

環境研究センター公開講座

---

# ちばが沈んでいく！？

## 地盤沈下が引き起こす新たな課題

---

千葉県環境研究センター 地質環境研究室  
主任上席研究員 風岡 修  
研究員 八武崎 寿史

---

# 講座内容

---

- ❖ **【第1部】**（担当：八武崎）
  - ❖ 地盤沈下の概要と歴史
  - ❖ 地盤沈下対策とその効果
  - ❖ 地盤沈下の監視方法と最新の観測技術
  - ❖ 地盤沈下が引き起こす新たな課題と取組
- ❖ **【第2部】**（担当：風岡）

液状化—流動化現象に伴う地盤の低下

# 地盤沈下とは？

地盤沈下とは、一般的に・・・

- ✓ 主として地下水の過剰な揚水により、軟弱な地層が収縮し、地盤が沈む現象。
- ✓ 地震による地層の液状化－流動化により、地盤が沈む現象。
- ✓ 非常に緩やかな現象で、気づきにくい。
- ✓ 地殻変動などの様々な要因も絡むため、原因として理解されにくい。

一度、地盤沈下が起こると・・・

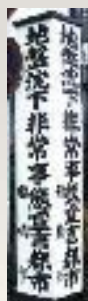
- ✓ 建物や構造物の損傷、施設の機能低下、浸水などの被害。
- ✓ 基本的に沈んだ地盤は戻らない、回復不能の公害。

# 地盤沈下を引き起こした時代背景

- ❖ 1960～1970年代の日本経済の高度成長に伴い、全国的に大量の工業用水や上水が必要とされた。
- ❖ 東京湾岸の京葉臨海工業地域においても、大量の地下水や天然ガスかん水※の採取を行った。
- ❖ 地盤沈下が発生し、最大で年間24cmを超える地域もあった。
- ❖ 建物や構造物の損傷、浸水などの被害を受けた。



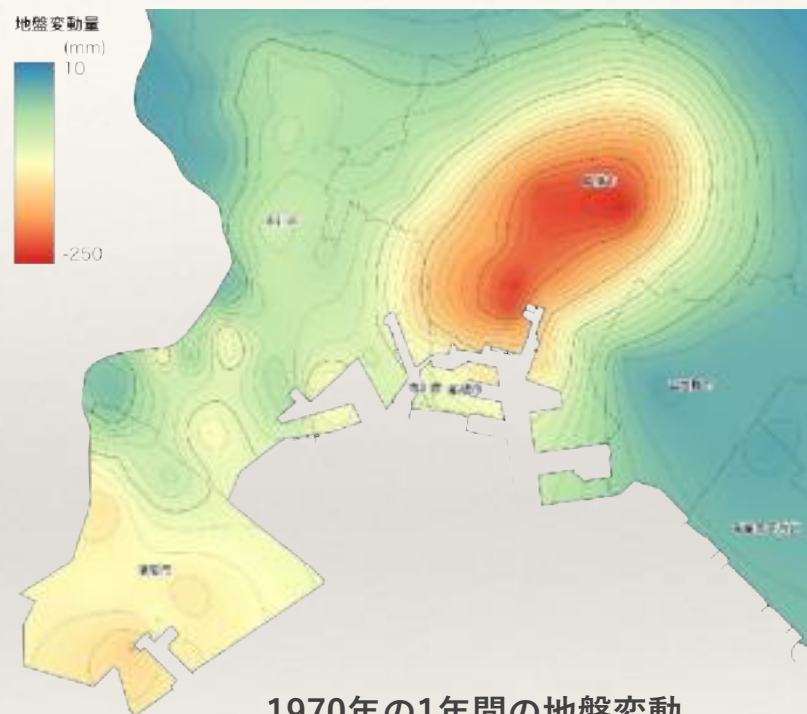
冠水した道路（左）、宣言する看板（右）  
1971年～1972年 船橋市



建物の激しい抜け上がり  
1972年 浦安南小学校



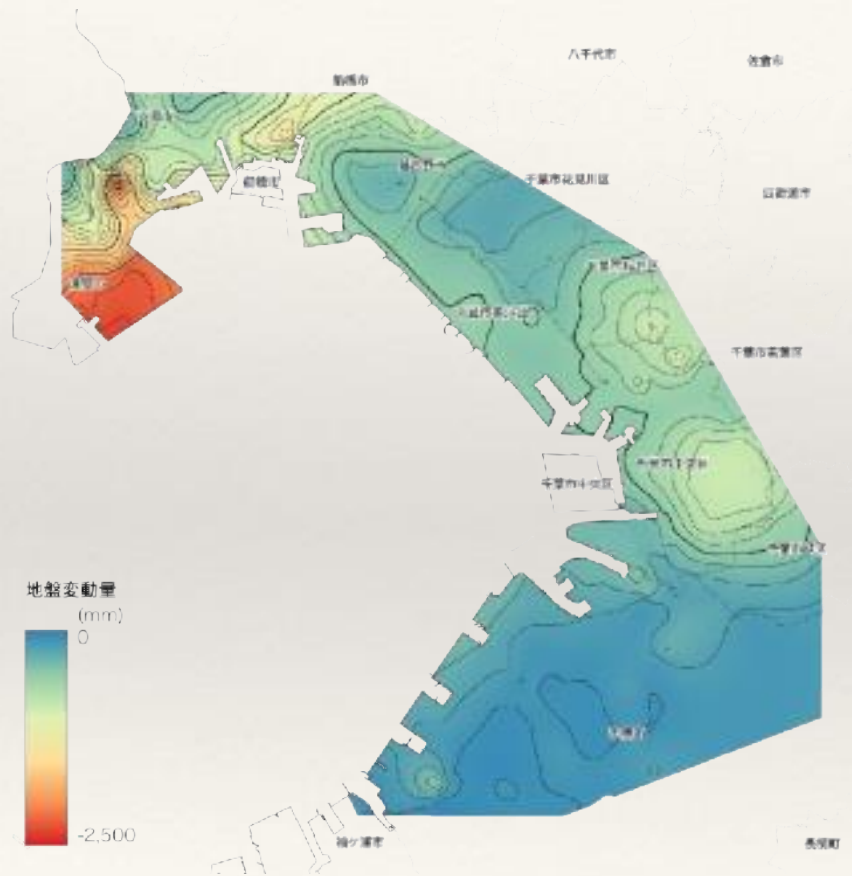
傾いた水門  
1971年 市川市



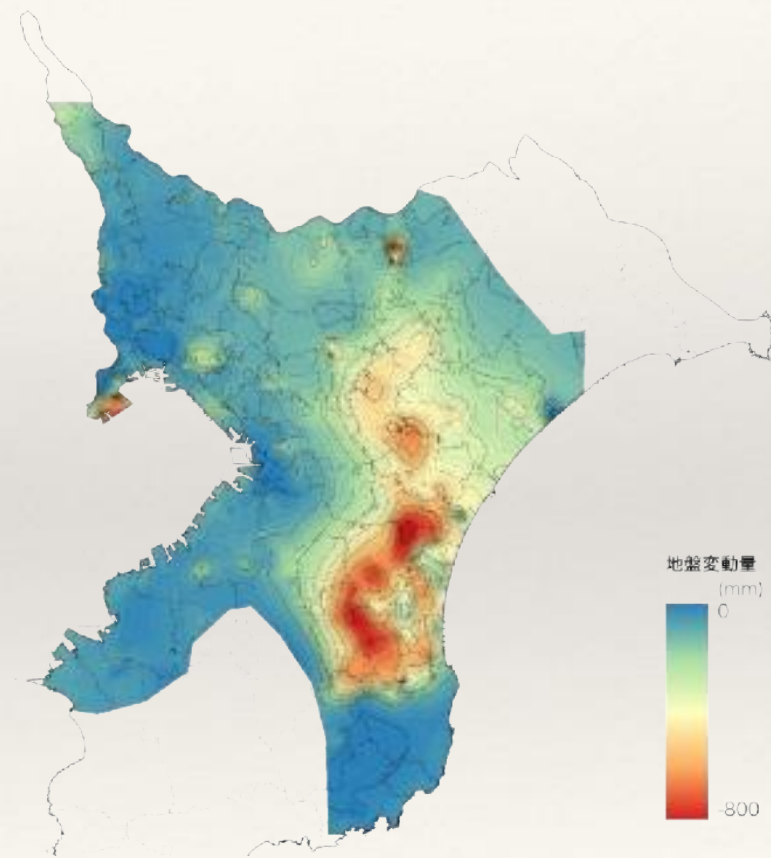
1970年の1年間の地盤変動  
※現在の地形を基に作成しており、観測当時とは異なる

