

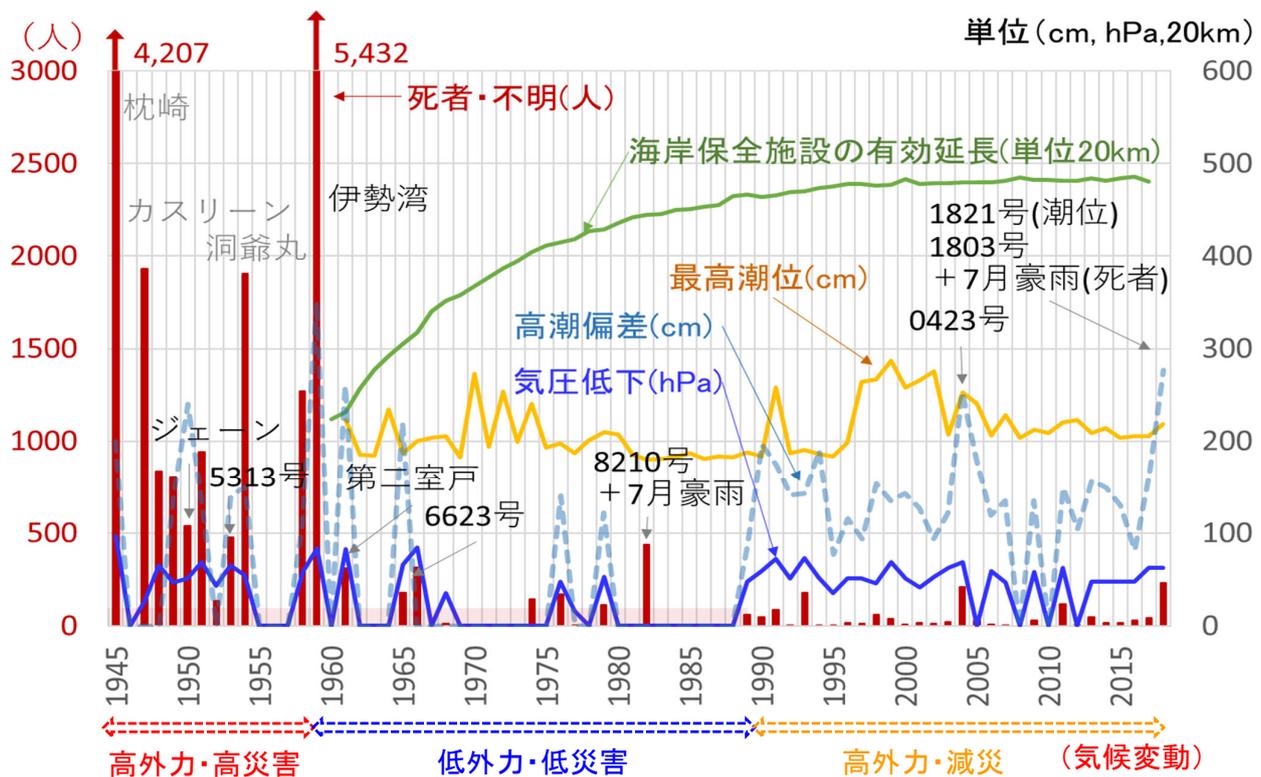
# 日本国内の気候変動対応のための 取組総括

高知工科大学

学長 磯部雅彦

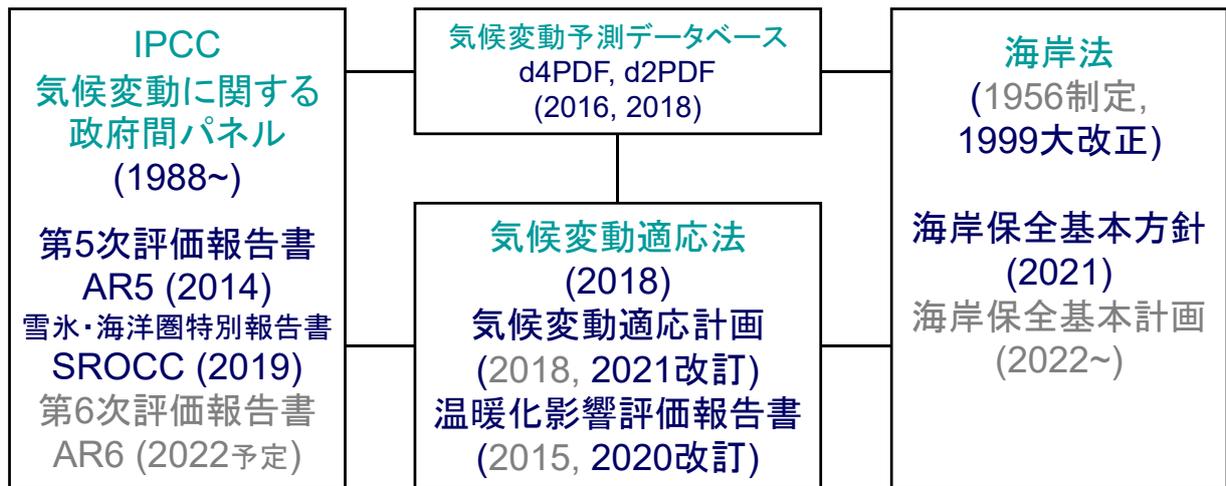


## 高潮の規模と被害の経年変化



[気象庁HP: 災害をもたらした気象事例、海洋データセンターHP、海岸統計等より作成。1945-1988年は気象庁命名および死者100人以上の台風、1889からは被害・社会的関心が大きい台風のみ対象]

# 日本の気候変動対応の枠組み



## IPCCにおける 地球温暖化の将来予測

# 21世紀末までの全球平均海面上昇

## IPCC AR5

(2081-2100): 0.40 (0.26-0.55) m

0.63 (0.45-0.82) m

SROCC: 0.43 (0.29-0.59) m  
(2100)

