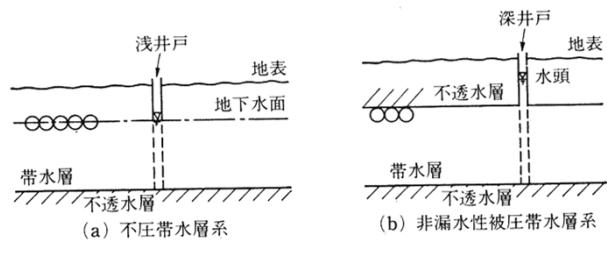
### 漏水(Leakage)とは？

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

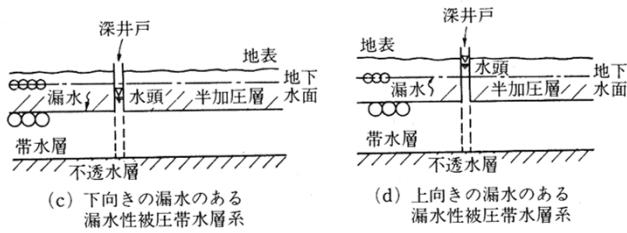
上下の帯水層内の水位(水頭)に差がある場合に生じる



### 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压層がある場合、  
ダルシーの法則より、漏水速度は、

$$\frac{Qc}{Ac} = \frac{k'}{b'}(H - h)$$

$Qc$ : 漏水量、 $Ac$ : 関係面積、 $k'$ : 半加压層の透水係数、 $b'$ : 半加压層の層厚、 $H$ : 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(半加压層固有の値)

## 絞り出し現象とは？

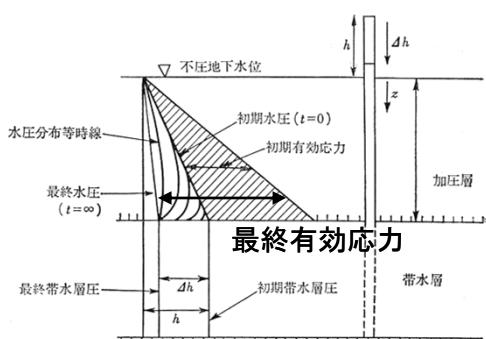
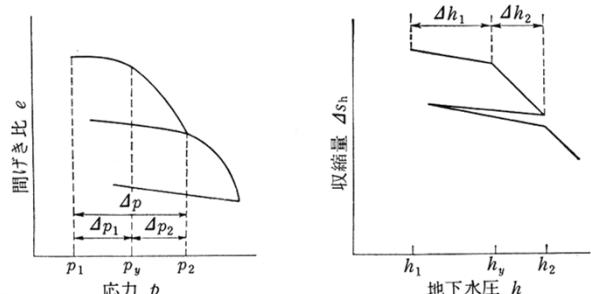


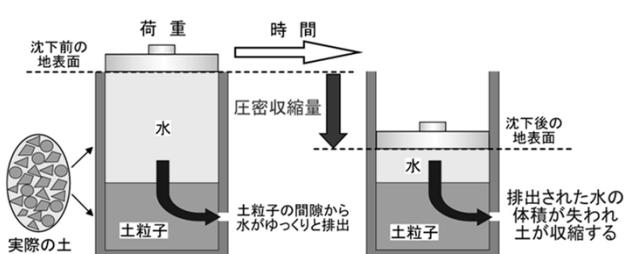
図 4.12 絞り出し現象の説明 (Domenico<sup>11)</sup>による)

