

日本海（東海）沿岸における海水面の変動と海岸侵食に関する基礎的研究

Sea-level Change along the Coast of Sea of Japan (East Sea)

and Coastal Erosion due to Sea-Level Rise

孫 彰培*・野田英明・松原雄平・黒岩正光**・姜 孝辰***

Chang Bae. Son, Hideaki. Noda, Yuhei. Matsubara, Masamitsu. Kuroiwa, Hyo Jin. Kang

This paper deals with long-term sea-level change along the coast of Sea of Japan (East Sea) and an expectation of shoreline retreat by sea-level rise. Tidal level data have been analyzed by 12 months moving average and this result shows a tendency to rise. Wave tank experiment shows not only static retreat by water-level rise but also additional retreat by waves plays an important role in total retreat by water-level rise. Shoreline retreat has been predicted with some assumptions using analyzed sea-level data.

key words : sea-level rise, shore erosion, shoreline retreat

1. はじめに

環日本海沿岸諸国の日本と韓国は、海岸線付近に人口、産業が局所的に集中する地域形態となっており、津波や高潮が来襲した場合、多大な被害を受けることが予想される。近年では、CO₂を中心とした温室効果ガスの排出増加に伴う地球温暖化が様々な地球規模の環境問題を発生させており、その中でも海面上昇による海岸侵食の被害が懸念されている。海面上昇高について、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、2100年までに 19-95 cm 程度水位が上昇することを報告している¹⁾、Hoffmanらは、2085年までに 57-368cm、また、Revelleは 70cm程度であると報告している²⁾。これらの予測値は大小様々で、地域的特性の強い局所的なデータとしては予測精度が不十分であると考えられる。今後、精度よい将来予測を行う上でもできるだけ多くの現地データの蓄積が必要である。

本研究では、日本と韓国の日本海（東海）沿岸における海水面の長期変動について実測データをもとに検討する。さらに、海面上昇が地形変化に及ぼす影響について、実験的および理論的に検討しようとするものである。

