

初年次セミナー／市民工学概論 2017年4月14日2限@LR302

# フロンティアとしての海洋, まもるべき海岸

市民工学科 内山雄介

自己紹介

内山雄介

本題に入る前に . . .

$$24,000/1,200,000 \\ = 1/50$$

1.  $3 \times 5 \times 8 \times 4 = 480$

$$550,000/480 = 1,150 \dots (1)$$

2.  $55 + 110 = 165 [ \times 10^4 ]$

$$1,650,000/480 = 3,440 \dots (2)$$

3.  $55 + 110 + 250 = 415 [ \times 10^4 ]$

$$4,150,000/480 = 8,650 \dots (3)$$

# コミュニケーションカード

- 講義を聴いて、「市民工学」と「海洋・海岸」の関係について、初めて知ったこと、あるいは特に興味を持った事例などを3点（以上）挙げて、それぞれに対する意見やコメントを書いて下さい。
- 最後に、この授業に対する感想を自由に記述して下さい（否定的な感想でも減点などはしませんので正直にどうぞ）。

# 講義資料について

- WebからのDL配布のみとします。  
<http://coast.dce.kobe-u.ac.jp/?Classes>
- あるいは「神戸大, 内山」で検索, 研究室HP→「Classes」タブでアクセス可能.
- 資料PDFの解答パスワードは,  
「[gairon17](#)」です.

# 市民工学と「海岸・海洋」

- 土質力学 : 地盤工学, 斜面安定
- 構造力学 : 鋼構造, コンクリート構造
- 土木計画学 : 交通, 都市, 土木経済
- 水理学 : 河川, 水文, **海岸**

## **海岸工学**とは？

- そもそもは : 海岸侵食, 港湾・航路
- 沿岸防災 (津波, 高潮), 沿岸・海洋環境, 海洋開発・利用・保全

# フロンティアとしての海洋

特記なき場合、出典は「国土交通」Vo. 118 (2012-2013)

# 日本の海洋をめぐる状況



- 領海 (含内水)
- 接続水域
- 排他的経済水域 (同水域には接続水域も含まれる)
- メタンハイドレートを含む地層が分布する海域
- 石油・天然ガス賦存ポテンシャルの高いエリア (堆積料 2,000m 以上の堆積盆)
- コバルト・リッチ・クラスト
- 日本周辺の主要な海底熱水鉱床分布図
- 国連大陸棚限界委員会の勧告 (平成 24 年 4 月) にて認められた大陸棚 (約 31万 km<sup>2</sup>)

※内閣官房、資源エネルギー庁資料を参考に作成。  
ただし、図に示された位置はおおよそのものである。

## 日本の国土面積

38万km<sup>3</sup> (世界61位)

領海 12海里 (22 km)

排他的経済水域 (EEZ)  
200海里 (370 km)

## 領海とEEZの合計

447万km<sup>3</sup> (世界6位)

# 各国のEEZ (+領土) の広さを視覚化すると

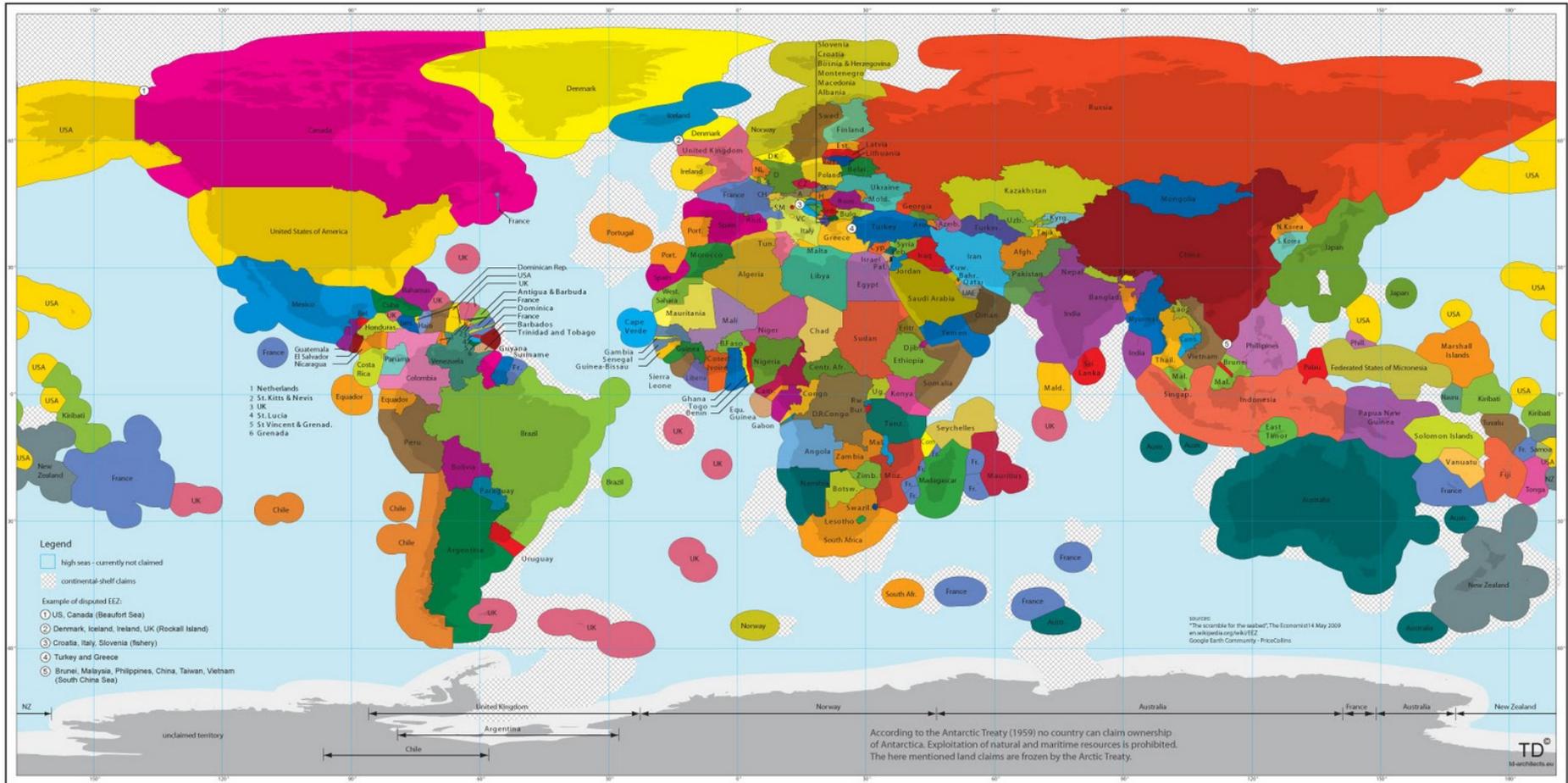
## Exclusive Economic Zone

Text and Graphics Theo Deutinger

No matter the economical situation, natural resources are hot. Since many of the easy accessible resources on the main land are exhausted more and more afford is done for off-shore exploitation.  
Today a countries marine economic area is defined by its Exclusive Economic Zone (EEZ), a 200 nautical miles (370 km) wide offset from the countries national coast line. This regulation, which was installed by the "UN Convention on the Law of the Sea" in

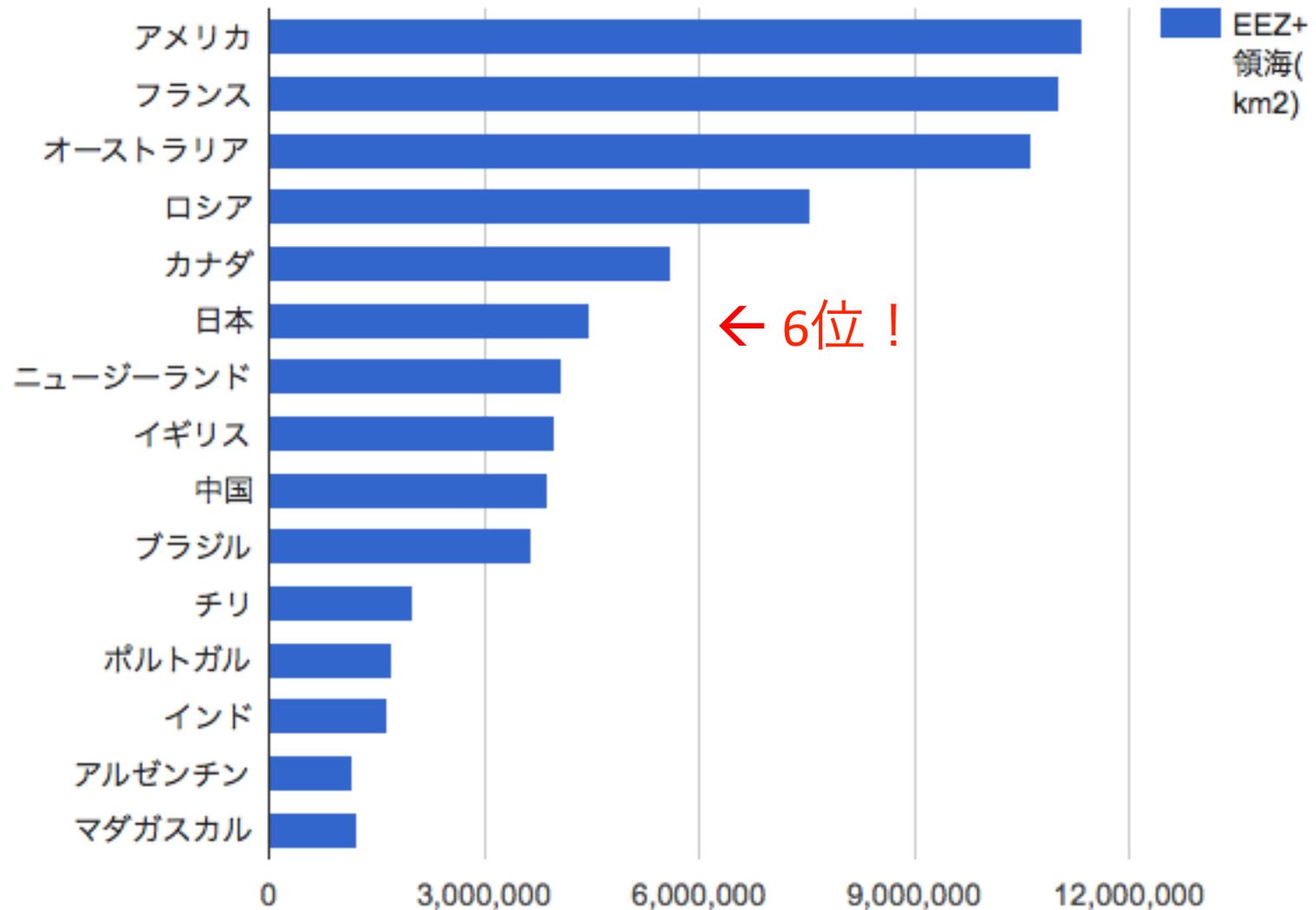
1982 grants a state special rights to explore natural (e.g. oil) and marine (e.g. fish) resources, including scientific research and energy production (e.g. wind-parks). Practically this means that if a country owns a minuscule rock somewhere in the ocean, this rocks exploitable surface increases from almost zero on-shore to 430.000km<sup>2</sup> off-shores. In the case EEZ's overlap, it is up to the involved states to delineate the actual boundary; a rule which led in certain case to

decennia's of dispute. Yet there is more under water land to claim and more squabbles ahead, since the 200 nautical miles definition got supplemented by a clause which allows its expansion till the continental shelf. This first deadline for this so called 'continental shelf submissions' passed this year May and land (seabed) allocation will start soon. If underwater land grabbing goes on like this the 'Freedom of the Seas' might soon shrink to the 'Freedom of the Ponds'.

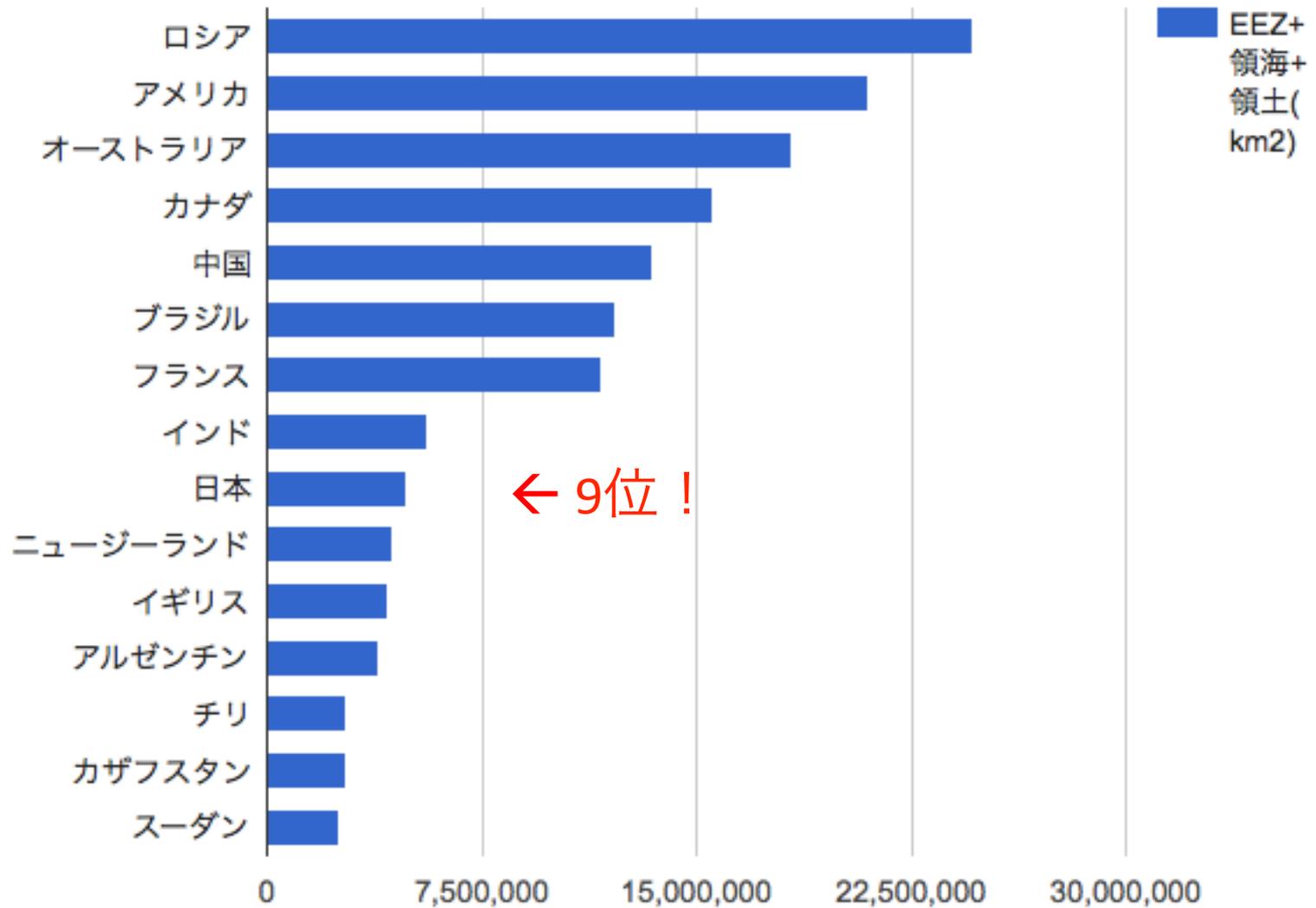


図面：Theo Deutinger作成

# 領海とEEZの合計面積ランキング



# 領海 + EEZ + 領土の合計面積ランキング



# 海洋開発・利用・保全に対する市民工学の役割

## ①海洋の活動を促進するための基本的施策の強化

海洋調査の推進

海洋情報の一元化

管轄海域の確保

海上保安業務の執行体制の強化

海洋の開発・利用・保全のための管理のあり方

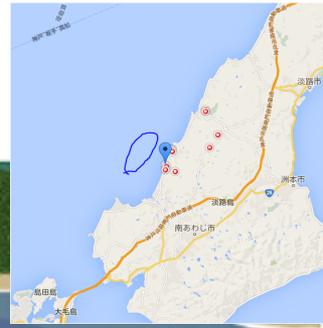
## ②フロンティアへの挑戦

- ・海洋再生可能エネルギーの開発
- ・海事産業における最先端の技術開発
- ・資源開発などに向けた戦略的展開
- ・北極海航路
- ・ニュービジネスの可能性の追求

## ③経済発展・生活安定の基盤の強化

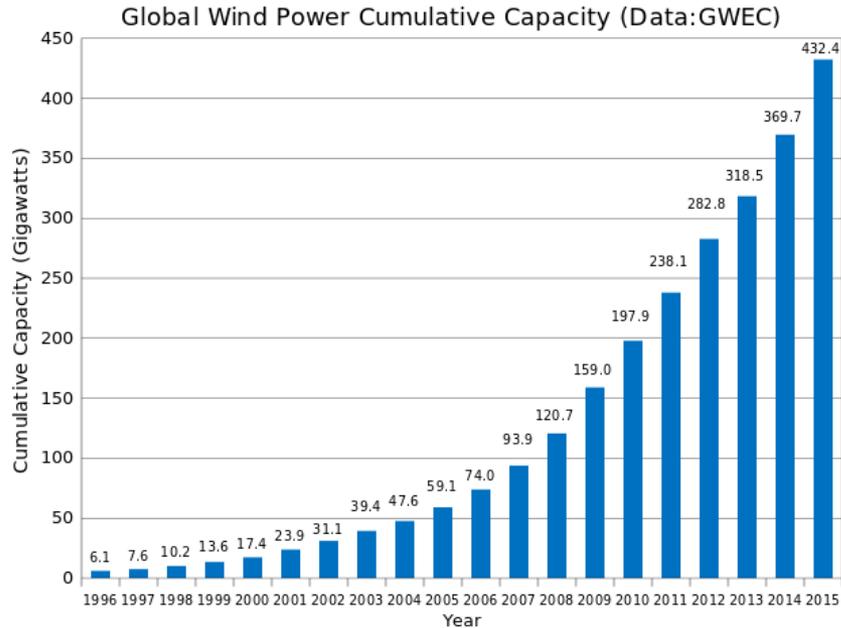
- ・離島の振興
- ・海上輸送の確保
- ・海洋由来の自然災害への対応
- ・海洋環境の保全
- ・海洋観光の振興

