

2023年度(R05年度)

地下水盆管理学

福島大学 共生システム理工学類
生命・環境分野 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)

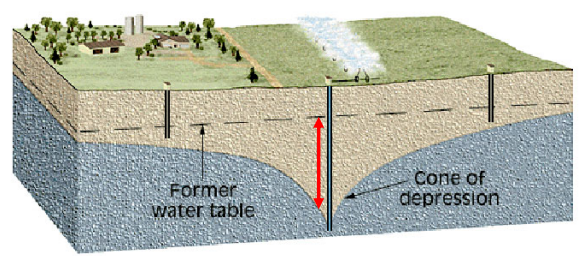
地下水障害とは何か？

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

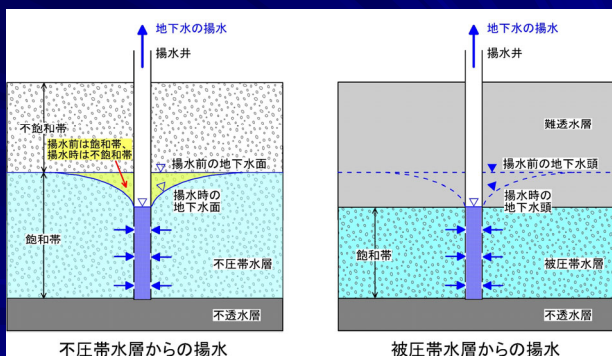
水位降下量(Drawdown)



水位降下量 = (静水位) - (動水位)

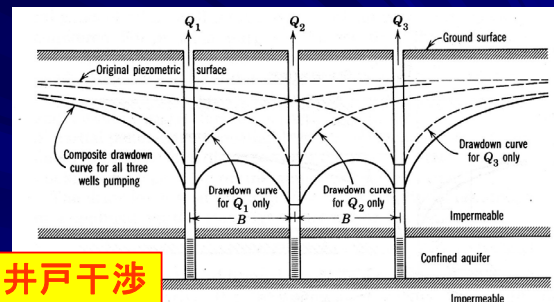
Static water level Dynamic water level

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 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、団地の入口に16cmの落差
(「日本の平野」平凡社より)

Figure 1 consists of two vertically stacked panels sharing a common x-axis representing years from 1890 to 1980. The left y-axis for both panels is 'Land subsidence, m', ranging from 0 to 4. The right y-axis for the bottom panel is 'Water level below ground surface, m', ranging from 0 to 60. The top panel displays land subsidence curves for seven locations: a (Oyama, Tochigi Pref.), b (Sowa, Ibaraki Pref.), c (Kuki, Saitama Pref.), d (Kawaguchi, Saitama Pref.), e (Koto, Tokyo Met.), f (Yokohama, Kanagawa Pref.), and g (Funabashi, Chiba Pref.). The bottom panel displays water level curves for seven locations: A (Oyama, Tochigi Pref.), B (Sowayama, Ibaraki Pref.), C (Kuki, Saitama Pref.), D (Kawaguchi-1, Saitama Pref.), E (Koto, Tokyo Met.), F (Kawasaki, Kanagawa Pref.), and G (W-25, Chiba, Chiba Pref.).

東海大学出版会より)

[illegible]

新潟県南魚沼市余川

新潟県南魚沼市六日町

筑後・佐賀平野

佐賀県白石町遠江

九十九里平野

千葉県茂原市南吉田

濃尾平野

三重県桑名市長島町白鷺

関東平野

埼玉県越谷市弥栄町

大阪平野

大阪府西淀川区百鳥

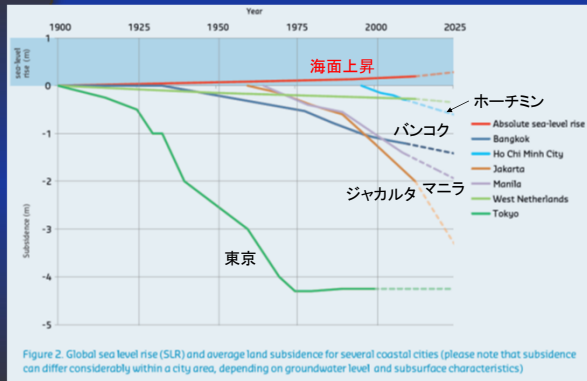
関東平野南部

(東京都江東区亀戸7丁目)