2. 海水面の長期変動

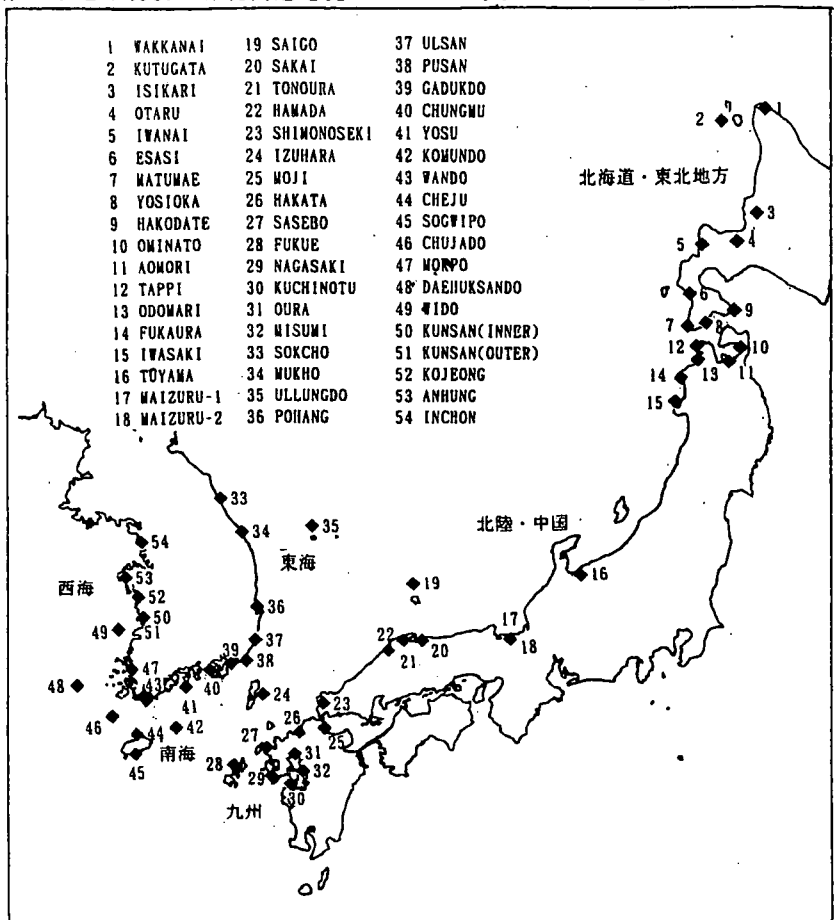


図 - 1 検潮所の配置図

* 学生員 鳥取大学工学部土木工学科

** 正会員 鳥取大学工学部土木工学科 (680 鳥取市湖山町南4-101)

*** 韓国海洋大学校海洋工学科

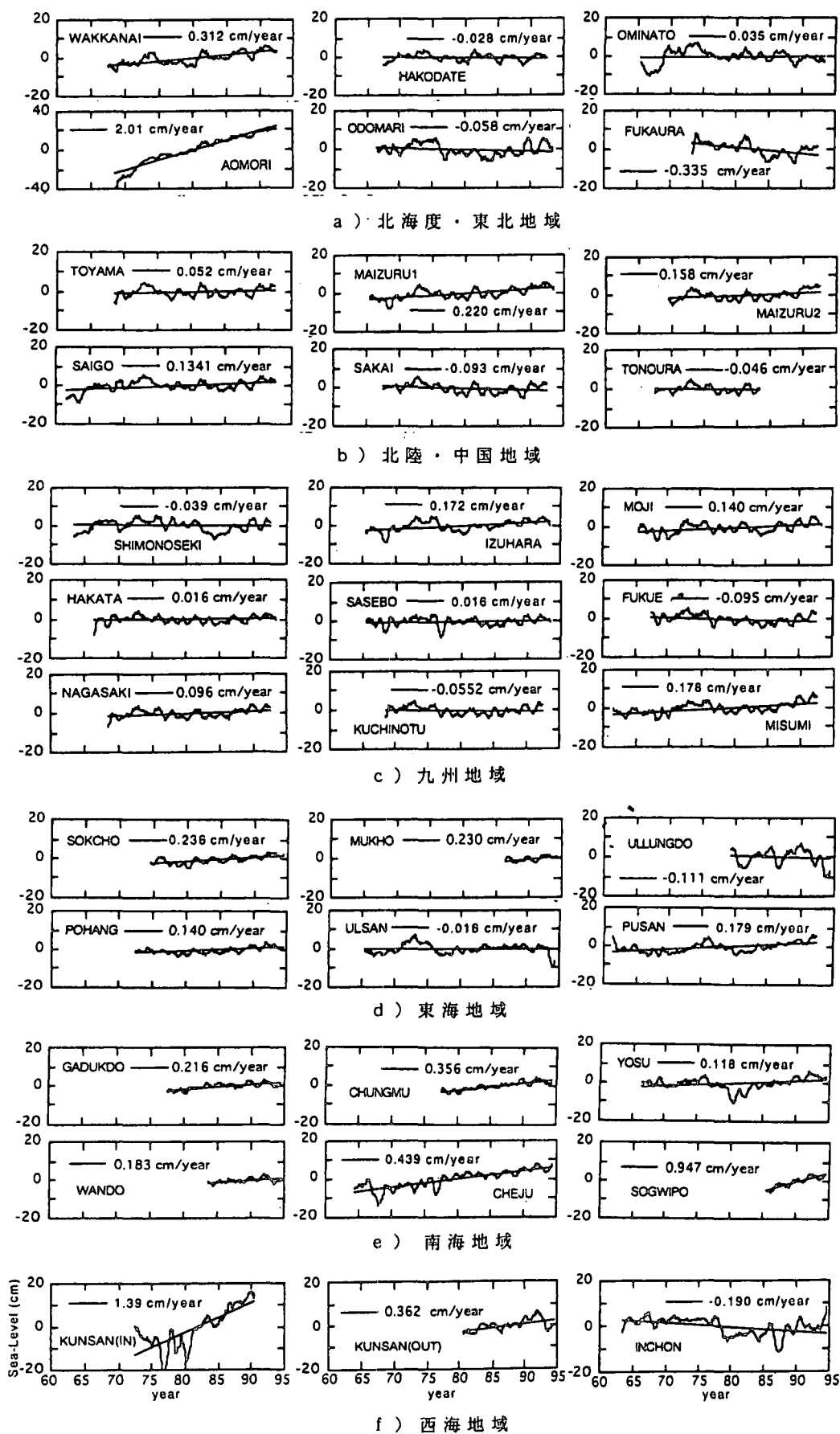


図 - 2 潮位の長期変化 (12 か月移動平均)

