

2024年度(R06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)



枯渴した湧水(喜多方キャンプ清水)

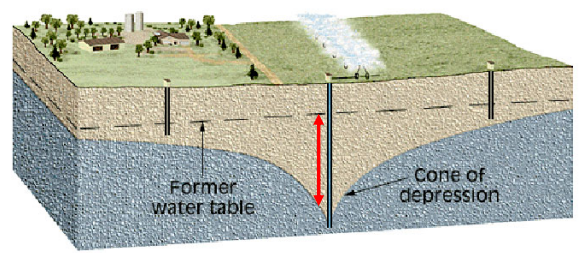
## 地下水障害とは何か？

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

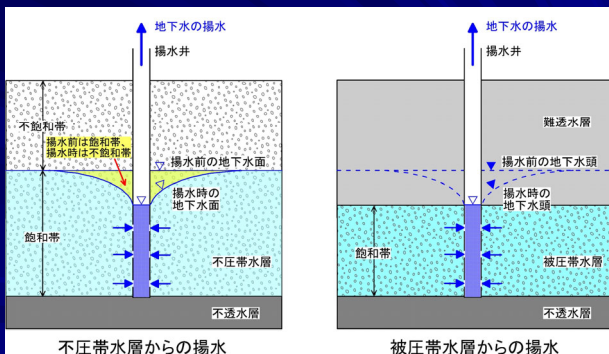
## 水位降下量(Drawdown)



$$\text{水位降下量} = (\text{静水位}) - (\text{動水位})$$

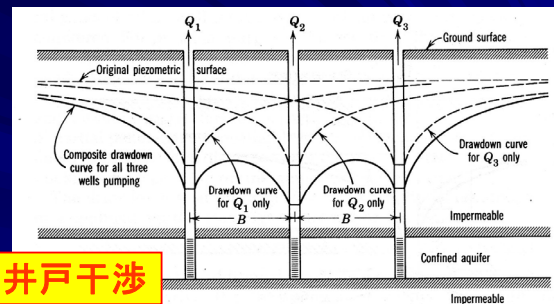
Static water level    Dynamic water level

## 不圧帯水層と被圧帯水層からの揚水



(柴崎原図, 2023)

## 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 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)



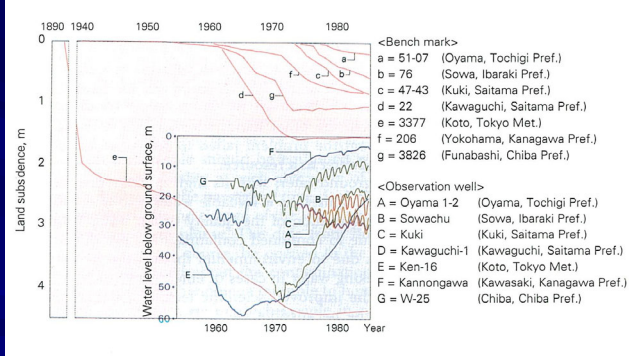
1階の床が、道路面より高くなっている  
(「日本の平野」平凡社より)

## 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)

# 関東平野における地盤沈下の歴史



(『Environmental Management of Groundwater Basins』

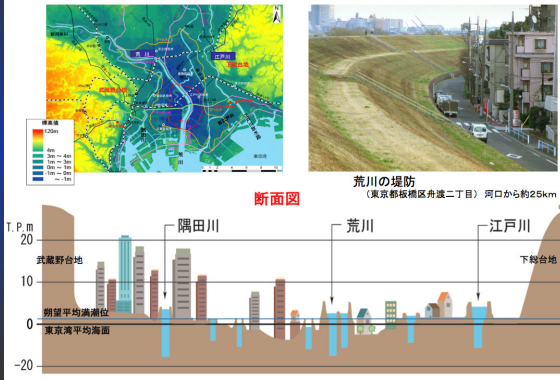
東海大学出版会より)