# 洋上風力発電



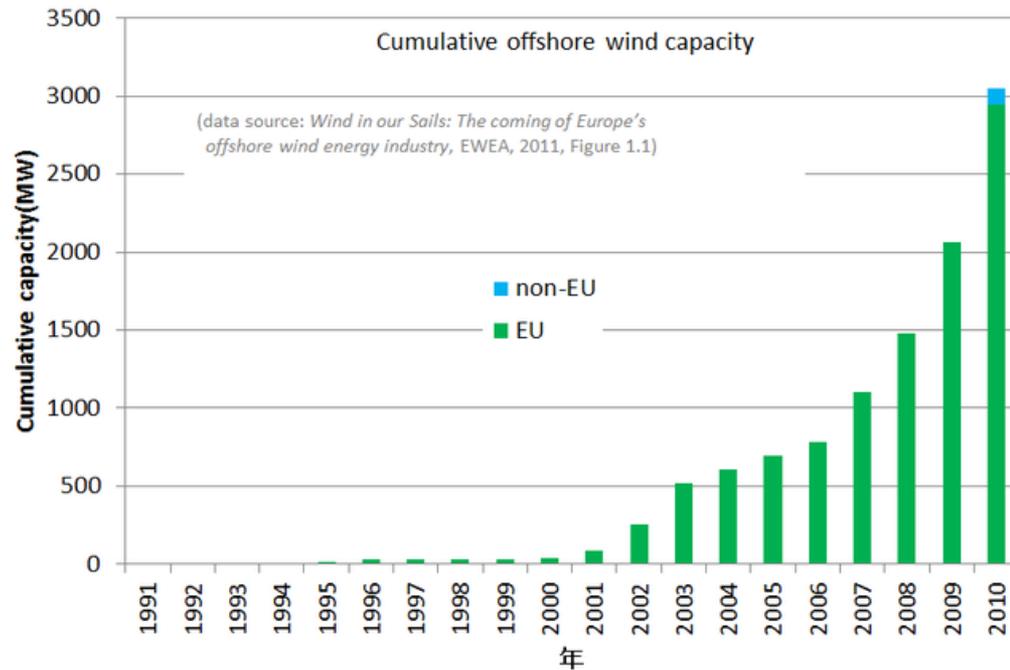
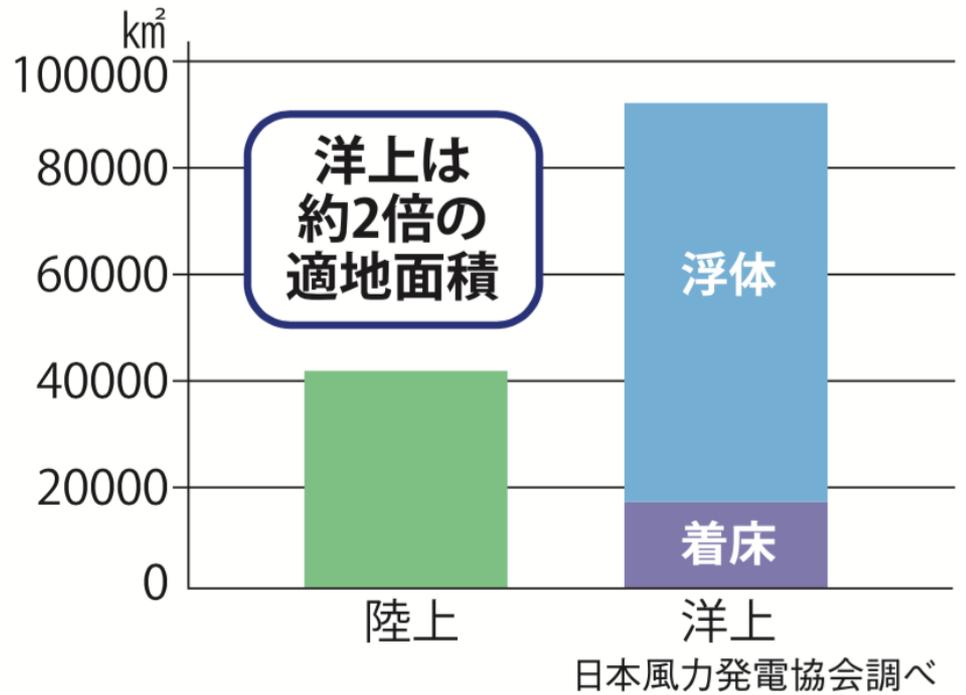
瀬戸内海で初の洋上風力発電ファーム誕生か。自然電力株式会社などが淡路島西岸沖で、発電所適地調査に乗り出す。最大20基建設案も  
(RIEF, 2016年3月28日)

## 風力発電適地面積の割合→

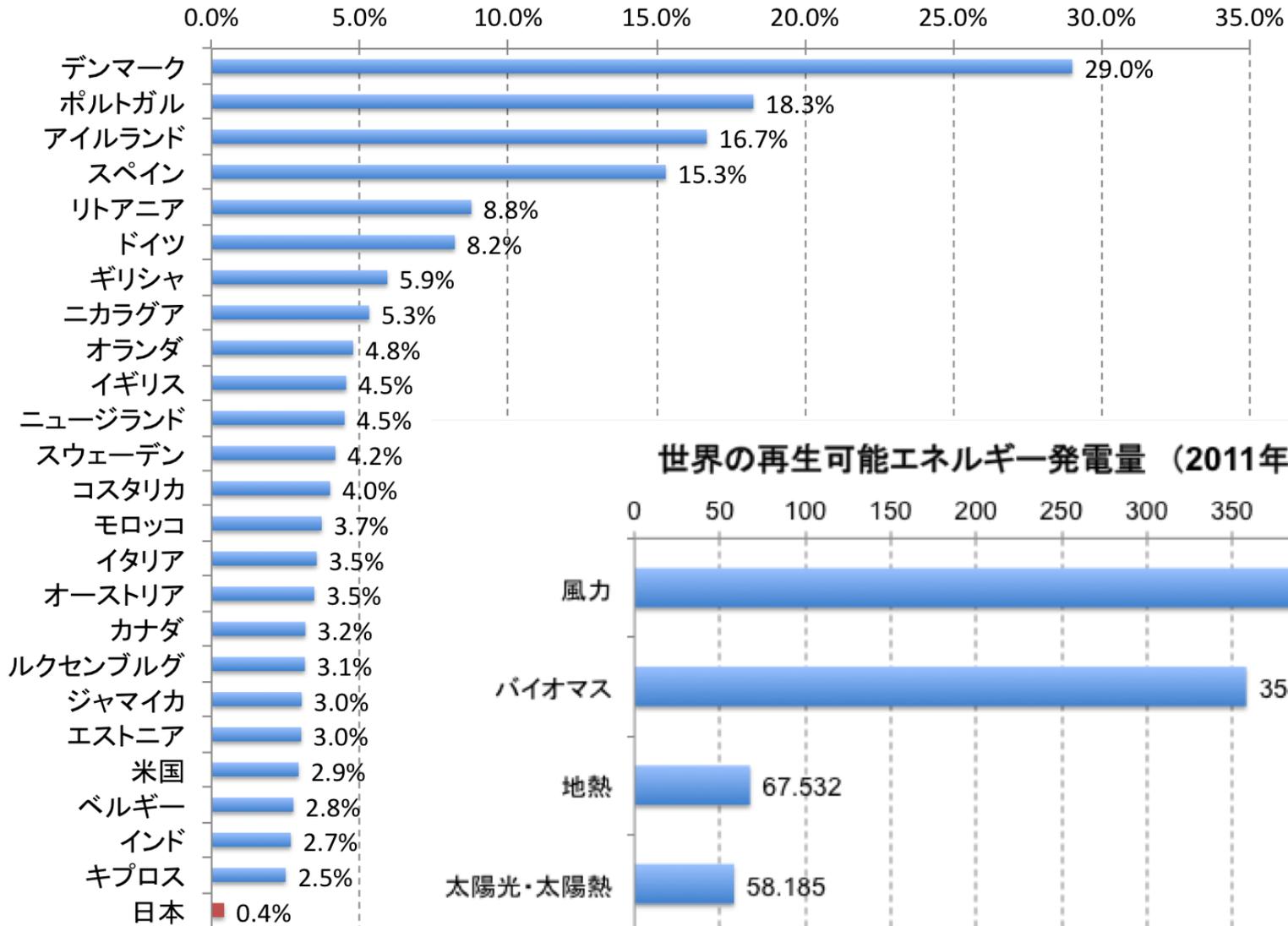


世界の風力発電の累計導入量  
(1996-2015年, wikipediaより)

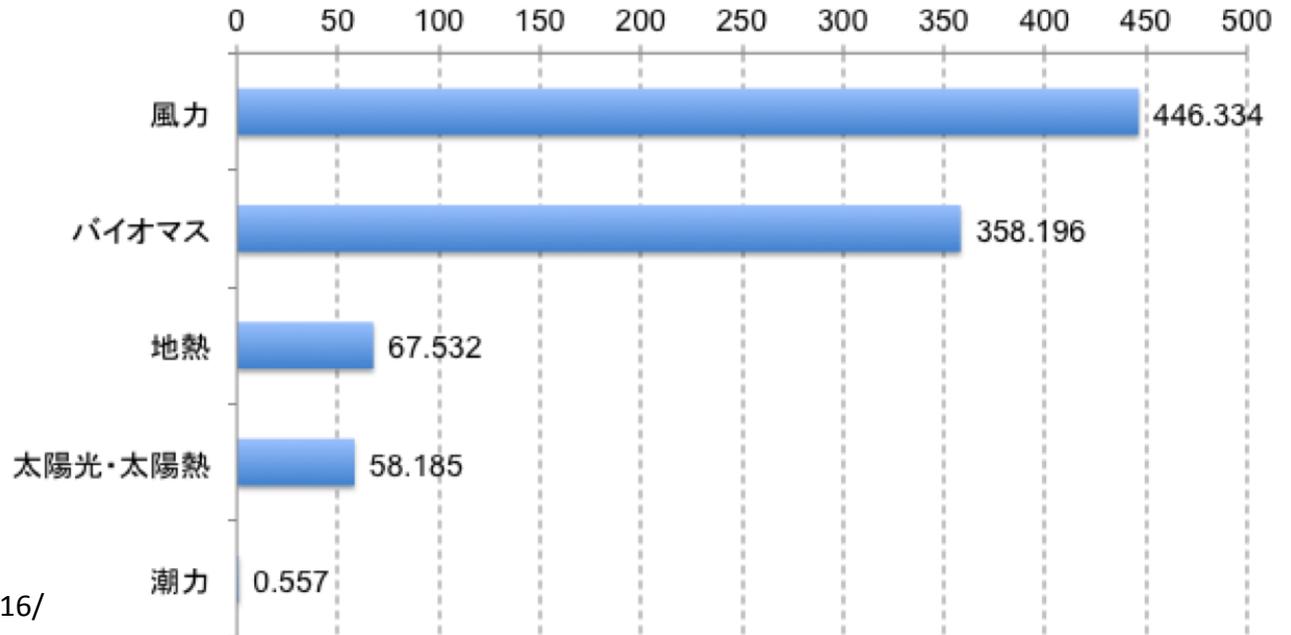
洋上風力発電の累積設備容量  
推移 (wikipediaより) →



## 風力発電シェアの高い国



## 世界の再生可能エネルギー発電量 (2011年)



# 着床式洋上風力発電（茨城県鹿島港）

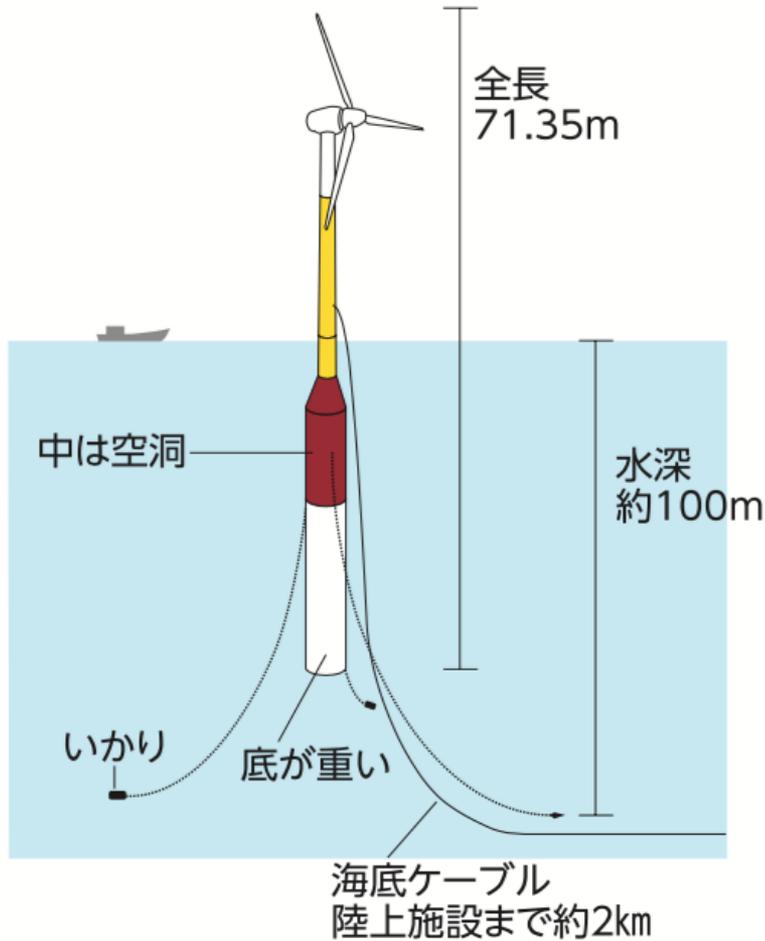


約680haを「再生可能エネルギー源を利活用する区域」に指定.



護岸から50m沖側に7基設置済み

# 浮体式洋上風力発電（長崎県五島栴島）

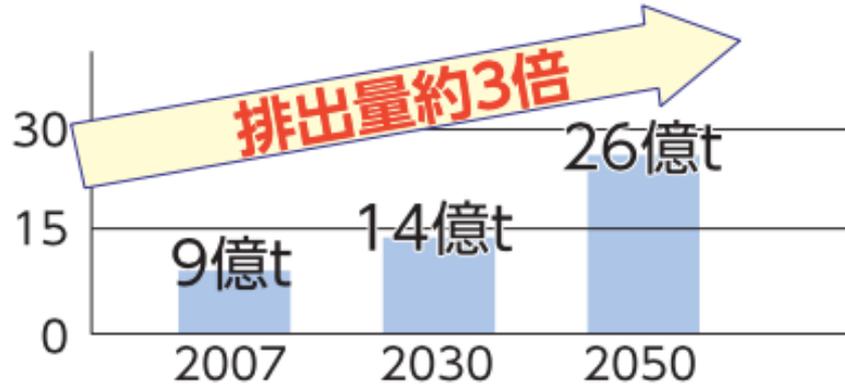


環境省浮体式洋上風力発電検証事業として2010年より稼働。現在は2000kW風車による検証実験中。

写真: [http://www.city.goto.nagasaki.jp/contents/sightseeing/column\\_detail.php?column\\_id=96](http://www.city.goto.nagasaki.jp/contents/sightseeing/column_detail.php?column_id=96)

# 低炭素社会に向けて（海運）

国際海運からのCO<sub>2</sub>排出量予測(億t)



国連のIMO（国際海事機関）において日本は世界有数の海運・造船国として海運が排出するCO<sub>2</sub>削減を主導。

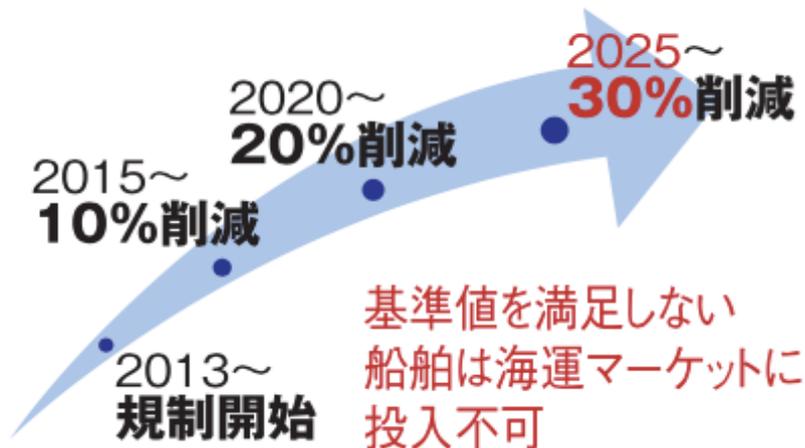
マルポール条約（2011）により2013年以降の新造船は一定の燃費基準に適合しなくてはならなくなった。

日本は世界に先駆けて2025年までに30%の削減目標。

燃料：重油から天然ガスへ。  
→ その他の技術??