本研究で用いた潮位データは、海上保安庁水路部、気象庁および北海道開発庁から提供された日本海沿岸の32か所、韓国の水路局から提供された韓国沿岸の22か所の検潮記録であり、検潮所は図-1に示すとおりである。本研究では、各地点において実測された潮位データから長期的変動を把握するため、季節変動の強い潮位データから季節変動の影響を除去し解析した。図-2(a)~(f)は、それぞれ北海道・東北、北陸・中国、九州、韓国東海、南海および西海地域における月平均値の時系列から12カ月の移動平均をとって表した潮位の時間的変化を表したものである。図中に示す実線は、直線回帰によって求められたもので、各地点における1年間当たりの海面上昇高を表したものである。なお、紙面の都合から代表地点のみについて示した。これらの図から、海面は下降傾向の所もあるが、全体的には上昇傾向にあることがわかる。地域別上昇率の大きい順に見ると、西海では-0.19~1.39 cm/year程度で、南海では0.12~0.95 cm/year、北海道・東北地方では-0.34~2.02 cm/year、東海では-0.11~0.24 cm/year、九州では-0.01~0.18 cm/year、北陸

表-1 実験条件

h(cm)	T(sec)	H(cm)	H ₀ (cm)	L ₀ (cm)	H ₀ /L ₀
40	1	6.56	7.02	156	0.045
45	1	6.63	7.02	156	0.045
50	1	6.71	7.02	156	0.045
55	1	6.77	7.02	156	0.045

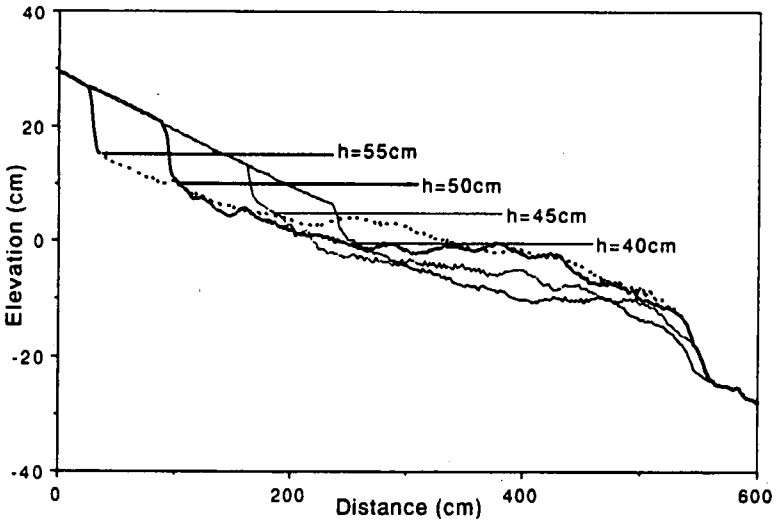


図-3 水位上昇による海浜縦断地形の変化

・中国では-0.01~0.22cm/yearとなっていることがわかる。潮位の長期変動は隣接した地域でも反対の潮位変動傾向を有している所があったり気圧および気温が潮位の変化傾向と反対の傾向³⁻⁴⁾を示す等複雑な変動メカニズムを有している。その原因としては海流、地殻変動、地形等を考えられており、潮位、海流、気圧、水温等の関係を明らかにする必要があると考えられる。