※天然ガスかん水・・・地層中の天然ガスを含む化石海水で、高濃度のヨウ素を含むこともある。

# 千葉県の水盤沈下



※現在の地形を基に作成しており、観測当初とは異なる



# 主な地盤沈下対策

千葉県環境基本計画の目標

**年2cm以上の地盤沈下をなくす**

九十九里平野地域では、さらに厳しい目標3cm/5年

※環境庁（現・環境省）によると、年2cm以上の沈下がある場合、なんらかの被害が生じている例が多い

抜本的対策として・・・





✓ 採取量（揚水量）の削減


そのためには・・・

✓ 代替水源の確保（工業用水、上水、農業用水）

✓ 天然ガス採取量の制限・鉱区の買い上げ（天然ガスかん水）

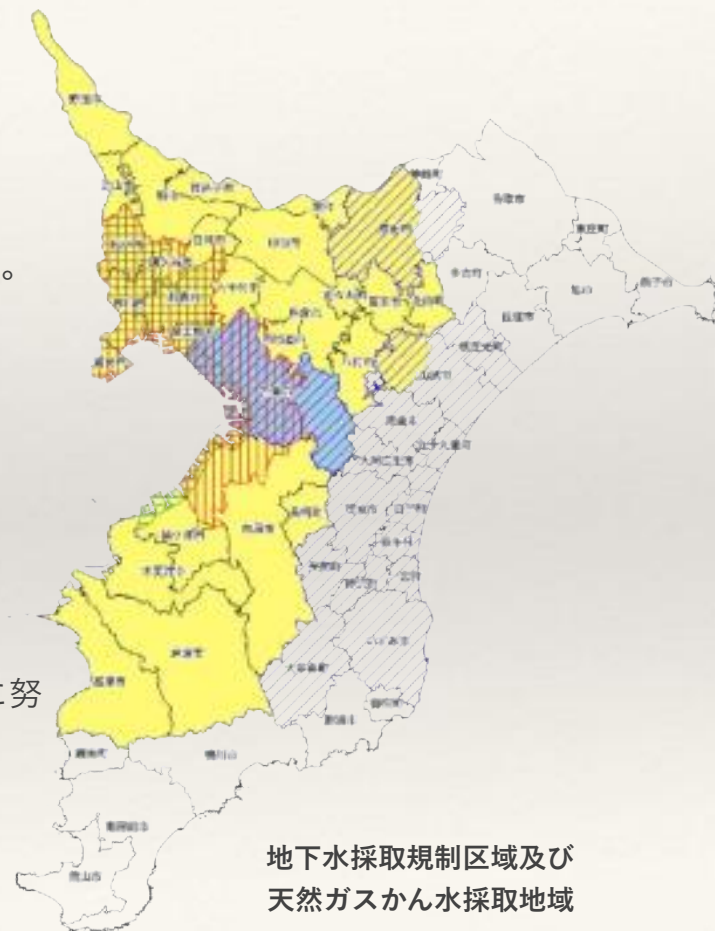
# 揚水量の削減 ～法・条例・協定による規制・指導～

- ❖ 工業用水法 
- ❖ 建築物用地下水の採取の規制に関する法律（ビル用水法） 
- ❖ 千葉県環境保全条例（千葉市環境保全条例） 
  - ➡ 県内29市町の指定地域で、技術上の基準に適合しない揚水施設の設置を原則禁止。
- ❖ 地盤沈下の防止に関する協定（基本協定） 

昭和48年に締結、現在に至る。
- ❖ 地盤沈下の防止に関する細目協定 

昭和56年に締結、5年毎に改定行い現在に至る。

  - ➡ 千葉市及び九十九里地域で天然ガスを採取する企業と締結し、地盤沈下の防止に努める。
  - ➡ 主な取組は、天然ガス井戸の削減、採取量（地上排水量）の削減など。

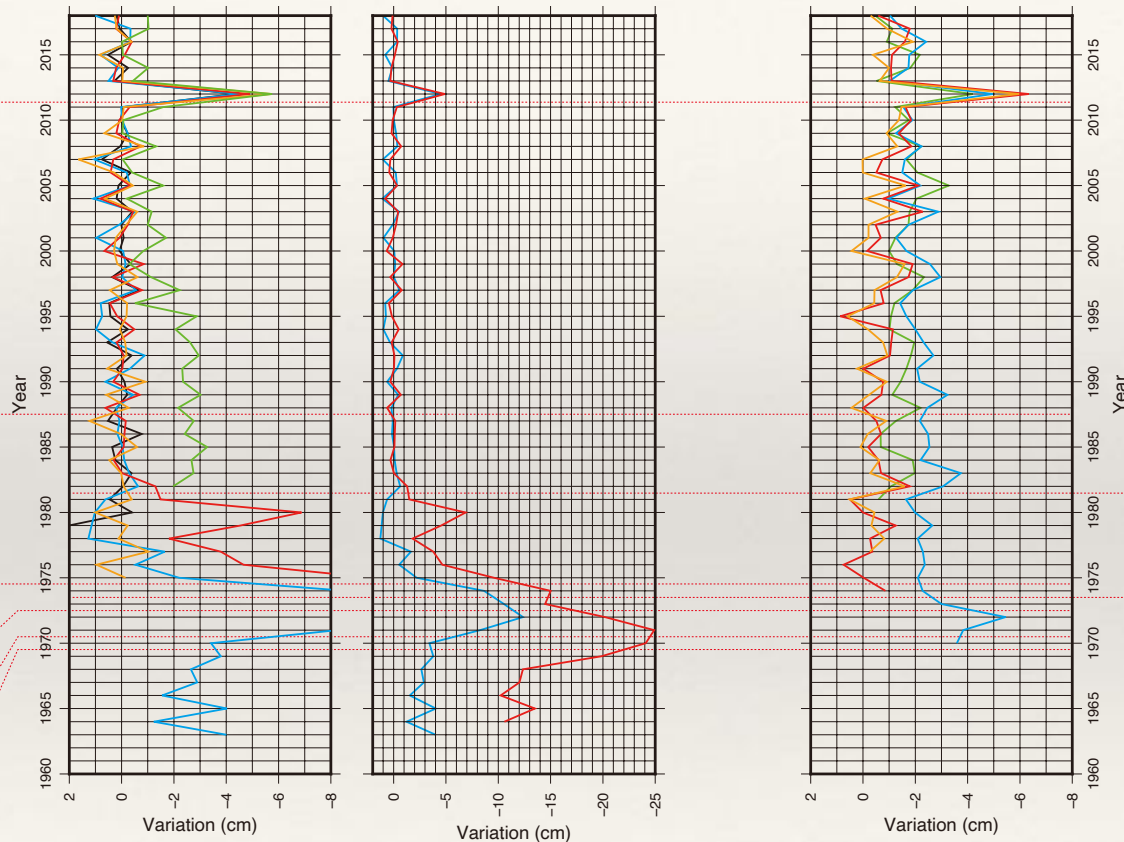


# 年間の地盤沈下量と規制・指導の効果

東北地方太平洋沖地震 (2011.3.11)

千葉県東方沖地震 (1987.12.17)

- 工業用水法
- ビル用水法 一部改正 (現行)
- 県条例
  
- ビル用水法
- 県条例 (許可規制)
  
- 県条例 (届出規制)
  
- 工業用水法



地盤沈下の防止に関する協定

□ 細目協定 (排水量削減)

□ 細目協定 (井戸削減)