## 新造船のCO<sub>2</sub>排出規制

2013年から新造船に燃費基準適合を義務付け、基準は段階的に強化

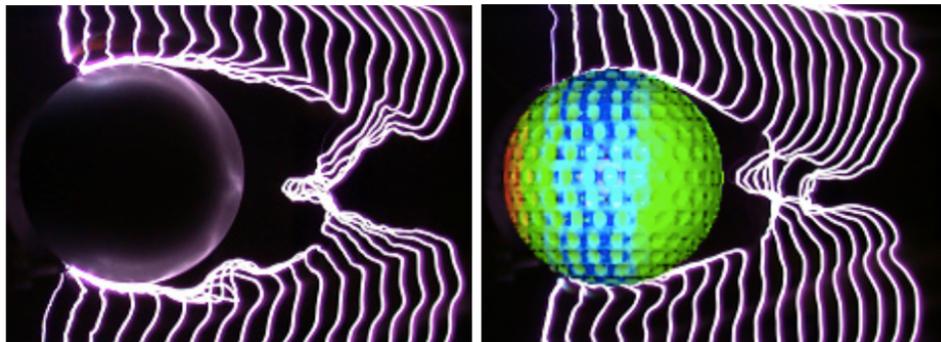
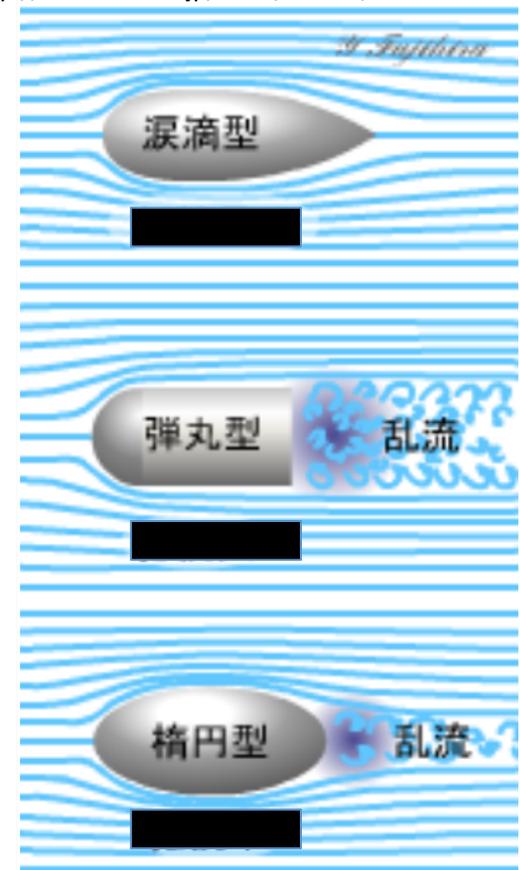


# 船舶工学的アプローチ：抵抗の低減



## 流体抵抗

<http://www.kiesinc.jp/swim/stream/suiei1.htm>



(a) Smooth

(b) Type A

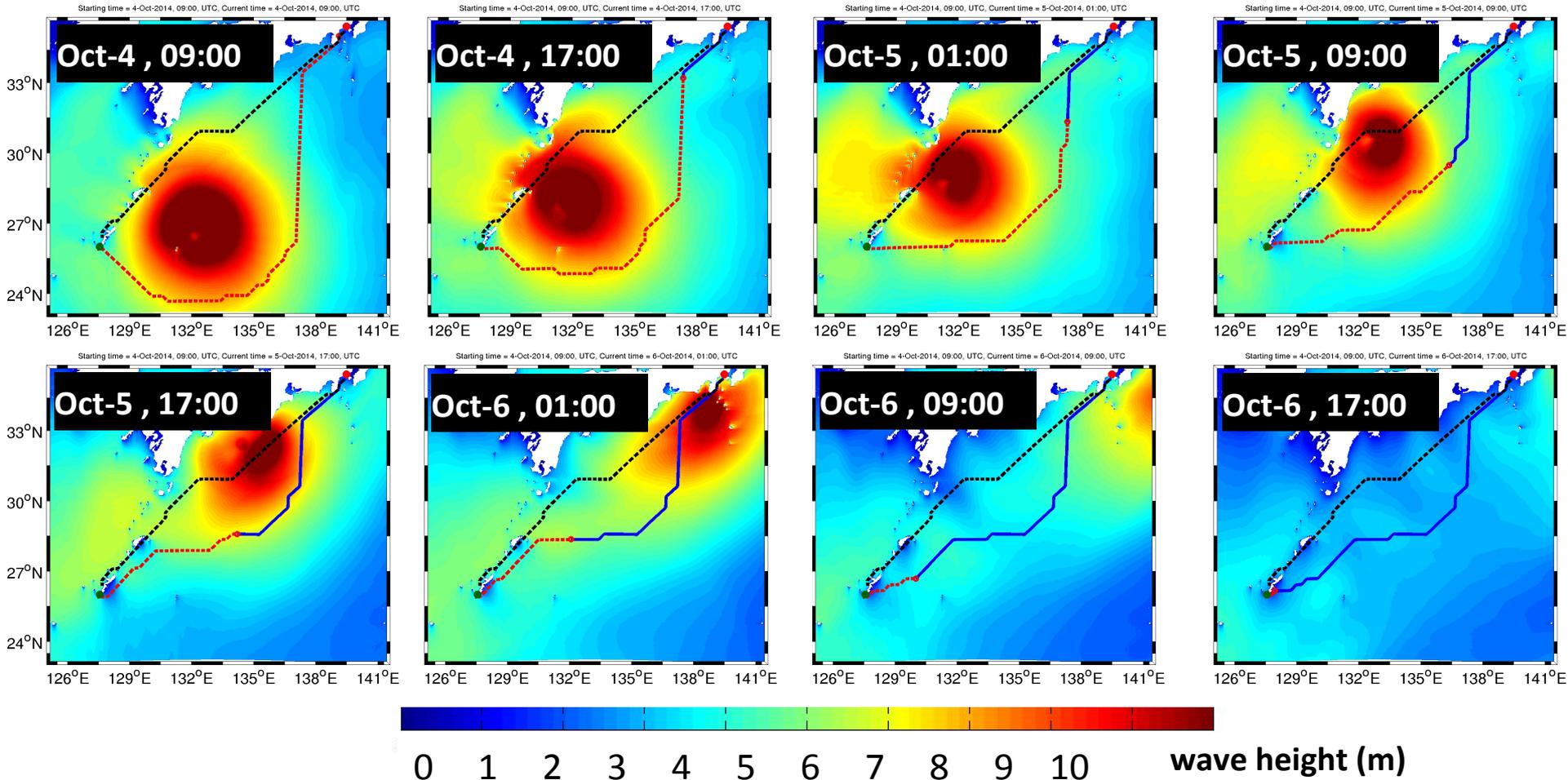
-1800 [Pa] 1300 [Pa]

← ゴルフボールのディンプル  
武藤ら (2008) より引用

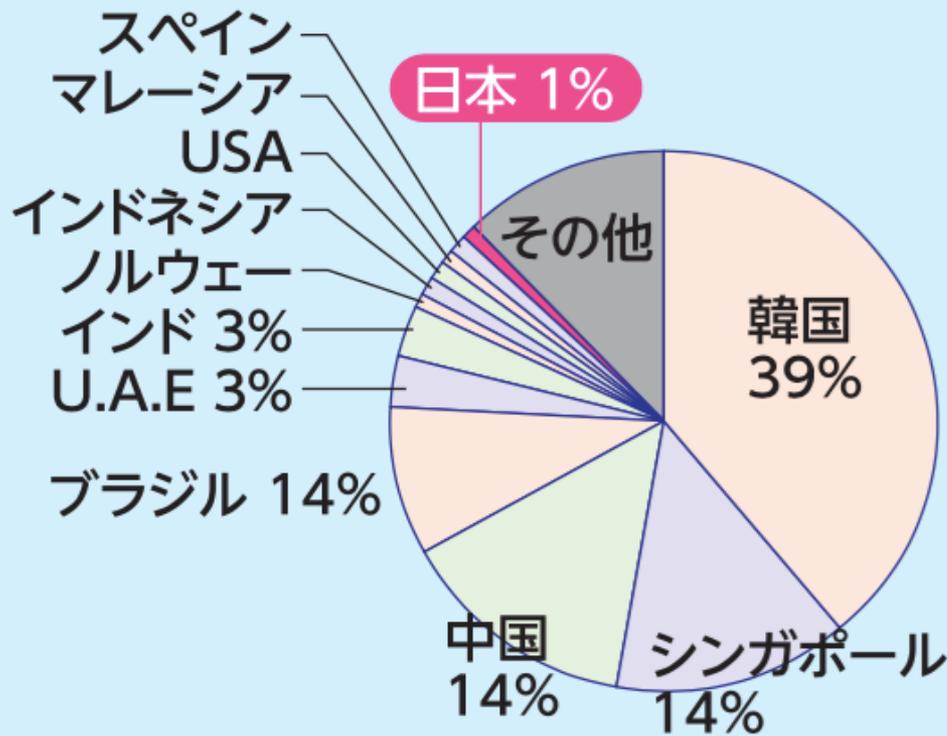
# 船舶の最適航路問題 (weather routing)

## 外航船航路における低燃費かつ台風を回避する経路探索結果

—— 台風を回避して移動した航路    - - - - リルーティングによる予測航路    - - - - 台風を回避せずに移動した航路



# EEZの開発～海洋国家日本のプレゼンス



海洋構造物手持ち工事量のシェア  
(金額ベース, 2019, Clarkson) 総計:13.8兆円

エネルギー需要の高まり  
海底の原油, 天然ガス開発

海洋開発に必要なもの  
海上生産プラント, 掘削船  
など

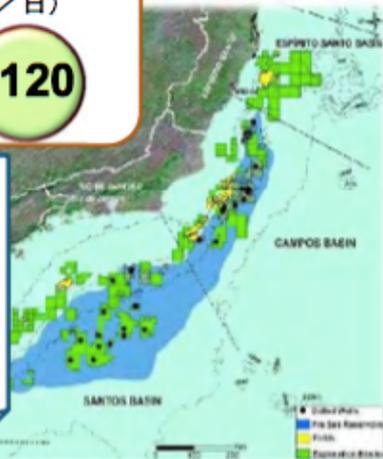
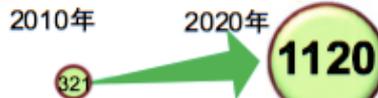
躍進する韓国, シンガポ  
ール, 中国, ブラジルなど.

日本のシェアはわずか1%

# EEZの開発～2020年に向けた各国の取り組み

## ブラジル

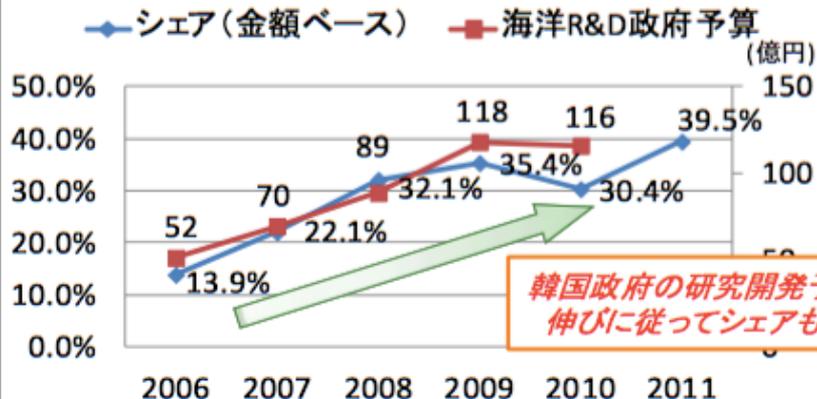
ブラジルでの天然ガス生産量  
(千原油換算バレル/日)



- ブラジル沖合には石油、天然ガス等の莫大な埋蔵が確認。
- 2017年頃より洋上掘削施設・生産設備を発注開始。2020年までに各々50隻建造予定。

## 韓国

韓国のオフショア船舶シェアとR&D予算の推移

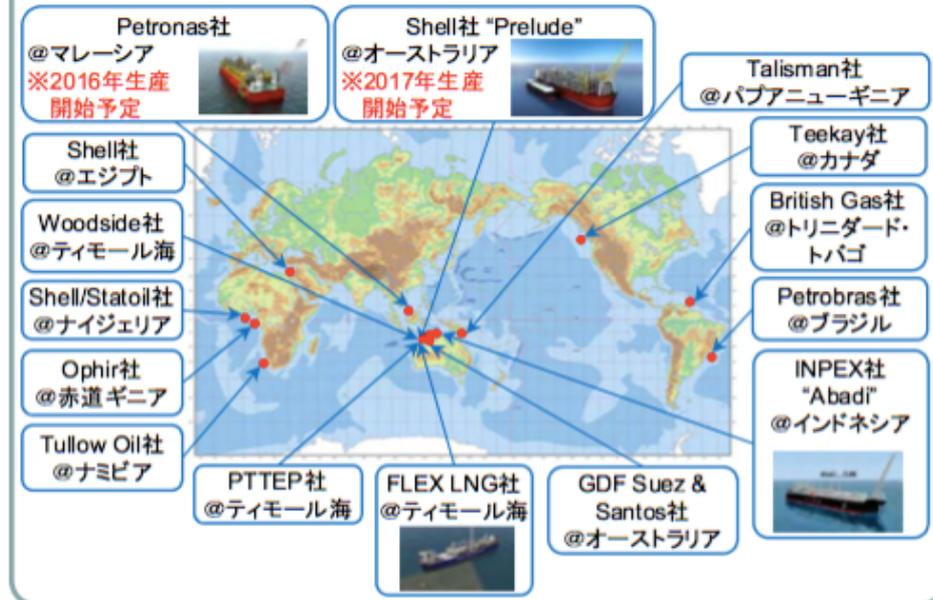


韓国政府の研究開発予算の伸びに従ってシェアも拡大

## FLNG

○2018年頃から世界各地でFLNGの導入が本格化の見込

### 洋上LNGプラントのプロジェクト例



※FLNG: 浮体式LNG生産貯蔵積出設備

さらに、2020年に8兆円規模の受注目標達成に向け、船舶技術開発などの海洋産業の振興・海洋開発のために、3.2兆ウォン(約2200億円)の国費を投入。

## 中国

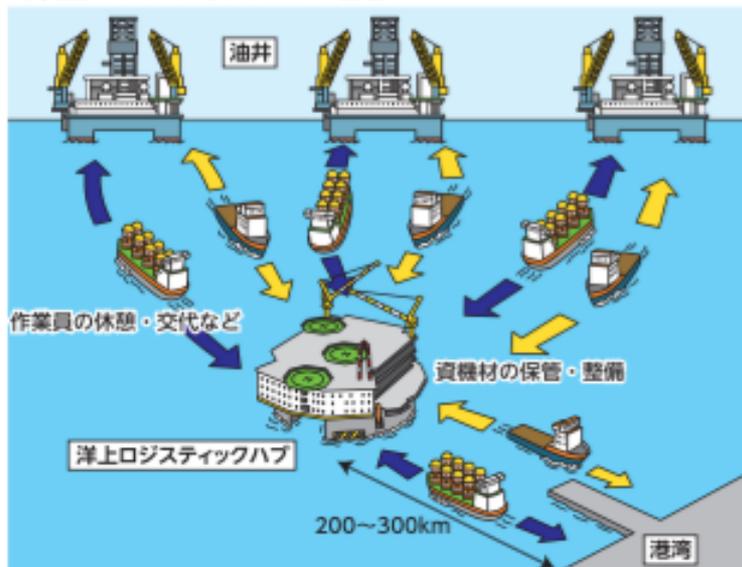
2020年までに海洋分野での売上高6兆円、国産化率50%を目指す政府目標を発表。

## 日本の強みを活かせる 新分野への進出支援

～洋上中継施設の実現を目指す～

海洋資源開発は、今後、陸地から遠く離れた沖合で進行していくことが見込まれます。洋上の生産設備に人や物資を効率的に輸送するために必要となる「洋上ロジスティックハブ」の建造実現に向けた技術的課題を解決するために調査を行い、安全評価基準の策定を計画しています。日本企業の持つ、洋上石油備蓄基地などの浮体構造物技術の高さを活かし、世界進出を目指します。

### 洋上ロジスティックハブ(例)



## 基盤となる技術力の向上

～次世代の技術を開発し、世界へ～

洋上で天然ガスを生産する浮体式の生産設備(FLNG)の導入が本格化すると見込まれます。日本の海事産業が強みを持つ造船技術を活かし、FLNGに活用できる技術を中心に技術開発を支援します。

### FLNG(例)



## 生産基盤の強化

～土台を固め競争力の向上～

FLNGなどの大型海洋構造物を安全で効率的に建造する手法についての調査を実施します。生産基盤を強化することで国際競争力強化を図ります。

# メガフロートの可能性

メガフロート：超大型浮体式構造物, 巨大人工浮島



← 清水港の海釣り公園として使われていたメガフロート（写真：静岡市）



↑ 三重県南伊勢町にある「マリンパークくまの灘」のメガフロート。実証実験に使った際の滑走路の表示が残っている（写真：日本造船技術センター）



← 兵庫県南あわじ市の「うずしおメガフロート海釣り公園」にあるメガフロート。長さ150mの栈橋の先に係留されている（写真：名執一雄）

# 羽田空港沖合展開 (D滑走路)



横須賀市沖に浮かべた全長1kmのメガフロートの滑走路。実験は2001年3月まで続いた（写真：国土交通省）

工法	概念図	海上空港の主な実績
埋立法	<p>・地盤改良した後に、外周護岸（ケーソン、傾斜堤等）を築造し、埋立材を投入する方式である。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長崎空港</li> <li>・関西国際空港</li> <li>・中部国際空港</li> <li>・新北九州空港</li> </ul> <p><b>埋立法</b></p>
人工島の建設工法	<p>・基礎杭を打設し、上部に梁を設け、更にその上に床版を設けた方式である。（図のジャケット形式の地、斜杭形式等もある。）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ラガーディア空港（米国：滑走路の一部）</li> <li>・マディラ空港（ポルトガル：滑走路の一部）</li> <li>・マカオ国際空港（中国：誘導路）</li> </ul> <p><b>架橋工法</b></p>
浮体工法	<p>・係留施設（ドルフィン等）を設け、工場製作した浮体（ポンツーン）を係留する方式である。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実績なし（実証試験：横須賀メガフロート）</li> </ul> <p><b>浮体工法</b></p>

- 米空母艦載機NLP訓練代替施設（岩国飛行場沖合拡張案）
- 普天間飛行場代替地

# 羽田空港沖合展開 (D滑走路) : 棧橋工法



鹿島建設HPより



東京空港整備事務所HPより

延長1,100m, 最大幅員524m延べ約52万 $m^2$ 。GPSによるIT施工で長さ約90m, 杭径1.6m, 約1,170本の鋼管杭を海底下約70mの支持地盤に打設。その後, 曳航してきた鋼製ジャケットを鋼管杭上に据付ける。ジャケットは全198基, 1基の重さは最大1,600t。

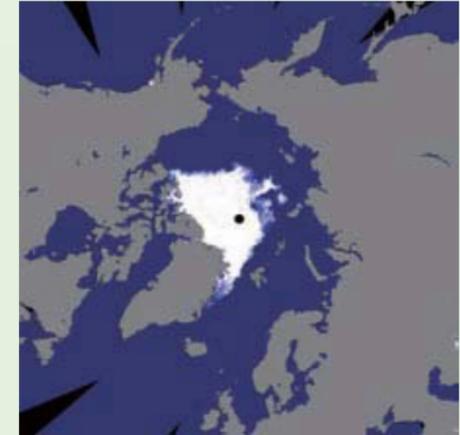
# 北極海航路の開発



北極海の海水分布 出典:JAXA



1980年代の9月最小時期の平均的分布。



2012年9月16日 観測史上最小分布。

現在、日本－欧州間の往来には**南回り航路**（マラッカ海峡，スエズ運河経由）を利用している。横浜からロッテルダムまで21,000 km。ソマリア沖での海賊襲撃リスク。