0.84 (0.61-1.10) m

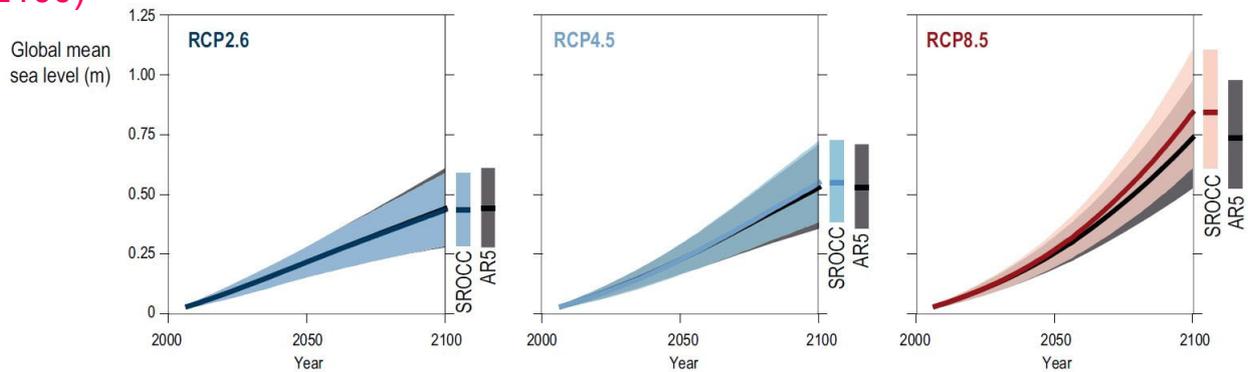


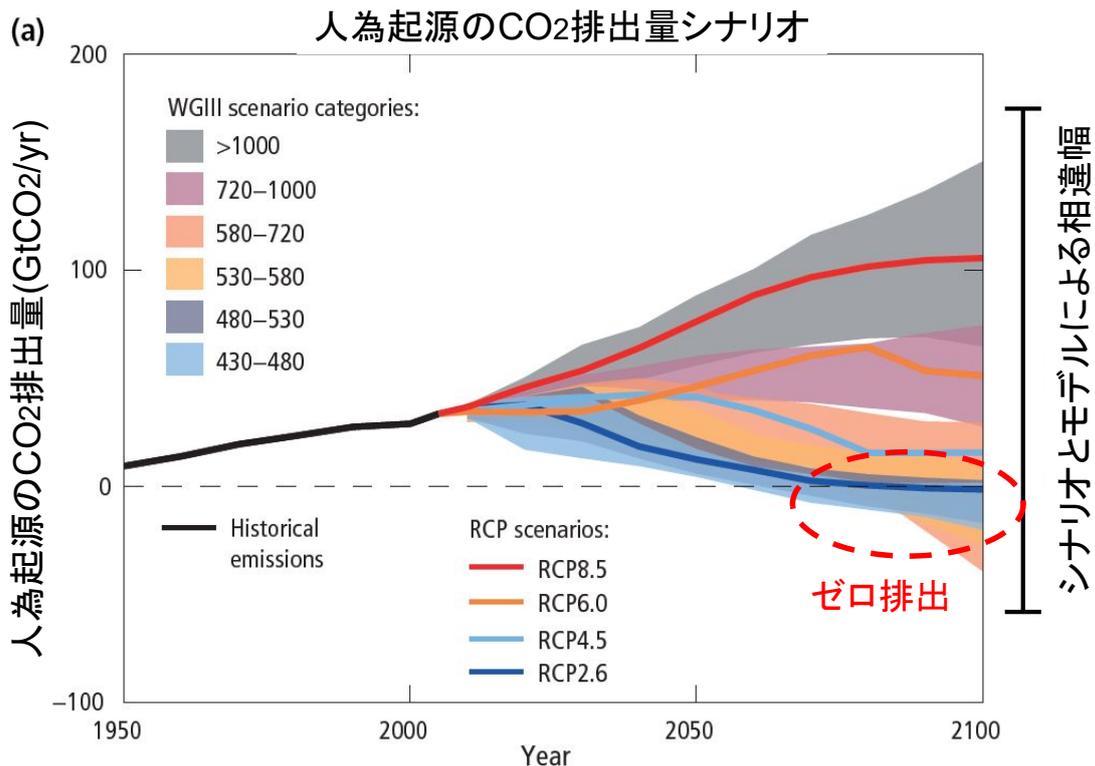
Figure 4.9 | Time series of Global Mean Sea Level (GMSL) for Representative Concentration Pathway (RCP)2.6, RCP4.5 and RCP8.5 as used in this report and, for reference the IPCC 5th Assessment Report (AR5) results (Church et al., 2013). Results are based on AR5 results for all components except the Antarctic contribution. Results for the Antarctic contribution in 2081–2100 are provided in Table 4.4. The shaded region is considered to be the *likely range*.

SI-CAT 0.39 (0.22-0.55) m  
(日本沿岸)

0.71 (0.46-0.97) m

(参考: 熱膨張率×温度上昇×水深=2/10,000(1/°C) × 2 (°C) × 500 (m) = 0.2 (m))

# CO2排出シナリオ



# 極端現象の変化の可能性

極端現象	現在まで	21世紀末
大雨の頻度、強度、降水量の増加	減少より増加している陸域の方が多いのは高い可能性	中緯度の大陸と湿潤な熱帯地域で非常に高い可能性
干ばつの強度、継続期間の増加	世界規模では低い確信度、地域により高い可能性	地域から地球規模で高い可能性(中程度の確信)
台風の活動度の増加	長期変化は低い確信度、1970年以降の北大西洋ではほぼ確実	北西太平洋と北大西洋ではどちらかといえば可能性あり
異常潮位の頻度や高さの増加	1970年以降高い可能性	非常に高い可能性

## 気候変動予測データベース

# 気候変動予測データベースd4PDF (d2PDF)

- d4PDF、d2PDF (database for Policy Decision-Making for Future Climate Change)
  - 高精度モデルによるアンサンブル(多数回)実験出力:
    - 全球実験(60kmメッシュ)
      - 過去実験: 60年間(1951~2011)x100メンバ
      - 非温暖化実験: 60年間(1951~2010)x100メンバ
      - 2°C上昇実験: 60年間(2031~2091)x54メンバ
      - 4°C上昇実験: 60年間(2051~2111)x90メンバ
    - 日本周辺領域モデル(20kmメッシュへダウンスケーリング)
      - 過去実験: 60年間(1950~2011)x50メンバ
      - 2°C上昇実験: 60年間(2030~2091)x54メンバ
      - 4°C上昇実験: 60年間(2050~2111)x90メンバ
    - d4PDFは4°C上昇時、d2PDFは2°C上昇時の出力
    - =>データ数が多いので極端現象(台風、集中豪雨)の確率的予測が可能になる
    - このメッシュでもなお、メッシュの粗さを補うバイアス補正が必要となる可能性
  - ダウンスケーリング
    - d4PDF→NHRCM05→NHRCM02