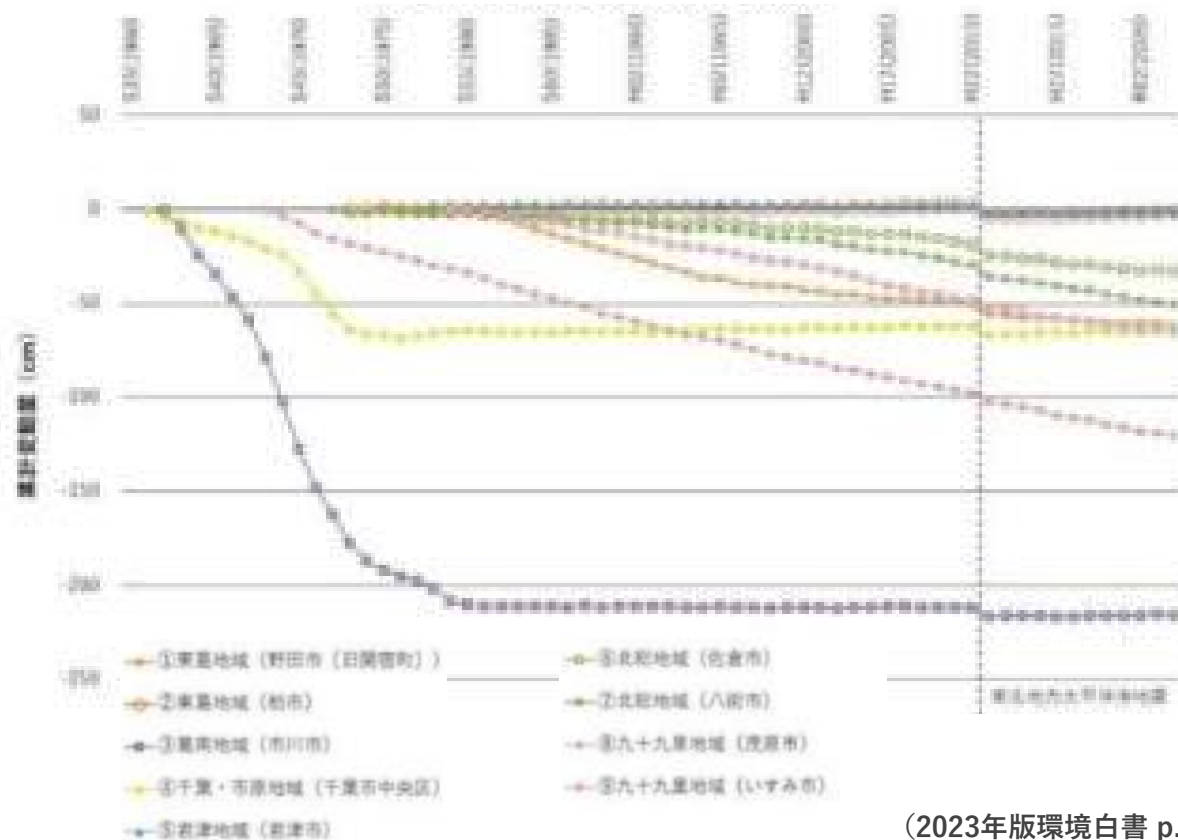
— 東葛地域 (野田市 [旧関宿町])  
 — 東葛地域 (柏市)  
 — 君津地域 (君津市)

— 千葉・市原地域 (千葉市中央区)  
 — 葛南地域 (市川市)

— 九十九里地域 (茂原市)  
 — 九十九里地域 (いすみ市)  
 — 北総地域 (佐倉市)  
 — 北総地域 (八街市)



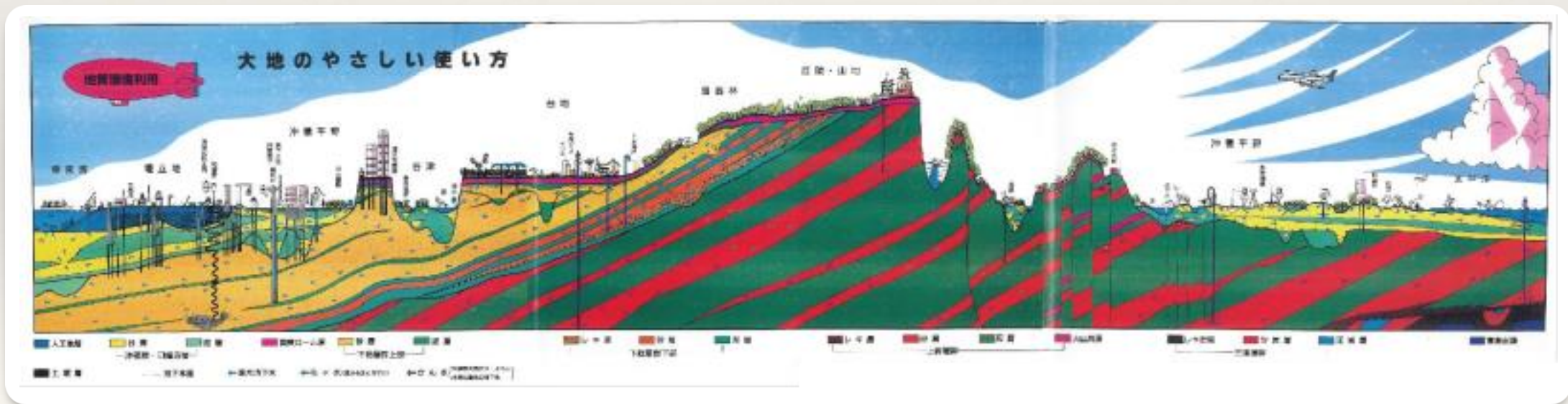
# 県内各地域の累積の地盤変動の傾向



- ❖ 東京湾岸地域では、法や条例などによる規制が功を奏し、地盤沈下が大幅に抑制された
- ❖ 九十九里から北総にかけての地域では、依然として地盤沈下が継続している

# 地盤沈下のメカニズム ～千葉県地質の特徴～

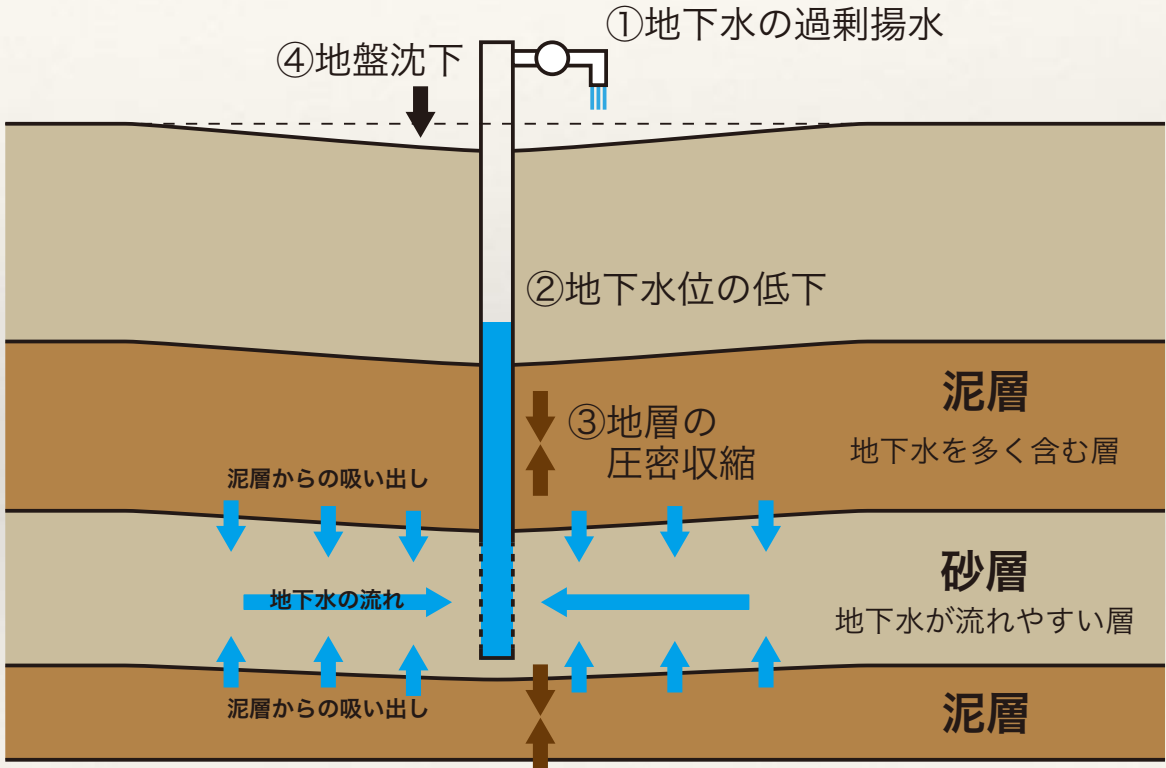
- ❖ 千葉県の地質は、大きく分けると上総層群、下総層群、沖積層、人口地層に分類される。  
千葉県南部の丘陵地帯や銚子市付近では、より古い年代の地層も現れる
- ❖ 地下水は下総層群から、天然ガスかん水は上総層群から主に採取されている。  
千葉県は天然資源に恵まれ、県の産業の一端を担っている。天然ガスかん水から採取されるヨウ素は、国内で80%以上、世界では20%以上のシェアを誇る。



千葉県の地質の模式図  
(地質環境研究室「大地のやさしい使い方」より)

# 地盤沈下のメカニズム ～地盤沈下はなぜ起こる～

- ① 地下水の過剰揚水**  
地下水の涵養を上回る、過剰な採取が行われる
- ② 地下水位の低下**  
間隙水圧が下がり、地下水位の低下として現れる
- ③ 地層の圧密収縮**  
泥層から地下水が吸い出され、収縮する
- ④ 地盤沈下**  
地層の収縮が地表面に地盤沈下として現れる



