

特集：気候変動適応研究本部における5年間の取組み

# 海岸保全施設の気候変動適応策の始動に向けて

野口賢二・諏訪義雄

## 1. はじめに

IPCC AR5（気候変動に関する政府間パネル第5次評価報告書<sup>1)</sup>、以下AR5、第4次報告書をAR4と記述する）の第1作業部会報告書（自然科学的根拠、以下WG1）が2013年9月に公表され、続いて2014年3月に第2作業部会（影響、緩和、脆弱性、以下WG2）報告書が公表された。海岸域では、海面上昇による低平地の海水浸水リスクの増加、海面上昇と風浪の変化がもたらす保全施設の能力低下や海浜地形の変化、海水温上昇等によるサンゴ礁の不健全化が危惧されている。

AR4を受けて気候変動に適応した治水対策検討小委員会より「水関連災害分野における地球温暖化に伴う気候変動への適応策のあり方について（2008年6月）」<sup>2)</sup>が答申された。本報では、ここで示された「施設の更新時等に気候変化による外力の変化に対応した対策」の具体的な手法としての「段階的な堤防の高上げ（以下、段階的高上げ）」を取り上げて適応施策導入に必要となる外力について論ずる。

段階的高上げは、図-1に示すように耐用年数による施設更新時期毎に既増加外力と次期予測増加外力に対処する考え方である。ここには、次期までに予測技術を進歩させることも含まれる。

海岸堤防は、海岸法が制定された1956年以降に多く設置されてきた。この年から考えて耐用年数を50年とすると既に第1段階を迎えており、必要な高さが増加している可能性がある。

## 2. 海岸堤防の天端高さを決める外力項目

海岸堤防の高さは海岸法および同法に基づく海岸保全施設の技術上の基準を定める省令（以下、「技術上の基準」）で定められている。

図-2左側に示すように海岸堤防の高さ $Z_{need}$ は、 $Z_a$ 、 $Z_b$ 、 $Z_c$ を足し合わせたものとされている。 $Z_a$ は、潮位で現在の海水準であり天文潮である。

$Z_b$ は、台風来襲時に生じる吸上げや吹寄せにより海岸線で海面が高くなる高潮（高潮潮位偏差）である。 $Z_a$ と $Z_b$ を足して設計高潮位と呼んでいる。 $Z_c$ は波が堤防を這い上がる高さもしくは越える波の水量（越波量）から決めた高さである。

図-2右側に示したように、気候変動による「気象の変化」で影響を受けるのは $Z_b$ と $Z_c$ である。それぞれが影響を受ける堤防前面の水位の増加量を $\Delta Z_b$ 、 $\Delta Z_c$ とした。また、 $Z_a$ は潮位で現在の海水準であるので、ここに気候変動による海面上昇分 $\Delta Z_a$ を導入した。

気候変動の影響を想定した必要堤防高（ $Z_{need}$ ）算定は、以下ようになる。

$$Z_{need} = (Z_a + Z_b) + \Delta Z_a + \Delta Z_b + Z_c + \Delta Z_c$$

（現行設計高潮位）  
 +  $\Delta Z_a$ （海面上昇量）  
 +  $\Delta Z_b$ （高潮潮位偏差増大量）  
 +  $Z_c$ （現行設計波に対する必要高）  
 +  $\Delta Z_c$ （設計波に対する必要高の増分）