3. 水位上昇に伴う地形変化に関する実験

(1) 実験方法および実験条件

海面上昇が地形変化に及ぼす影響について把握する第一段階として、沿岸漂砂は考慮せず、岸沖漂砂のみを考えた縦断地形変化について室内実験を行った。実験は長さ24m、幅0.6m、高さ1.1mの断面2次元波動水槽を用いて行った。水槽の一端にはピストン式造波機、他端には勾配1/10の鋼製斜面が設置してある。この斜面上に中央粒径0.017cmの豊浦標準砂を10cm厚に敷き詰めて海底地形を作成し、規則波下で行った。まず、一様勾配断面から平衡断面になるまで波を作用させ、さらに、その断面を初期断面として、水深を40cm~55cmまで、5cmずつ変化させ、それぞれの断面地形において平衡断面になるまで波を作用させ地形変化を調べた。実験条件は表-1に示すとおりで、周期を1.0秒とし、沖波波形勾配が0.045となるように、一様水深部の波高を調整した。

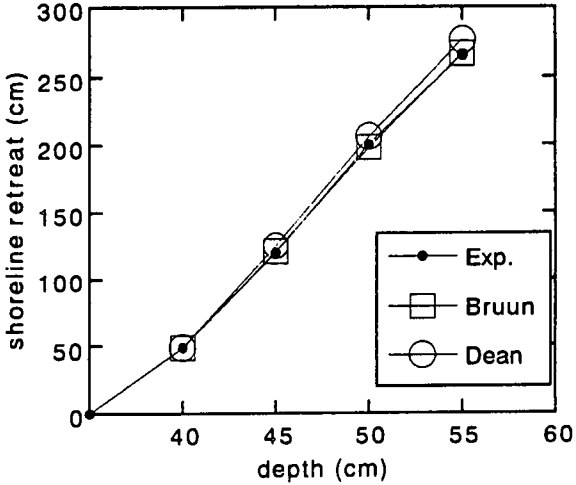


図-4 水位上昇による汀線後退量

(2) 実験結果および考察

図-3は沖波波形勾配 H_o/L_o を 0.045 で一定に保ち水位を水深 40cm から 5cm ずつ上昇させた時の海浜縦断地形の変化を表したものである。この図から海浜縦断地形はほぼ同じ形状の平衡断面を維持したまま岸方向に移動しているのがわかる。図-4は水位上昇量と汀線後退量との関係を示したものである。なお、図中に示す実線・印は実験結果を表し、□印および○印はそれぞれ後述する Bruun および Dean の式を用いて計算した汀線後退量の結果である。この実験結果から水位 5cm 当りに汀線は沖波波長の 40~50% 程度後退することが分かる。また、水位上昇に 1cm に対し、汀線は 14.5cm 程度後退することがわかる。図

-5は沖波波形勾配 H_o/L_o を一定に維持して水位を上昇させた場合の汀線の時間的な変化を無次元距離 X_s/L_o 、無次元時間 t/T の関数で示したものである。ここに、 X_s は水位上昇前の初期汀線の位置から水位上昇後の汀線の位置までの距離である。この図から波を作用させず水位だけ上昇させた場合の汀線後退、いわゆる静的後退だけでなく、波による汀線の後退量も大きいことがわかる。この図では無次元時間 t/T が 0 の時の汀線後退距離が静的後退距離で平衡断面になってからの汀線後退距離との差が波による付加的な汀線後退距離である。