# 地盤沈下のメカニズム ～地盤沈下を止めるには～

和達（1940）が地盤沈下と地下水圧の関係を定量的に表した

$$\underline{-\frac{dH}{dt}} = k(p_0 - p)$$

沈下速度

$H$  : 地表面の位置

$p$  : 現在の地下水圧・・・**現在の水位**

$p_0$  : 標準地下水圧・・・**地盤沈下が起こる前の水位**

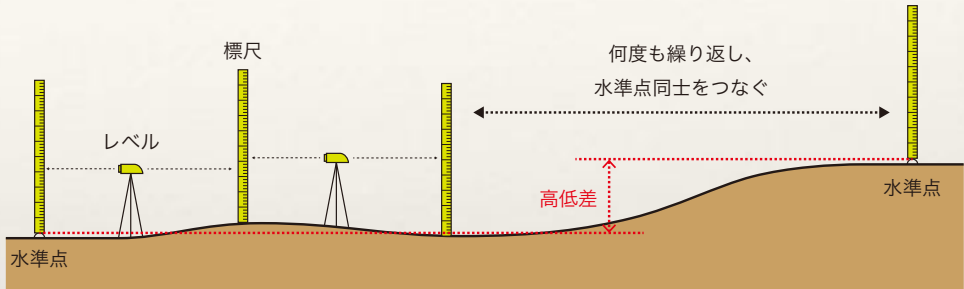
$k$  : 比例定数

地盤沈下が起こる前の水位まで回復しなければ  
地盤沈下は止まらない

さらに、一度沈んだ地盤は戻らない

# 水準測量 ～地盤の高さを測定～

- ❖ 一般的に広く使われている、高精度な地盤沈下の観測方法。  
(1級水準測量の場合、分解能0.1mmで測定している)
- ❖ 前後においた標尺の目盛りから、レベルを使って比高を読み取り、水準点同士をつないでいく。
- ❖ 標高の基準となる日本水準原点 (24.3900m) からの比高を算出することで、観測対象の水準点の標高がわかる。



水準点

各地点の高さを測るための基準。国や地方自治体などが設置している。



レベル

常に水平を保ち、標尺の目盛りを正確に読むための器械



標尺

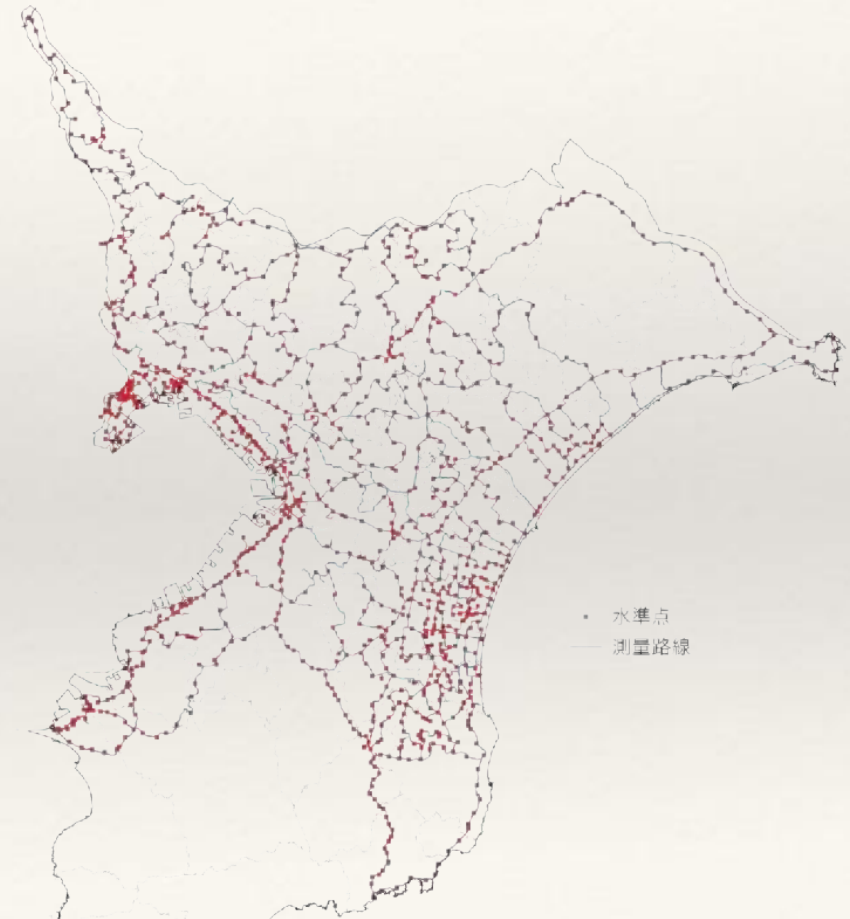
レベルで高さを読むための高精度なものさし



水準測量作業のようす

# 水準測量 ～千葉県による監視体制～

- ❖ 県では地盤沈下の監視のために1960年（昭和35年）から実施。
- ❖ 頻度：年1回
- ❖ 調査面積：3,208.5 km<sup>2</sup>
- ❖ 測量路線長：約1,800 km
- ❖ 観測水準点：約1,100点



# 千葉県が実施する水準測量の成果

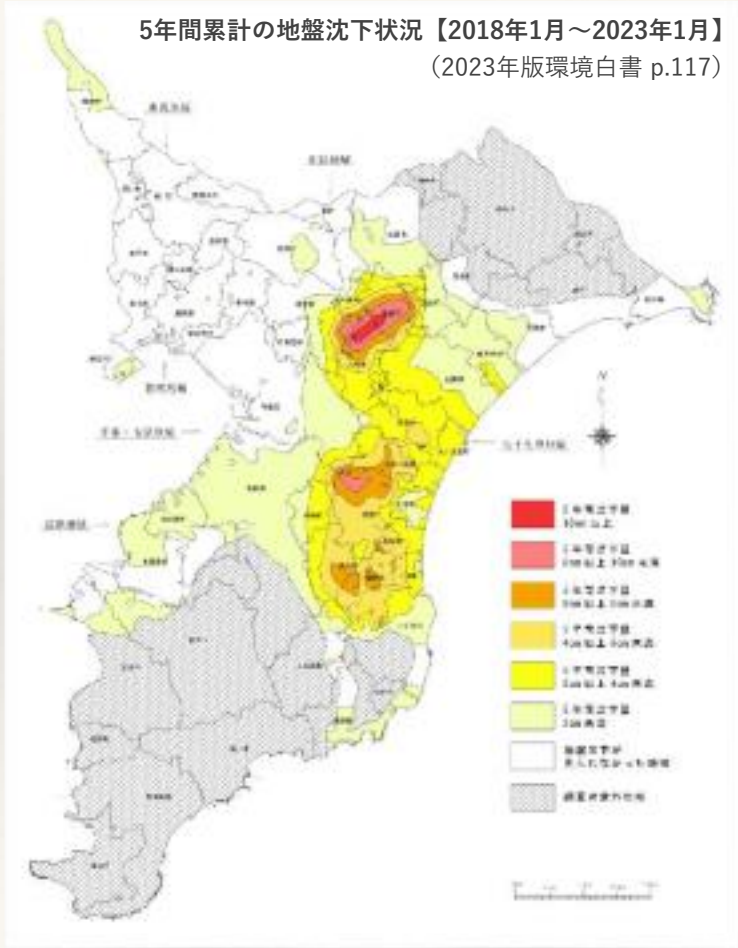
- ❖ 「千葉県における地盤沈下の概況について」として報道発表。
- ❖ 観測成果（標高値）は、「千葉県水準測量成果表」として公表、建築土木分野にも広く利用されている。