**北回り航路**：温暖化に伴う北極海海氷面積の縮小により航路として利用できる期間が増加。ただし現在は夏期の4ヶ月間のみ。ロシア砕氷船の先導が必要。低水温のため重油流出時にバクテリアによる分解が遅い。

出典：[http://www.toyo-keizai.co.jp/news/general/2013/post\\_5401.php](http://www.toyo-keizai.co.jp/news/general/2013/post_5401.php)

# 海洋フロンティアの拠点：特定離島

## 南鳥島（日本最東端）

東京から約1,862 km，面積1.51 km<sup>3</sup>（リーフ内），亜熱帯気候（年平均気温26度）



## 沖ノ鳥島（日本最南端）

東京から約1,700 km，面積5.78 km<sup>3</sup>（リーフ内），熱帯気候（年平均気温27度）

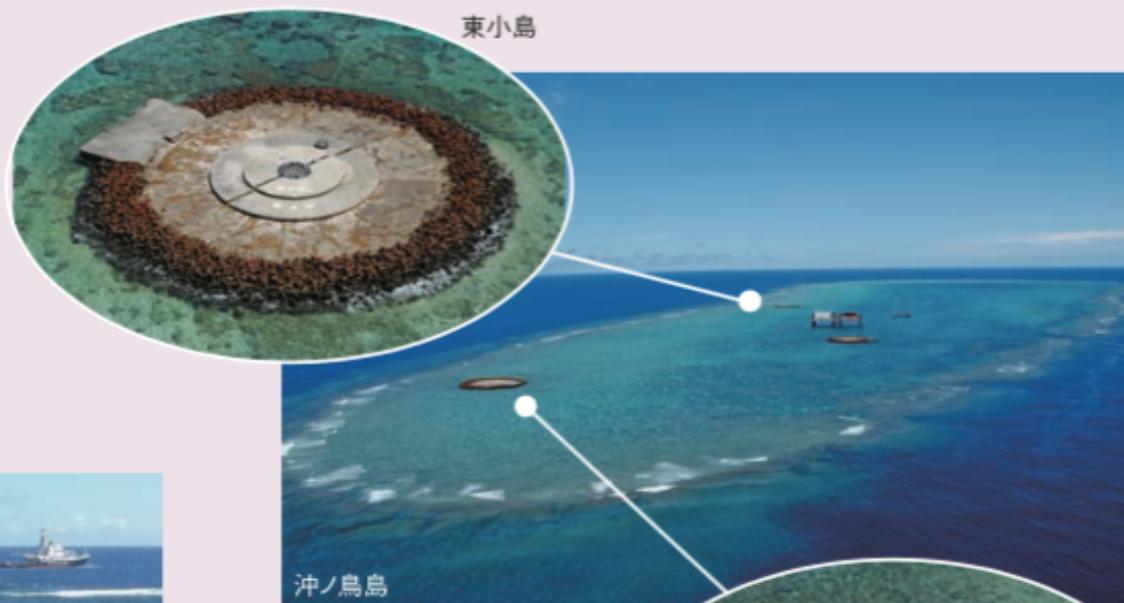


# 沖ノ鳥島

主要の「沖ノ鳥島」を保全—— 関東地方整備局京浜河川事務所



沖ノ鳥島は珊瑚礁により形成されている島です。



島内にある観測施設。気象観測のほか金属の耐久性試験なども行う。



資機材や人員の輸送には、沖合で母船から小型船に積み替える。



破損箇所が無いかを定期的に点検する。

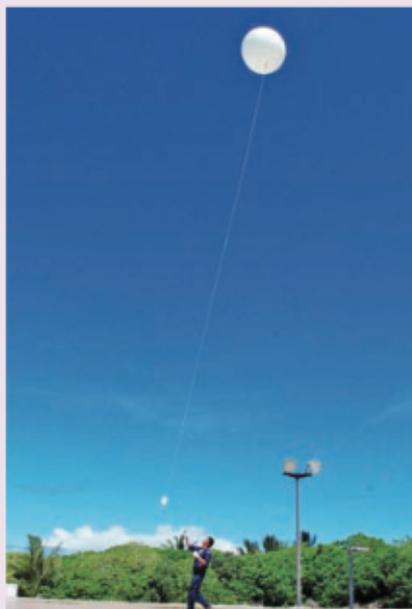
沖ノ鳥島：40万km<sup>2</sup>に及ぶEEZを有する。2月と6月に職員2-3人、作業員約40人が3-4日かけて渡航し、維持管理を行う。



物資や資機材、人員を輸送する自衛隊機 C-130。



C-130輸送機を利用した上空の温室効果ガス観測。地球温暖化の予測精度向上へつなげる。



水素ガスを充填した風船に無線機付き高層気象観測機器を取り付け「放球場」から放つ。



降水・降下じん採取装置の点検を行う。

気象庁職員の派遣期間は約3カ月。自衛隊の協力により、自衛隊輸送機で現地に向かう。航行時間は約4時間。本土との往来は限定されているため、職員は限られた人数、物資で多くの業務にあたる。

南鳥島：1968年に返還。43万km<sup>2</sup>のEEZ。人間活動の影響を受けないため地球環境観測に適している。気象庁から常時10名程度が南鳥島気象観測所に渡り業務を実施。港湾整備中。



海底の浅い部分を掘る浚渫工事。



平成23年3月に完成した、国土交通省南鳥島港湾安全管理所の仮設庁舎(手前の2棟)。



既存の小型船舶用の波止場。

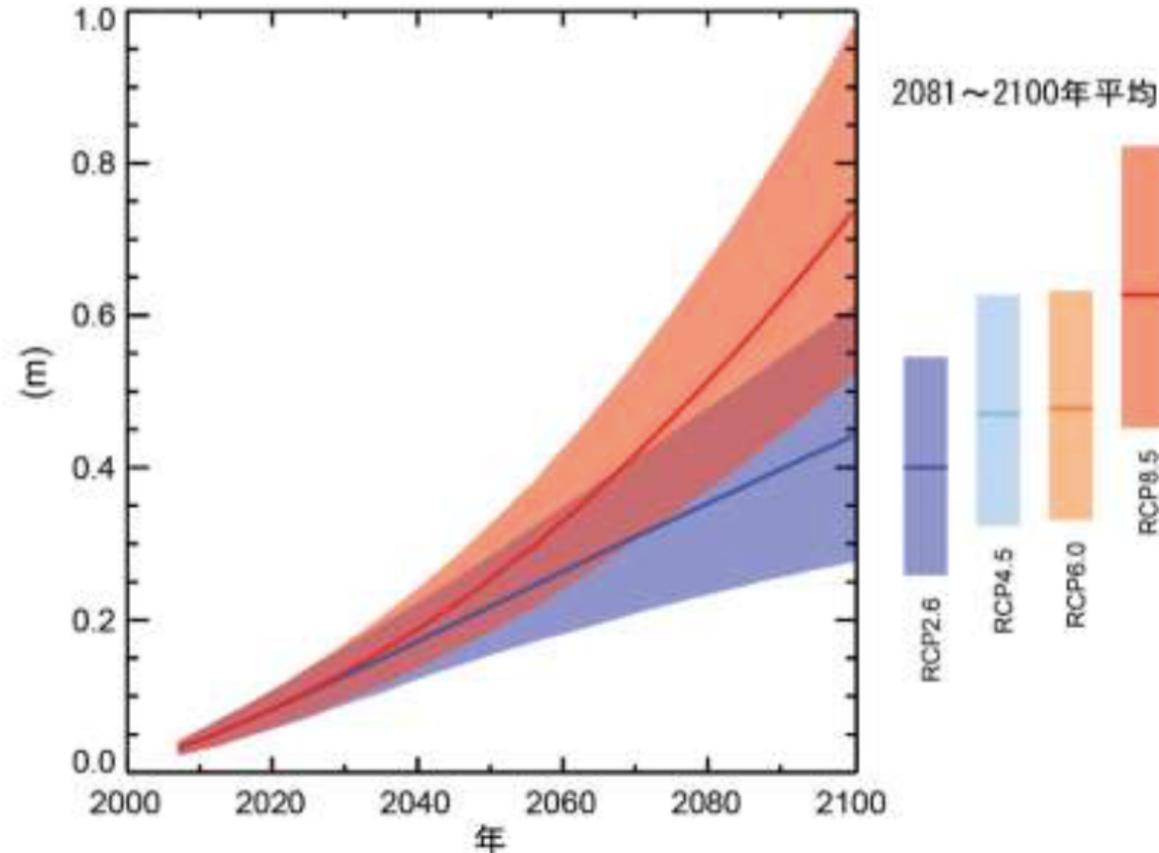


南鳥島

周辺海域海洋資源開発拠点としての港湾を2010年度から整備開始。島の南に長さ160m、水深8mの岸壁。東京港湾事務所から3名の職員が常駐し、**低潮線**の保全を行っている。

まもるべき海岸  
～温暖化の影響～

# 地球温暖化と海岸

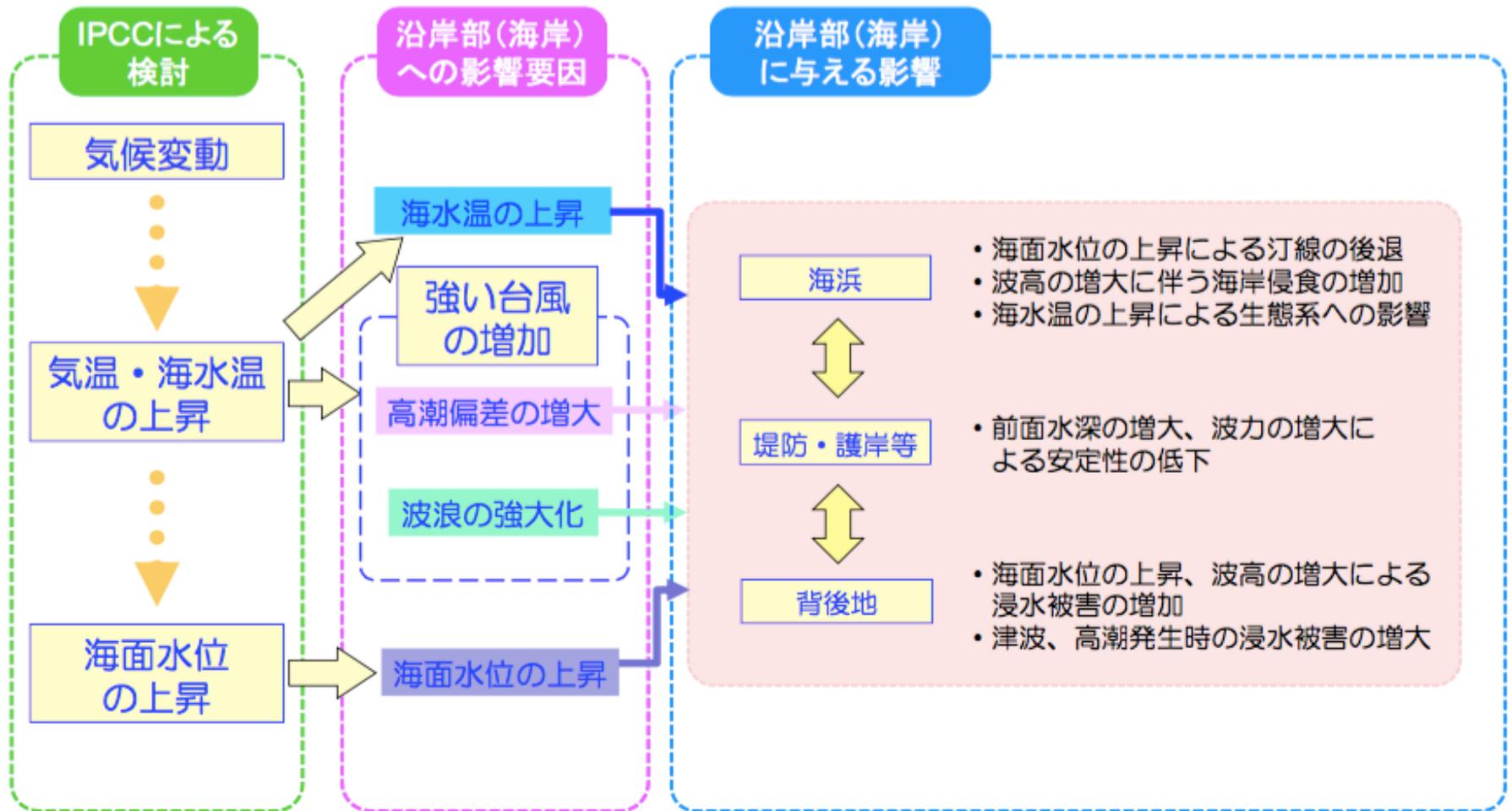


全世界平均海面変動量の予測結果  
(IPCC-AR5, 2013)

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）第5次報告によると、1986~2005年平均を基準とした海面水位は、21世紀中頃で0.17~0.38m、21世紀末には0.26~0.82m程度上昇すると予測されている。

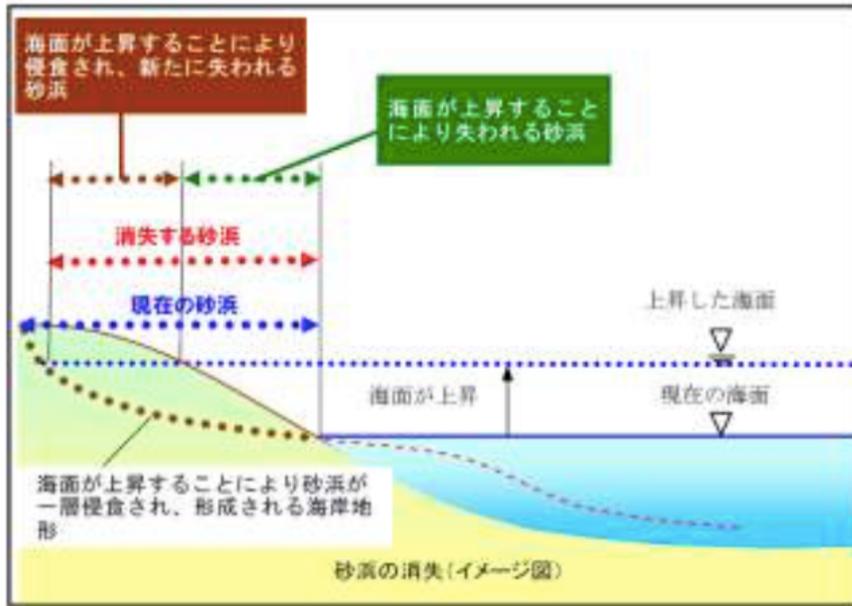
→ 海岸への影響？

# 気候変動に伴う沿岸への影響要因とその影響



IPCC第5次評価報告書によれば、気候変動により「気温・海水温の上昇」、「海面水位の上昇」が予測されている。沿岸部(海岸)においては、それぞれ「強い台風の増加」(すなわち「高潮偏差の増加」、「波浪の増大」)及び「海面水位の上昇」等の影響要因が懸念される。(国土交通省, 2015)

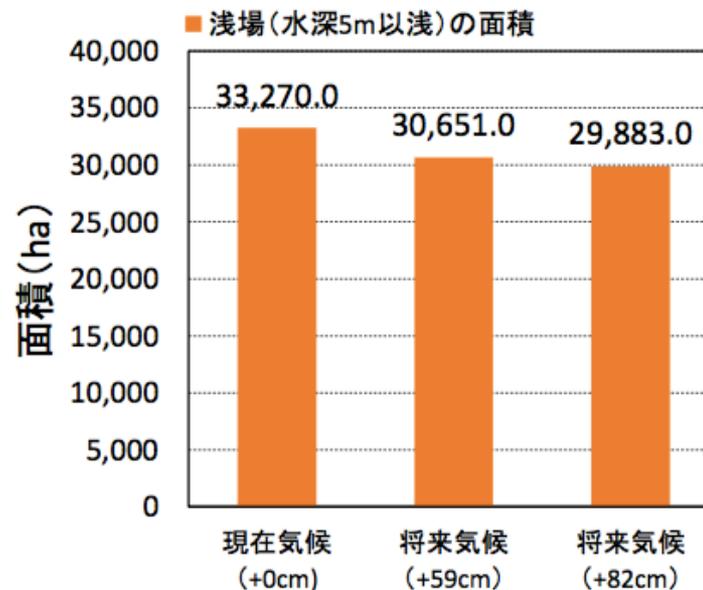
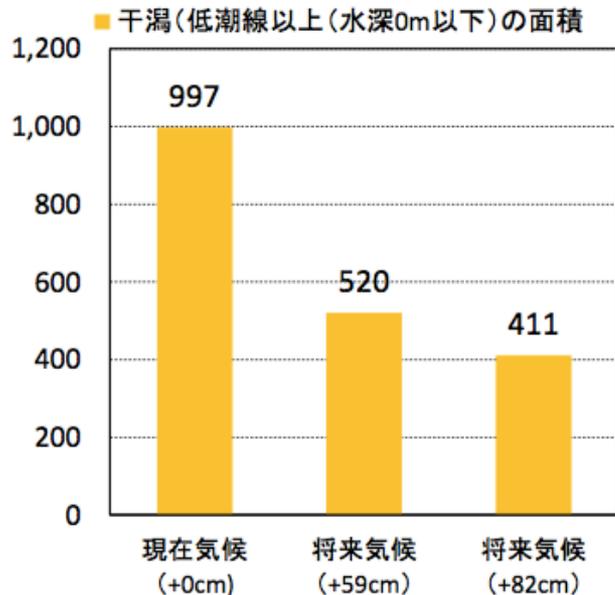
# 温暖化の直接影響～海岸の喪失



## 防護に対する被害

- 水位上昇による汀線の後退, 海岸侵食
- 海岸保全施設に作用する外力や洗掘の増加.
- 海面上昇が生じると, 上昇そのものに加えてそれに伴う海岸侵食の2つの要因によって砂浜が消失する.