## 気候変動適応法

# 気候変動適応法(2018)

## ● 第1条(目的)

- …気候変動適応に関する**計画の策定**、気候変動影響及び気候変動適応に関する**情報の提供**その他必要な措置を講ずることにより、気候変動適応を推進し、

## ● 第7条(気候変動適応計画の策定)

- **政府**は…気候変動適応計画を定めなければならない。
- 計画期間、施策の基本的方向、科学的知見の**充実・活用**、**情報収集・整理・分析・提供**、国立環境研究所の役割、地方公共団体、事業者、**国際連携・協力**、関係行政機関の**連携協力**

## ● 第10条(気候変動影響評価報告書)

- **気候変動**及び多様な分野における**気候変動影響**の**観測**、**監視**、**予測**及び**評価**に関する最新の科学的知見を踏まえ、**おおむね五年ごと**に…報告書を作成

## ● 第12条(地域気候変動適応計画)

- **都道府県及び市町村**は…**地域気候変動適応計画**を策定するよう努める

# 気候変動適応計画(2016, 2021変更)

## ● 第1章 気候変動適応に関する施策の基本的方向

- 第4節 基本戦略:
  - ① **あらゆる関連施策に気候変動適応を組み込む**
  - ② 科学的知見、③ 情報基盤、④ 地域の実情、…

## ● 第2章 気候変動適応に関する分野別施策

- (重大性、緊急性、確信度を評価)
- 第4節 自然災害・沿岸域:
  - (2) **海面上昇**(●、▲、●)、**高潮・高波**(●、●、●)、**海岸侵食**(●、▲、▲)
  - **港湾、海岸、漁港・漁村・海岸防災林**:  
モニタリング・情報提供、将来の海面上昇への対応を考慮、順応的な対策、ハード・ソフトの組み合わせ、(超過外力に)粘り強い構造、防砂・侵食対策、災害廃棄物

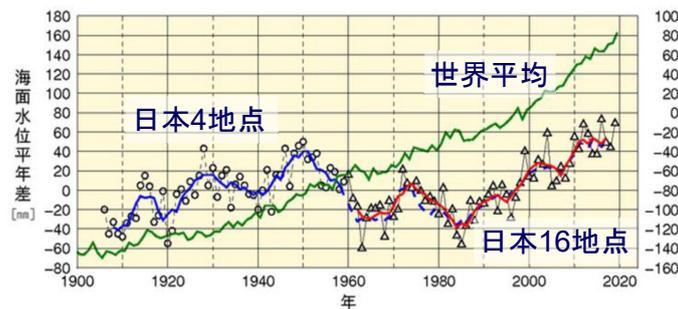
## ● 第3章 気候変動適応に関する基盤的施策

- 観測・監視、予測、情報収集・整理・分析・提供、**地域気候変動適応計画策定マニュアル**、**ダウンスケーリング国際連携**

# 気候変動影響評価報告書(自然災害・沿岸域:現状)

## 現在の状況

- 海面水位の上昇傾向(1993~2015で2.8(1.7~4.0) mm/年、2004~2019年で4.19(-1.10~+8.20) mm/年)
- 極端な高潮位の発生が1970年以降全世界的に増加している可能性が高い
- 有義波高の最大値が冬季は日本海沿岸で、秋季は東北太平洋沿岸で増加傾向
- 海岸侵食は、茨城県波崎海岸で汀線位置の変動が気候変動指標と関連
- 多数の深層崩壊・同時多発型表層崩壊、大規模複合災害(土砂・洪水)、自然災害による保険金支払いの増加



[気候変動影響評価報告書(2020.12): 環境省、日本の気候変動2020(2020): 文部科学省・気象庁]

# 気候変動影響評価報告書(自然災害・沿岸域:将来予測)

## ● 海面水位の上昇

- 2081~2100年の世界平均海面水位はRCP2.6で0.26~0.53m、RCP8.5で0.51~0.92m(1986~2005年を基準)、日本沿岸水位はSI-CATのRCP2.6で0.22~0.55m、RCP8.5で0.46~0.97m
- 80cm海面上昇の場合、三大湾のゼロメートル地帯面積は1.6倍
- 高潮・高波による被災リスクの増大、河川の取水施設、沿岸の防災施設、港湾・漁港施設等の機能低下・損傷、沿岸部の浸水・水没、港湾・漁港の機能障害、海岸侵食の加速、干潮区間の生態系影響