「千葉県における地盤沈下の概況について」



「千葉県水準測量成果表」



# 地盤沈下・地下水位観測井 ～地下水水位と地層収縮を観測～

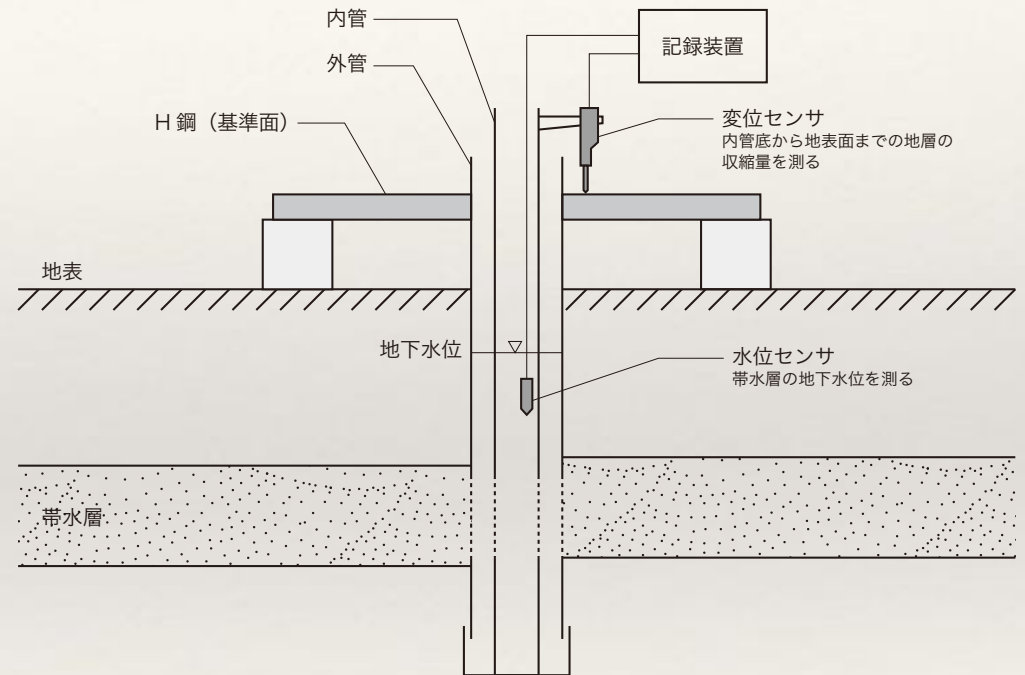
- ❖ 帯水層別に設置し、地盤沈下の直接の原因となる地下水位の低下を監視。
- ❖ 地層別の収縮を測ることで、地盤沈下の原因となっている地層を判別する。（水準測量では、どの地層が収縮しているか分からない）



千葉県の地盤沈下観測井



二重管式井戸の管頭



地盤沈下観測井の構造（二重管式）

内管に対して、外管が地層の収縮に伴ってスライドすることで、その差により井戸底から地表面までの地層収縮量がわかる。また同時に水位も観測している。



# 千葉県観測井 ～地下水位と地層収縮の監視体制～

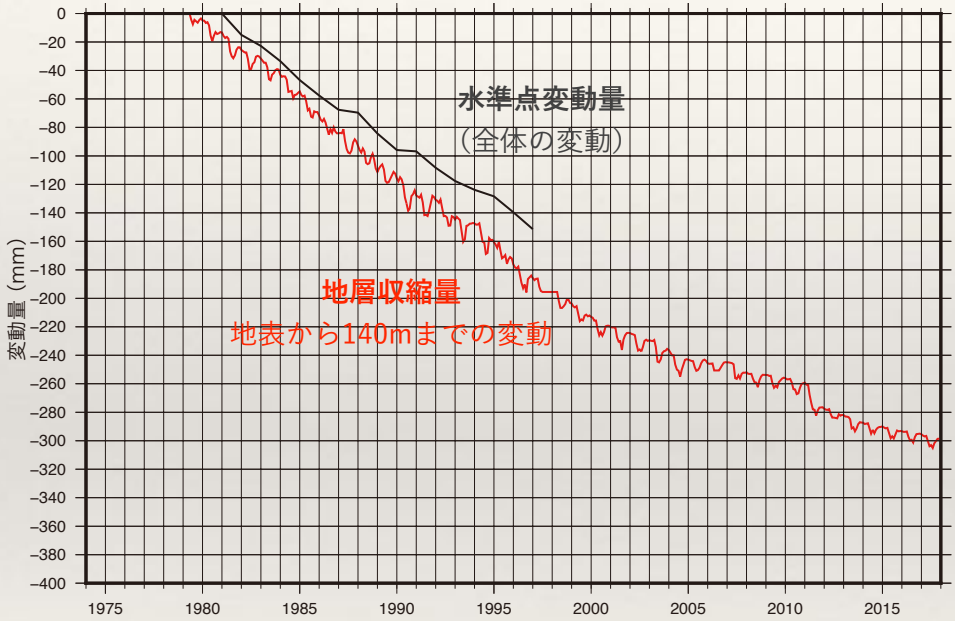
- ❖ 地盤沈下のおそれのある平野部を中心に設置
- ❖ 30市町村87か所139基※
  - ❖ 地盤沈下・地下水位観測井 53基
  - ❖ 地下水位観測井 86基

※一部では深度別に複数の観測井を1箇所を設置している



# 地盤沈下の原因となる層の究明 ～水準測量と地盤沈下観測井の観測成果から～

佐倉市（佐倉-1観測井）

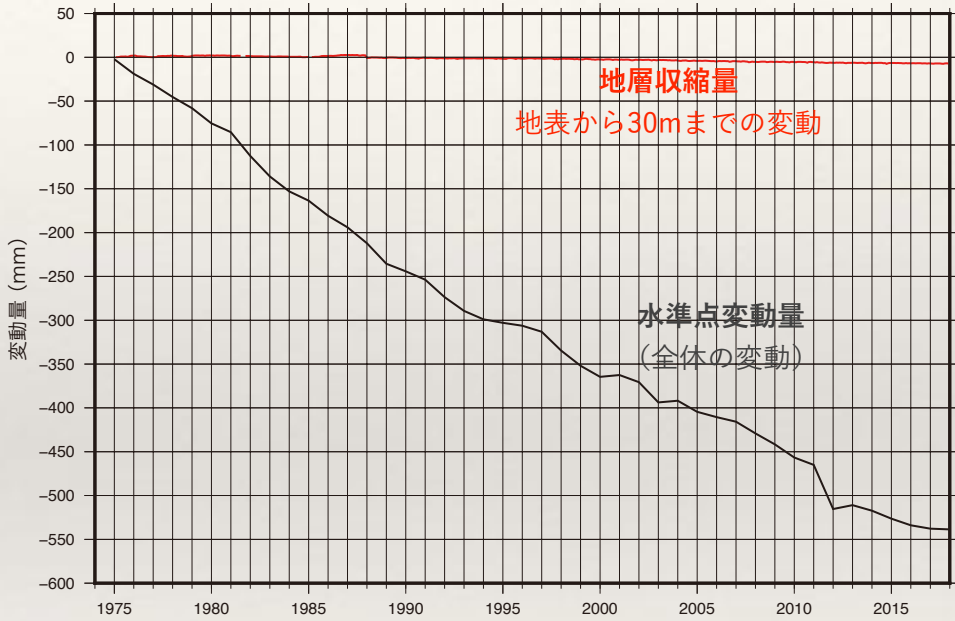


水準点変動と地層収縮量が同じ動き



140mまでの浅い層が地盤沈下の原因

大網白里市（九十九里-2観測井）



水準点変動よりも地層収縮量が小さい



30mよりも深い層が地盤沈下の原因

# GNSS（測位衛星航法システム） ～GPSで地盤沈下を測る～

- ❖ **GNSS**・・・人工衛星を利用して地上の位置を測るシステム。
- ❖ みちびき（日本）、GPS（アメリカ）、GLONASS（ロシア）、Galileo（EU）などの衛星を利用。
- ❖ 地盤沈下の観測では、複数の衛星からの電波を同時に受信して解析し、より高精度に、数cmから数mmのオーダーで位置を測定。（一般のGPSの誤差は数m程度）
- ❖ 国土地理院がGNSSを利用した**電子基準点**を、国内に約1,200点整備し、千葉県内には25点配備されている。
- ❖ 千葉県では地盤沈下の著しい地域を対象にGNSS観測器を設置し、2024年から観測を開始。

