

# 海面上昇に伴う全国砂浜侵食量の推定

東北大学工学部 須川太一

東北大学災害制御研究センター 有働恵子

東北大学災害制御研究センター 真野 明

## 1. 研究背景と目的

地球温暖化による熱膨張を主とした海面上昇や気候変動による波浪特性の変化が懸念されている。長期的に汀線が後退すると予想される。IPCC (1990) の予測によれば、2100 年までに地球の平均海面は最大 1m 上昇すると見込まれている。本研究では、観測データから日本全国における長期的な波浪や潮位の変化特性を把握し、侵食予測モデルを用いて温暖化によって今後予測される海面上昇量に対する潜在的な汀線後退量の推定を行う。

## 2. 日本全国の波浪・潮位の経年変化特性

日本全国の潮位データとして気象庁の潮位観測データを用いた。観測記録は最長で 1961 年から 2008 年までで、一時間毎に取得された潮位が記録されている。10 年以上の観測記録を得られた観測地点のうち、地殻変動に関する情報が入手できた地点を対象とし、各地点の年平均潮位、年最大潮位の変化傾向を求めた。地殻変動の影響は、野口ら (2010) を参考にして、験潮場取付水準測量成果集 (国土地理院海岸昇降検知センター) を用いて除外した。

潮位データ例として油津の年平均潮位と年最大潮位の経年変化を図 1 に示す。図 1 より、油津では 1961 年から 2008 年までに年平均潮位は 0.17cm/year、年最大潮位は 0.19cm/year 程度の増加傾向にあった。

全国的にも多くの地点で年平均潮位・年最大潮位ともに 0.1cm/year 以上の増加傾向にあり、これらの地点では少なくとも最近の数十年間は日本周辺の平均海面が上昇していたと考えられる (図 2)。