## 3. 各項目の把握状況

### 3.1 既往の海水面変化

野口ら<sup>3)</sup>は地盤変化の影響が最小となるように験潮場データを解析した。対象は図-3に示す40年

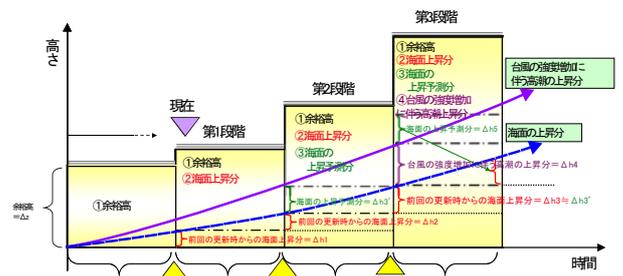


図-1 段階的な堤防の高上げの考え方

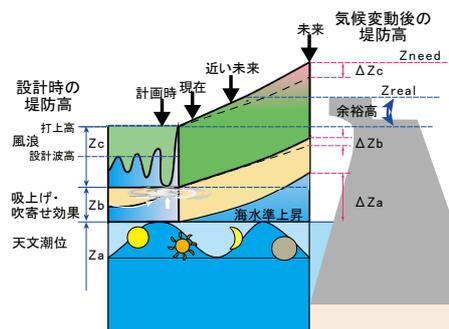


図-2 気候変動が高潮堤防に与える影響要素の模式図

A Step to launch the Climate Change Adaptation Strategy to Coast Prevention

を越える解析期間が得られる13の験潮場である。地盤変化は、験潮場取付水準測量成果表<sup>4)</sup>から験潮基準高さの変化として算出した。例として、最長の輪島験潮場の算出結果を図-4に示す。

輪島験潮場における地盤高の最大最小値の差は1949年から1989年までの40年間で約7.5mm(0.2mm/年)である。これは、AR5が示している1993年から2010年の全球平均3.2mm/年の上昇量に比べて小さい。ただし、他の験潮場では概ね1mm/年程度の変動で、忍路験潮場では年3.5mm/年であった。よって、地盤変動は無視できず、海面上昇とは別に地盤変動の将来変化の見積りが必要である。

地盤変動量を調整した後の輪島験潮場の朔望平均満潮位と平均潮位を図-5に示す。技術上の基準では、海水準として朔望平均満潮位を用いることとなっている。台風期(7月から10月)、冬季風浪期(12月から2月)の朔望平均満潮位と平均潮位も破線で示した。地球温暖化の影響が出始めたとされているのは1970年であるが、どちらの変化も1980年以降に上昇している。この年を境に陰影を付けた。

気候変動による海面上昇については、年平均潮位で議論されることが多い。両者の比較を野口ら<sup>3)</sup>で行ったが、変化量は概ね一致していた。

13験潮場の朔望平均満潮位の変化量を図-6に示す。IPCCで示された全球の上昇速度と比較しやすいように0.003m/年(3mm/年)を破線で示した。我が国においても3mm/年程度が多い。

### 3.2 将来の海水面変化

森ら<sup>5)</sup>はAR4に利用された海面上昇予測計算結果をアンサンブル解析している。日本近海の結果を図-7に示す。これは、全球と比較して小さい値となっている。また、AR5の日本近海の解析は、未だ示されていない。

### 3.3 台風による高潮潮位偏差の変化(ΔZb)

台風は、気圧低下と強風による海面の上昇Zb(高潮潮位偏差)と強風による波浪Zcをもたらす。ZbとZcは別々に推算される。

高潮の将来予測には、3つのアプローチがある。1つ目は、気候変化予測モデルから得られる台風場の気圧・風情報を用いるものである。2つ目は、気候変化予測モデルでは十分な統計期間を得られないので、確率台風モデル(モンテカルロシミュ