## 圧密と地層の収縮



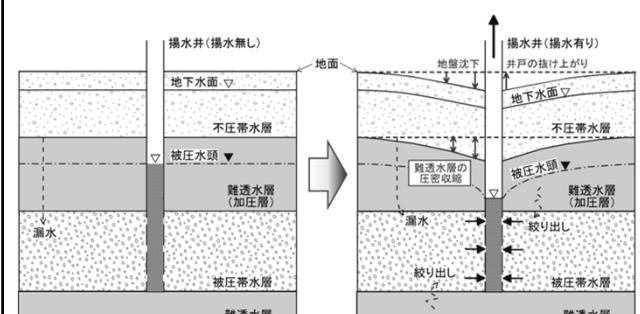
間隙比 = 間隙の容積 / 土粒子の体積

## 圧密収縮の説明

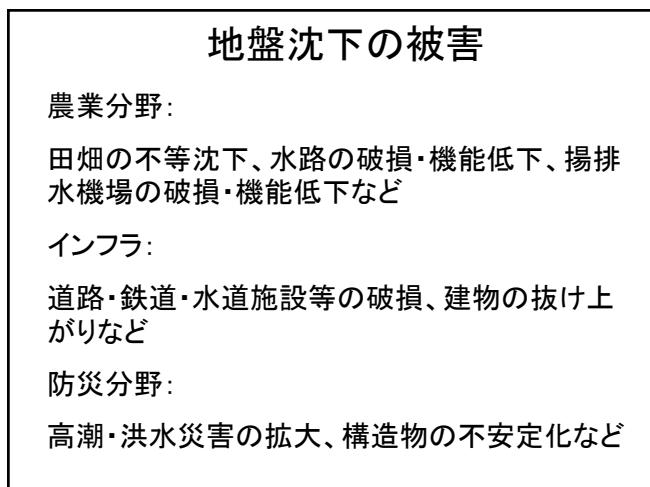
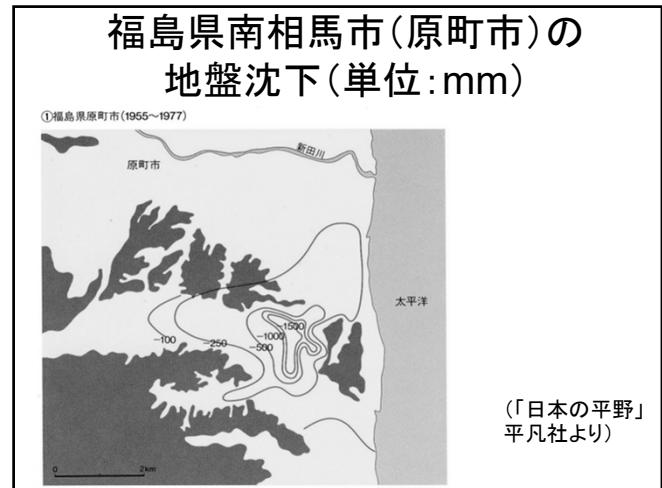
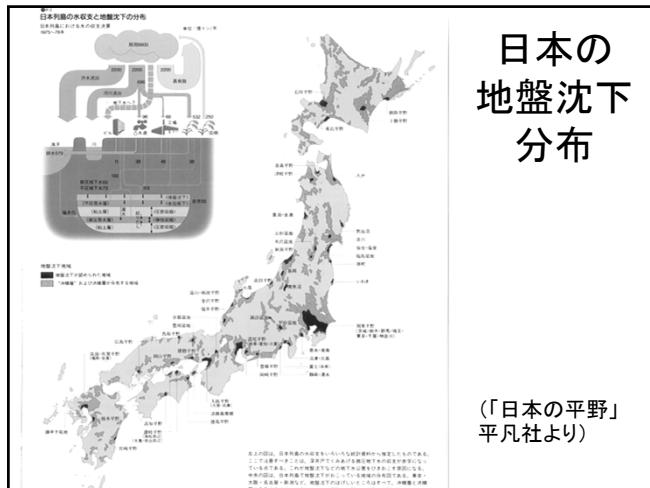
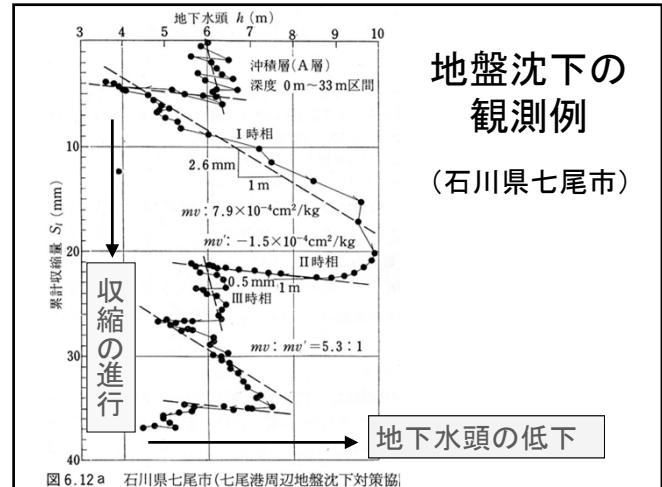
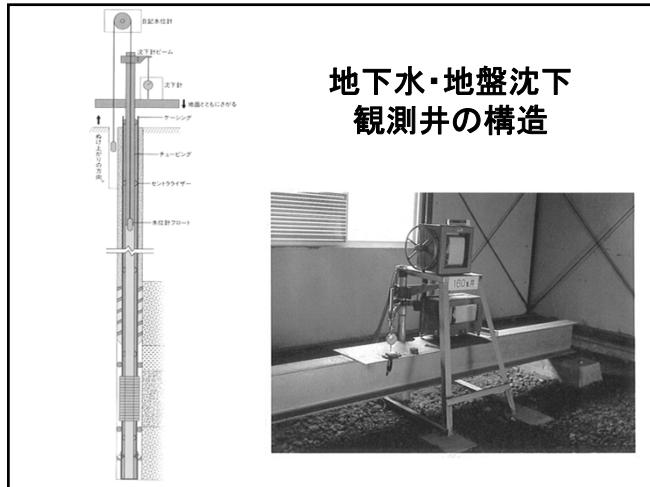