## ● 高潮・高波

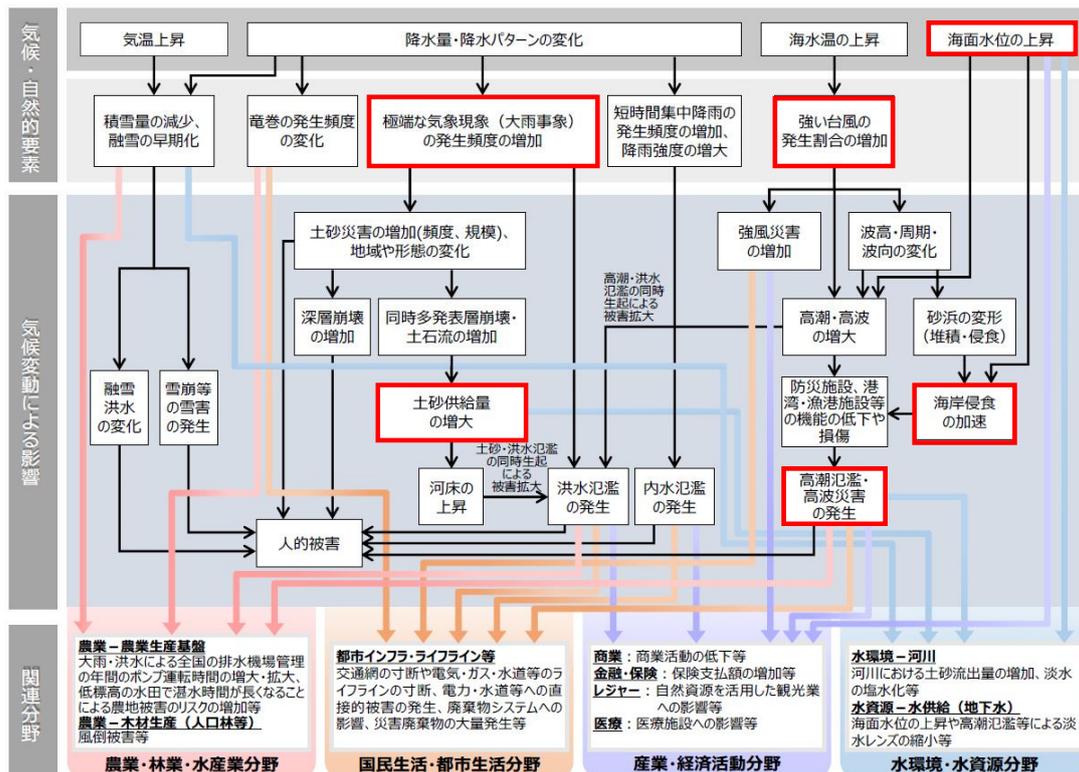
- 高潮の最大潮位偏差推定値の研究レビューで、東京湾で0.72m、大阪湾で1.73m、伊勢湾で0.90m増大
- 高波は、東日本沖太平洋側で顕著な増加
- 海面水位上昇+高潮・高波により、河川の取水施設、沿岸の防災施設、港湾・漁港施設等の機能低下

# 気候変動影響評価報告書(自然災害・沿岸域:将来予測)

## ● 海岸侵食

- RCP2.6で日本沿岸の20%( RCP8.5では45% )の砂浜で浜幅が半分以下の報告
- 波浪特性の変化(特に波向)は前進・後退の可能性あり
- 極端な降水の頻度・強度の増大により、供給土砂量の増加は、侵食緩和の可能性
- 潜堤の効果の低下による汀線後退(新潟海岸で60mの予測)

# 気候変動影響の概略図(自然災害・沿岸域分野)



# 海岸法に基く 海岸保全基本方針と 海岸保全基本計画

## 気候変動を踏まえた海岸保全のあり方(2020.7)

- 「沿岸部(海岸)における気候変動の影響及び適応の方向性」(H.27.7)の発展
- RCP2.6(2°C上昇相当)における予測の平均的な値を基本とすることが妥当
- 手戻りなく対応→、平均海面水位は、RCP8.5(4°C上昇相当)も考慮すべき
- 平均海水面
  - RCP2.6で、第5次報告書は21世紀末0.39(0.26~0.53)m、2100年SROCCは0.29~0.59m
  - 最新の朔望平均満潮位+(外挿・)予測データで将来の上昇を考慮
- 高潮の潮位偏差
  - 将来予測される潮位偏差の長期変化量を推算し、適切に考慮
- 波浪
  - 平均では有義波高・周期は減少、波向変化
  - 台風強大化により年最大波・設計波は増大の想定
  - 長期間の統計解析+波浪の長期変化量を推算し適切に考慮
- 海浜地形と漂砂
  - 日本の砂浜は、RCP2.6で約6割、RCP8.5で約8割消失
  - 総合土砂管理の下、モニタリングと気候変動の影響予測で順応的に対応
- 海岸保全の基本的な方針 → 海岸保全基本方針の改訂

# 海岸保全基本方針(2020.11.20改訂)

## ● 海岸の防護に関する基本的な事項

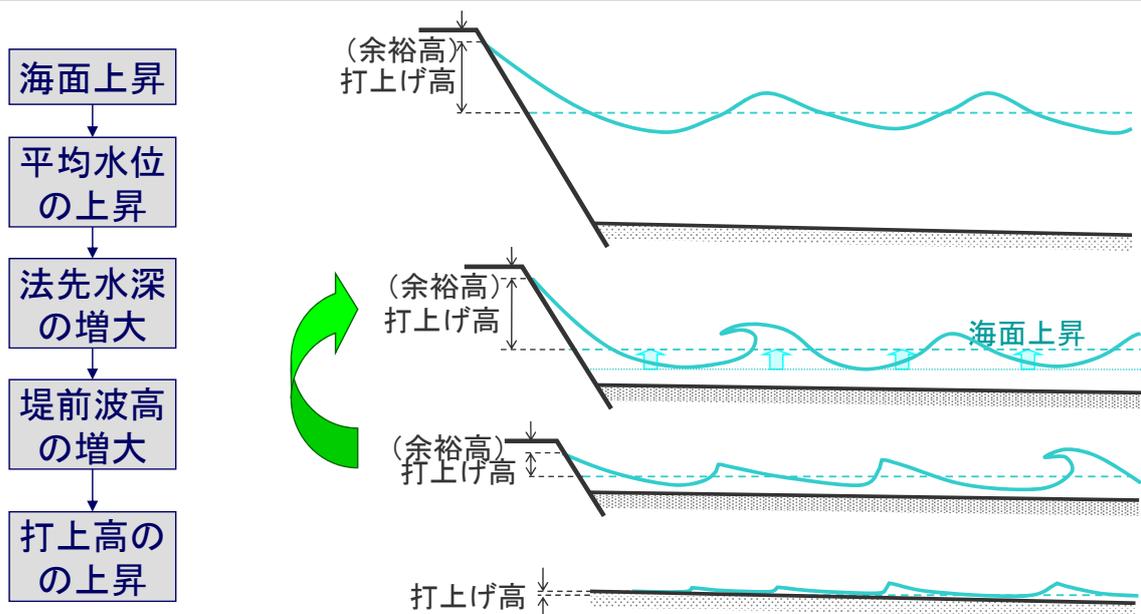
- － (津波)数十年から百数十年に一度程度発生する比較的発生頻度の高い津波に対して防護することを目標とする。
- － (高潮)既往の最高潮位又は記録や将来予測に基づき適切に推算した潮位に、記録や将来予測に基づき適切に推算した波浪の影響を加え、これらに対して防護することを目標とする。  
三大湾を始めとする…必要に応じ、より高い安全を確保することを目標とする。
- － ハード面の対策とソフト面の対策を組み合わせた総合的な対策を行うよう努める。
- － (侵食対策)については、将来的な気候変動や人為的改変による影響等も考慮し、継続的なモニタリングにより流砂系全体や地先の砂浜の変動傾向を把握し、侵食メカニズムを設定し、将来変化の予測に基づき対策を実施する。さらに、その効果をモニタリングで確認し、次の対策を検討する「予測を重視した順応的砂浜管理」を行う。
- － 防護のみならず環境や利用の面からも優れた面的防護方式による整備を推進する。また、背後地の状況等を考慮して、設計の対象を超える津波、高潮等の作用に対して施設の損傷等を軽減するため、粘り強い構造の堤防、胸壁及び津波防波堤の整備を推進する。