# 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



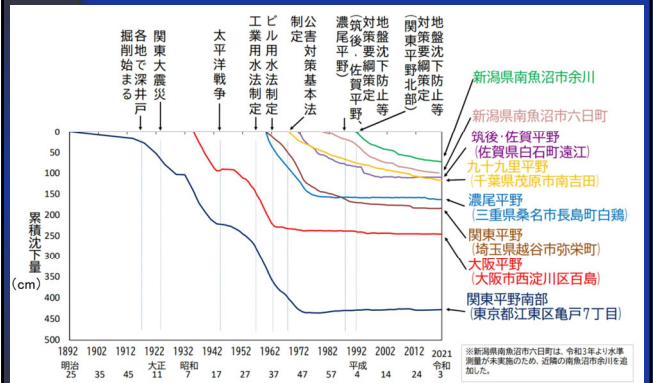
# ゼロメートル地帯の河川水位と地盤



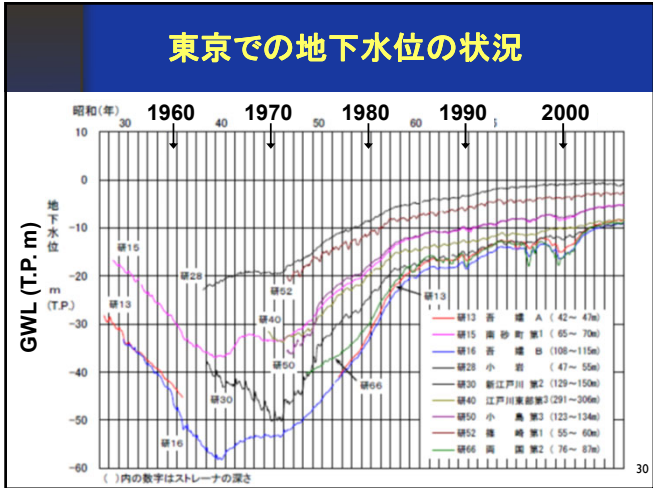
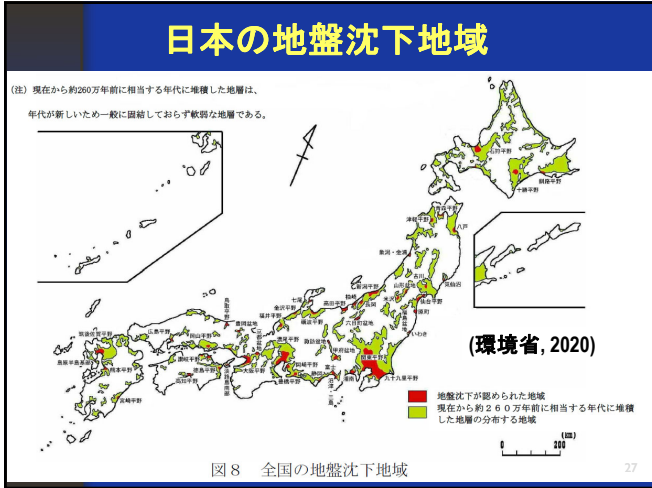
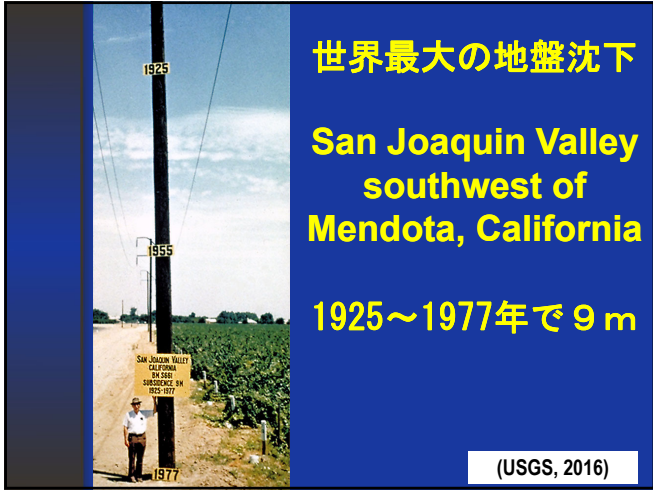
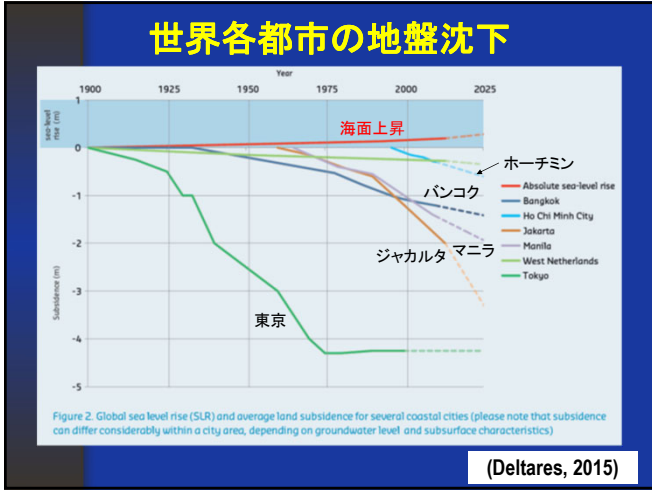
# 東京低地の地盤沈下の状況