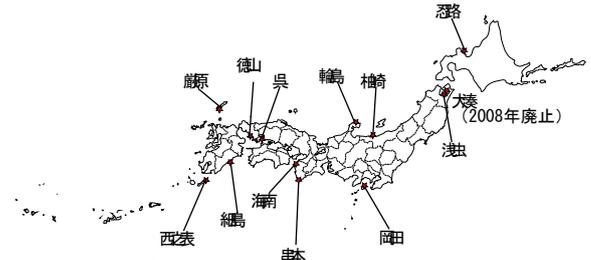


図-3 解析験潮場の位置

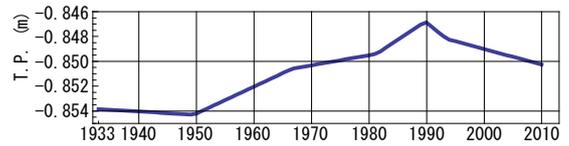


図-4 輪島験潮場の験潮基準高さの変動

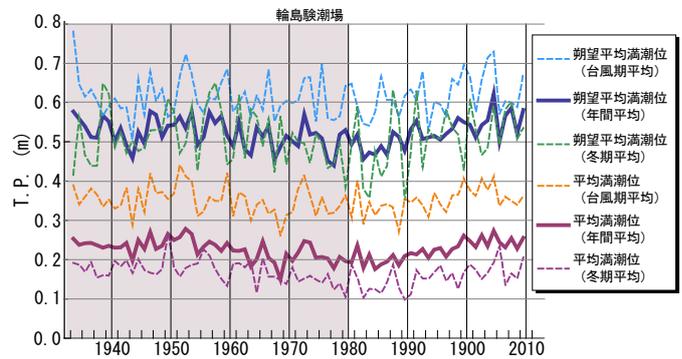


図-5 輪島験潮場の東京湾中等潮位で表した海面変動

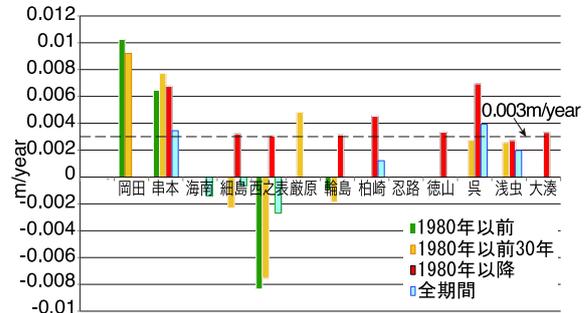


図-6 朔望平均満潮位の年変化量(2010年まで)

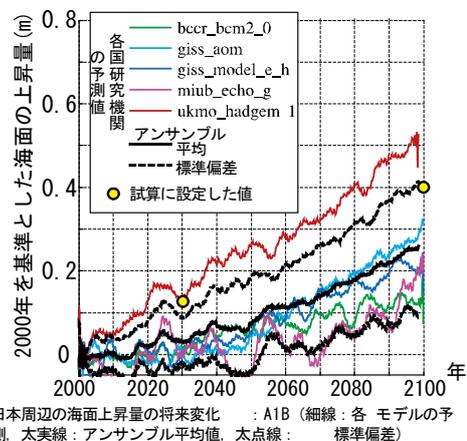


図-7 将来の海面上昇量(試算の条件を加筆)

レーション)により多くの仮想台風を創出するものである。3つ目は、伊勢湾台風や室戸台風等の既往の巨大台風を気候変動下の気候条件に適用さ

せて気象物理シミュレーションにより将来台風を創出する疑似温暖化実験である。

野口ほか<sup>6)</sup>は、2つ目の手法によって三大湾についての高潮の変化を解析した。高潮計算の元となる確率台風モデルの結果は、京都大学防災研究所から提供を受けた。図-8に再現期間別の高潮潮位偏差の変化予測を示す。東京湾は他2湾より倍率が高いが、これは現在気候で台風経路に従い来襲頻度・偏差が低いことに起因している。

### 3.4 波浪の変化

波高は、台風または季節風による風から算出する。将来の風浪については、森ら<sup>5)</sup>は全球の平均波浪の解析を行っており、日本近海で平均波高が減少することを示している。

### 3.5 海岸地形の変化

堤防に到達する波は海底と海浜の地形により変化するので、地形の変化は重要である。海面水位の上昇による岸沖方向の地形変化について、既往研究が存在する。しかし、海岸地形変化は供給土砂、沿岸漂砂、岸沖漂砂が関係しており、波浪や高潮の推算手法のような完結した物理モデルとなっていない。このため、全体の環境が大きく変化する将来予測の信頼性は現状で高くない。

## 4. 気候変動による堤防高への影響の試算

以上の現知見から、気候変動による将来の堤防の必要高さを試算した。図-9に示す「高波海岸(W)」と「高潮海岸(S)」と仮称する海岸を想定した。高波海岸は、外洋に面して高潮偏差の影響が小さく打上高計算時の堤脚水深が小さい海岸である。高潮海岸は、湾内にあり台風来襲時に高潮偏差のため堤脚水深が大きくなる海岸である。いずれも設計高潮位を堤脚水深とした。波高は2.2mと9mの種類、海底勾配1/30で算出した。試算時期は、設計時(1960年)、現在(2014年)、近未来(2030年)、未来(2100年)とした。

また、変化させる外力の組合せは表-1に整理する4つとした。Iは海水準のみ上昇、IIはIに加え波浪が増大、IIIはIIに加え高潮偏差も増大、IVはIに加え高潮偏差が増大する場合である。

### 4.1 海水面上昇量(ΔZa)の設定

海水面の既上昇量について、野口ら<sup>3)</sup>は図-6よりIPCCの値を準用して3.1mm/年(AR4時点)を検討の際の代表値とすることを提案している。