← 図面：三村（1993）より

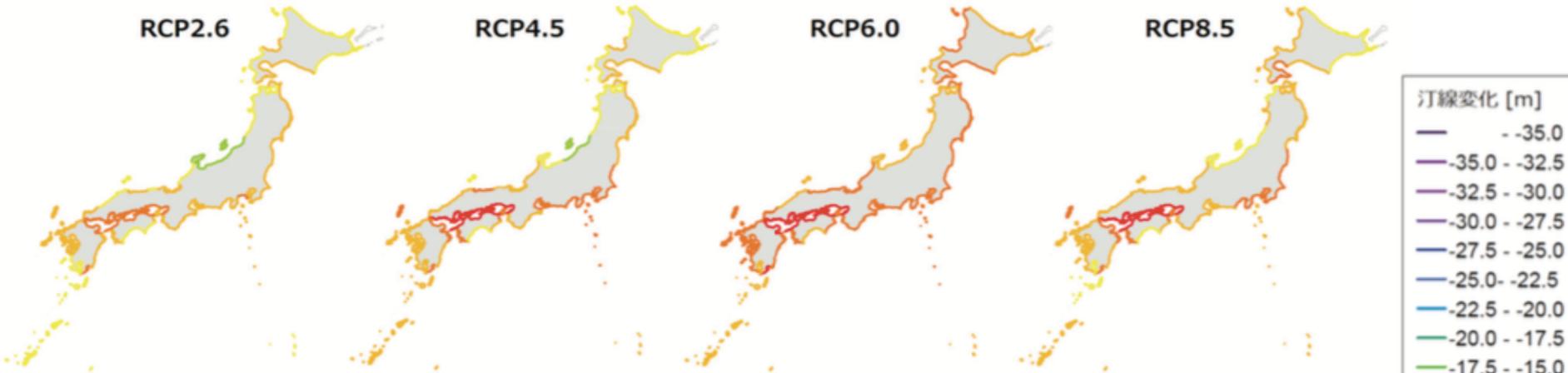


海面水位の上昇による東京湾の干潟・浅場の変化

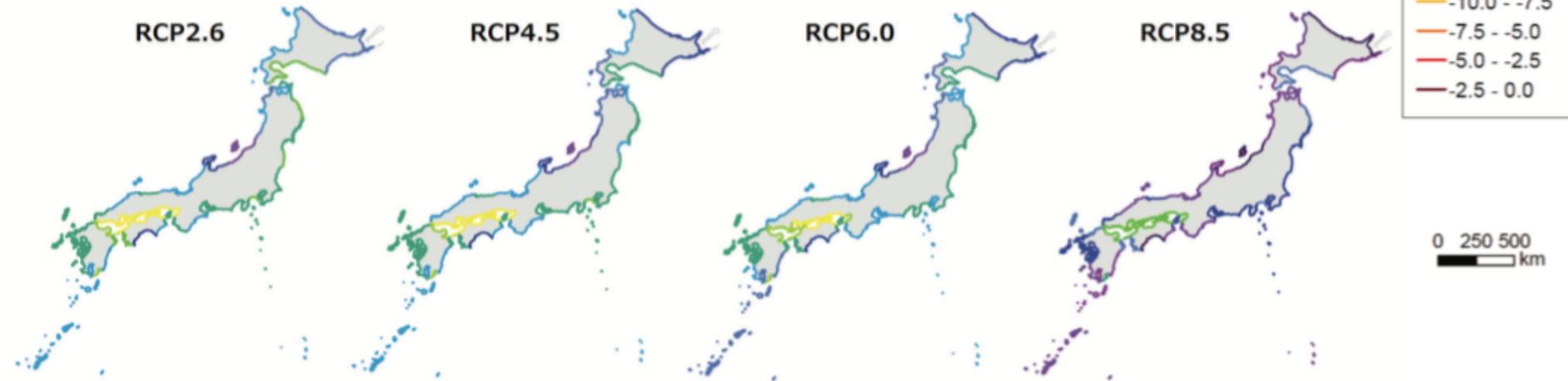
← 出典：第2回沿岸部(港湾)における気候変動の影響及び適応の方向性検討委員会資料

# CMIP5に基づく海浜侵食量の将来予測

近未来 (2031-2050年)

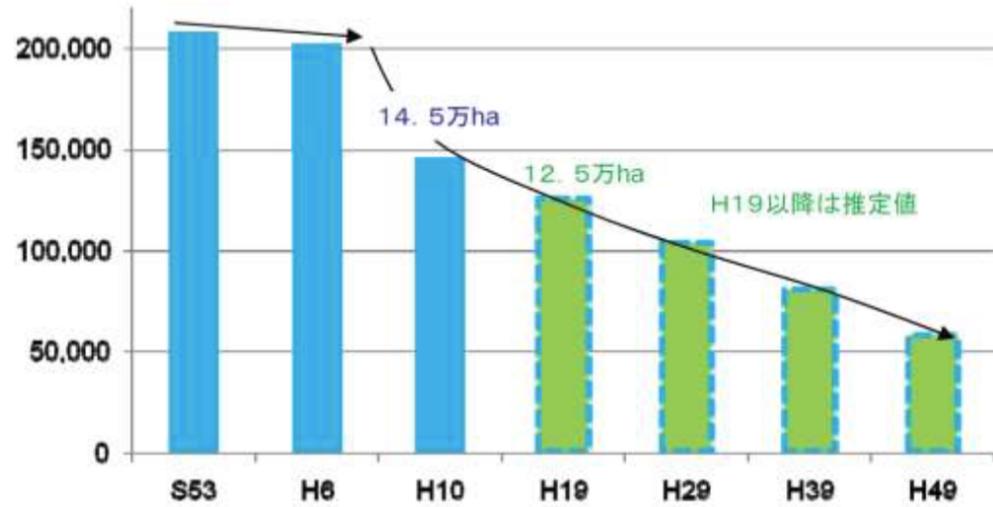
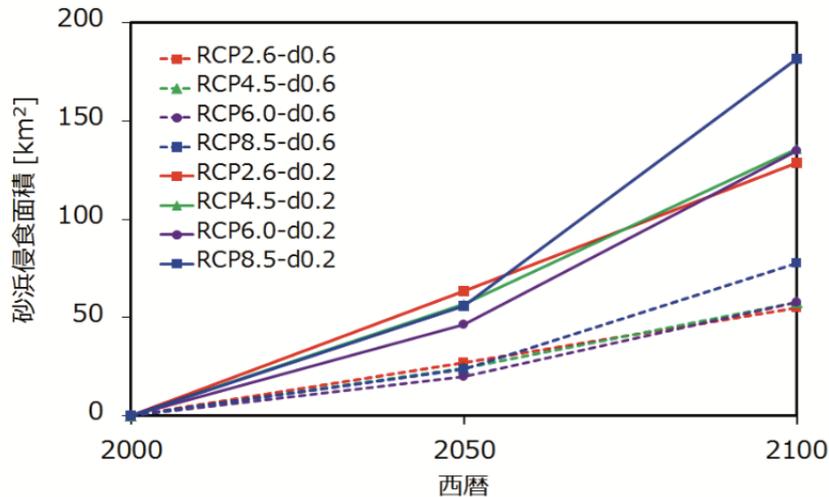


将来 (2081-2100年)



Bruun則による砂浜消失率の予測結果によると、20cmの海面上昇で36%、60cmの海面上昇で83%、80cmの海面上昇で91%の砂浜が消失する（有働ら，2013，2014）

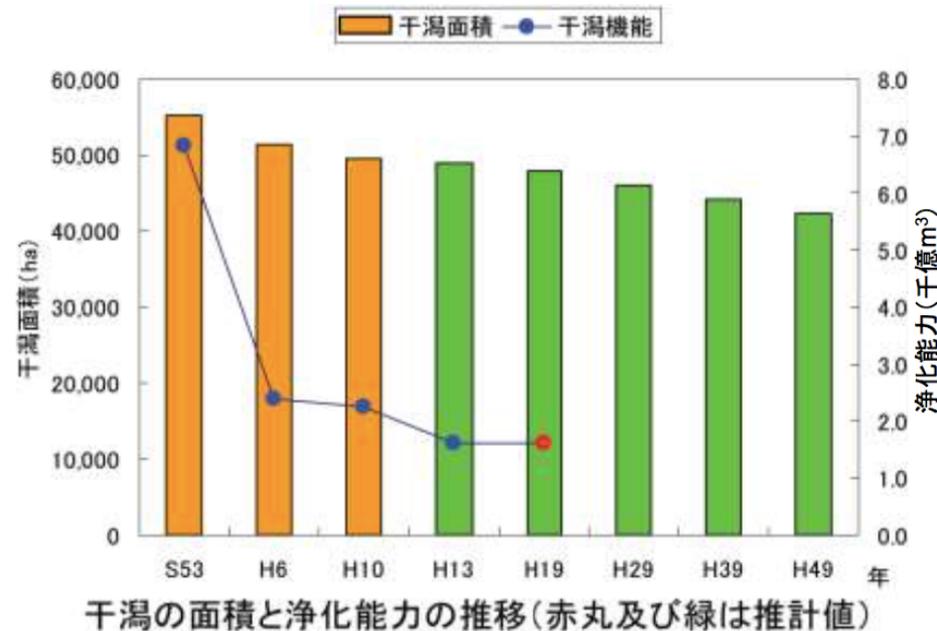
# 海岸環境変化の将来予測



↑ IPCC-AR5各シナリオ時の海面上昇に伴う全国平均海浜侵食面積の予測（有働ら，2013）

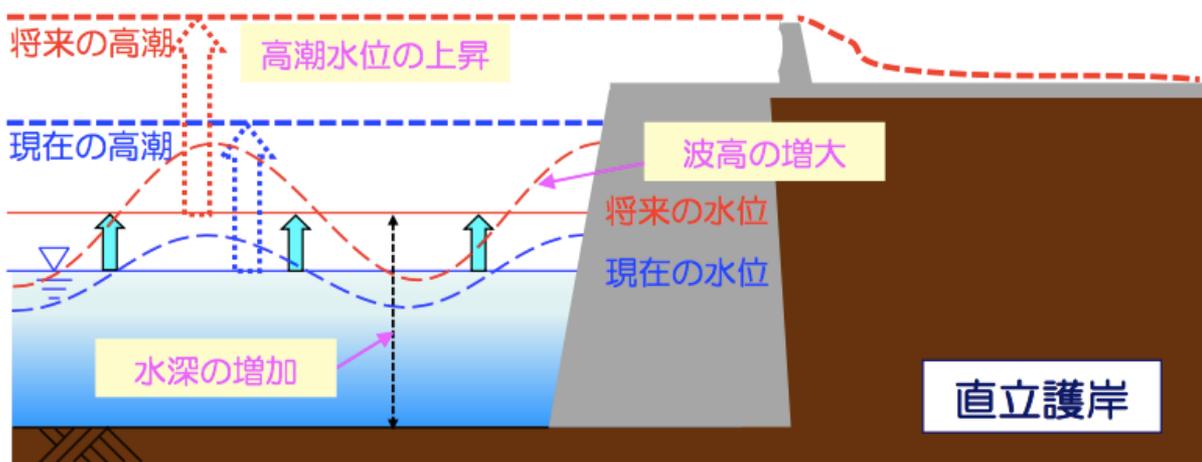
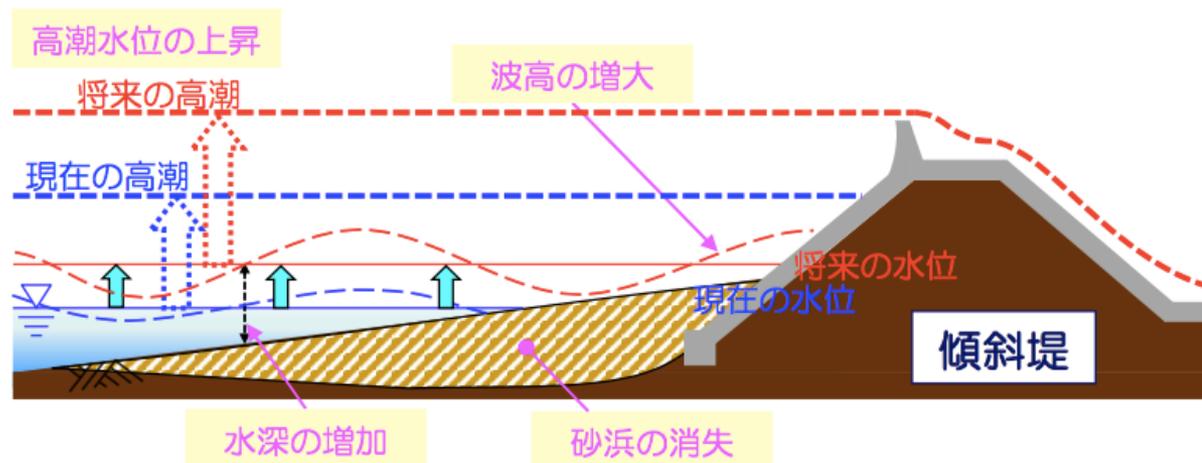
水産庁（2008）による藻場面積（上），干潟面積と浄化能力（下）の推移と予測 →

◆ 水温変化による生態系変化（例えば捕食者の増加→磯焼け）などその原因は複雑。



干潟の面積と浄化能力の推移（赤丸及び緑は推計値）

# 気候変動と想定される海岸構造物への影響



- 海面水位の上昇による堤体前面水位の上昇
- 強い台風増加による高潮水位の上昇
- 強い台風増加による波高の増大
- 汀線の後退による堤防・護岸等への影響

出典：国土交通省資料

## 想定される被害：

- 堤体の滑動，転倒，倒壊・被覆工，上部工の被災
- 越波・越流に伴う洗掘による堤体の被災、破堤
- 汀線の後退による防護機能の低下

# まもるべき海岸 ～巨大災害～

シンポジウム：神戸における自然災害の防止・  
減災を目指して（2016）講演資料より

# 津波とは？

主に地震，火山活動，地滑りなどによる海底地形の急変が引き金となって，圧力を通じて海面が隆起し，それが自由長波として海洋を伝播する現象。

この自由長波は同心円状に広がり，そのうち主に海岸に到達したものが災害を生む。

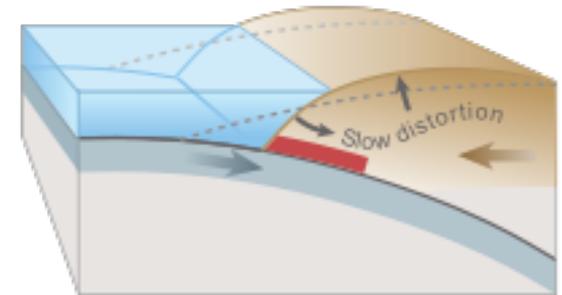
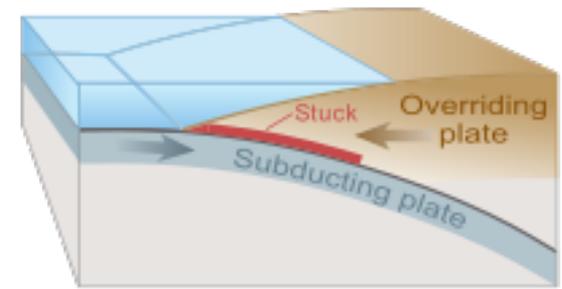
津波の波長は数10km～数100kmであり，その速度（波速 $c$ , m/s）は，水深を $h$  (m)，重力加速度を $g$  (m/s<sup>2</sup>)として

$$c = \sqrt{gh}$$

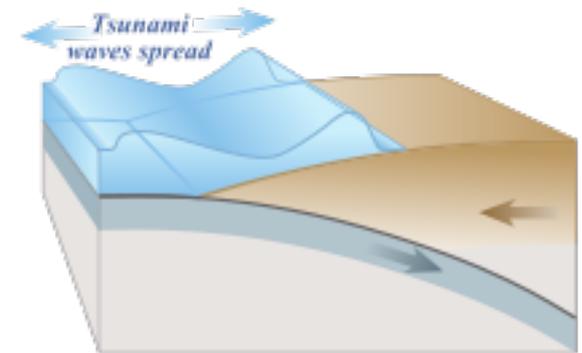
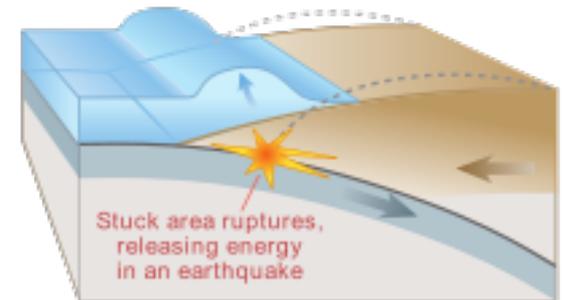
で表される。沖合 ( $h = 5000$  m) では $c$ は毎時約800km程度。津波の周期 $T$  (s)は，

$$T = L/c$$

から，数分から数10分のオーダーである。



*Tsunami starts during earthquake*



# 津波が海岸に近づくと？

波のエネルギー保存則は、波のエネルギーを $E (= \rho g H^2 / 8, H: \text{波高})$ 、群速度を $c_g$  (長波の場合,  $c_g = c$ )とすると