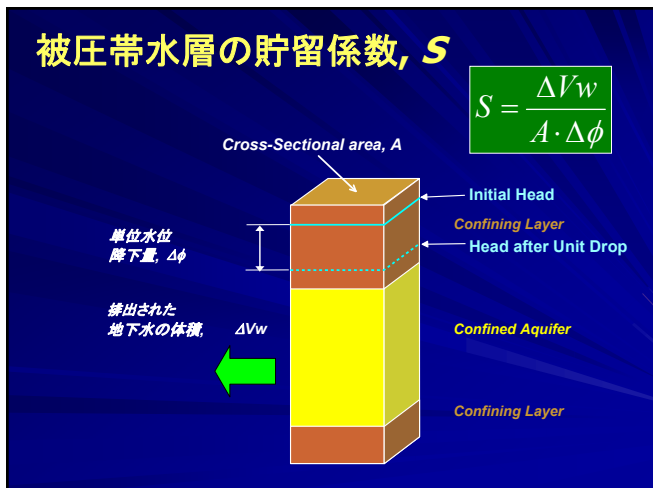
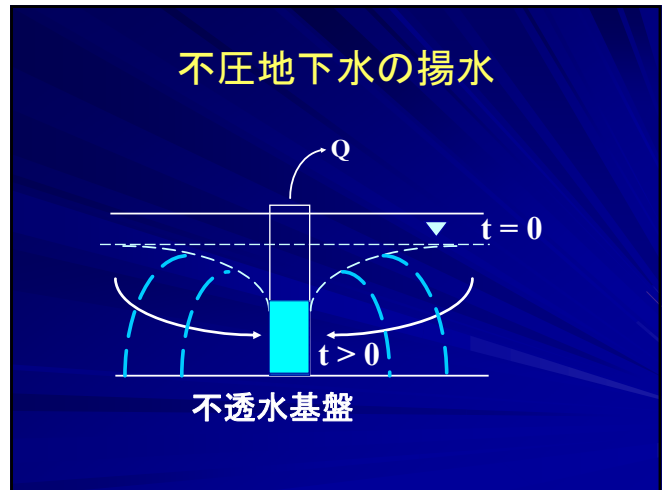
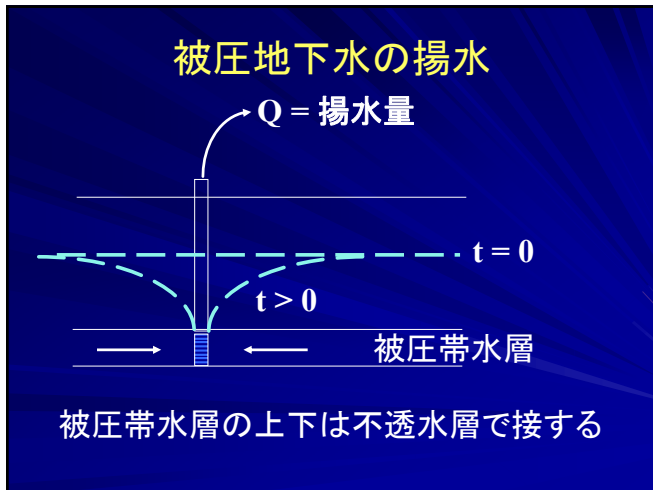
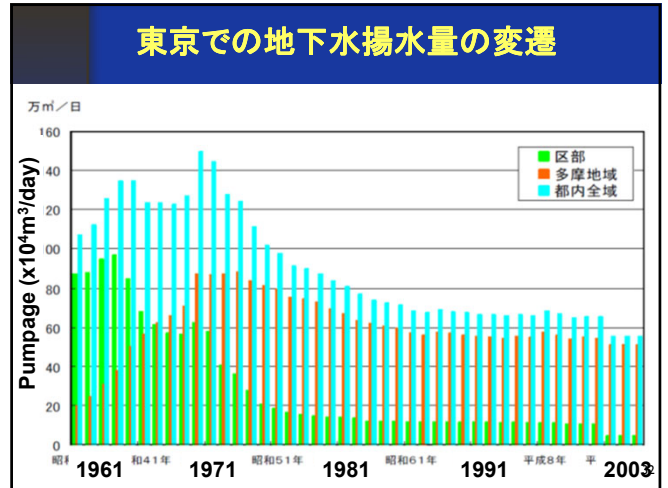
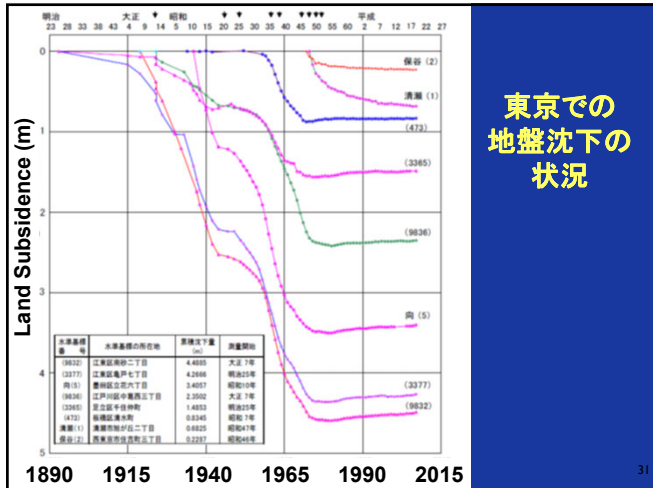