## (各沿岸の)海岸保全基本計画

### ● 現在進行中

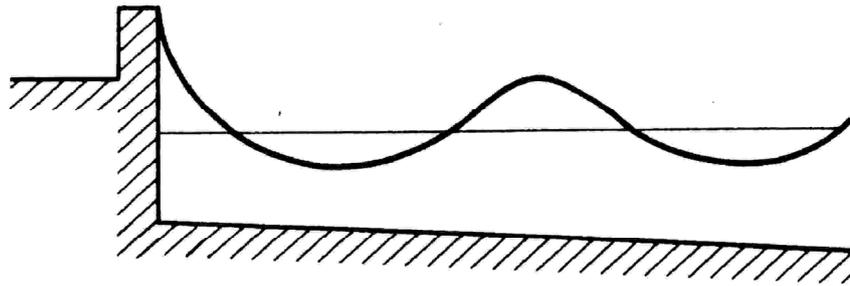
# 気候変動の 沿岸域への影響

## 海面上昇による波の打ち上げ高の上昇

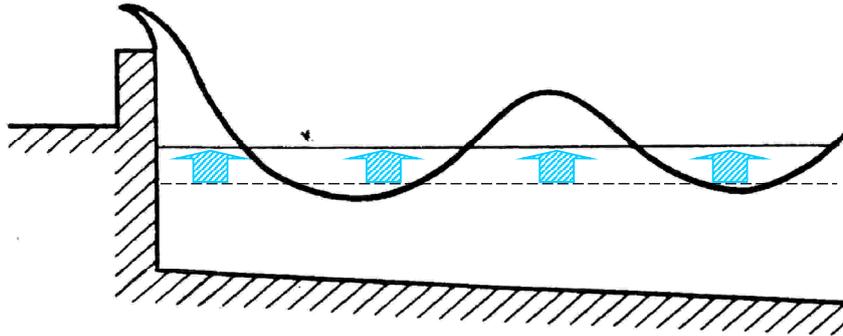


海面上昇 $\eta_{rms}$ (cm)	堤脚水深 h(m)	波高 $H_{1/3}$ (m)	周期 $T_{1/3}$ (m)	打上げ高 R(m)	最高水位 R-h(m)	差 (m)
0	2.42	4.2	6.6	5.75	8.17	
65	3.00	4.2	6.6	7.31	10.31	2.14

# 海面上昇による越波量の増大



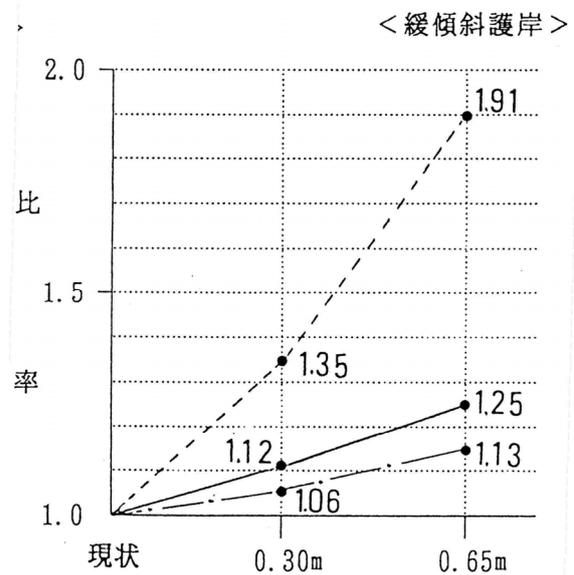
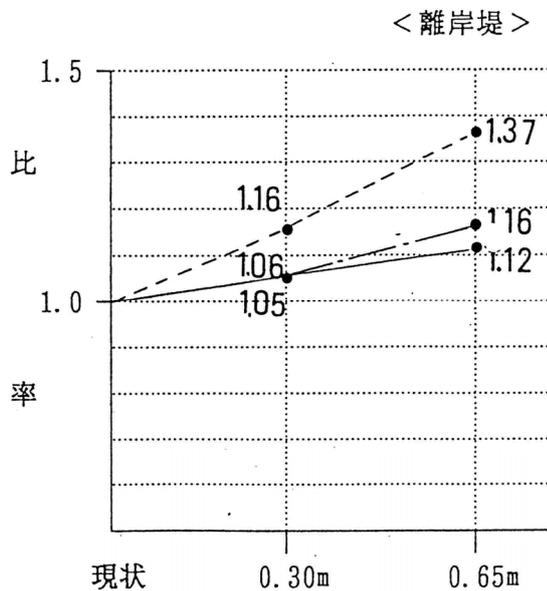
(a) 現在



