

## 日本の5海岸における過去100年間の砂浜侵食特性と 気候変動による100年後の侵食予測

東北大大学工学部 吉田 悅

東北大大学院工学研究科災害制御研究センター 有働 恵子

東北大大学院工学研究科災害制御研究センター 真野 明

### 1. はじめに

地球温暖化による熱膨張や氷河融解などを主たる原因とした海面上昇が懸念されている。21世紀末には、世界の平均海面水位は18–59cm上昇すると推定されている（IPCC, 2007）。北太平洋海洋モデル（NPOGCM）を用いて算定された、温室効果ガス排出量の将来変化シナリオ（IPCC, SRES A1B シナリオ）に基づく気象庁の計算結果によれば、日本近海の100年後の平均海面上昇量は9–27cm上昇すると推定されており、さらに氷河融解によって年平均1.2mm/year海面上昇に寄与することが推定されている。一方で、台風の大型化などによる暴風時の波高の増大など、気候変動による波浪特性の変化が懸念される。日本の気候変動による海岸侵食予測については三村ら（1994）以降なされていないこともあり、100年後を予測することは喫緊の課題である。予測には海面上昇量や波浪だけでなく、海岸侵食における地域特有の影響因子や傾向を考慮する必要があり、100年後の侵食予測量がどの程度であるか、どのような影響を及ぼすか議論する必要がある。そこで今回の研究では、日本の5つの海岸について地図を用いて過去100年間の砂浜侵食特性を調べ、気候変動による100年後の侵食予測を行う。

### 2. 解析方法

調査対象地域は、平面地形データが入手可能であった仙台、新潟、柏崎、高知、宮崎の海岸である（図1）。これらは海岸侵食が顕著な海岸である。岸田・清水（2000）が1900、1950、1990年頃の旧版地図から抽出した調査対象地域の砂浜領域と海岸線に加えて、最新（2008年頃）の1/25000地図から新たに抽出した砂浜領域と海岸線を使用し、砂浜面積を海岸線の長さで割ることで砂浜幅を求め、過去100年間の砂浜侵食特性を調べた。図2に地図を用いた調査対象海岸の過去100年の砂浜変化を示す。図中の赤色の部分が砂浜である。