昭和3年水害調査から水害のため、近頃の関東平野の川は川が広がった。

環境省水・大気環境局(2023)による

世界各都市の地盤沈下



(Deltares, 2015)

世界最大の地盤沈下

San Joaquin Valley
southwest of
Mendota, California

1925～1977年で9 m



(USGS, 2016)

日本の地盤沈下地域

(注) 現在から約260万年前に相当する年代に堆積した地層は、年代が新しいため一般に固結しておらず軟弱な地層である。

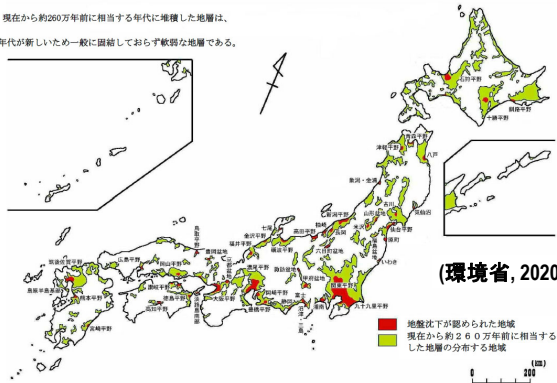
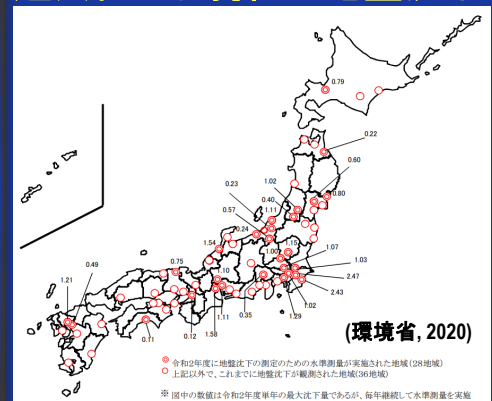