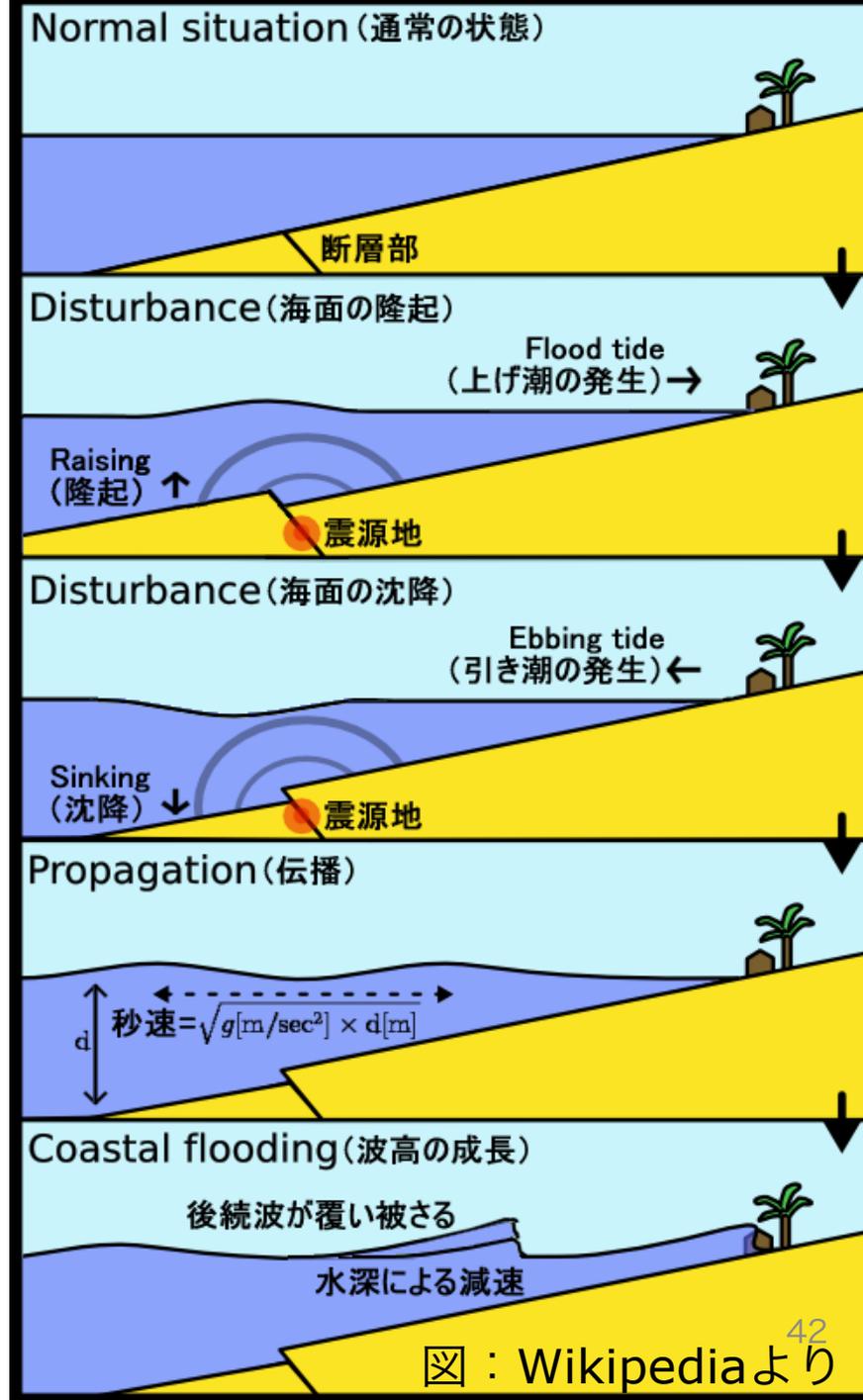
$$\nabla(E c_g) = \text{const.}$$

沖合での波高 $H$ と水深 $h$ を $H_o, h_o$ 、海岸近くで $H_b, h_b$ として代入・整理すると、

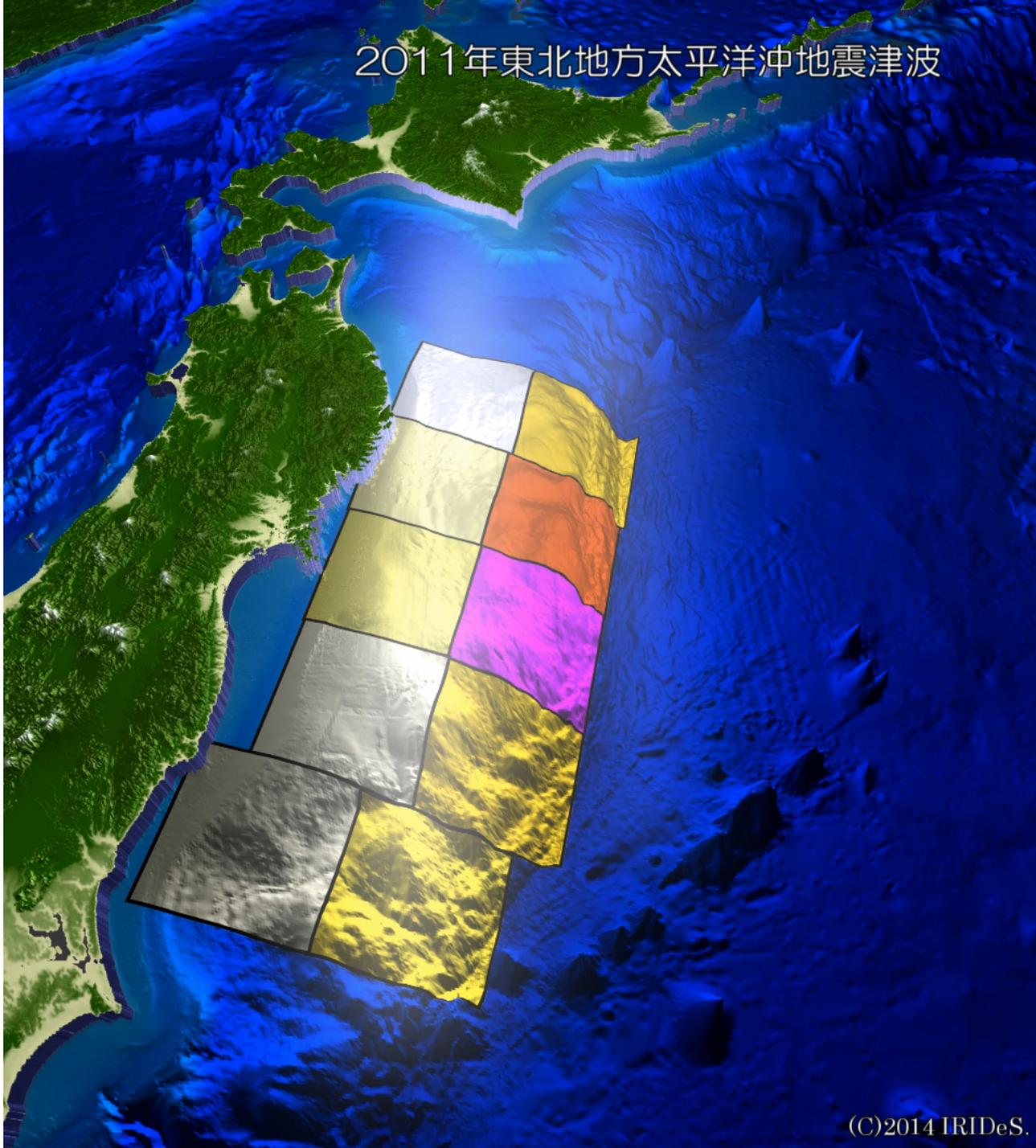
$$\frac{H_b}{H_o} = \left( \frac{h_b}{h_o} \right)^{-1/4}$$

を得る。この式から、**水深が半分になるときに津波の波高 $H$ は約20%ずつ増加**することが分かる。

湾や河口など沖から岸に向かって幅が狭くなる地形でも増幅され、**幅が半分になるときに波高は約40%ずつ増加**する。



# 2011年東北地方太平洋沖地震津波



今村文彦教授 (東北大)  
提供

# 高潮とは？

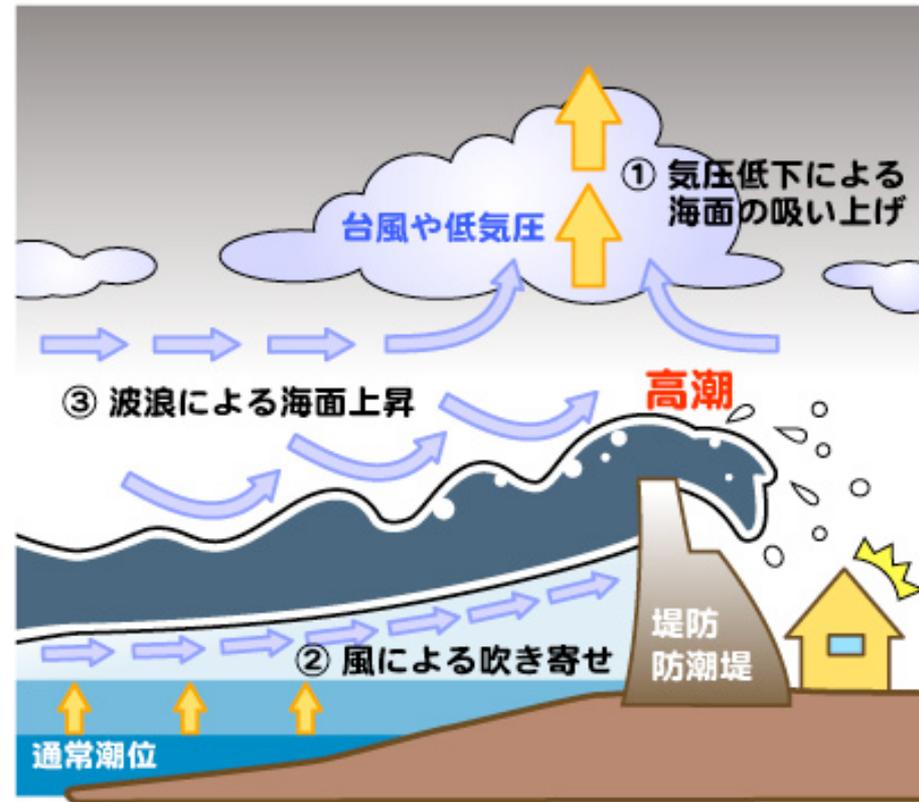
主に台風などの低気圧による海面の吸い上げに伴う水位上昇と、向岸風による海水の吹き寄せによって海水位が著しく高まる現象。満潮と重なると特に被害が大きくなる。

高潮も長波であり、その波長は台風の暴風半径（100 km程度）に規定される。したがってその周期

$$T = L/c = L/\sqrt{gh}$$

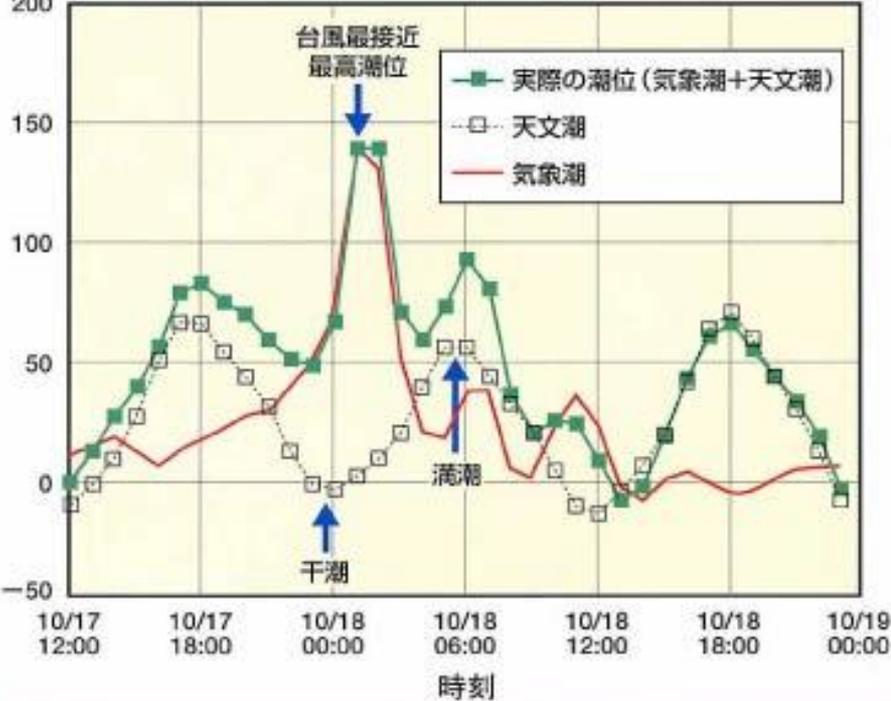
は津波とほぼ同程度である。ただし、台風とともに移動する強制波としての性質が強く、自由波は前駆波として遠方まで伝播し得る。

沿岸域では波浪（風波）の影響でさらに平均海面が上昇することがある。



図：気象庁HPより

潮位 (cm)



1998年台風第10号が通過した時の大阪での潮位の変化。この例では、干潮の直後の10月18日1時ごろに台風が最接近して潮位が最も高くなりました。

吸い上げ: inverse barometer

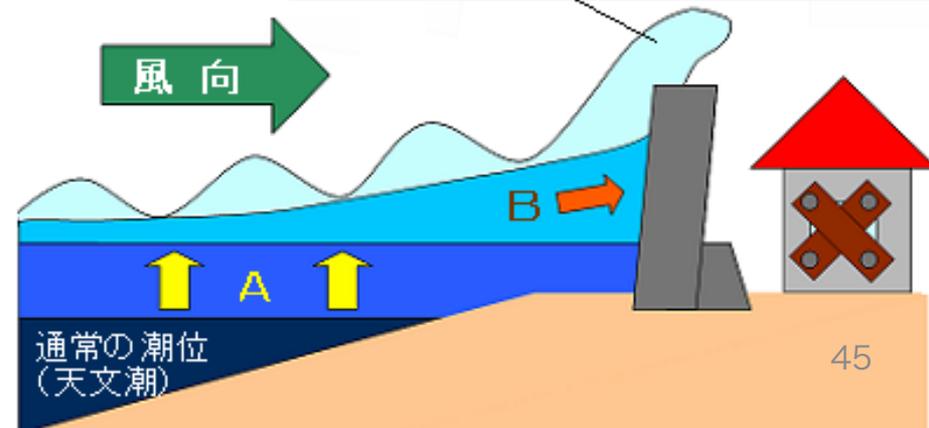
$$\Delta\eta = \Delta P / \rho g$$

1 hPaあたり約1cm

台風や低気圧



高潮により、波が通常よりも高いところまで押し寄せ、被害が拡大することもある



吹き寄せ: wind set-up

$$\Delta\eta = L\tau_s / \rho g h$$

図: 気象庁HPより

# その他に考慮しなければならない物理機構

- セイシュ
- エッジ波
- プラウドマン共鳴

# 高潮災害

# 記録に残る台風・高潮災害

台風	時期	最低気圧	最大風速	高潮偏差	死者	全壊家屋
室戸台風	1934年9月	911.6 hPa	60 m/s	4.5 m	2,702 人	不明
ジェーン台風	1950年9月	940 hPa	50 m/s	2.1 m	398 人	19,131
第2室戸台風	1961年9月	888 hPa	75 m/s	4.12 m	194 人	15,238
伊勢湾台風	1959年9月	895 hPa	75 m/s	3.45 m	4,697 人	36,135
枕崎台風	1945年9月	910 hPa	51 m/s	不明	2,473 人	不明
Haiyan (比)	2013年11月	896 hPa	65 m/s	6-7 m	6,201 人	114万戸
Katrina (米)	2005年8月	902 hPa	72 m/s	3.53 m	1,836 人	16万戸

# 大阪を襲った三大台風

室戸台風

昭和9年

(16年)

ジェーン台風

昭和25年

(11年)

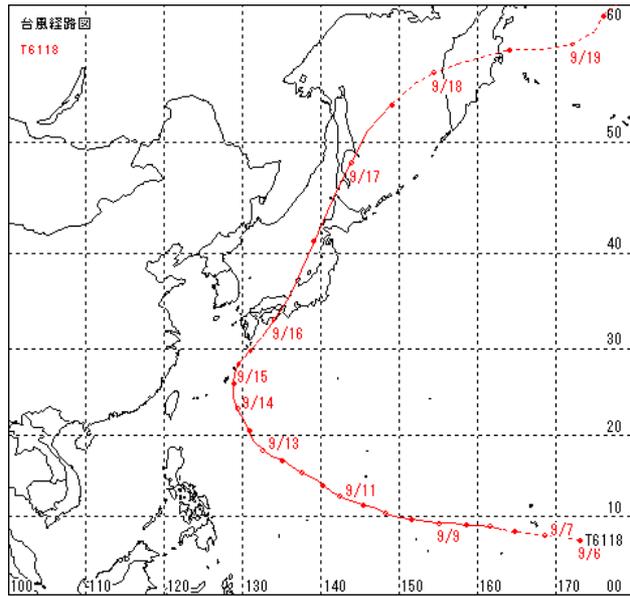
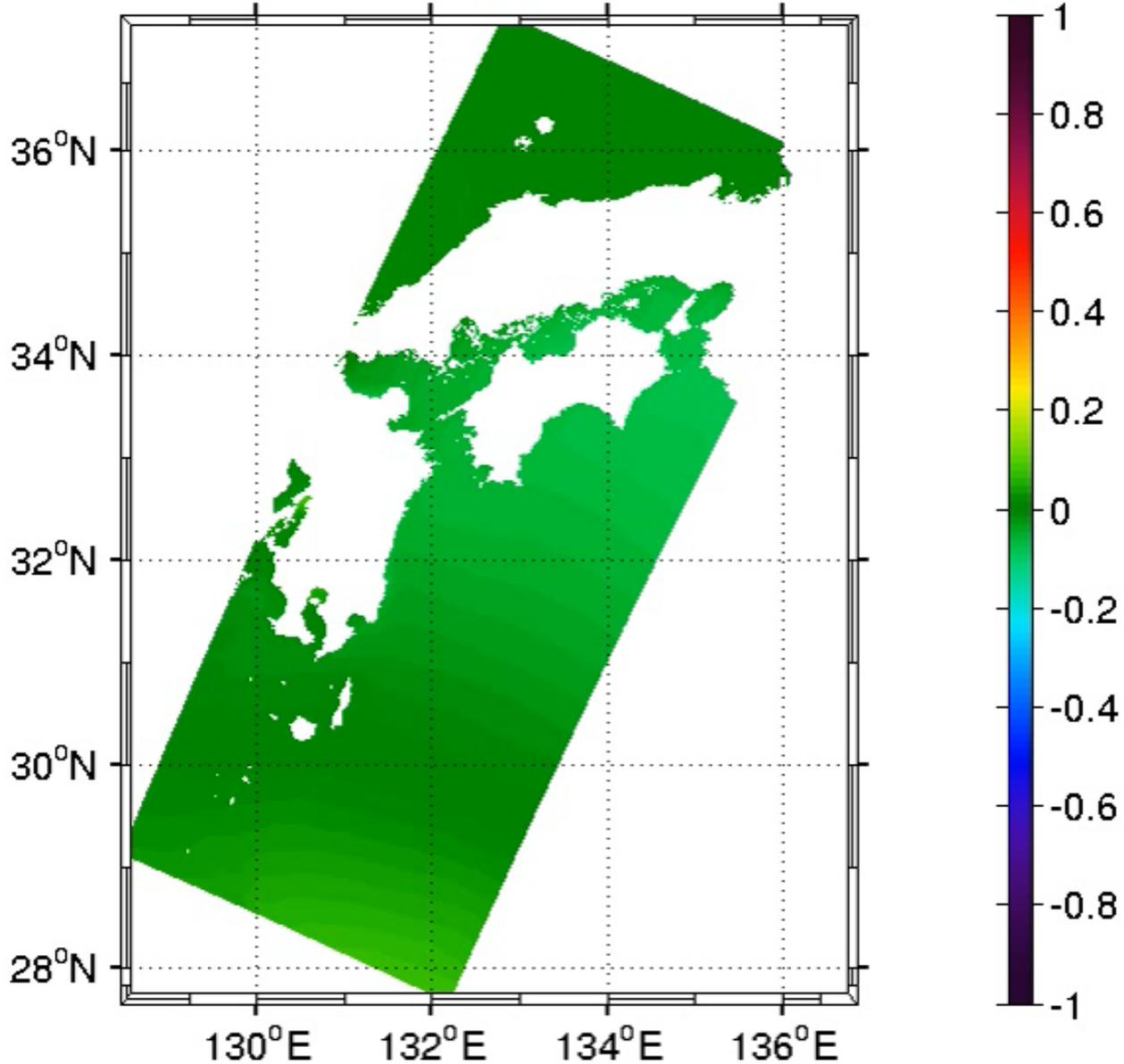
第2室戸台風