# 日本各地の地盤沈下の推移



環境省水・大気環境局 (2023) による

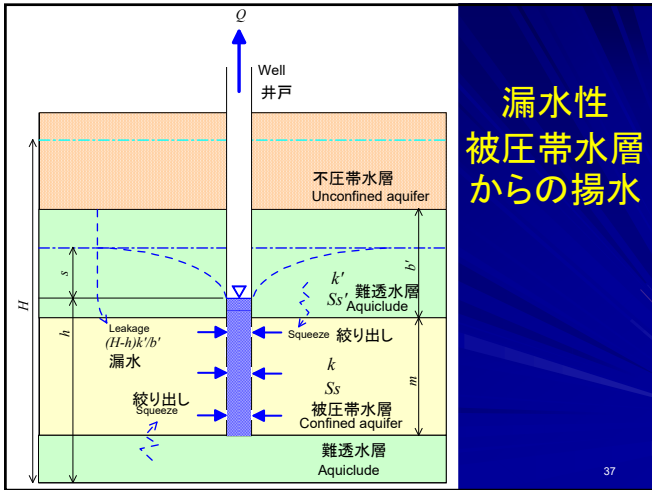




### なぜ、地盤沈下は発生するのか？

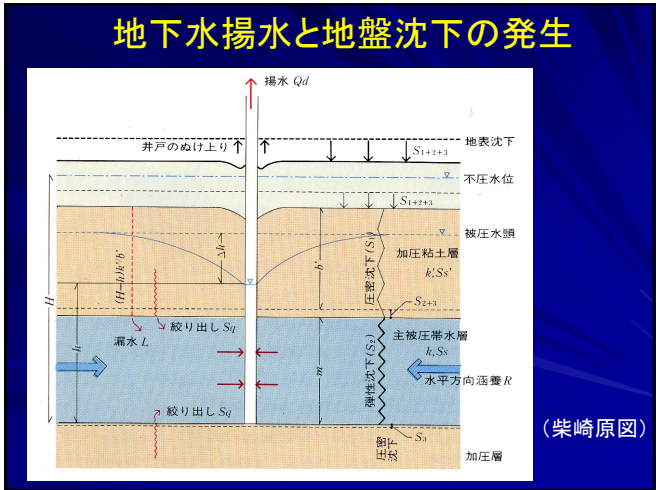
簡単にいうと、  
 地下水位低下による軟弱粘土層の収縮

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

37



地下水揚水と地盤沈下の発生

(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)

(a) 不圧帯水層系

(b) 非漏水性被圧帯水層系

### 帯水層系の基本的構図 (2)

(c) 下向きの漏水のある漏水性被圧帯水層系

(d) 上向きの漏水のある漏水性被圧帯水層系