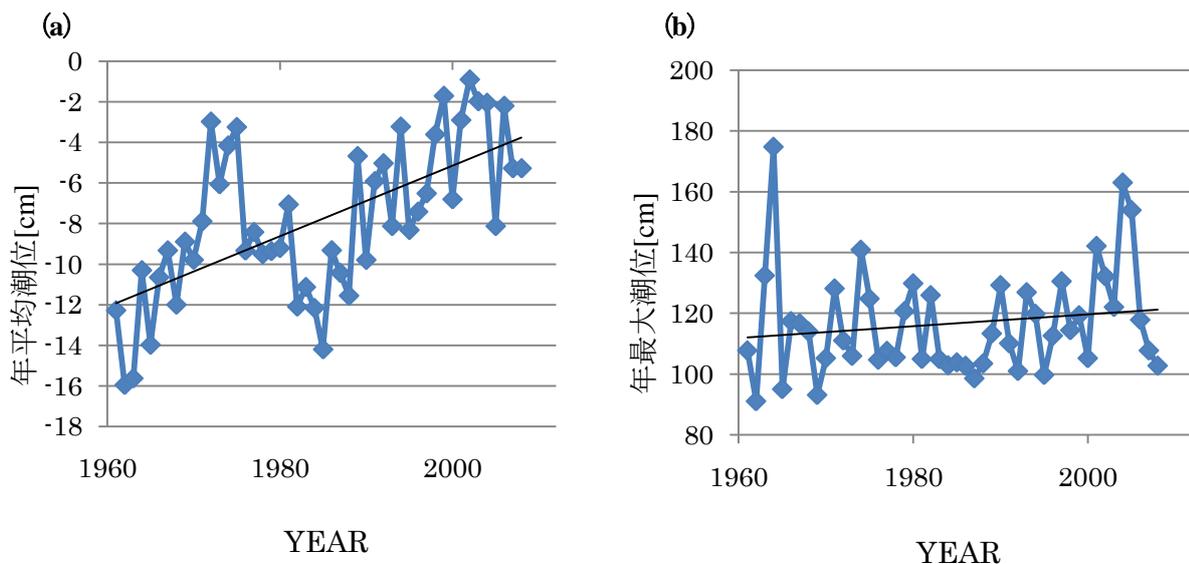


図 1 (a) 油津の年平均潮位および (b) 年最大潮位

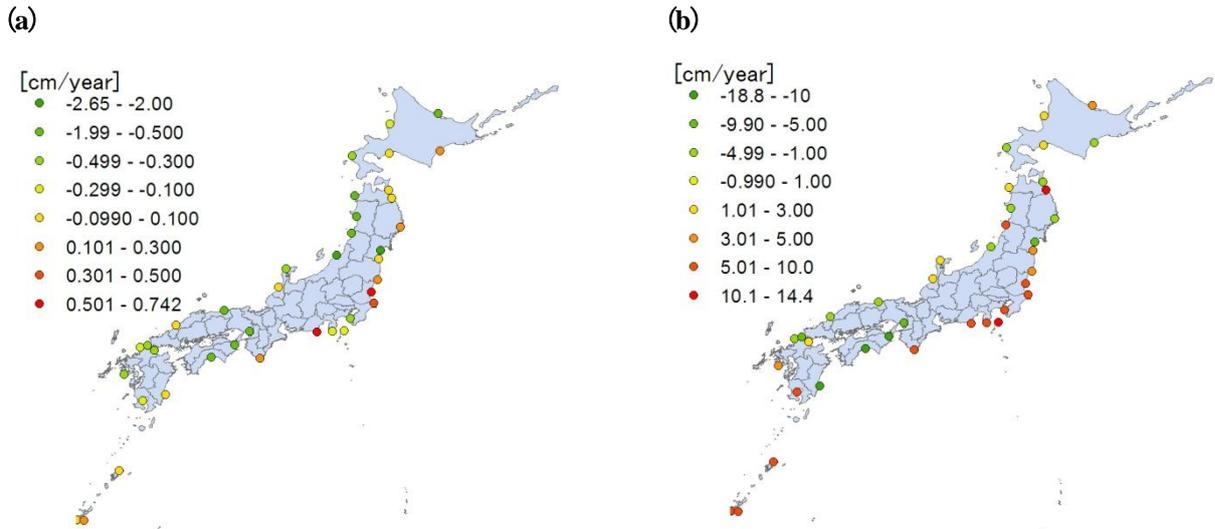


図2 (a) 年平均潮位トレンドの全国分布および (b) 年最大潮位トレンドの全国分布

次に波浪に関しては、全国的な波浪観測記録として全国港湾海洋情報網（ナウファス）を用いた。観測記録は最長で1991年から2008年までで、月毎の平均有義波高、最大有義波高などが記録されている。対象とした観測地点は、1991年から10年以上の観測記録が得られた地点に、2001年から2008年までの観測記録が得られた紋別南、高知、十勝、新潟沖、小松島、アシカ島を加えた計39地点で、各地点の年平均有義波高、年最大有義波高の変化傾向を求めた。

波浪データ例として常陸那珂の年平均有義波高と年最大有義波高の経年変化を図3に示す。図3より、常陸那珂では1991年から2008年の間に、年平均有義波高は0.70cm/year、年最大有義波高は7.68cm/year程度増加傾向にあった。年平均有義波高に顕著な傾向は見られなかったものの、年最大有義波高は全国的にも多くの地点で少なくとも最近の数十年間は1cm/year以上の増加が認められた（図4）。暴浪時には急激な海岸侵食が生じることから、年最大有義波高の増大は砂浜侵食リスクの増大を意味する。