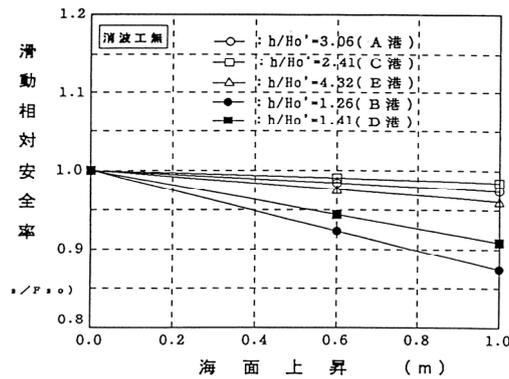
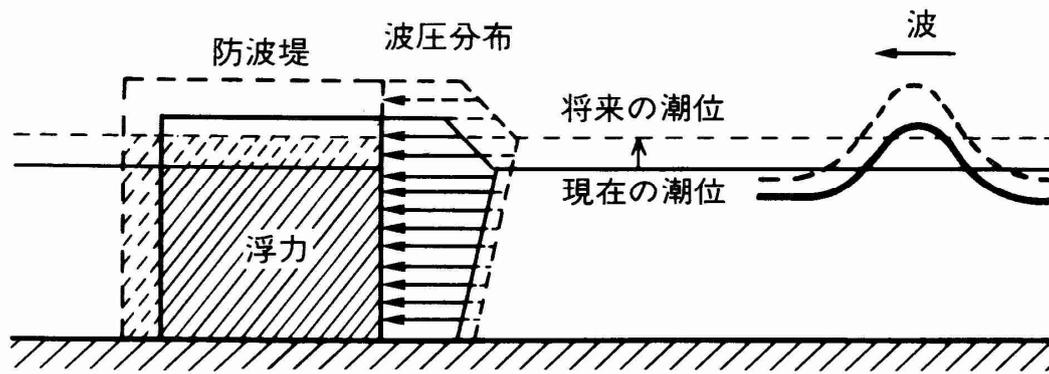
(b) 海面上昇後

# 海面上昇による消波ブロックの所要質量の増加

Hudson式: 
$$W = \frac{\rho_r g H^3}{K_D \left( \frac{\rho_r}{\rho} - 1 \right)^3 \cot \alpha}$$

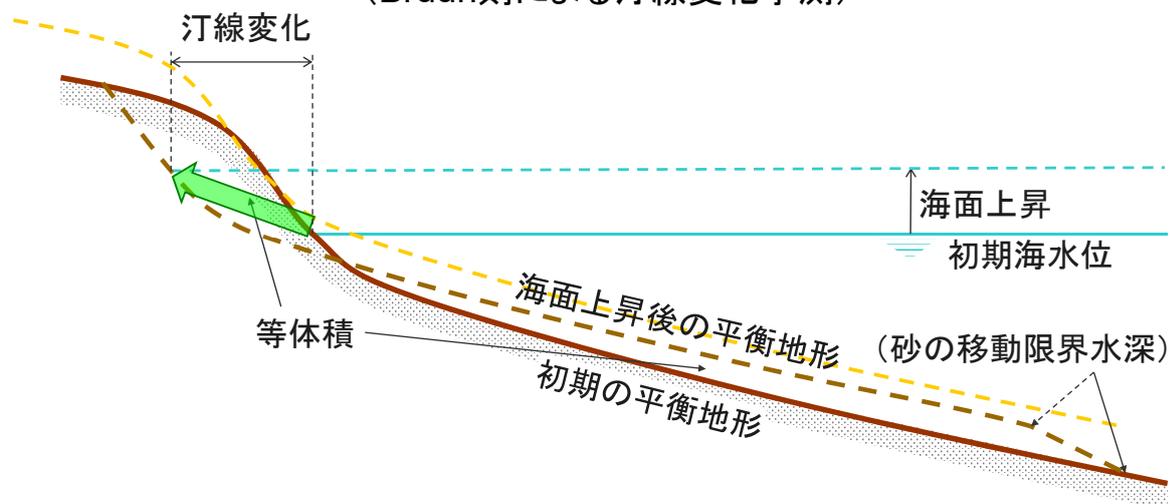


# 海面上昇による防波堤の滑動安定性の低下



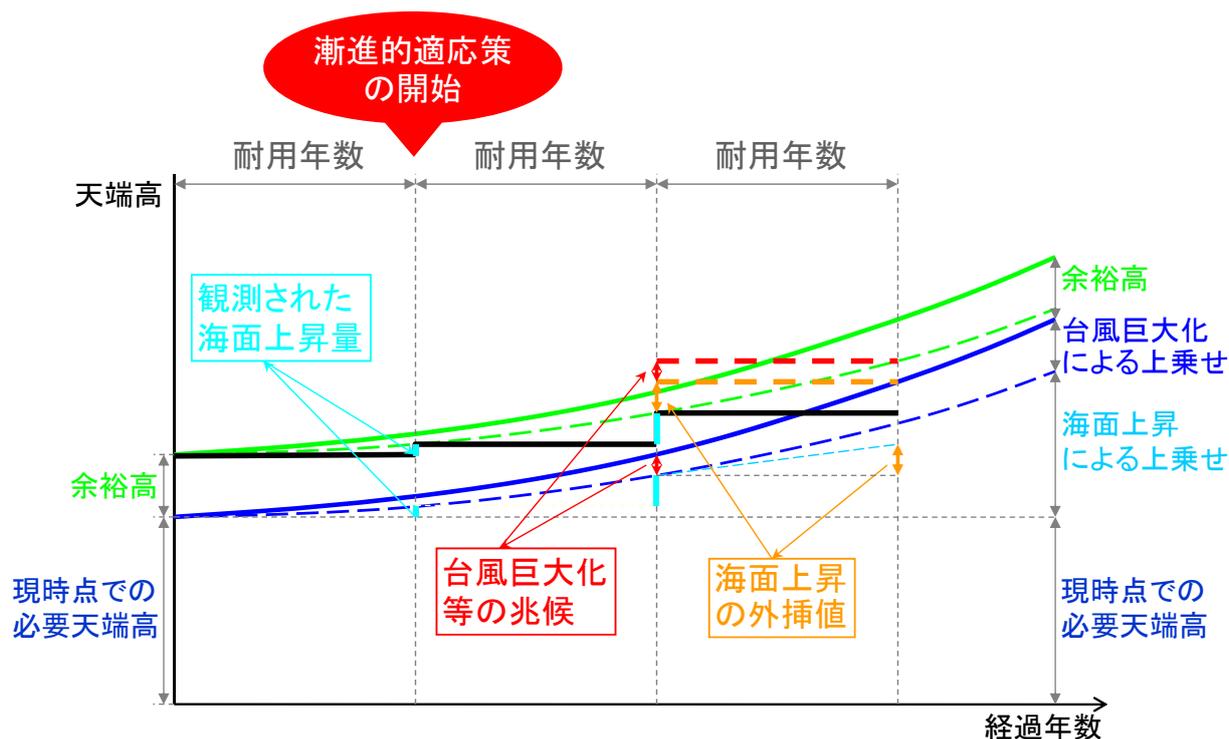
# 海面上昇による海岸侵食

(Bruun則による汀線変化予測)



日本沿岸平均で  
 RCP2.6海面上昇0.38mで62%砂浜消失  
 RRC8.5海面上昇0.63mで83%砂浜消失  
 (Udo & Takeda (2017) CEJ, JSCE, 59.)