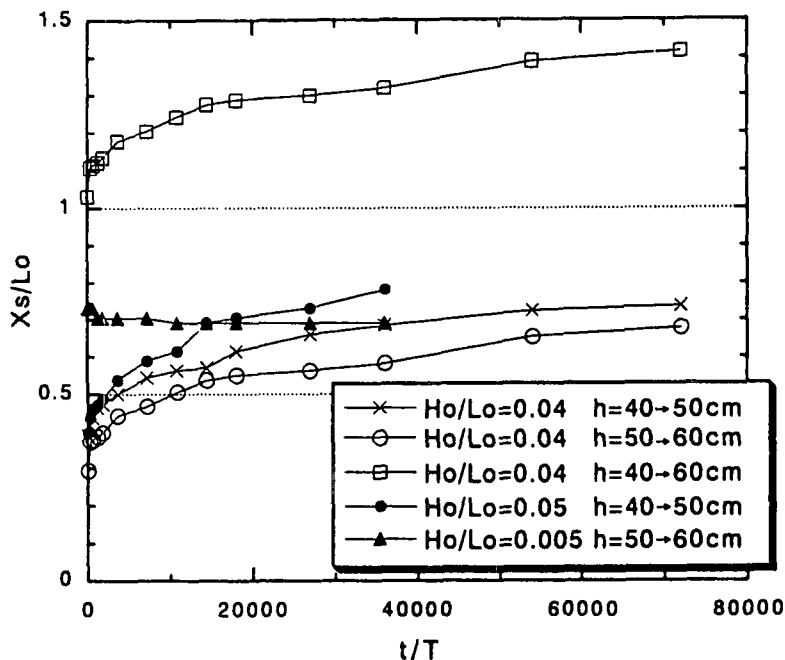


図-5 汀線の時間変化

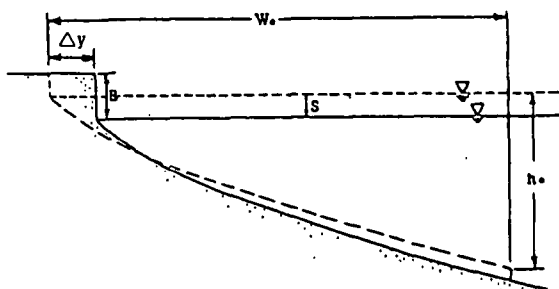


図-6 海面上昇に対する海浜の応答モデル (Dean, 1991)

4. 汀線後退の予測

前述した実験結果から、水位上昇に伴う地形変化が明らかにされたが、実際には、将来予測を行う必要があり、予測手法の確立が必要である。その手法については、Bruun および Dean による程度で、確立された手法は無いのが現状である。本研究では、後述する彼らの式を用いて汀線後退量を計算し、その特性について検討する。

Bruun⁵⁾(1962, 1968)は、図-6に示すように、水面高が S だけ上昇したとき、海浜縦断地形もそのときの水位に対し、平衡断面に向かって変化するとし、汀線付近で侵食された土砂量と沖側に運ばれて堆積する土砂量が等しいという幾何学的な考え方から次のような汀線変化式を導いた。

$$\Delta y = \frac{W \cdot S}{h_o + B} \quad (1)$$

ここに、 Δy は汀線の後退距離、 S は水位上昇量、 h_o は断面変化が生じる限界水深、 B はバーム高さ、 W は汀線から断面変化が生じる限界水深までの岸沖距離である。なお、このモデルは海浜縦断地形の形状に関係なく適用できる長所がある。

Dean⁶⁾は多くの実測海浜縦断地形データを解析して次のような平衡断面式を提案した。

$$h(y) = A(D)y^{2/3} \quad (2)$$

ここで $h(y)$ は水深、 y は汀線から沖方向距離、 A は砂の粒径 D の関数で断面形状係数 (スケールパラメータ) である。この場合海底勾配は A によって決められる。Dean は Bruun と同じ考え方で (2) 式を利用してバームがある海浜縦断地形に対して (3) 式を導いた。

$$-\Delta y + \frac{3h \cdot W}{5B} \left(1 - \frac{\Delta y}{W} \right)^{5/3} = \frac{3h \cdot W}{5B} - \frac{SW}{B} \quad (3)$$

(1)および(3)式中のバームの高さ B および限界水深 h はそれぞれ武田・砂村⁷⁾(1983) および Birkemeier⁸⁾(1985) の式を用いて計算した。バーム高さ B は