昭和36年



# 第2室戸台風 (1961年9月) に よる高潮偏差 (m)

surface elevation (m) elapsed time: 218h-00m-00s



台風経路

H27創造思考ゼミIIより→

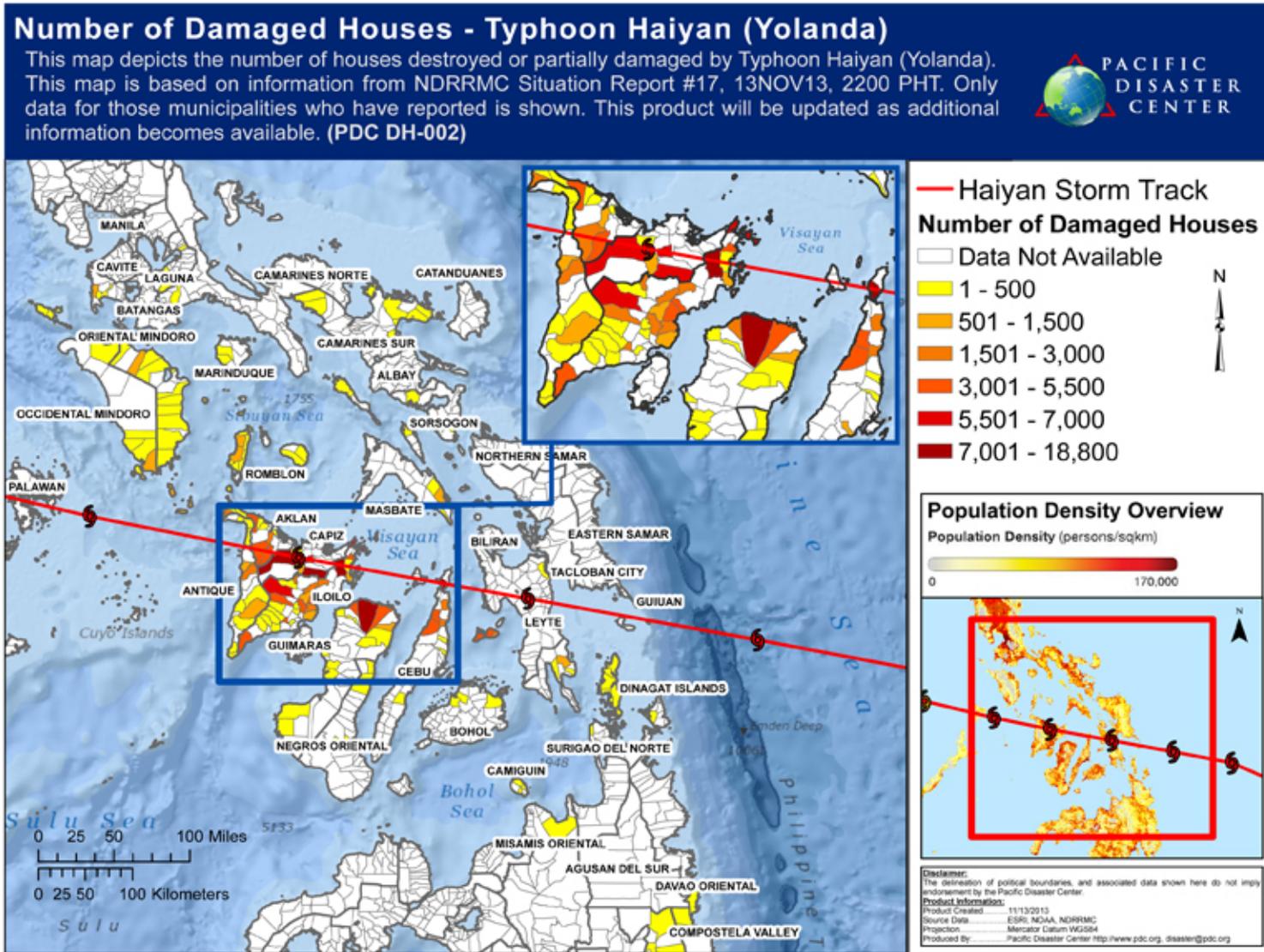


# 室戸台風の被害



1934年9月25日。室戸台風で倒壊した花園尋常小学校。(山本六彦氏所蔵)

# Haiyan (H25年30号) による高潮・台風被害



Typhoon Haiyan attacked the Philippines on Nov. 13, 2013, causing inundation to sweep many houses.

Pacific Disaster Center (2013)

896 hPa, Max 175 kt, 6,200 casualties

# 津波災害

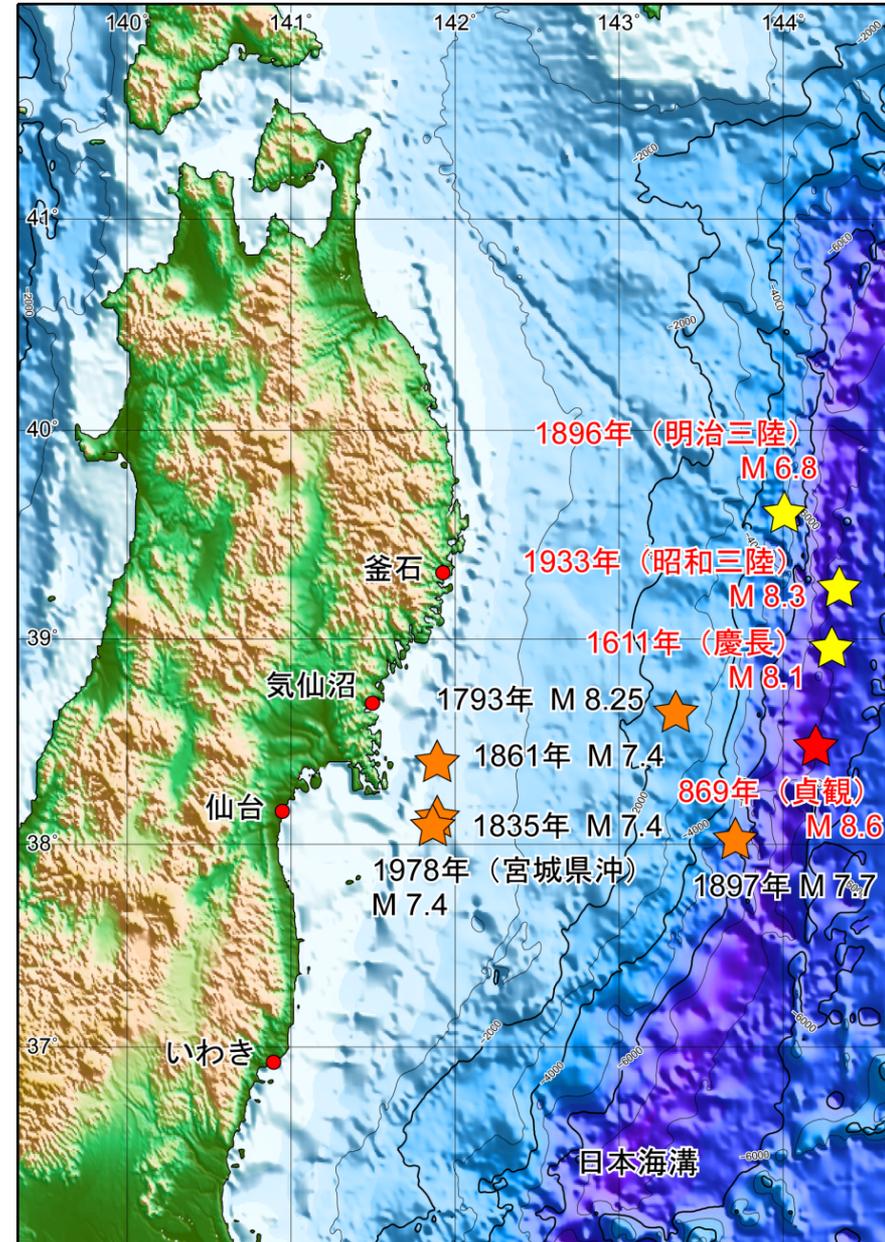
(主に2011年東北地方太平洋沖地震)

# 東北太平洋沿岸における歴史津波

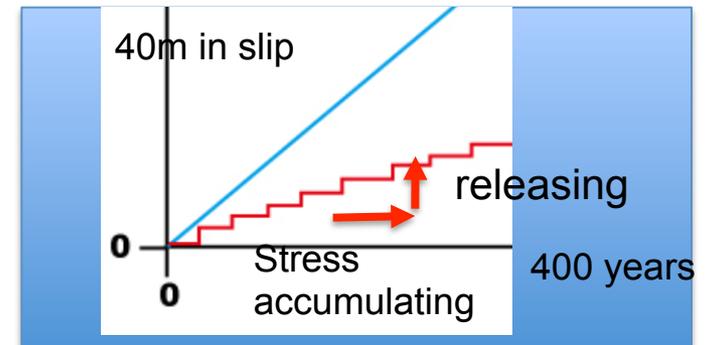
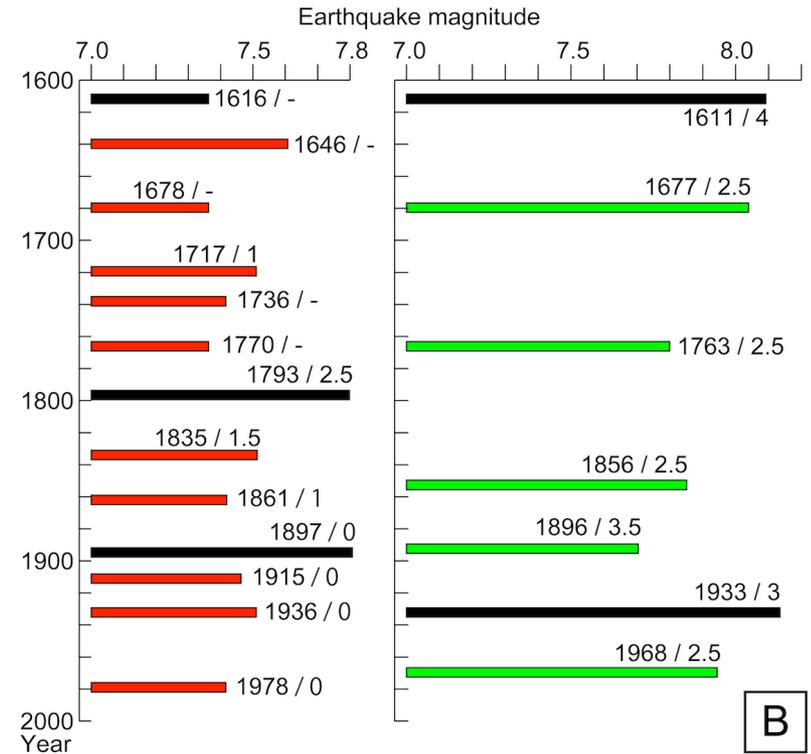
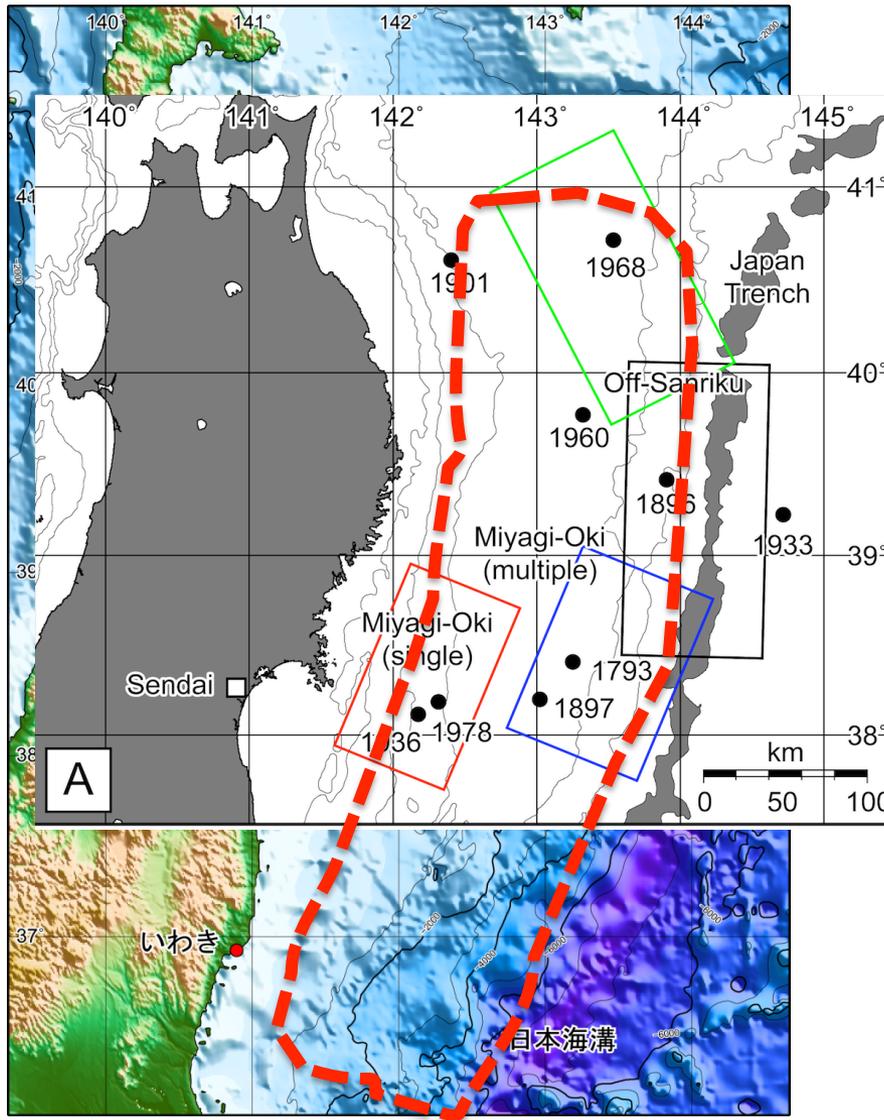
- 主に三陸海岸に襲来
- 宮城・福島沿岸では被害例が少ない
- 日本海溝沿いの地震で大津波を発生
- 宮城県沖の地震による津波は小さい

発生年月日		マグニチュード	
西暦	和暦	地震	津波
869年 7月13日	貞観11年 5月26日	8.6	4
1611年 12月 2日	慶長16年10月28日	8.1	3
1793年 2月17日	寛政 5年 1月 7日	8.25	2
1835年 7月20日	天保 6年 6月25日	7.4	2
1861年 10月21日	文久 1年 9月18日	7.4	1
1896年 6月15日	明治 29年	6.8	4
1933年 3月 3日	昭和 8年	8.3	3
1978年 6月12日	昭和 53年	7.4	0

上：東北日本太平洋沿岸に襲来した主な歴史津波。  
 右：歴史津波の波源位置。渡邊（1985）をもとに作成。



# Historical tsunamis in Tohoku for 400 years and the 2011 Tohoku Eq.



- T.Hatori, Distributions of Seismic Intensity and Tsunami of the 1793 Miyagi Oki Earthquake, Northeastern Japan, *Bulletin of Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, **62**, 297-309 (1987).