# 海岸保全施設の適応策に関する一考察



## 高潮(外力)計算における注意点

# 高潮の簡易推定式

$$\bar{\eta}_{pws} = a\Delta p + bW^2 (+ cH_{1/3})$$

吸い上げ

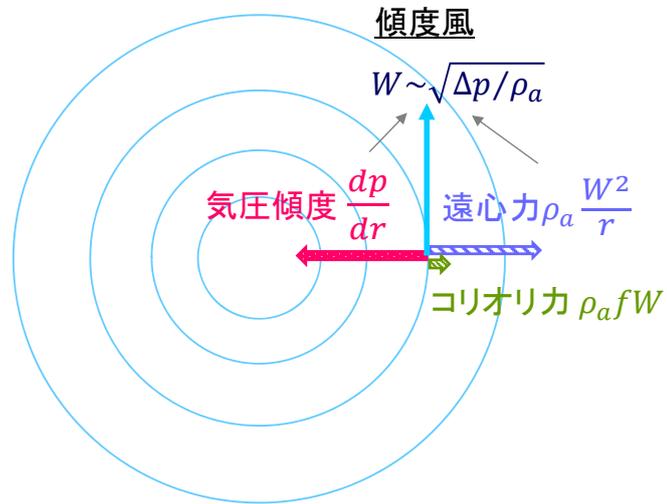
吹き寄せ

ウェーブセットアップ

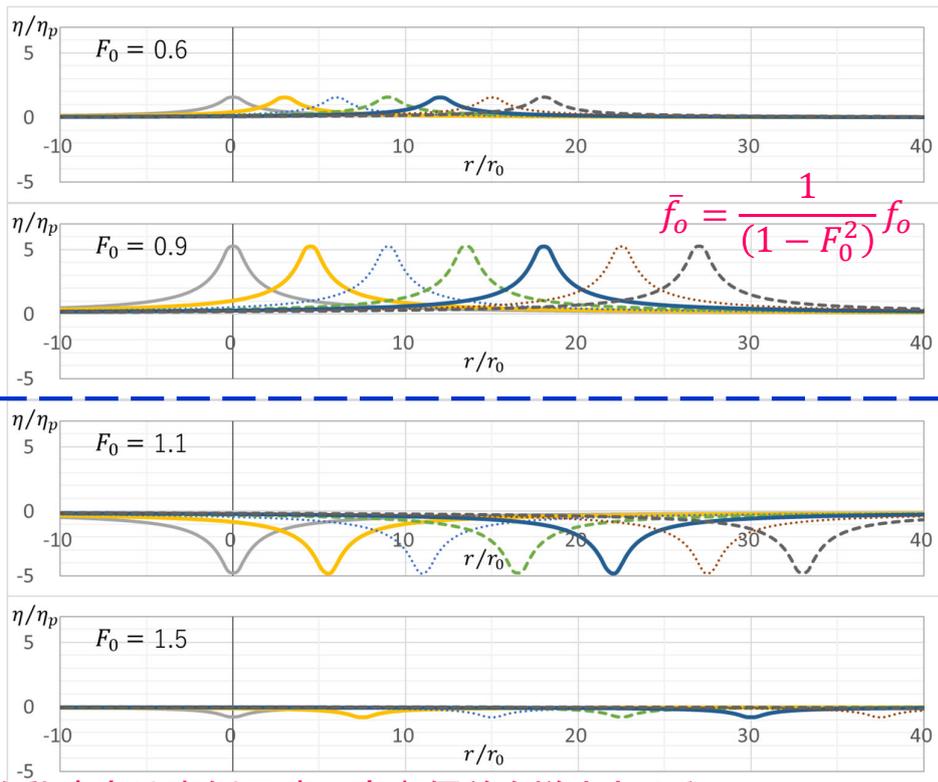
( $W^2 \sim \Delta p / \rho_a$ )

(砂礫浜の場合)