$$B = 0.125 \bar{H}_0^{5/8} (g \bar{T}^2)^{3/8} \quad (4)$$

であり、ここに、 $\bar{H}_0$ は平均砕波波高、 $\bar{T}$ は平均周期である。一方、 h は

$$h^* = 1.57(\bar{H} + 5.6\sigma_H) \quad (5)$$

ここに、 $\bar{H}$ は年平均有義波高、 σ_H は波高の標準偏差である。

以上の式を用い、係数 A をパラメータとして、沖波波形勾配と汀線後退量との関係を表したのが、図-7(a)~(c)である。各図はそれぞれ1年間当たりの海面上昇量が0.05cm、0.1cm および 0.5cm の場合である。図中の実線および点線はそれぞれ Bruun および Dean の式を用いて計算した結果である。なお、汀線後退量は背後に護岸等が存在せず、砂浜の幅が無限にあると仮定した場合の後退距離である。また、Dean⁴⁾ によるとスケールパラメータ A の値 0.1、0.15 および 0.2 は、それぞれ底質粒径 0.2、0.5、1.0mm に相当する。これらの図からスケールパラメータ A が小さいと汀線後退量が大きくなることがわかる。また、スケールパラメータ A が一定な条件では沖波波形勾配 H_0/L_0 が大きくなると汀線後退量も大きくなる傾向を示しているが、水位上昇率およびスケールパラメータの変化に比べて汀線変化に及ぼす影響が小さいことがわかる。つぎに、本研究で行った実験結果をもとに Bruun および Dean の式を用いて計算した水位上昇量と汀線後退量との関係を示したのが前出しの図-4である。図-4 から計算結果と実験結果はよく一致していることがわかる。

最後に、実測された潮位データを用いて、Bruun および Dean の式を用いて 現地レベルでの 50年後の汀線後退量の計算を試みた。現地の代表値として、北陸地方の富山 (TOYAMA)、舞鶴 (MAIZURU-1) および中国地方の浜田の3ヶ所の結果を用いた。なお、

計算に用いた波浪データは1994年の NOWPAHS による。また、各地点における詳細な地形データ底質の条件が不足しているため、スケールパラメータ A を種々変えたときの汀線後退量を調べた。表-2 および 3 はそれぞれ各地点の計算条件および汀線後退量の計算結果を示したものである。これらの表から、年海面上昇率が0.8cm程度 (HAMADA) で、 $A=0.2$ (粒径1.0mm程度) では、汀線後退量は9m程度であるが、粒径が小さい場合、すなわち $A=0.1$ では、約26mにもなることがわかる。一方、海面上昇率が0.05cm (TOYAMA) のとき、 $A=0.1$ であっても、約2m程度と小さいことがわかる。

5. おわりに

本研究では、日本と韓国の日本海 (東海) 沿岸における海水面の長期変動について実測データをもとに検討し、さらに、水位上昇が地形変化におよぼす影響について実験ならびに理論的検討を行った。得られた主