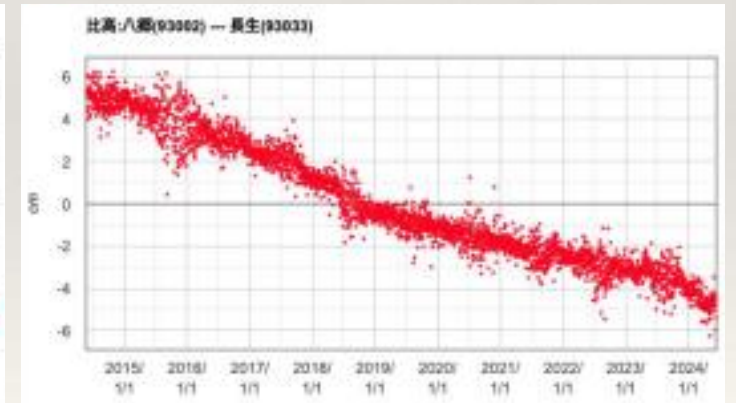
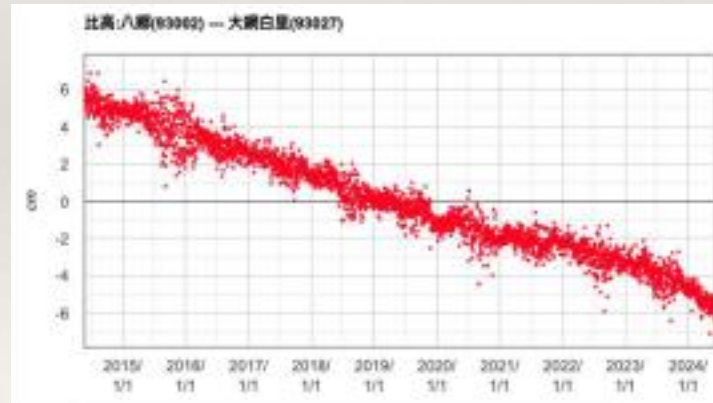
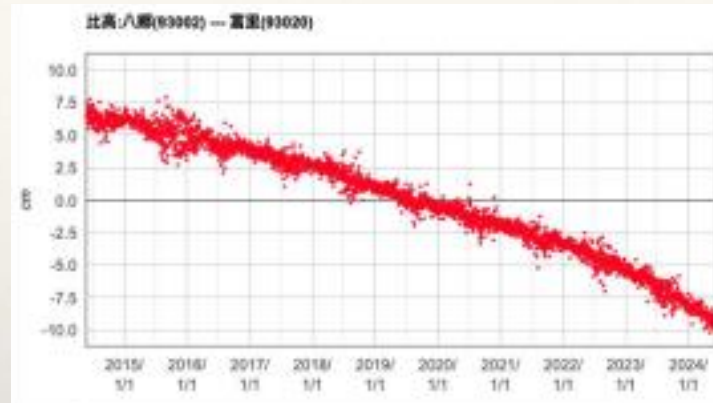


# 電子基準点でわかる地盤沈下

- ❖ 電子基準点では、連続的に観測することで、地盤変動の経年変化がわかる。



電子基準点

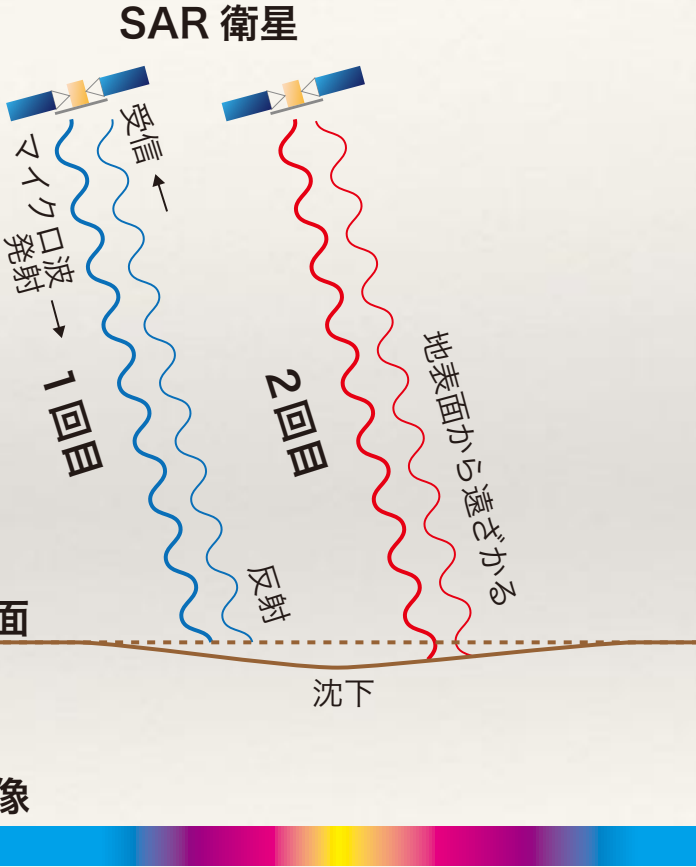


八郷（茨城県）を不動点とする電子基準点による地盤高変化

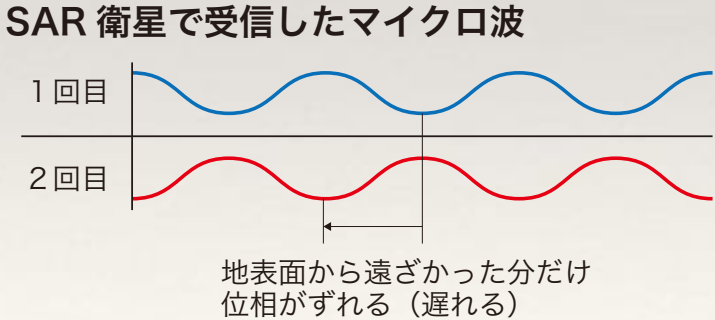
（国土地理院 電子基準点日々の座標値（F5解）より）

# InSAR ～宇宙から地盤沈下を測る～

- ❖ InSAR（干渉合成開口レーダー）・・・SAR衛星からマイクロ波を発射し、地表で反射した電波を受信することで、地表の変動がわかる。
- ❖ 昼夜、天候に影響されず、高密度、高頻度の観測ができる。
- ❖ 千葉県では2020年から導入し、水準測量などの他の観測法の補完として運用している。