図8 全国の地盤沈下地域

27

過去および現在の地盤沈下



28

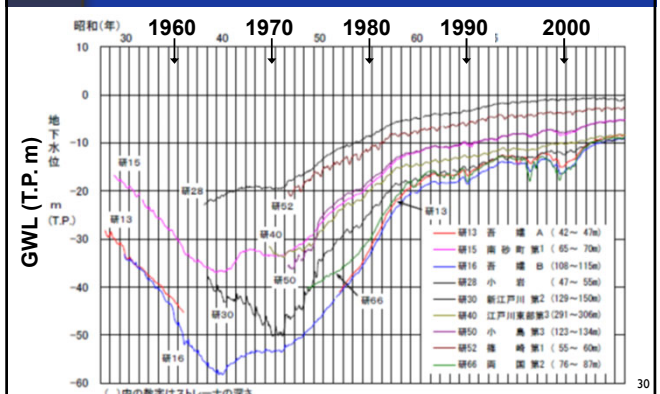
過去5年間の地盤沈下



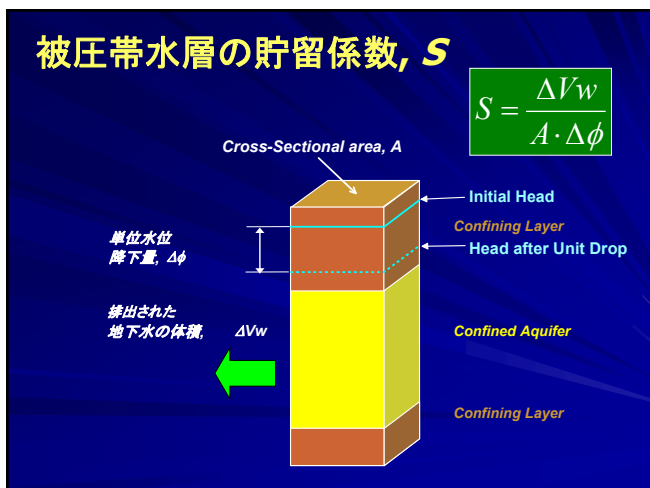
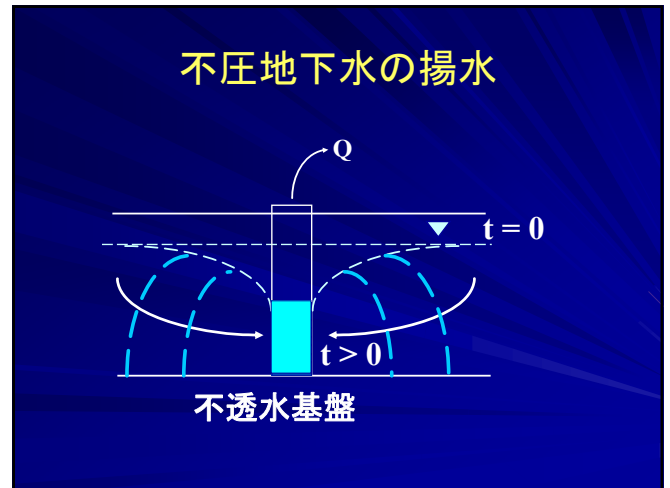
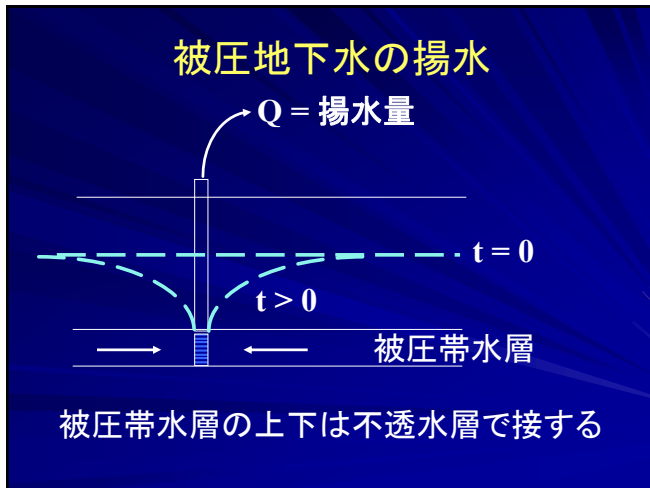
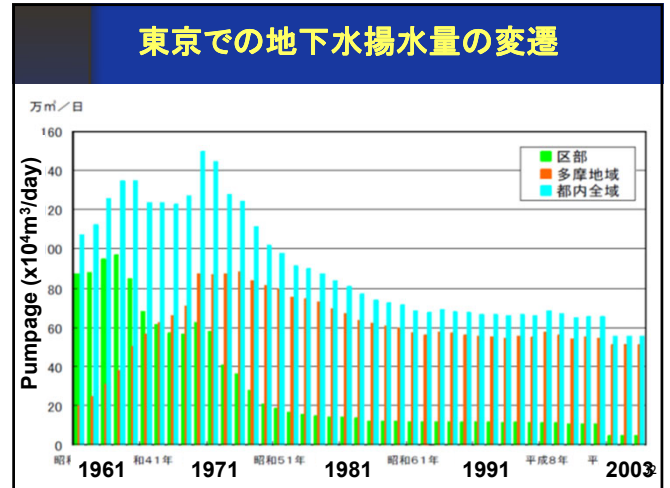
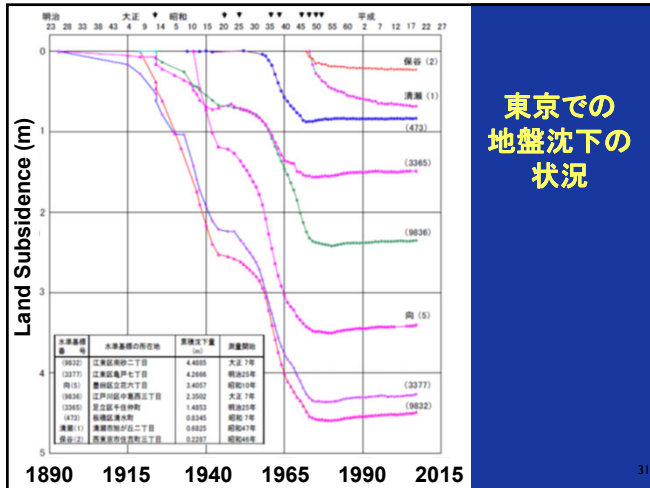
図2 直近5年間の累積沈下量 (cm) ※