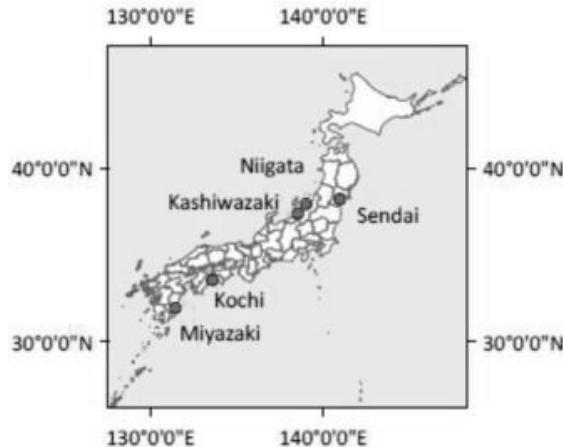
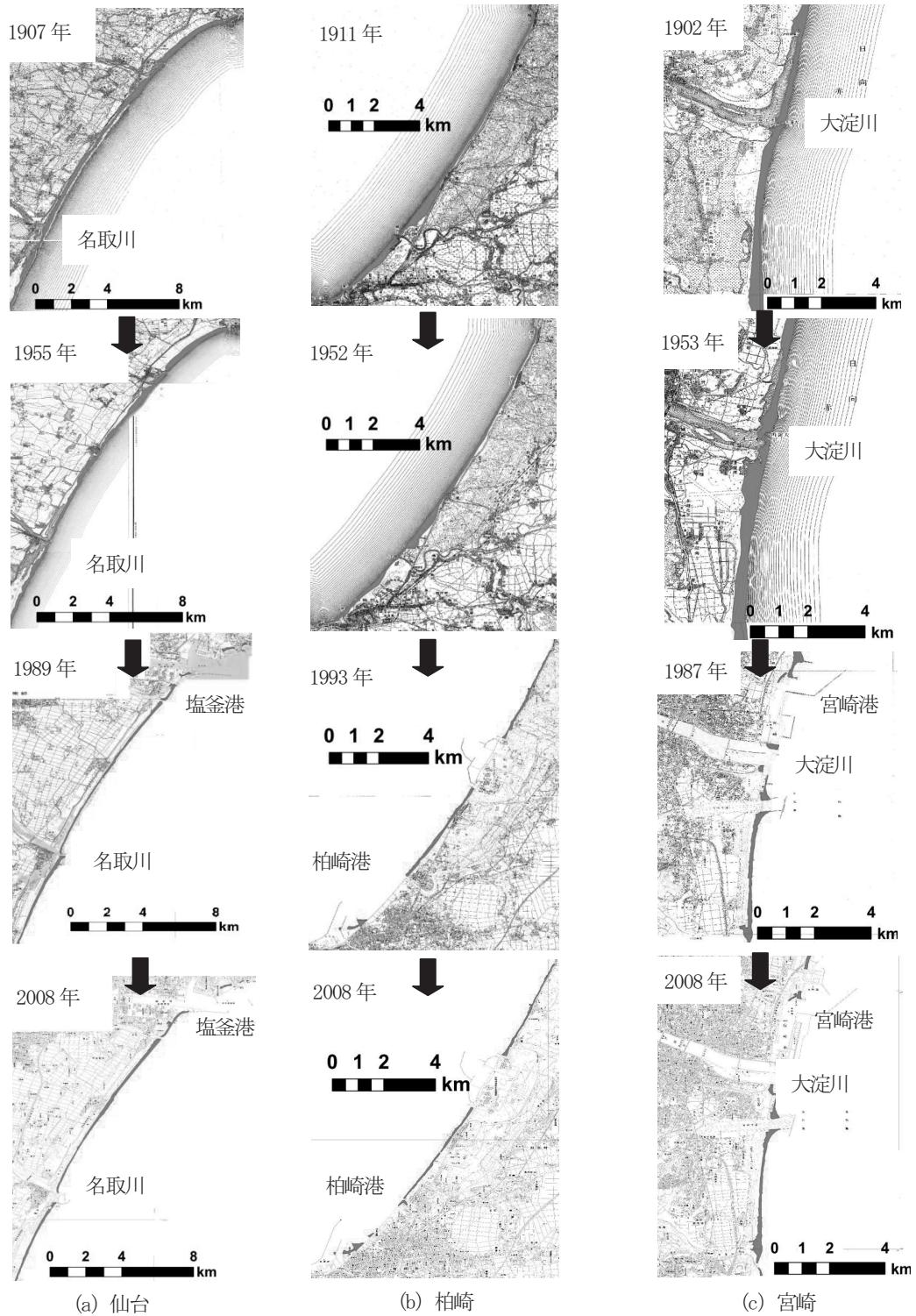


図1：調査対象地域

\*Century-scale Shoreline Change and Future Forecast of 5 Japanese Beaches, Tohoku University School of Engineering by Jun Yoshida, Disaster Control Research Center Tohoku University by Keiko Udo and Akira Mano.