### 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、

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

$Q_c$ : 漏水量、 $A_c$ : 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？

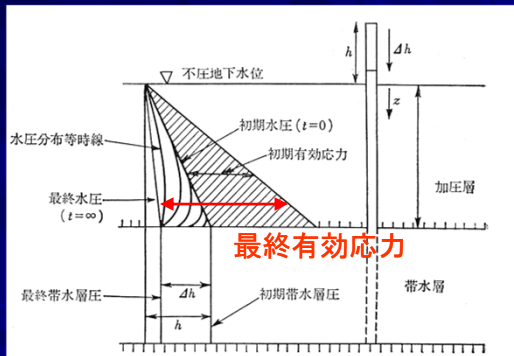
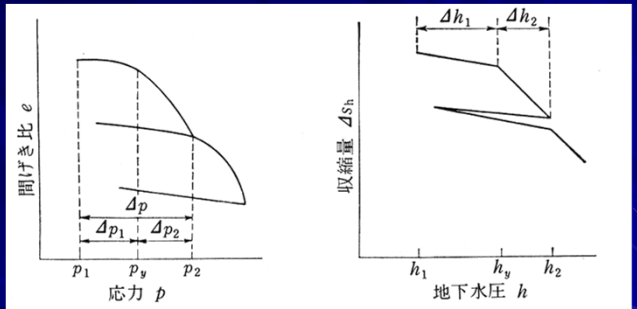


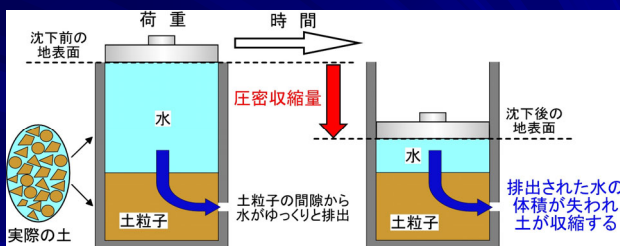
図 4.12 絞り出し現象の説明 (Domenico<sup>11)</sup> による)

## 圧密と地層の収縮



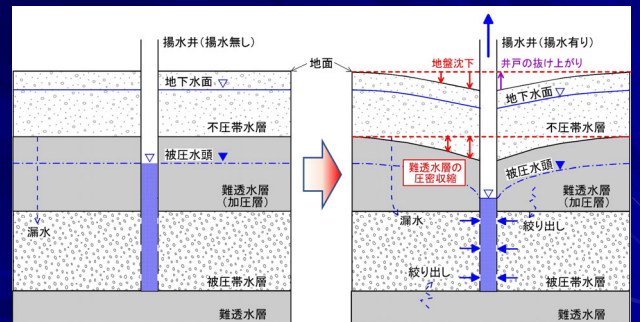
間隙比 = 間隙の容積 / 土粒子の体積

## 圧密収縮の説明



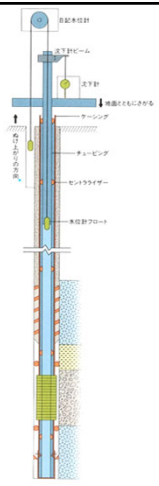
(柴崎原図, 2023)