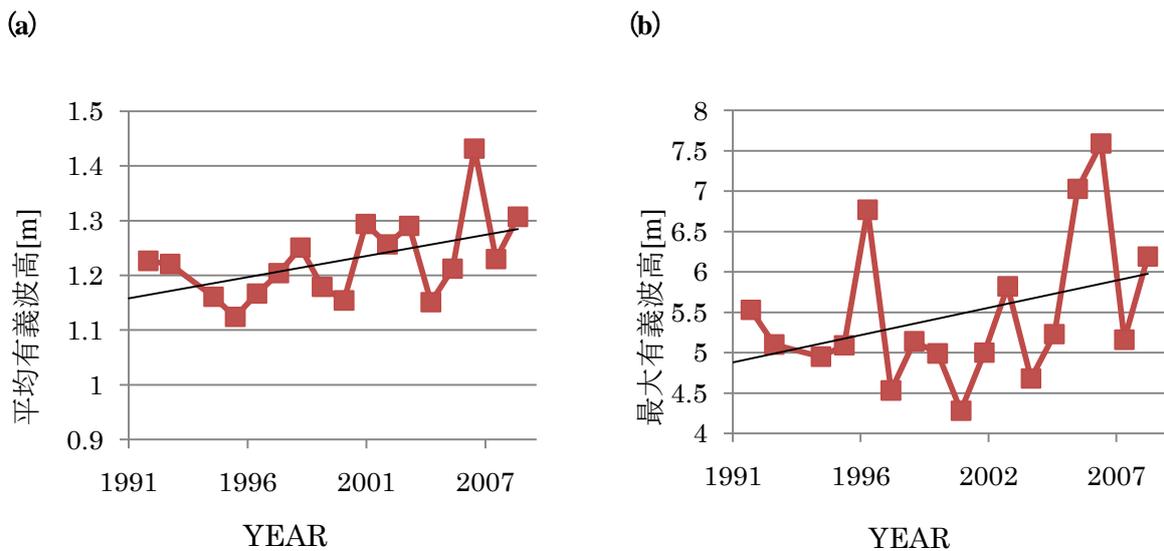


図3 (a) 常陸那珂の平均有義波高および (b) 最大有義波高

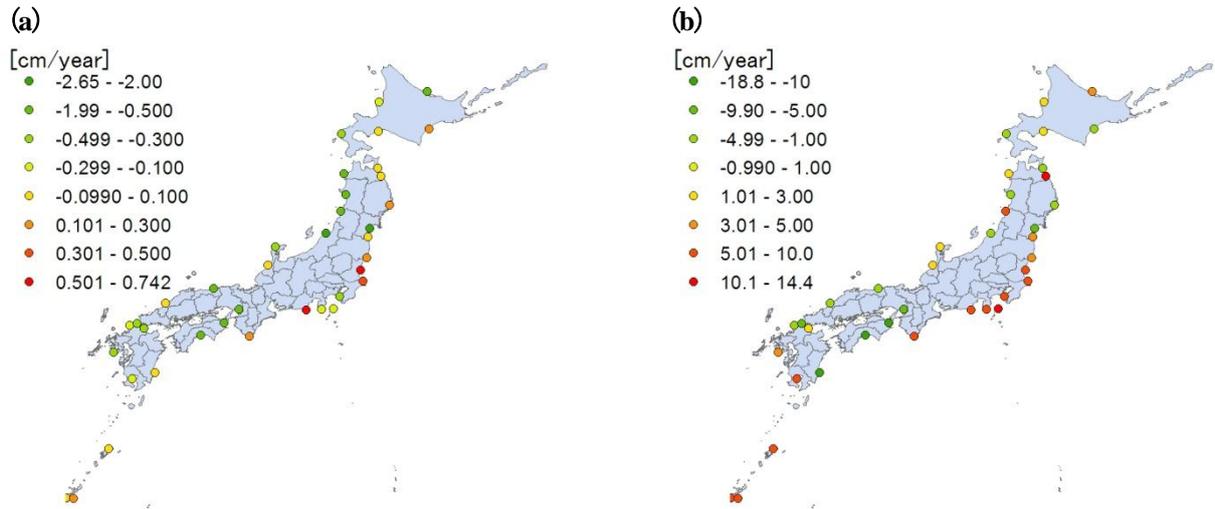


図4 (a) 年平均有義波高トレンドの全国分布および (b) 年最大有義波高トレンドの全国分布

### 3. 侵食量の推定

#### 3.1 侵食モデル

砂浜の長期侵食予測モデルとしては, Bruun (1962) 式, Dean 式 (1994) を用いた. これらの式は簡便で, 沿岸漂砂の影響を考慮できない等の制約があるものの, これに代わる長期侵食予測モデルが存在しないことから多くの研究で用いられている (Cooper and Pilkey, 2004; FitzGerald et al., 2009; Ranasinghe and Stive, 2009). Bruun 則では, 汀線付近の断面地形には底質粒径と波浪条件から決定される平衡断面地形が存在すると仮定し, その地形は式 (1) で表される (図5).