# 文理連携による歴史地震津波の研究 (1611年慶長奥州地震津波)

十  
万  
年  
前

一  
万  
年  
前

千  
年  
前

百  
年  
前

現  
在

将  
来

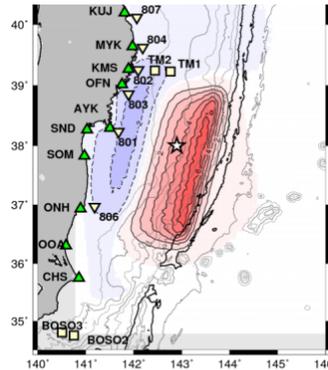


歴史記録の再検証  
同時代史料の精査

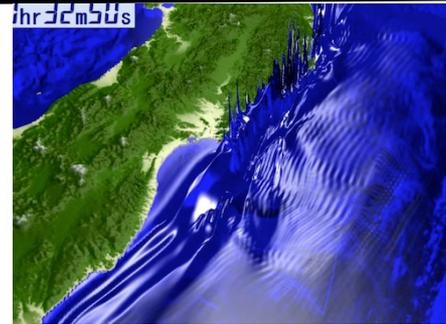


地質学 (津波堆積物)

堆積学, 地質学, 変動地形学



歴史学 (古文書)



地震学

津波工学

地震津波の周期性・規模の予測

# 来襲する津波（仙台平野）

Tsunami First arrival at Sendai

3月11日午後3時56分



(毎日新聞) [http://www.boston.com/bigpicture/2011/03/massive\\_earthquake\\_hits\\_japan.html](http://www.boston.com/bigpicture/2011/03/massive_earthquake_hits_japan.html)

# 来襲する津波（仙台平野）

Tsunami First arrival at Sendai

3月11日午後3時56分



(毎日新聞) [http://www.boston.com/bigpicture/2011/03/massive\\_earthquake\\_hits\\_japan.html](http://www.boston.com/bigpicture/2011/03/massive_earthquake_hits_japan.html)

# 来襲する津波（仙台平野）

Tsunami First arrival at Sendai



(毎日新聞) [http://www.boston.com/bigpicture/2011/03/massive\\_earthquake\\_hits\\_japan.html](http://www.boston.com/bigpicture/2011/03/massive_earthquake_hits_japan.html)

# 来襲する津波（仙台平野）

Tsunami First arrival at Sendai



(毎日新聞) [http://www.boston.com/bigpicture/2011/03/massive\\_earthquake\\_hits\\_japan.html](http://www.boston.com/bigpicture/2011/03/massive_earthquake_hits_japan.html)

# 津波による被害と対応

# 津波災害の特徴

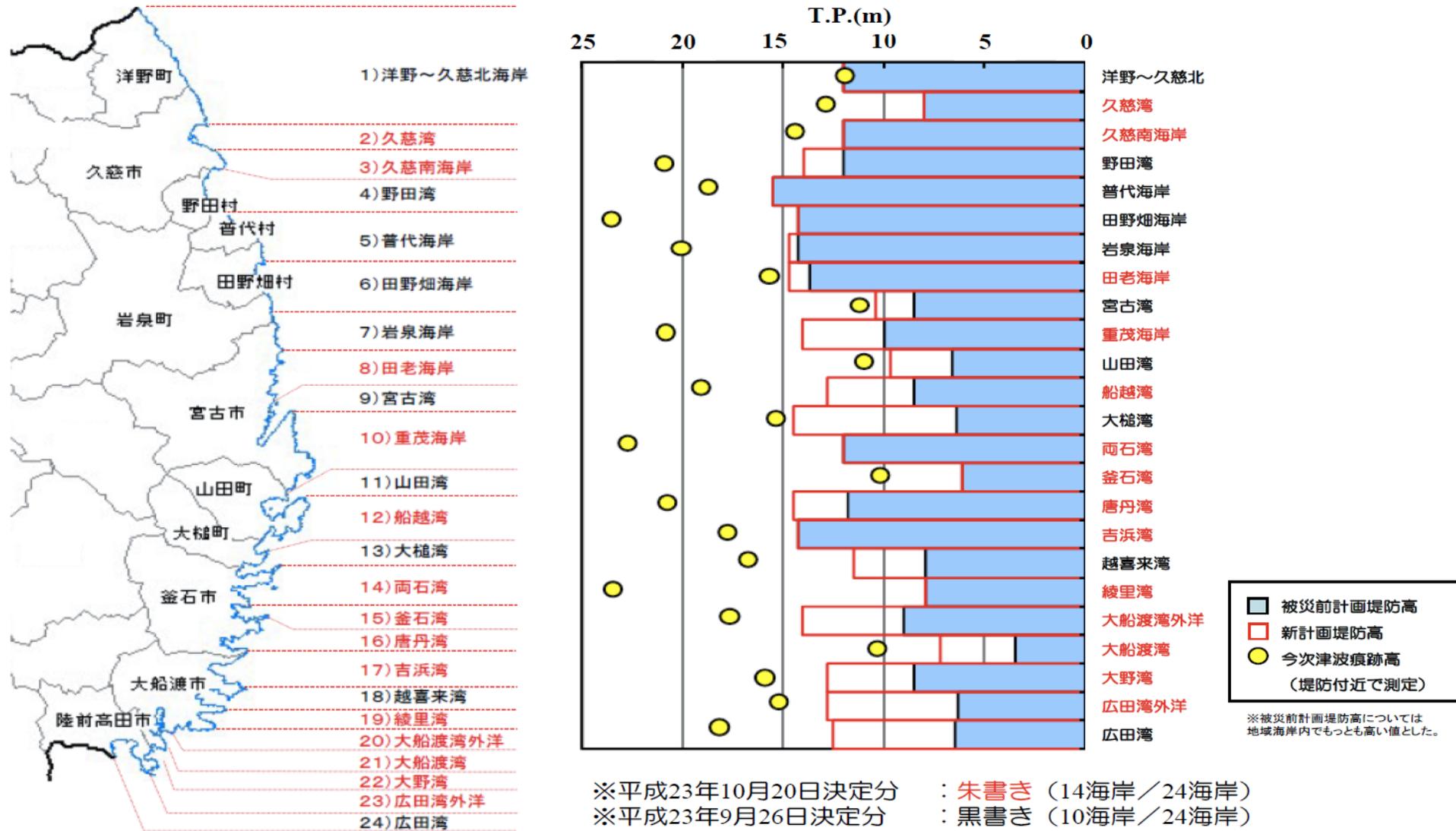
- 広域浸水被害（443 km<sup>2</sup>）＋大破壊力，河川遡上
- 人的，物的（家屋，施設，**学校**，**交通**，インフラ，水産），間接被害
- **漂流物**（瓦礫，船舶，植生，車両，タンクなど）
  - 被災車両14万6千台（宮城県の登録台数の1割）
- 津波火災，長期浸水，沿岸地形変化（浸食＋堆積）
- 施設被害：防災機能の評価（施設，体制，土地利用）
- 人的被害：避難体制（情報，避難経路・場所，避難ビル被害）



素因	誘因	影響 (拡大要因)	被害	
浸水 (泥水)	海水 (塩分), 土砂移動, 火災発生	溺死 (呼吸困難, 津波肺), 延焼, 海水植物枯	地域崩壊, 火災, 農業被害	
流れ	漂流物・船舶, 土砂, 可燃物	破壊, 浸食, 堆積, 延焼, 土砂移動	家屋・施設被害, インフラ被害, 環境破壊	
波力	浸水 x 流れ <sup>2</sup>	破壊力 (破壊増)	家屋・施設被害, インフラ被害	

# ハード対応【海岸構造物】 過去, 現在, 将来

今後整備する海岸堤防高さ (岩手県)

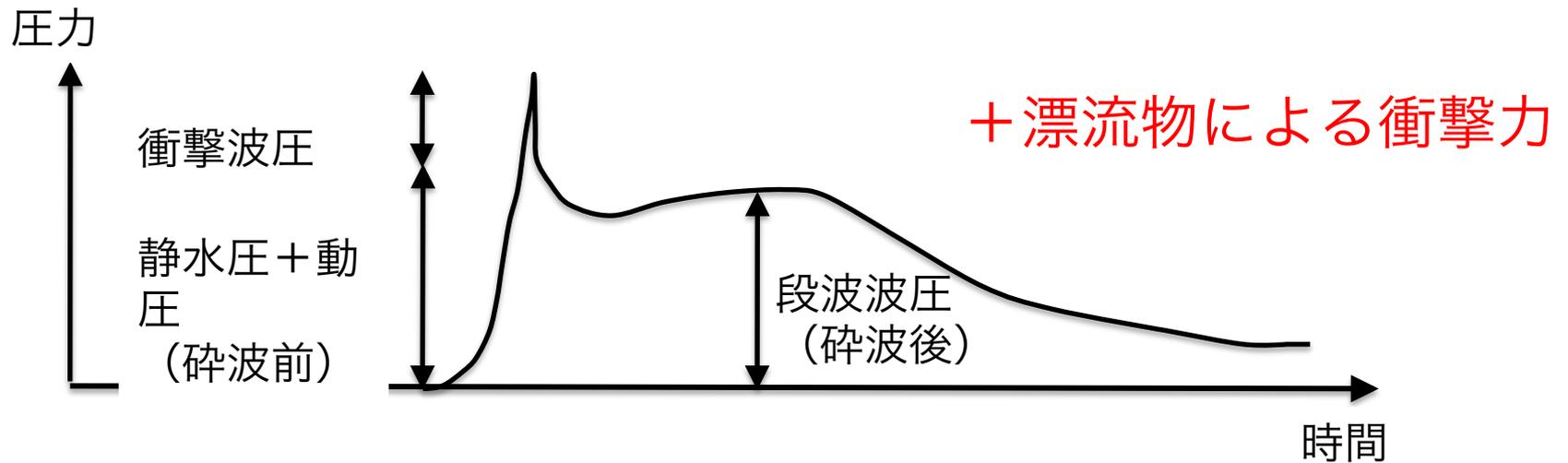


岩手県沿岸における海岸堤防高さの設定状況

# 津波の水理（波力にも着目）

- **浸水**：津波（水塊）などが陸上域に浸入している状態。水が入り込む状況。ここでは、静水圧に加えて動水圧もある。
- **没水**：水塊が浸入し水位が上昇し、施設や構造物が完全に没して、水面下になる状況（水中に隠れてしまう）。ここでは静水圧が支配的になる。
- **冠水**：没水まではいかないが、少しでも水につかる状況。ここでは静水圧が支配的になる。
- **被水**：水塊により少しでも機能を喪失した状態

# 浸水（静水圧＋動圧）



# 津波による影響と損傷モード

外力	フラジリティ
荷重因子	津波の高さ（浮力），浸水時間，津波の流速，衝撃波力，水平力，転倒モーメント
各施設・設備の構造・機能損傷モード	漏電（浸水・漏水），破壊・亀裂，滑動，転倒，建物の傾斜・倒壊（洗掘），取水困難（漂流物・土砂の堆積）
工学的な対応	防水（超えない），耐水（水に耐える），避水（とどかない）

# 耐津波性の機能

防水	重要な安全機能を有する施設等の設置された敷地において、基準津波による遡上波を直接到達、流入させないこと。また、取水路、排水路等の経路から直接流入させないこと
耐水 水密性の維持	あらゆる経路から取水・放水施設、地下部等へ漏水する可能性を考慮の上、漏水による浸水範囲を限定して、重要な安全機能への影響を防止すること。 また、津波の波力・モーメントを評価し、施設・設備に損傷が生じないようにする
避水	重要な安全機能を有する施設等については、浸水防護をすることにより津波による影響等から隔離すること
	水位下降に伴う取水性低下による重要な安全機能への影響を防止すること

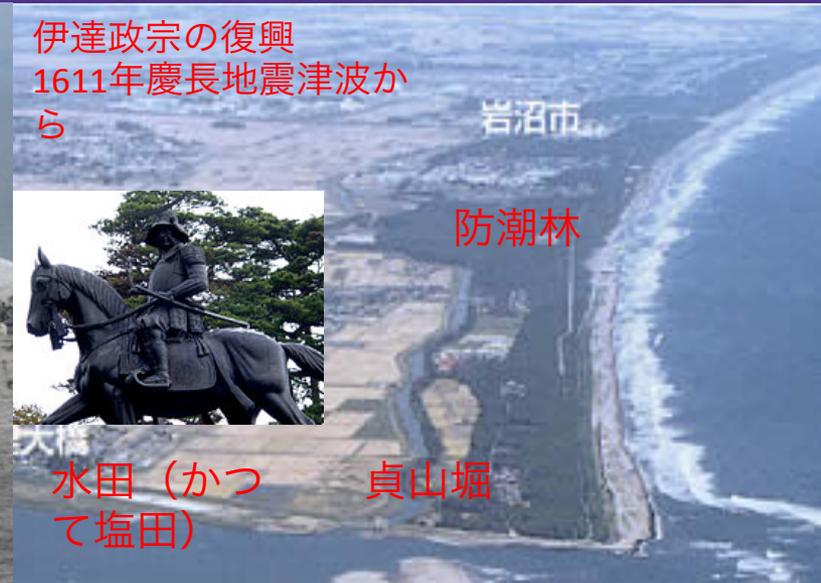
# 東日本大震災後の基本的考え

- 今次津波を受けて、考え得る最大クラスの地震・津波を想定対象に加える「津波防災まちづくりの考え方」が提言された（国土交通省，オンライン）。
- 津波災害に対しては、東日本大震災のような大規模な災害を想定し、「なんとしても人命を守る」という考え方に基づき、ハード、ソフト施策の適切な組み合わせにより、人命を守りつつ、被害をできる限り軽減する「減災」のための対策を実施する。（レベル2）
- 海岸保全施設などの構造物による防災対策については、社会経済的な観点を十分に考慮し、比較的頻度の高い一定程度レベルの津波あるいは高潮を想定して、人命・財産や種々の産業・経済活動を守り、国土を保全することを目標とする。（レベル1）

# 津波防災・減災に向けて

- 多重防御の推進
  - 施設, システム, 人材の多重化
- 地域で持続可能な防災活動
  - カケアガレ日本！津波避難（当時60万人, 車移動・渋滞）
  - みんなの防災手帳（意識・知識から判断力向上へ）
- 津波防災意識向上へ国内外の普及
  - 11月5日 津波防災の日（啓発, メモリアル）
  - 国際津波の日に(World Tsunami Awareness Day)

# 多重防御の提案 (仙台市)

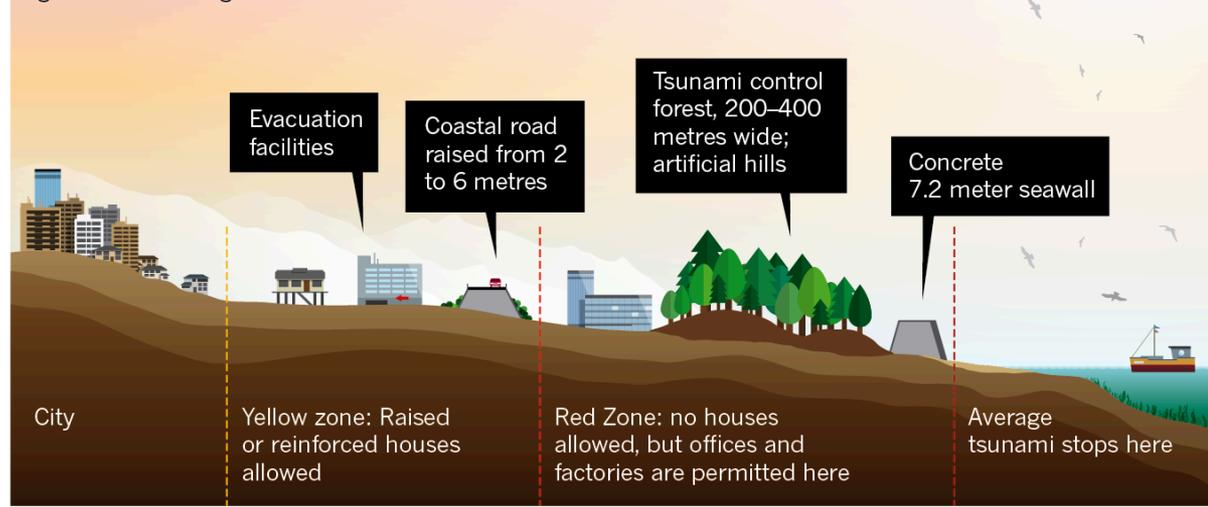


波 (浪) 分け神社

## PLAN FOR A TSUNAMI-RESISTANT CITY

Sendai is considering refashioning its coastal area. A raised seawall would block typical tsunamis and an elevated coastal road would protect against giant ones. Zoning restrictions would lower the number of fatalities.

Cyranoski (Nature, Vol.483, 2011)



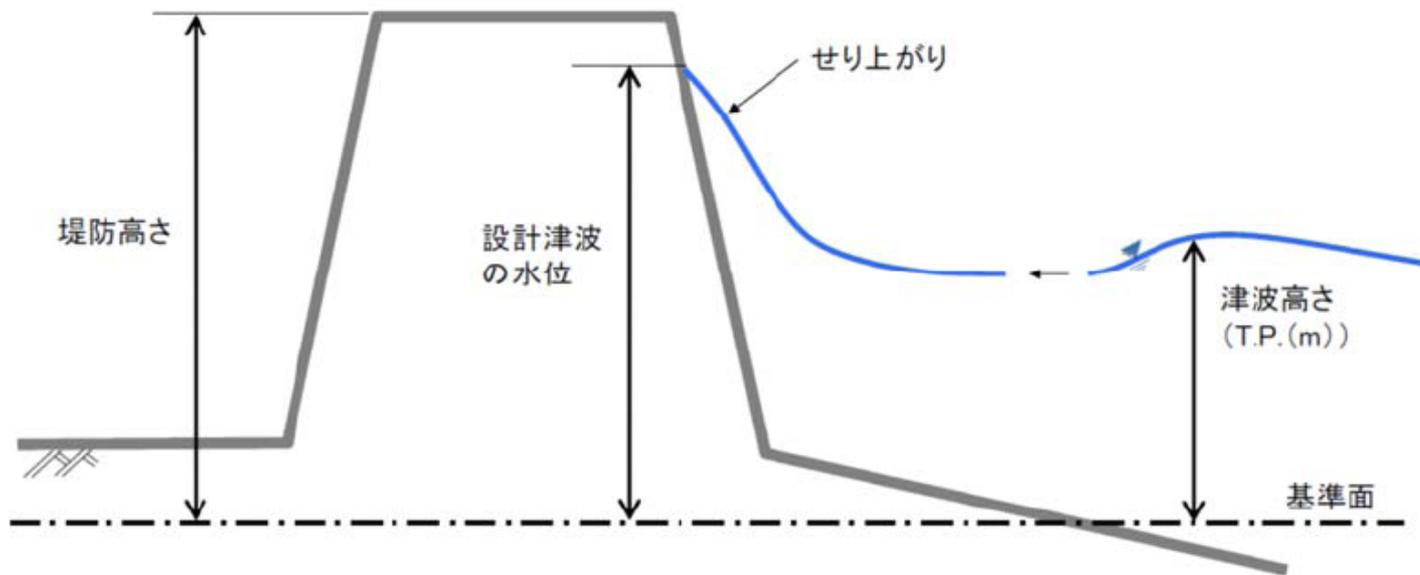
# 基本事項の整理

- レベル1, 2の基本事項の確認
  - レベル1（設計津波水位または整備可能性堤防高さ）と施設設計（高さ）との関係の明確化
  - レベル1と2との混乱, 過去の実績とレベル1の混乱
- 各種施設（防潮堤など）の多重制御での役割分担と評価（総合）
- 防災・利用・環境のバランス ⇒ 施設高さへの考慮
- 持続可能な防潮堤とは何か？
  - 整備の基準は, 設計津波, 維持管理費, 費用対効果, 環境配慮
- 海岸保全施設の対象は, 津波だけでなく, 波浪, 高潮, 浸食

## <変更のポイント①>

### ①東日本大震災を踏まえた堤防高さの変更

- 設計津波対象群を対象に、海岸堤防によるせり上がりを考慮して、**設計津波の水位(H1)**を算出
- 設計高潮位に30年に1回程度発生が見込まれる**波浪のうちあげ高を加えた水位(H2)**を算出
- H1とH2のいずれか高い方を設計水位と設定
- この水位を前提に、海岸の利用や環境、景観、経済性、維持管理の容易性などを総合的に考慮して堤防高さを設定(所管省庁間や隣接海岸間で整合性を確保)



おわり