## 地盤沈下の発生メカニズム



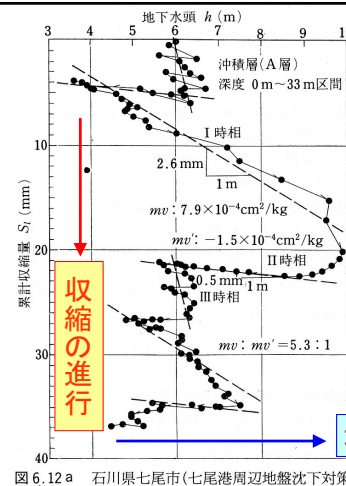
(柴崎原図, 2023)

## 地下水・地盤沈下観測井の構造



## 地盤沈下の観測例

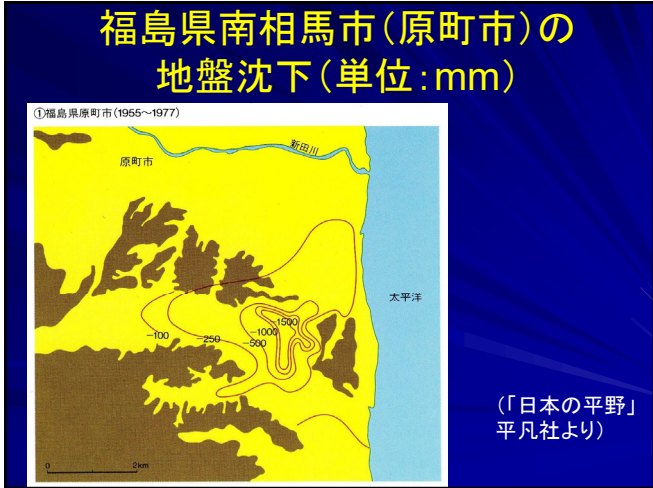
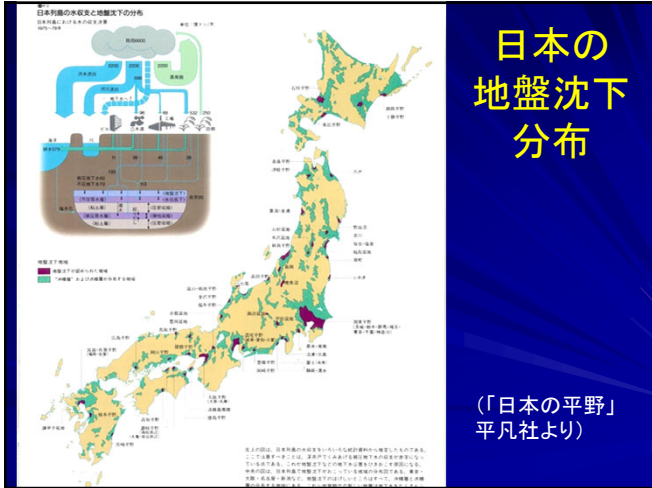
(石川県七尾市)



地下水頭の低下

図 6.12 a 石川県七尾市 (七尾港周辺地盤沈下対策協





**地盤沈下の被害**

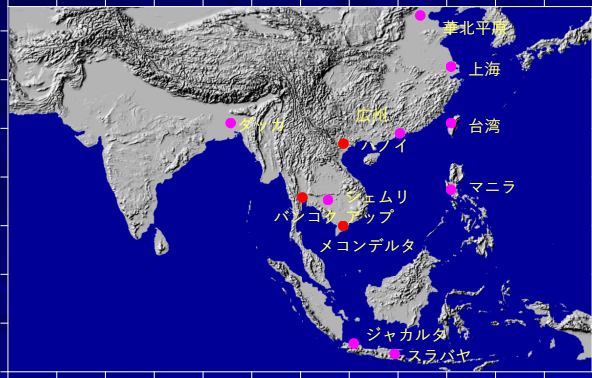
農業分野:  
田畑の不等沈下、水路の破損・機能低下、揚排水機場の破損・機能低下など