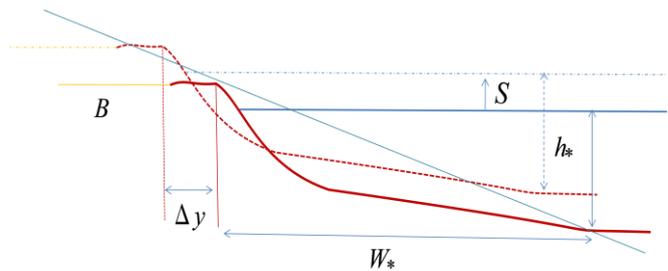


図5 Bruun (1962) の平衡断面地形

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

$h_*$ は水深,  $A$ は海浜断面係数,  $y$ は沖方向の距離である.  $A$ 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 ら (1994) によってその関係性が整理されている. 海面が上昇すると, 砂浜はこの平衡断面地形に向かって土砂移動する. この移動によって汀線が後退する. この後退量は式 (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, 地形変化の沖側境界の水深という定義から Hallemeier (1978) による式 (3) を用いて算定する.

$$h_* = 2.28\bar{H}_m - 68.5 \left( \bar{H}_m^3 / g\bar{T}_m^3 \right) \quad (3)$$

$\bar{H}_m$ は年最大有義波高の観測値の平均値,  $\bar{T}_m$ は年最大有義波周期の観測値の平均値,  $g$ は重力加速度を示す.  $W_*$ は式 (1) に粒径により与えられる $A$ , 式 (3) より算定される $h_*$ を代入することで算定する. また $B_h$ の算定

式として、武田・砂村（1983）によって与えられた式（4）を用いて算定する。

$$B_h = 0.125 \bar{H}_b^{\frac{5}{8}} (g \bar{T}_s^2)^{3/8} \quad (4)$$

$\bar{H}_b$ は $\bar{H}_s$ に対する碎波波高（m）、 $\bar{H}_s$ は年平均沖波有義波高の観測値の平均値、 $\bar{T}_s$ は年平均沖波有義波周期の観測値の平均値を表す。 $\bar{H}_b$ は砂村（1983）によって与えられた式（5）によって算定する。

$$\bar{H}_b / \bar{H}_s = (\tan\alpha)^{0.2} (\bar{H}_s / \bar{L}_s)^{-0.25} \quad (5)$$

$\tan\alpha$ は井上ら（1993）と同様に移動限界水深付近の海底勾配、 $\bar{L}_s$ は年平均沖波有義波長の観測値の平均値を表す。これらの式を用いれば、砂浜の粒径、海底勾配、沖波の波浪条件から侵食量を算定することができる。

Dean（1991）はBruun則と同様な考え方に基づいて、バームが垂直に伸びている地形に対して砂浜の後退量を算定する式（6）を導いている。

$$\Delta y / W_* = -S / B_h + 3 (h_* / 5B_h) [1 - (1 + \Delta y / W_*)^{5/3}] \quad (6)$$

ここで $B_h$ 、 $h_*$ 、 $W_*$ の算定方法はBruun則と同じである。

以上のBruun、Deanの2つのモデルを用いて、文献等から底質粒径・海底勾配が得られた海岸に対して海面上昇した場合の後退量を算定する。図6には、平均有義波高を1m、平均有義波周期を6secとし、最大有義波高を5m、最大有義波周期を10secに固定した場合の海底勾配、海浜断面係数とBruun式による侵食量の関係を示した。また図7には、同じく平均有義波高を1m、平均有義波周期を6secとし、 $A=0.1$ 、 $\tan\alpha=0.01$ に固定した場合の最大有義波高、最大有義波周期とBruun式による侵食量の関係を示した。

海面上昇量として、三村ら（1993）と同様にIPCC WG1（1990）の予測に基づいて2100年時点の最も高い予測である1mを用いることにした。また海浜断面係数を求めるために必要な砂浜の底質粒径、海底勾配は参考文献に示す文献等から引用した。粒径条件が得られなかった海岸に対しては、三村ら（1993）の研究を参考にして、 $A=0.1$ として計算した。