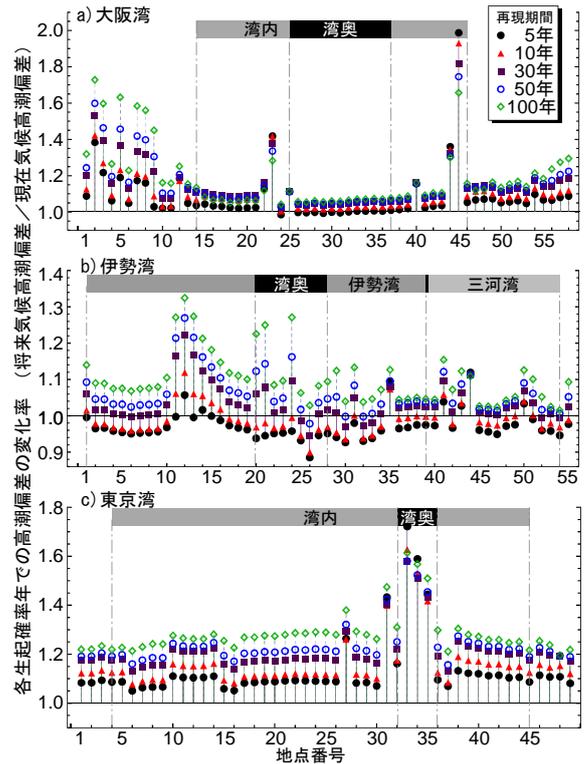


図-8 再現期間別による三大湾沿岸の高潮偏差変化率

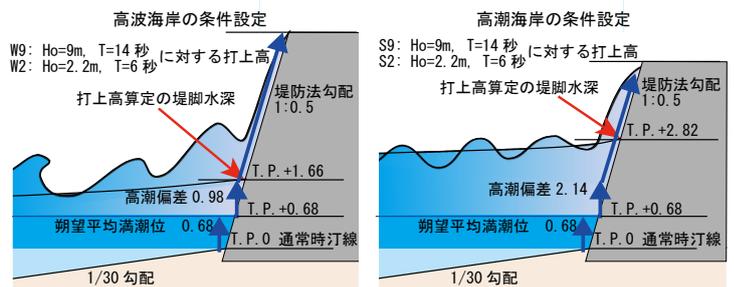


図-9 試算に用いた高波海岸と高潮海岸の地形条件

表-1 変化外力の組合せ

外力組合せ番号	I	II	III	IV
海水準上昇	上昇	上昇	上昇	上昇
波浪増大	不変	増加	増加	不変
高潮偏差増大	不変	不変	増加	増加

これにしたがい、計画設定時点から現在までの年数に3.1mm/年を乗じた。

将来の上昇量は、図-7に示したようにAR4のアンサンブル解析の標準偏差の上側を採用し2030年で0.13m、2100年で0.4mとした。

### 4.2 高潮偏差上昇量(ΔZb)

高潮偏差の上昇は、高潮海岸のみで見込んだ。変化率を図-8から大阪湾内全体、伊勢湾西南部での100年確率程度を目安に、2030年で1.05倍、2100年で1.1倍とした。

### 4.3 波の打上高増加(ΔZc)

既往研究では、波高の極値予測について明確に変化量が示されていない。ここでは、高潮偏差と

同様の倍率として波高も1.05倍、1.1倍として打上高への影響を比較した。周期は、波形勾配が一定になるように変化させた。

打上高は、技術上の基準に解説を加えた「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」<sup>8)</sup>の豊島の算定図から読み取った。

#### 4.4 試算結果

図-10の上段に高波海岸(W2,W9)を、下段に高潮海岸(S2,S9)の結果を示す。現在波高2.2mを左列、9mを右列に示した。朔望平均満潮(青)は海岸と現在波高の組合せ全てで同一の変化である。高潮偏差(赤)は、海岸タイプ(左右)内で同一の変化である。

主な結論は次の3点である。1)波高が同じで堤脚水深が異なるS2(左下)とW2(左上)から、水深が深く砕波が生じないS2は、海水位と波浪の変化に対して打上高が小さい。2)S2とS9の比較を波高の増大と見ると、砕波前から砕波後の状態に移行して打上高が激増する。3)構造物や海底形状(養浜等)により砕波させることは、海水位上昇に伴う打上高の増大に対し効果がある。