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



## アジア各地での地盤沈下



55

## 2021年3月3日のYAHOOニュース記事

YAHOO! JAPAN ニュース 10でもっと便利に新報取得 ログイン ペイペイジャパ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 深報 ライブ 個人 オリジナル みんなの意見 ランキング

主要 国内 国際 経済 エンタメ スポーツ IT 科学 ライフ 地域

### 世界中で進む地盤沈下は、「世界人口の5分の1」に影響する：研究結果

3/3(水) 12:20 配信 23

**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、過剰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ペットボトルが、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、毎時約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)	Estimated groundwater extraction 2010 (km <sup>3</sup> /yr)	Groundwater extraction Breakdown by sector		
			Groundwater extraction for irrigation (%)	Groundwater extraction for domestic use (%)	Groundwater extraction for industry (%)
インド	1224614	251.00	89	9	2
中国	1341335	111.95	54	20	26
米国	310384	111.70	71	23	6
パキスタン	173593	64.82	94	6	0
イラン	73974	63.40	87	11	2
バングラデシュ	148692	30.21	86	13	1
メキシコ	113423	29.45	72	22	6
サウジアラビア	27448	24.24	92	5	3
インドネシア	239871	14.93	2	93	5
トルコ	72752	13.22	60	32	8
ロシア	142985	11.62	3	79	18
シリア	20411	11.29	90	5	5
日本	126536	10.94	23	29	48
タイ	69122	10.74	14	60	26
イタリア	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

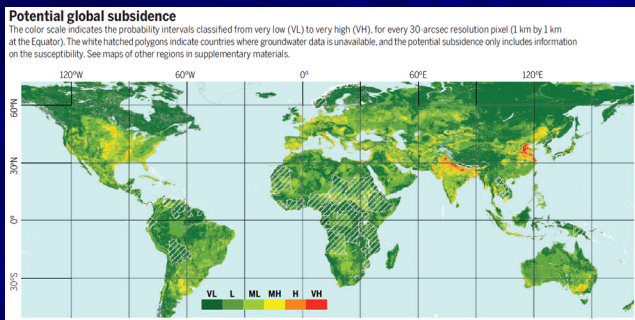
Nineteen percent of the global population may face a high probability of subsidence

By Gerardo Herrera-García, Pablo Ezquerro, Roberto Tomás, Marta Béjar-Pizarro, Juan López-Vinuales, Mauro Rossi, Rosa M. Mateos, Dora Carreón-Freyre, John Lambert, Pietro Teatini, Enrique Cabral-Cano, Gilles Erkens, Devin Galloway, Wei-Chia Hung, Najeebullah Kakar, Michelle Sneed, Luigi Tosi, Hanmei Wang, Shujun Ye

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

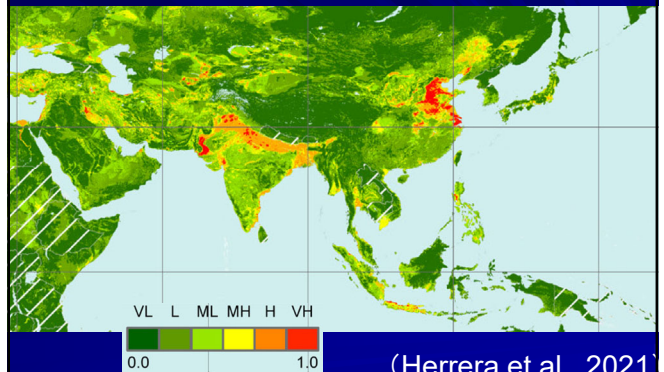
地盤沈下の世界的脅威のマッピング  
世界人口の19%が、高い沈下の可能性に直面

## 地盤沈下のポテンシャルマップ(全世界)



(Herrera et al., 2021)

## 地盤沈下のポテンシャルマップ (2040年, アジア)



(Herrera et al., 2021)

## 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