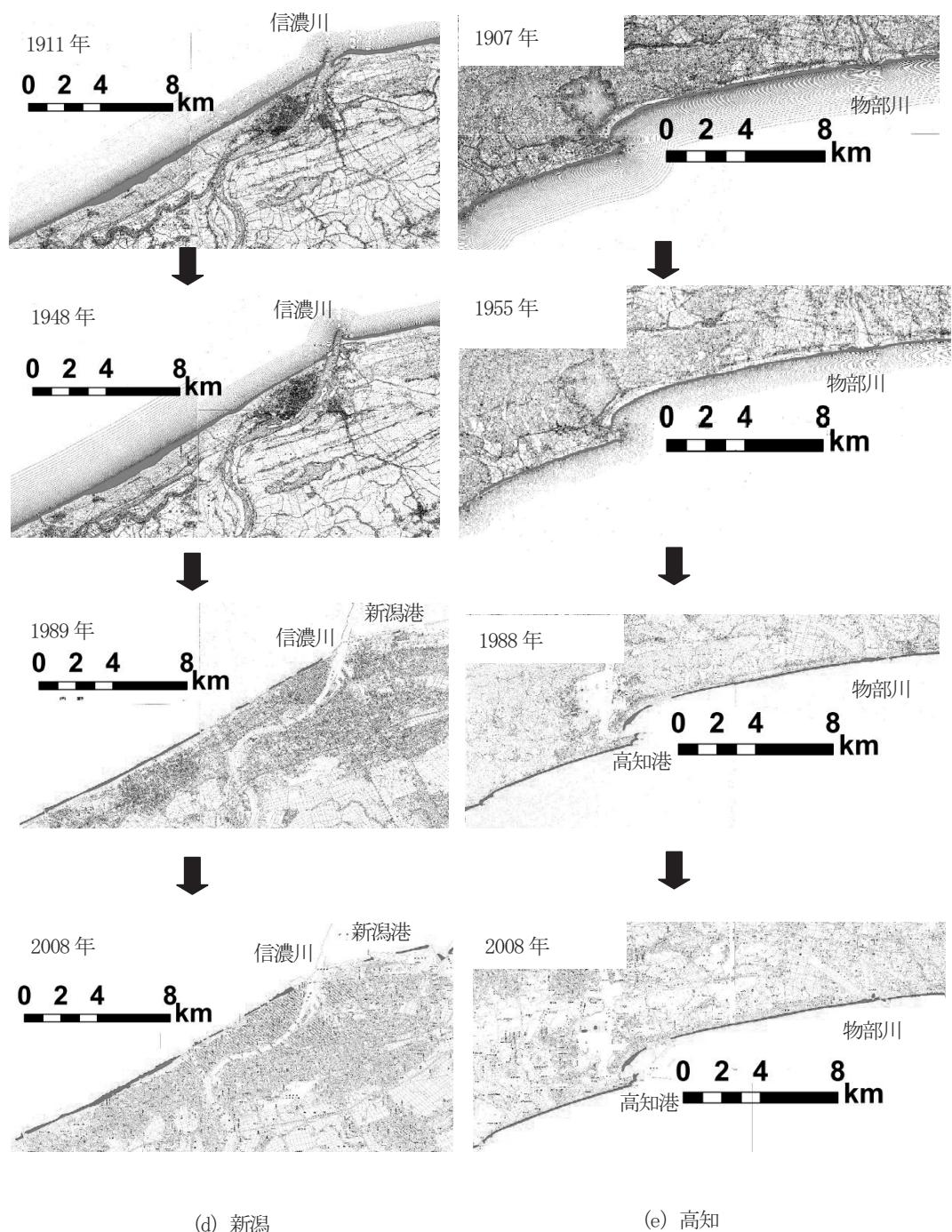


図2：調査対象海岸の過去100年間の砂浜変化 (a) 仙台, (b) 柏崎, (c) 宮崎, (d) 新潟, (e) 高知

次に、海面上昇による砂浜侵食量の予測方法について示す。砂浜侵食量は、三村ら（1994）と同様にBruun則を用いて推定した。Bruun則では、砂浜は閉鎖的な物質移動システムとして作動し、砂浜と沖の2次元断面は長い間平衡な状態を保っていると仮定し、その平衡断面地形は式(1)で表される。

$$h_* = Ay^{2/3} \quad (1)$$

$h_*$ は水深 (m),  $A$ は海浜断面係数,  $y$ は沖方向の距離 (m) である。 $A$ は砂浜の底質粒径と強い相関があることが指摘されており、Dean(2002)によってその関係性が整理されている。この平衡断面地形は、海面上昇が起きたとき式(1)の形状を保ちながら海面上昇量分上方へ移動するとともに陸側にも移動し、汀線が後退すると仮定されている。この海面上昇量と汀線後退量の関係が導かれた式がBruun則であり、式(2)で表される。

$$\Delta y/W_* = -S/(h_* + B_h) \quad (2)$$

$\Delta y$ は汀線後退量 (m),  $h_*$ は土砂移動限界水深 (m),  $W_*$ は土砂移動限界水深までの水平距離 (m),  $S$ は海面上昇量 (m),  $B_h$ はバームの高さ (m) を表す。 $h_*$ はHallemeier (1978) による式(3)を用いて算定する。

$$h_* = 2.28H_m - 68.5\left(H_m^3/gT_m^3\right) \quad (3)$$

$H_m$ は最大有義波高 (m),  $T_m$ は最大有義波周期 (s),  $g$ は重力加速度 (m/s) を表す。 $W_*$ は式(1)の粒径により与えられる  $A$  と式(3)より算定される  $h_*$ を代入して求められる  $y$  で与える。 $B_h$ は、武田・砂村 (1983) の式(4)を用いて算出する。