#### 5. おわりに

本稿では、海岸分野に関連する気候変動予測研究の状況と高潮堤防等の嵩上げ高の試算を紹介して波浪低減の重要性を示した。将来予測は、未来の不確定性(その道を辿るか)と予測の不確実性(結果が一定でない)から逃れられない。それ故に気候変化シナリオとアプローチの組合せで複数のシナリオが作られている。これらへの適応策を用意して、順応的に対応することが必要となる。

#### 謝 辞

本論文の一部は、文部科学省21世紀気候変動予測革新プログラム「極端現象予測」の枠組みの成果である。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 気象庁、IPCC第5次評価報告書 第1作業部会報告書 政策決定者向け要約 日本語訳(PDF)、[http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/ipcc\\_ar5\\_wg1\\_spm\\_jpn.pdf](http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/ipcc_ar5_wg1_spm_jpn.pdf)
- 2) 国土交通省社会資本整備審議会河川分科会気候変動

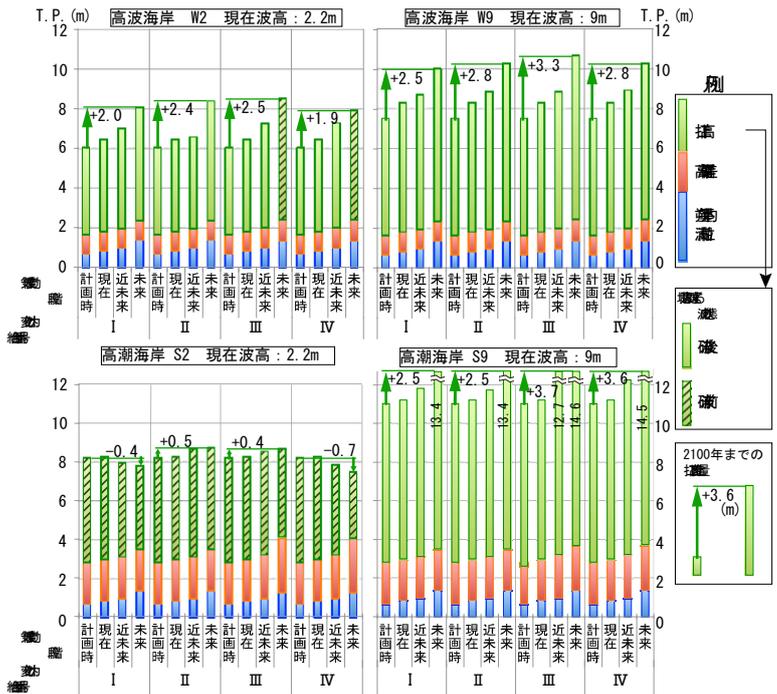
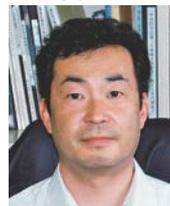


図-10 気候変動による影響の試算結果

- に適応した治水対策検討小委員会、水関連災害分野における地球温暖化に伴う気候変動への適応策のあり方について(答申)、[http://www.mlit.go.jp/river/basic\\_info/jigyoku\\_keikaku/gaiyou/kikouhendou/pdf/toshin.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyoku_keikaku/gaiyou/kikouhendou/pdf/toshin.pdf), 2008 (2014.10.10確認)
- 3) 野口賢二、諏訪義雄、五味久昭、松藤絵理子、気候変動適応に向けたわが国沿岸の既海面上昇基準量の設定にむけて、土木学会論文集B2(海岸工学), 第66巻, pp.1256-1260. 2010
  - 4) 海岸昇降検知センター、取付水準成果表、国土地理院、<http://cais.gsi.go.jp/cmdc/centerindex.html> (2014.10.10確認)
  - 5) 森 信人, 志村智也, 中條壮大, 安田誠宏, 間瀬肇, マルチモデルアンサンブルに基づく地球温暖化に伴う沿岸外力の将来変化予測、土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.67, No.2, I\_1191-I\_1195. 2011
  - 6) 野口賢二、諏訪義雄、気候予測モデルの結果を用いて算出した三大湾の将来高潮偏差の変化特性、土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.67, No.2, I\_1186-I\_1190. 2011
  - 7) 海岸保全施設技術研究会、海岸保全施設の技術上の基準・同解説、2004

野口賢二



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室主任研究官  
Kenji NOGUCHI

諏訪義雄



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室室長  
Yoshio SUWA