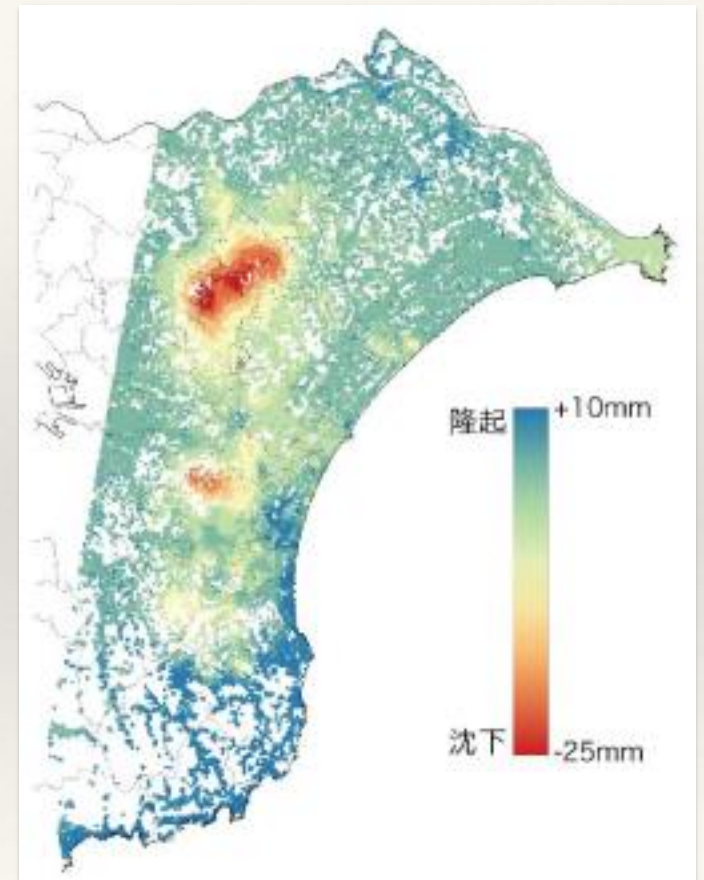
代表的なSAR衛星 ESA Sentinel-1



# 宇宙からみた地盤沈下

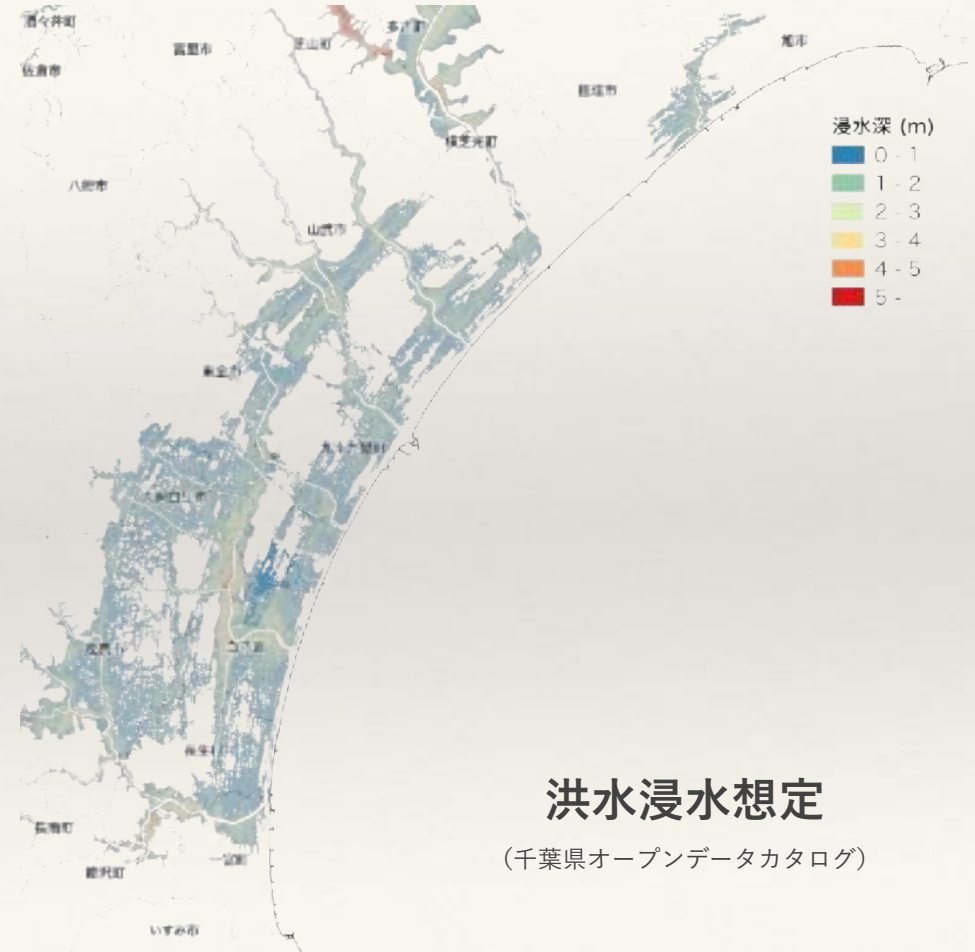
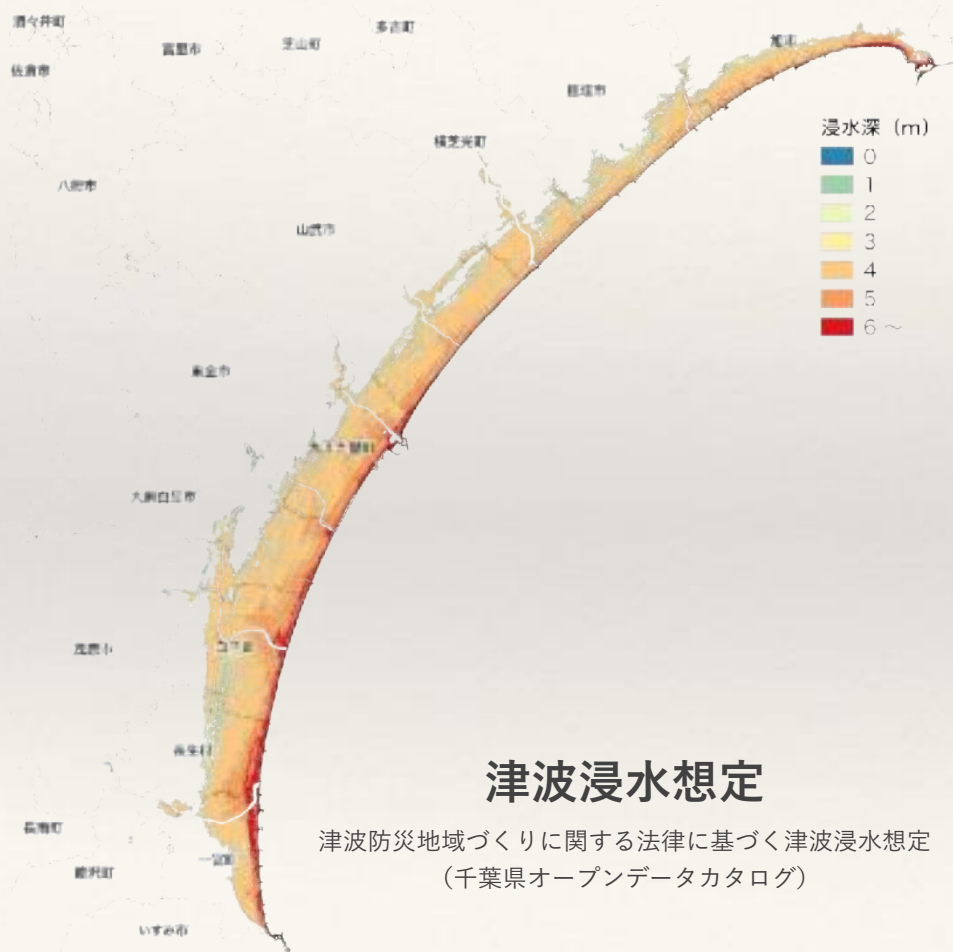


PS InSARによる時系列解析結果



2021年の地盤変動

# 九十九里沿岸部における災害による浸水想定



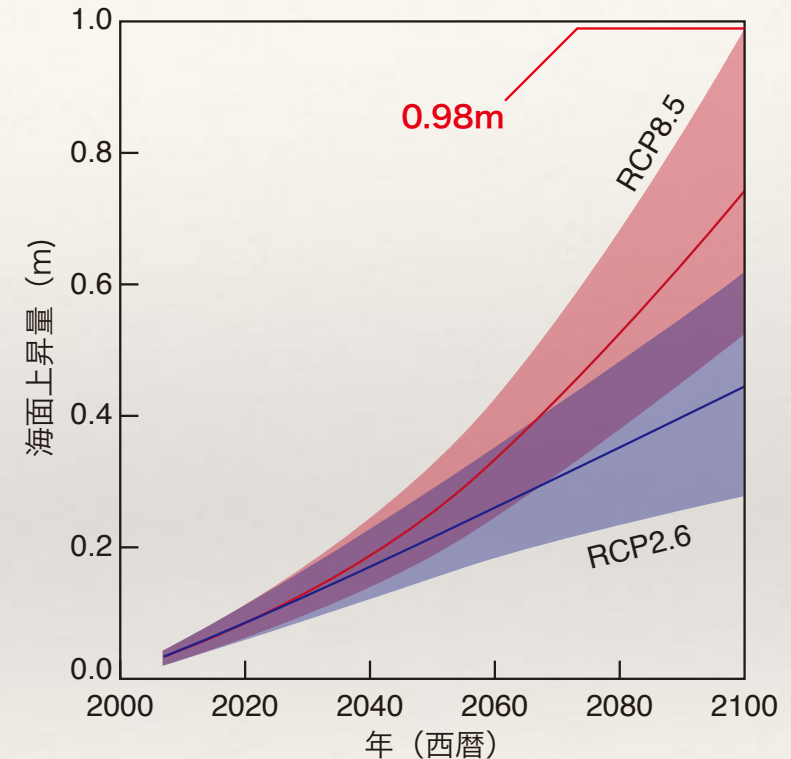
# 新たな課題 ～災害の脅威～

地盤沈下が起こると・・・

- ✓ 土地の低地化による津波浸水被害の拡大
- ✓ 土地の形状変化による洪水浸水被害への影響

さらに・・・

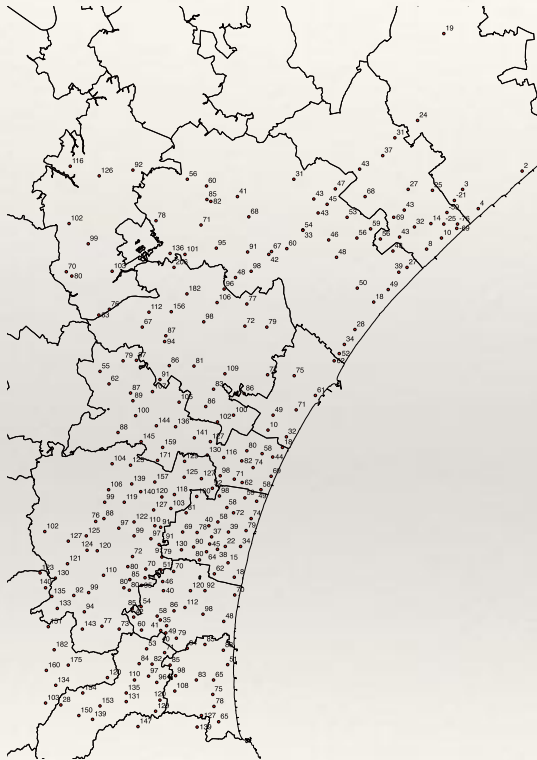
- ✓ 気候変動による降雨量や高潮の増加、災害の激甚化
- ✓ 温暖化による**海面上昇**と津波・洪水への影響