(柴崎原図, 2023)

## 地盤沈下の発生メカニズム



(柴崎原図, 2023)



## 水路への被害(濃尾平野)



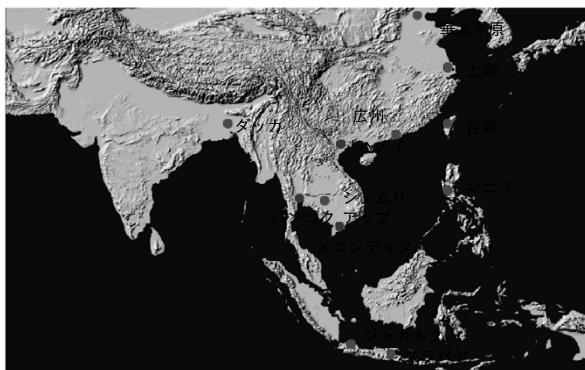
(「濃尾平野の地盤沈下と地下水」名古屋大学出版会より)

## 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



57

## 2021年3月3日のYAHOOニュース記事

YAHOO! ニュース ID: でもっと便利に新規取得 ログイン ペイペイジャンボで金額戻ってくるチャンス

キーワードを入力



トップ 連報 ライブ 個人 オリジナル みんなの意見 ランキング

主要 國内 國際 経済 エンタメ スポーツ IT 科学 ライフ 地域

世界で進む地盤沈下は、「世界人口の5分の1」に影響する: 研究結果

WIRED



米国のカリフォルニア州では、20世紀に経済が飛躍的な発展を遂げた。ところが、逆に地盤は沈下が加速している。農業が著しく成長したサンホアキン・ヴァレーでは、過酷な干ばつに襲われたことで地中の帯水層から水が過剰に汲み出され、おかげで帯水層がつぶれてしまったのだ。まるで空っぽになった巨大なベットボトルが、つぶれるかのようにである。

インドネシアの首都ジャカルタでは、年間約25cmもの地盤沈下が起きている。

気候変動で「ヒートアイランド現象」が深刻化し、都市部の暑さが加速する

## 地下水揚水量の多い国Top15 (2010年)

Country	Population 2010 (in thousands)	Groundwater extraction			
		Estimated groundwater extraction 2010 (km³/yr)	Breakdown by sector		
			Groundwater extraction for irrigation (%)	Groundwater extraction for domestic use (%)	Groundwater extraction for industry (%)
India	1224614	251.00	89	9	2
China	1341335	111.95	54	20	26
United States	310384	111.70	71	23	6
Pakistan	173593	64.82	94	6	0
Iran	73974	63.40	87	11	2
Bangladesh	148692	30.21	86	13	1
Mexico	113423	29.45	72	22	6
Saudi Arabia	27448	24.24	92	5	3
Indonesia	239871	14.93	2	93	5
Turkey	72752	13.22	60	32	8
Russia	142985	11.62	3	79	18
Syria	20411	11.29	90	5	5
Japan	126536	10.94	23	29	48
Thailand	69122	10.74	14	60	26
Italy	60551	10.40	67	23	10

(Margat and van der Gun, 2013)

## YAHOOのニュース記事のもとになった

### 『Science』2021年1月の記事

(Herrera et al., 2021)

INSIGHTS

POLICY FORUM

GEOSCIENCE

## Mapping the global threat of land subsidence

Nineteen percent of the global population may face a high probability of subsidence

By Gerardo Herrera-García, Pablo Ezquerro, Roberto Tomás, Marta Bejar-Pizarro, Juan López-Vinieles, Mauro Rossi, Rosa M. Mateos, Dora Carréon-Freyre, John Lambert, Pietro Testini, Enrique Cabral-Cano, Gilles Erkens, Devin Galloway, Wei-Chia Hung, Najeebulah Kakar, Michelle Sneed, Luigi Tosi, Hanneli Wang, Shujun Ye

areas susceptible to flooding. In coastal zones, the combined effects of absolute sea-level rise and land subsidence contribute to relative sea-level rise (Δ). The contribution from

地盤沈下の世界的脅威のマッピング  
世界人口の19%が、高い沈下の可能性に直面