$$B_h = 0.125H_b^{5/8}\left(gT_s^2\right)^{3/8} \quad (4)$$

$H_b$ は  $H_s$ に対する碎波波高 (m),  $H_s$ は平均有義波高 (m),  $T_s$ は平均有義波周期 (s) を表す。 $H_b$ は砂村 (1983) の式(5)により算定する。 $\tan \alpha$ は海底勾配,  $L_s$ は年平均有義波波長を表す。

$$H_b/H_s = (\tan \alpha)^{0.2}(H_s/L_s)^{-0.25} \quad (5)$$

以上により海面上昇量、砂浜の粒径、海底勾配、波浪条件から侵食量を推定することができる。

海面上昇量は、NPOGCMによって算出されたAIBシナリオにおける21世紀末までの平均海面上昇量に、氷床融解による海面上昇寄与量 1.2mm/year を加えた値を使用した。波浪条件はナウファスの観測データを使用し、過去10数年の変化傾向が100年後まで続くと仮定して100年後の条件を与えた（年平均有義波高： $-29.7\text{cm}/100\text{years}$ 、年最大有義波高： $95.8\text{cm}/\text{years}$ ）。海底勾配は2009年国土地理院発行の5mメッシュの数値地図から得られる汀線付近の砂浜勾配で与えた。表1に推定に用いた入力データを示す。

表1：入力データ

	粒径 (mm)	海底勾配	海浜断面 係数	年平均有義波+ 100年後のトレンド値		年最大有義波+ 100年後のトレンド値		海面上昇量 (m)
				波高(m)	周期(s)	波高(m)	周期(s)	
				0.62	7.7	5.8	12	0.39
仙台	0.26	0.047	0.12	0.62	7.7	5.8	12	0.39
新潟	0.48	0.066	0.16	0.71	5.7	12	10	0.27
柏崎	0.44	0.064	0.15	0.71	5.7	12	10	0.27
高知	0.90	0.11	0.20	0.45	7.6	10	13	0.32
宮崎	1.00	0.11	0.21	0.86	7.3	8.0	12	0.32

### 3. 過去 100 年の砂浜侵食特性

図 3 に過去 100 年の汀線変化と 100 年後の侵食予測を示す。1950 年以前は海岸整備がほとんど行われておらず、汀線変化は主に自然作用により生じたと考えられる。いずれの地域においても 1950 年頃から 1990 年頃の間に大きく汀線が後退している。これは、図 2 の 1950 年と 1990 年の砂浜海岸の変化から 1956 年の海岸法制定による海岸整備や、戦後の急速な沿岸開発によるものと考えられる。1999 年の海岸法改正により「防災」だけでなく海水浴などのレ

クリエーションや生態系の維持など海浜の「環境」や「利用」への配慮も重視されるようになつた。1990 年以降は、海岸法によって防災設備が整ったことで概ね汀線は安定する傾向にある。よって 100 年後は、気候変動による海面上昇の砂浜侵食への影響が顕著にあらわれるようになる可能性が高い。

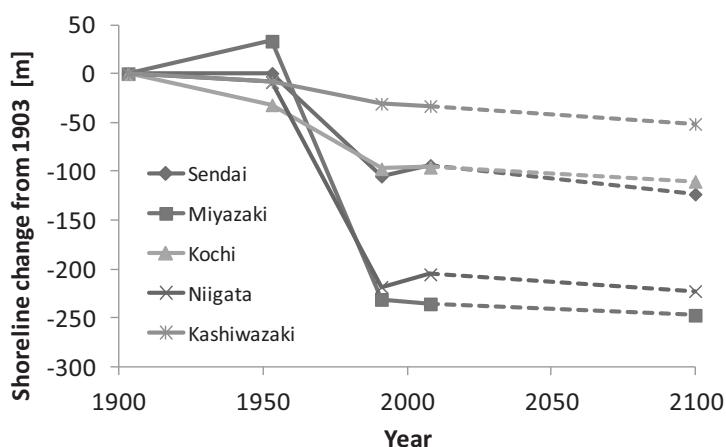


図 3：過去 100 年の汀線変化と 100 年後の侵食予測

### 4. 気候変動による 100 年後の侵食予測

表 4 に各地域の 100 年後の汀線変化量と 2008 年および 2100 年の砂浜幅を示す。いずれの地域も汀線は後退する結果となった。汀線後退量が最大の仙台は、波高はそれほど大きくないが、勾配が緩やかであることや海面上昇量が日本近海で最も大きいことから汀線後退が著しい結果になった。最小の宮崎は海面上昇量や波浪条件はほかの対象地域と大きな差はないが、勾配が急であり粒径が最大であることから侵食予測では最も値が小さかった。ここで行った 100 年後の予測は、気候変動と海面上昇量のみ考慮した結果であるので、過去の侵食特性を考慮すればより正確な予測が可能になると考えられる。