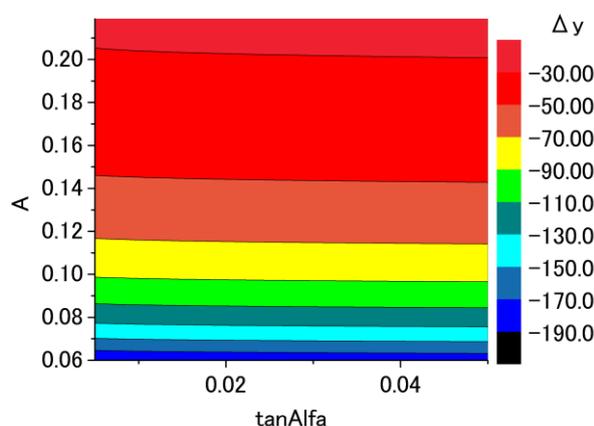


図6 海浜断面係数と海底勾配と $\Delta y$

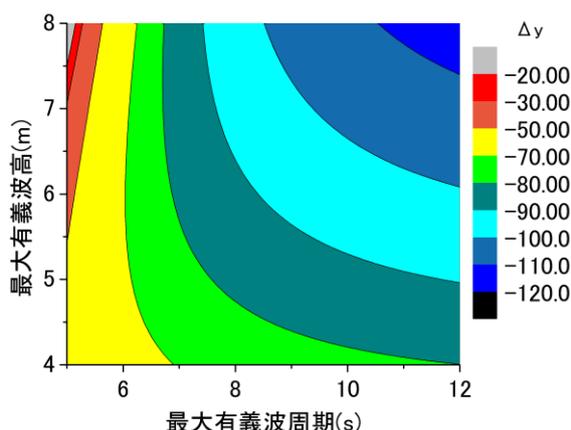


図7 最大有義波高と最大有義波周期と $\Delta y$

### 3.2 結果

Bruun 式と Dean 式を用いて推定した日本全国の侵食量分布を図 8, 図 9 に示す。いずれの地点でも Bruun 式を用いた推定結果より Dean 式を用いた方が侵食量は大きくなった。後退量はばらつきがあるが、-30~-170 m 程度で大きい値となった。粒径が大きい地点で海岸侵食量が小さい値になった。

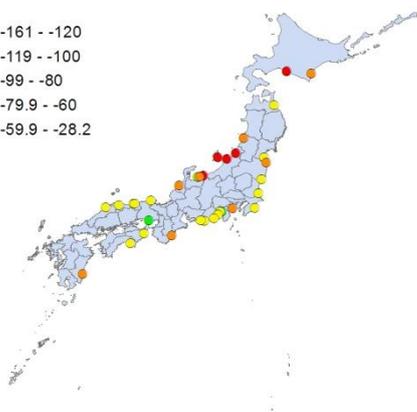


図 8 Bruun 式を用いた  
推定砂浜侵食量の全国分布

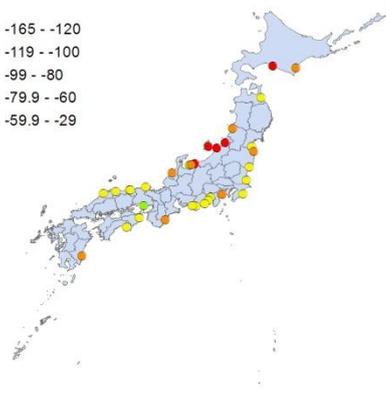


図 9 Dean 式を用いた  
推定砂浜侵食量の全国分布

### 4. まとめ

全国的な潮位・波浪の経年変化特性について分析した結果、少なくとも最近の数十年前間は、年平均潮位、年最大潮位は全国的に増加傾向にあり、年最大有意義波高についても同様に増加傾向にあった。このことから、日本の海岸侵食リスクは長期的に増大傾向にある可能性がある。また、海岸侵食モデルを用いて砂浜侵食量を推定した結果、1m の海面上昇で 30~170m 汀線が後退する可能性があると推定された。しかし、粒径の情報がない砂浜が存在し、侵食量の推定値の影響が大きい A の値を 0.1 で与えており、また、侵食量は実際の砂浜幅を超えることはないものの、今回の推定結果ではこれを考慮しておらず、砂浜幅以上の侵食量と推定した可能性があり、今後これらについて検討を要する。