29

東京での地下水位の状況



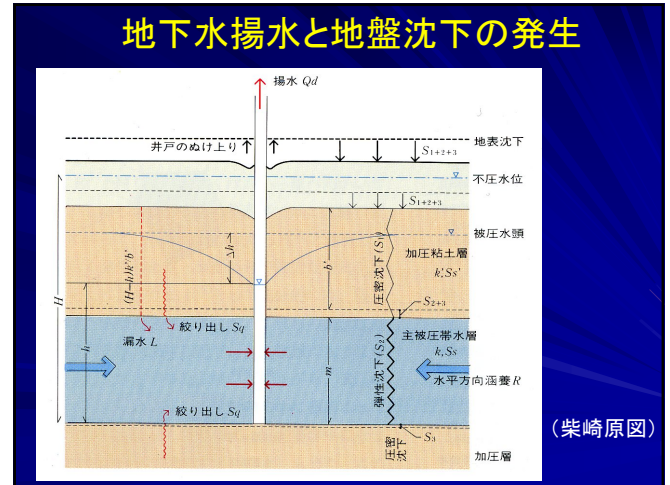
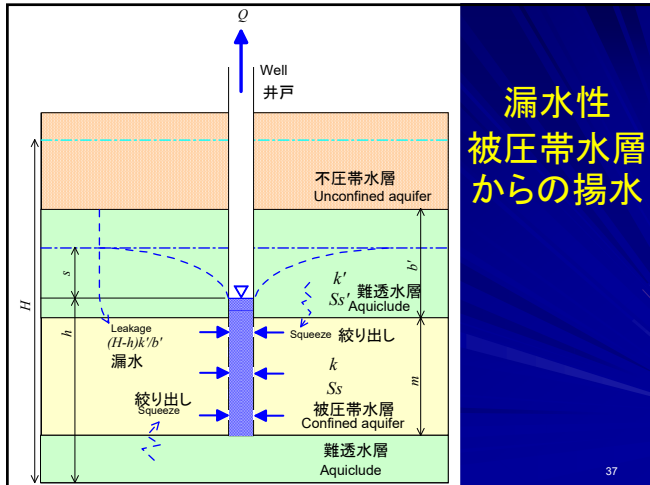
30



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

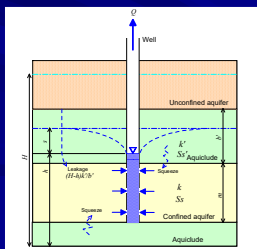
やや詳しくいうと、
主被圧帯水層からの揚水により水頭低下が起こり、隣接する加圧層（粘土層）から間隙水の絞り出し現象が発生して、加圧層が圧密収縮する。