1999 年の海岸法改正後の「防災」、「利用」、「環境」に重点を置いた海浜管理のあり方から、汀線が 10m 以上も後退することは、現在の砂浜幅を考慮すると社会や生態系に大きな影響を及ぼすものと考えられる。

表 4：100 年後の汀線変化の予測と 2008 および 2100 年の砂浜幅

	仙台	新潟	柏崎	高知	宮崎
100 年後の汀線変化 (m)	-29	-17	-18	-14	-12
2008 年の砂浜幅 (m)	76	76	58	46	70
2100 年の砂浜幅 (m)	37	59	40	32	58

## 5. まとめ

5 海岸の過去100年の汀線変化は、1900–1950年の期間は主に対象地域固有の自然作用により生じており、1950年以降は海岸法や沿岸開発など人工的な作用により生じていると考えられる。1990年以降は、汀線は安定する傾向にあることから、100年後は気候変動による海面上昇の砂浜侵食への影響が顕著にあらわれるようになる可能性が高い。今回のBruun則を用いた100年後の砂浜侵食予測では、10m以上汀線が後退するという結果になったが、今回使用した日本近海の海面上昇量は、他の海面上昇量の予測値の中でも小さい値を用いており、100年後の海面上昇量は今回の値以上に増大する可能性もあるため、推定結果以上に汀線が後退することも考えられる。

今回行った100年後の予測は、気候変動による海面上昇と波浪変化のみ考慮した結果であるので、今後はさらに過去の侵食特性等を考慮することでより正確な予測が可能になると考えられる。

**謝辞**：本研究は、環境省の環境研究総合推進費（S-8-1(4)）の支援により実施された。各観測データ整理においては、武田百合子氏にご助力いただいた。ここに記して謝意を表する。

## 6. 参考文献

- 三村信男, 井上馨子, 幾世橋慎, 泉宮尊司, 信岡尚道：砂浜に対する海面上昇の影響評価（2）予測モデルの妥当性の検証と全国規模の評価, 海岸工学論文集 第41巻, pp. 1161–1165, 1994.
- 岸田弘之, 清水雅行：海岸情報調査による海岸侵食・堆積の抽出, 海岸工学論文集 第47巻, pp. 681–685, 2000.
- 岸田弘之：新しい海岸制度の幕開け, 土木学会 海岸工学委員会・水理委員会, 2000.
- 堀川清司：海岸工学, 東京大学出版, 1991.
- 宇多高明：日本の海岸侵食, 山海出版, 1997.
- 武田一郎・砂村継夫：砂浜の堆積過程における地形変化, 海岸工学講演論文集, 第30巻, pp. 254–258, 1983.
- 港湾空港技術研究所 海洋・水工部 海象情報研究チーム：全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）波浪データ, <http://www.pari.go.jp/bsh/ky-skbs/ks-jyo/kaisy/dat/sub300.htm>
- 気象庁：IPCC 第4次評価報告書 第5章 観測結果海洋の気候変化と海面水位.
- Bruun, P. : Sea-level rise as a cause of shore erosion, J.Waterways and Harbors Div, ASCE, 88 (WW1), pp.117-130, 1962.
- Dean, R. G : Equilibrium beach profiles : characteristic and applications, Journal of Coastal Research, Vol.7, No.1, pp.53-84, 1991.
- IPCC WG1 : Climate Change – The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, 365p, 1990.
- Duncan M. FitzGerald, Michael S. Fenster, Britt A. Argow, and Ilya V. Buynevich : Coastal Impacts Due to Sea-Level Rise, Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 2008, Vol.36, pp.601–647, 2008.
- Hallermeier, R.J. : A profile zonation for seasonal sand beached from wave climate, Coastal Engineering, 4, pp.253-277, 1980.