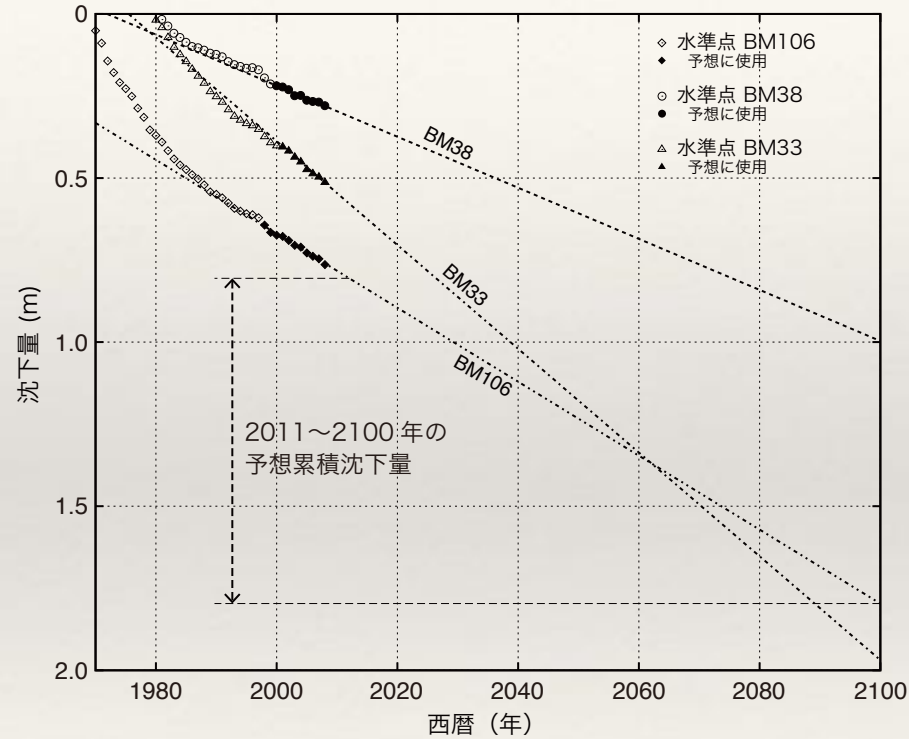
IPCC (気候変動に関する政府間パネル)  
第5次報告による海面上昇予測



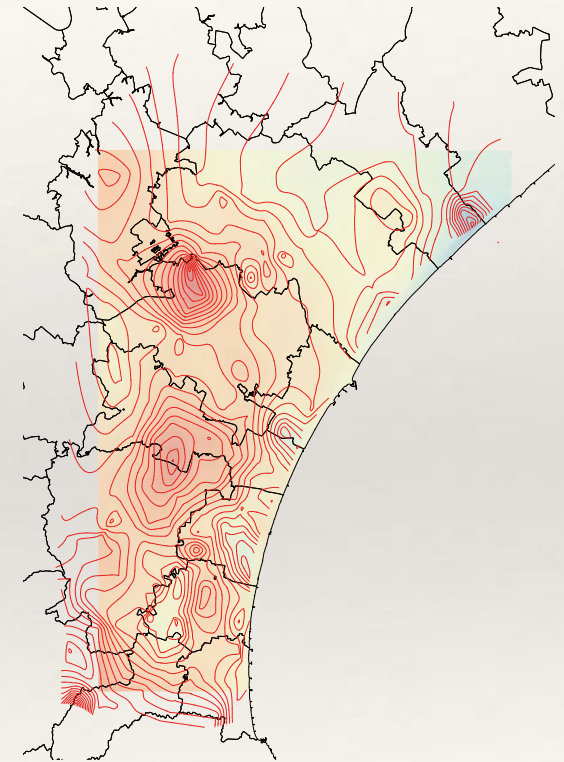
# 九十九里地域の地盤沈下予測



九十九里地域の水準点

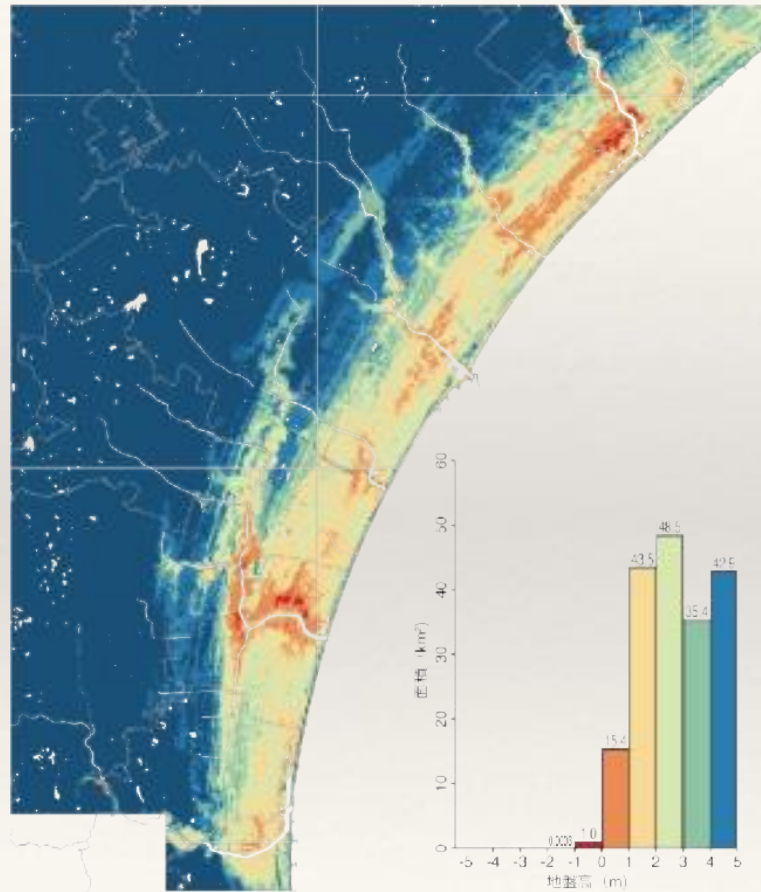


測定点それぞれについて 2100 年までの累積沈下量の推定を行う。  
図は白子町にある水準点での例 (3 点)



2100年の地盤沈下予測

# 九十九里地域における地盤沈下予測 ～2100年の未来～

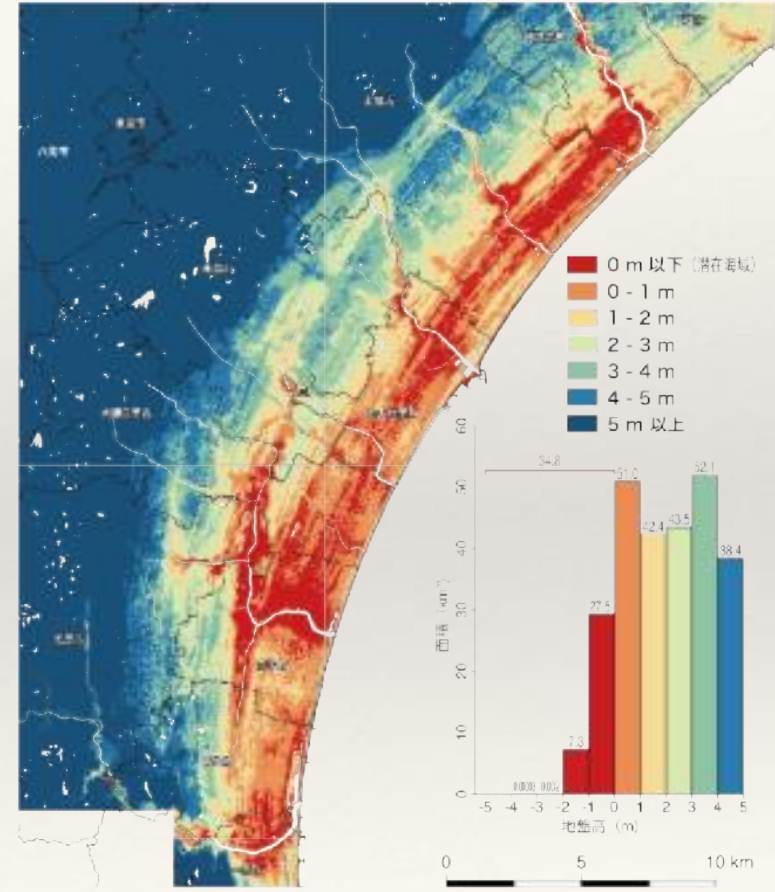


2011年における地盤高



地盤沈下  
+  
海面上昇

※海面上昇は  
IPCC第5次報告の  
RCP8.5における  
最大を想定



2100年における地盤高予測

# 新たな取組へ ～ちばの未来を津波や洪水から守る～

水準測量・地下水位・地層収縮量・地下水採取量などの基礎データの蓄積

➡ 地下水の流動解析、地盤沈下のシミュレーション・統計解析

精密な**地盤高モデル**の作成と**地盤沈下の将来予測**

➡ 津波浸水のシミュレーション

➡ 洪水被害や海岸侵食などの問題から強靱なインフラ整備へ対応