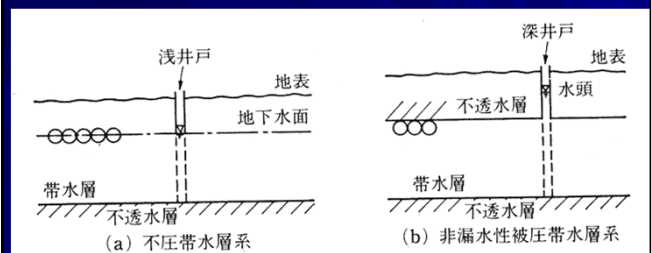
漏水(Leakage)とは？

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

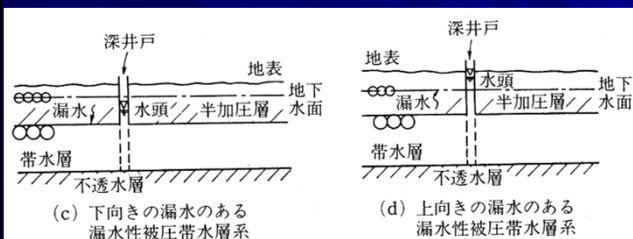
上下の帯水層内の水位(水頭)に差がある場合に生じる



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？

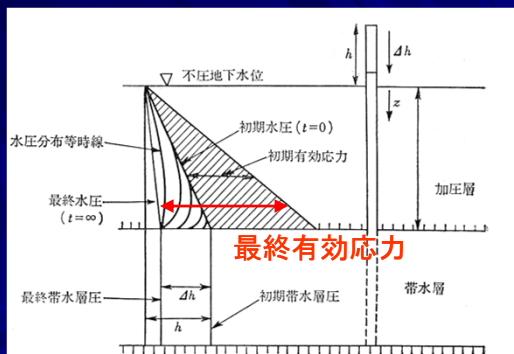
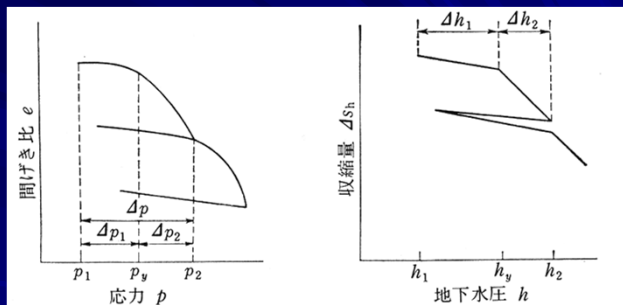


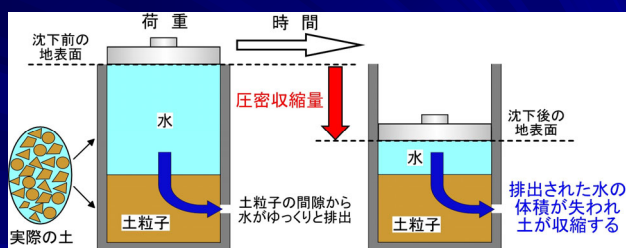
図 4.12 絞り出し現象の説明 (Domenico¹¹⁾ による)

圧密と地層の収縮



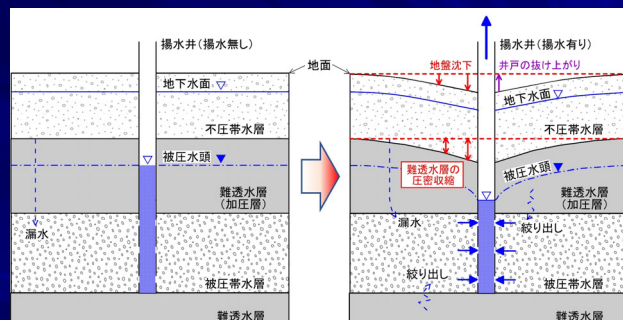
間隙比＝間隙の容積／土粒子の体積

圧密収縮の説明



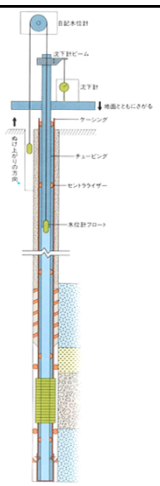
(柴崎原図, 2023)

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)

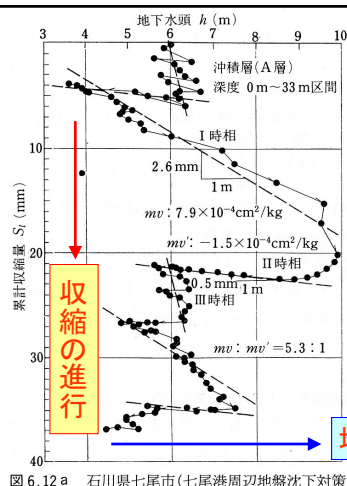
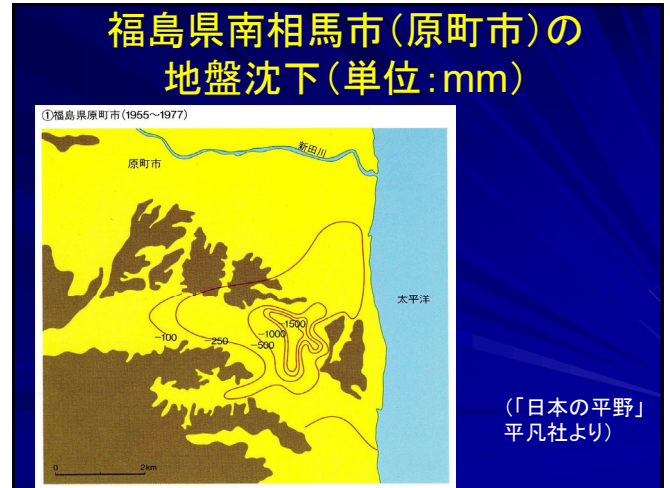
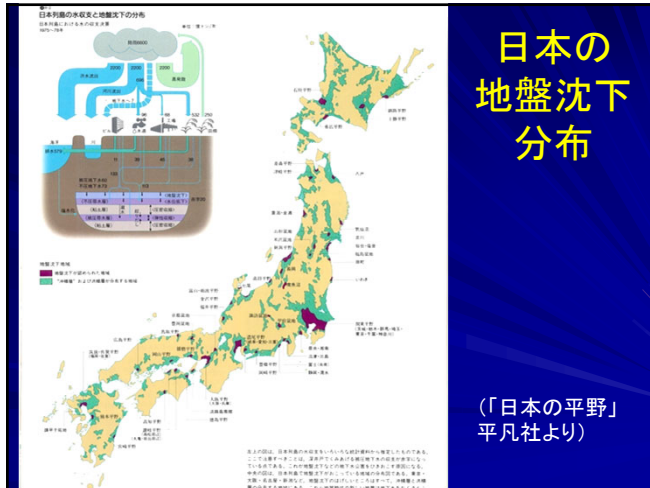