### 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。また本論文を作成するにあたり、武田百合子氏にデータ整理の協力を頂いた。ここに感謝の意を表する。

### 参考文献

- 1) 幾世橋真, 三村信男, 加藤 始, 古米弘明, 信岡尚道: 平衡海浜地形の仮説に基づいた砂浜に対する海面上昇の影響予測, 平成 6 年度学位論文, 142p, 1995.
- 2) 井上馨子, 三村信男, 加藤 始, 古米弘明, 信岡尚道: 海面上昇に対する海浜地形の応答: 予測モデルとその検証, 平成 5 年度学位論文, 138p, 1993.
- 3) 上森千秋: 高知海岸の漂砂浜について, 海岸工学講演会講演集, 第 14 巻, pp.282-285, 1967.
- 4) 宇多高明: 日本の海岸侵食, 山海出版, 439p, 1997.
- 5) 宇多高明・口石孝幸・見附敬三・加藤憲一・谷口 丞・赤松直博: バームの形成と沿岸漂砂を同時に考慮した海浜変形モデル, 海洋開発論文集, 第 17 巻, pp.469-474, 2001.

- 6) 宇多高明・北上勝彦・山本幸次・河野茂樹：北海道日高沿岸における海浜変形，海岸工学論文集，第38巻，pp.276-280，1991.
- 7) 宇多高明・西 隆一郎：志布志湾押切海岸の侵食とその対策，海岸工学論文集，第49巻，pp.581-585，2002.
- 8) 沿岸技術研究センター：全国港湾海洋波浪観測記資料 1991-2003，2005.
- 9) 柿木哲哉・木下栄一郎・滝川 清・山田文彦・外村隆臣：平均水面の季節変動が干潟地形に及ぼす影響，海岸工学論文集，第50巻，pp.471-475，2003.
- 10) 気象庁：潮位観測データ，1961年~1996年，2009.
- 11) 気象庁：潮位観測データ，第7集，第1-12号，2009.
- 12) 気象庁：潮汐観測，第4-6集，1973-1996.
- 13) 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-skb/ks-jyo/kaisy/dat/sub300.htm>
- 14) 国土地理院昇降検知センター験潮場取付水準測量成果集：<http://cais.gsi.go.jp/cmdc/center/itiran.html>
- 15) 武田一郎・砂村継男：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.
- 16) 農林水産省構造改善局・農林水産省水産庁・運輸省港湾局・建設省河川局：全国海岸域保全利用計画調査報告書，336p，1990.
- 17) 間瀬 肇・田中 遼・森 信人・安田誠宏：日本海沿岸における波浪の経年変化特性に関する研究，土木学会論文集 B2，Vol.B2-65，No.1，pp.1251-1255，2009.
- 18) 三村信男・幾世橋誠・井上馨子：砂浜に対する海面上昇の影響評価，海岸工学論文集，第40巻，pp.1046-1050，1993.
- 19) 三村信男・井上馨子・幾世橋誠・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.1161-1162，1994.
- 20) 由比政年・中谷 健・石田 啓・山内正彦・二俣 秀・高橋 至：手取川河口周辺における海底地形の長期変動に対する河川土砂管理の影響，海岸工学論文集，第52巻，pp.616-620，2005.
- 21) Bruun, P.: Sea-level rise as a cause of shore erosion, J. Waterways and Harbors Div, ASCE, 88 (WW1), pp.117-130, 1962.
- 22) Dean, R.G. : Equilibrium beach profiles : characteristic and applications, Journal of Coastal Research, Vol.7, No.1, pp.53-84, 1991.
- 23) 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, 36, pp.601-647, 2008.
- 24) Hallermeier, R.J. : A profile zonation for seasonal sand beached from wave climate, Coastal Engineering, 4, pp.253-277, 1980.
- 25) IPCC WG1 : Climate Change – The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, 365p, 1990.
- 26) J. Andrew, G. Cooper and Orrin H. Pilkey : Sea-level rise and shoreline retreat : time to abandon the Bruun rule, Global and Planetary Change, 43, pp.157-171, 2004.
- 27) Roshanka Ranasinghe and Marcel J. F. Stive : Rising seas and retreating coastlines, Climatic Change 97, pp.465-468, 2009.