高潮偏差は  
気圧深度 $\Delta p$ に概ね比例する



# 移動する低気圧による高潮の発生(強制波)



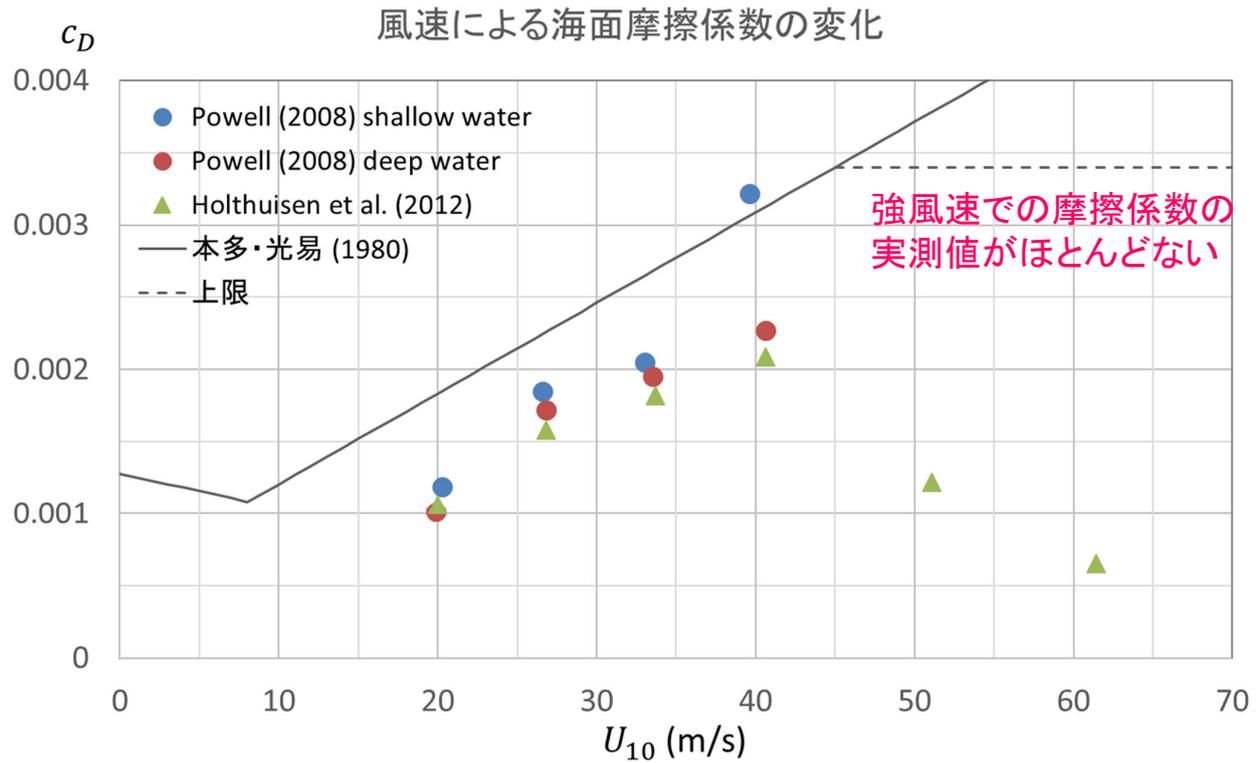
$F_0 < 1$

$F_0 > 1$

( $F_0 = \frac{\text{移動速度}}{\text{波速}}$ )

通常、台風の移動速度は東側風速→高潮偏差を増大させる  
(ただし、波速との関係にも注目)

# 海面摩擦係数と風速の関係



## 気候変動への適応策

# 海面上昇への適応策

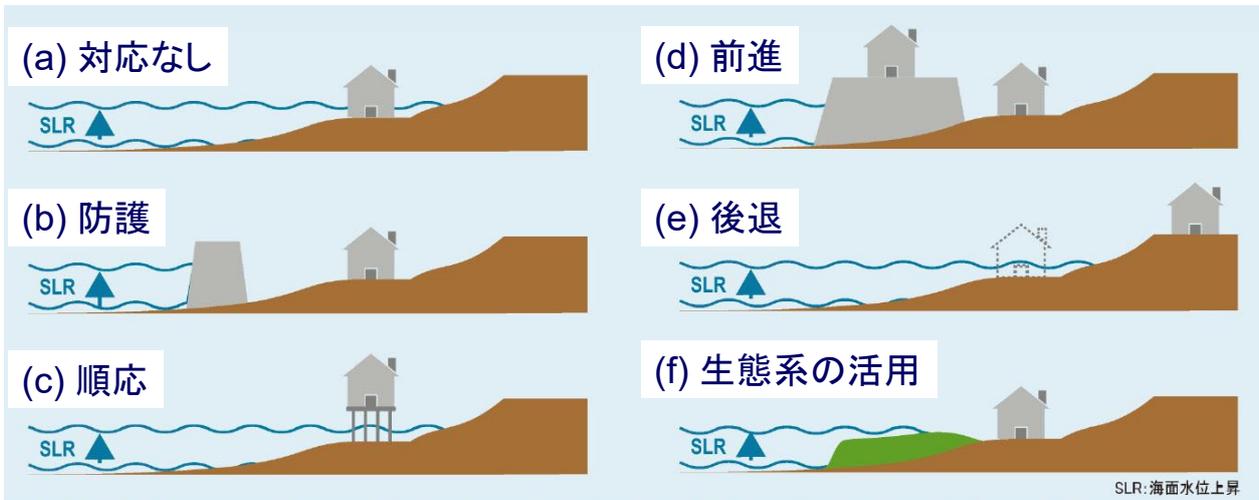


図. 沿岸域のリスクと海面水位上昇への対応策を示す概念図。それぞれの対応策の詳細については SROCC (385-386頁) 第4章 Box 4.3参照。

# 高潮避難態勢



# 水防法改正による 最大規模の高潮への対応

## 水防法(2015改正)

- 室戸台風(>伊勢湾台風)の経験、地球温暖化、洪水との複合災害
- 第14条の3
  - 想定し得る最大規模の高潮であつて国土交通大臣が定める基準に該当するものにより当該海岸について高潮による氾濫が発生した場合に浸水が想定される区域を高潮浸水想定区域として指定するものとする。
- 第13条の3
  - 高潮特別警戒水位を定め、…水防管理者及び量水標管理者に通知するとともに、…一般に周知させなければならない。(→レベル5の高潮氾濫発生情報)
- 第15条
  - 洪水予報等の伝達方法、
  - 避難施設その他の避難場所及び避難路その他の避難経路、
  - 洪水、雨水出水又は高潮に係る避難訓練の実施、  
…を定める



# 高潮に対する二段防災システム

## 高潮に対する二段防災システム

### ● 設計クラスの高潮(レベル1高潮)対策 ← 海岸法

- 設計クラス(レベル1)高潮・津波に対する浸水からの防護(狭義の防災)
- 気候変動(2°C上昇シナリオ)に適応、ハード・ソフトの総合的対策
- 堤外地の安全性

### ● 最大クラスの高潮(レベル2高潮)対策 ← 水防法

- 最大クラス(レベル2)の高潮の浸水予測シミュレーション
- 最大クラス(レベル2)での避難・早期復旧態勢の整備(減災、高潮のモニタリング・予測・特別高潮警戒水位情報の発信、避難体制の整備(浸水が広域、暴風来襲前の避難が必要))  
=> 広域避難・垂直避難、救援物資、インフラ、医療、排水設備、仮設
- (L2にも)粘り強い構造物の開発(三面張りの発展形)
- (打ち上げを除く)高潮偏差分の天端高の確保

気候変動が想定(原則RCP2.6)を超えた場合、最大クラス対応を援用しながら、新たな社会の合意を図る

# 今後の防災・減災の方向性