図 6.12 a 石川県七尾市(七尾港周辺地盤沈下対策協



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

建物への被害(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)

水路への被害(濃尾平野)

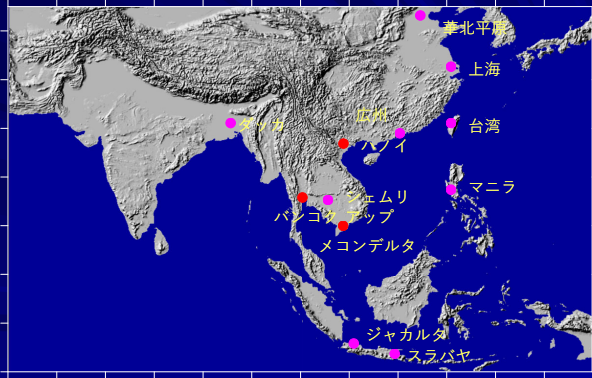
かさ上げ部分

(「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



55

2021年3月3日のYAHOOニュース記事

YAHOO! JAPAN ニュース 10でちょっと便利に新報取得 ログイン ペイペイジャパン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、おかげで帯水層が干涸びてしまったのだ。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、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)	Estimated groundwater extraction 2010 (km ³ /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

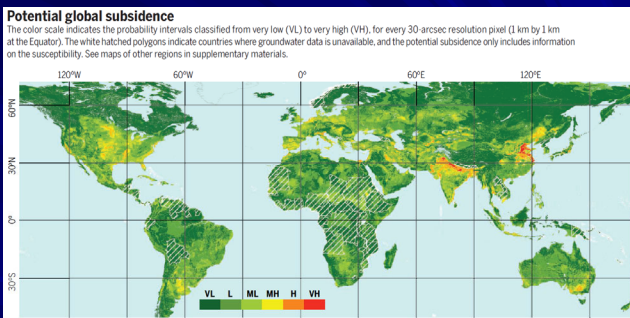
Nineteen percent of the global population may face a high probability of subsidence

By Gerardo Herrera-Garcia, 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 (4). The contribution from

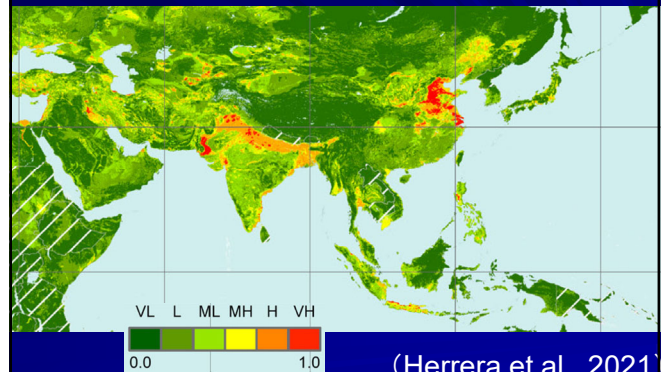
地盤沈下の世界的脅威のマッピング
世界人口の19%が、高い沈下の可能性に直面

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