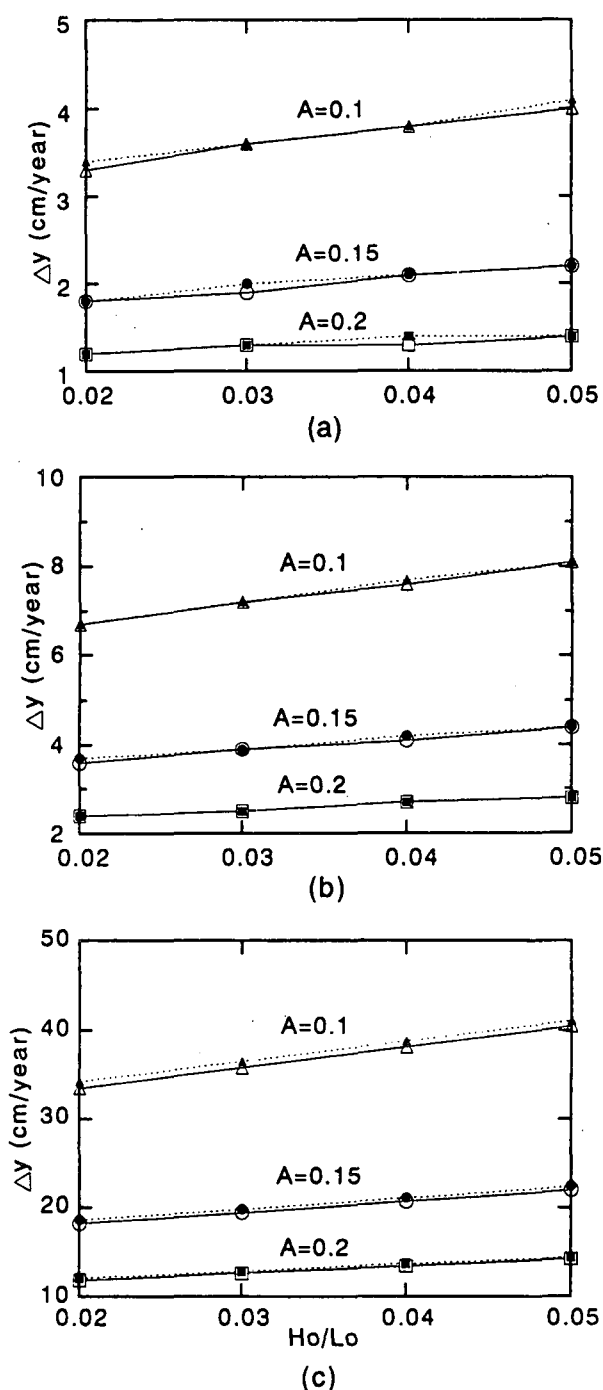


図-7 水位上昇率と汀線後退量の関係

要な結果は以下のとおりである。

1) 実測された潮位データから、海水面は下降傾向の所もあるが、全体的に上昇傾向にあり、地域別傾向は西海、南海、北海道・東北地方、東海、九州、北陸・中国の順に上昇率は大きくなっていることがわかった。

2) 水位上昇に伴う地形変化の実験結果から水位が上昇するにつれ、海浜縦断地形はほぼ同じ形で岸方向に移動し、そのときの汀線後退は静的後退だけでなく、波による付加的後退も大きいことが明らかになった。

3) Bruun および Dean の式においてスケールパラメータ A が一

定な条件で沖波波形勾配 H_0/L_0 が大きくなると汀線後退量も大きくなるが、波浪条件の変化は水位上昇率及びスケールパラメータの変化に比べて汀線変化に及ぼす影響が小さいことがわかった。

4) 最後に、実測された潮位データと Bruun および Dean の式を用いて現地レベルでの 50 年後の汀線後退の計算を試みた結果、それらの後退量は $A=0.1$ の場合、海面上昇率が 0.05cm/year 程度であれば約 2m 程度であり、海面上昇率が 0.8cm/year 程度であれば約 26m にも達することがわかった。

本研究で用いた Bruun と Dean の式は平衡断面の幾何学的な体積関係から導いた式で海面上昇のような長周期の問題に適當であるが沿岸漂砂等地域固有の問題が無視されているので各地点の漂砂源等地域固有の問題を考慮した定量的な評価が今後の課題であると考えられる。

<参考文献>

1) 朝日新聞, 1995.12.1
2) 地球温暖化の沿岸影響, 土木学会海岸工学委員会地球環境問題小委員会, pp. 32-33, 1994
3) 村田和男・山田邦明; 我国沿岸の海面水位の長期変動とその要因, 第39回海岸工学講演会論文集, PP. 1026-1030, 1992
4) 孫 彰培・野田英明・松原雄平・黒岩正光; 日本海域での海面上昇と海岸侵食に関する研究, 印刷中
5) Bruun, P. ; The Bruun Rule of erosion by sea-level rise : A discussion of Large-scale two- and three-dimensional usages, Journal of Coastal Research, 4, pp. 672-648, 1988
6) Dean, R. G. ; Equilibrium beach profiles : Characteristics and applications, Journal of Coastal Research, 7(1), pp. 53-84, 1991
7) 武田一郎・砂村継夫; 砂浜海岸の堆積過程における地形変化, 第30回海岸工学講演会論文集, PP. 254-258, 1983
8) Birkemeier, W. A. ; Field data on seaward limit of profile change, J. Waterway, Port, Coast. and Oceanic Eng. ASCE, 111(3), pp. 598-602, 1985
9) 三村信男・幾世橋慎・井上馨子; 砂浜に対する海面上昇の影響評価, 第40回海岸工学講演会論文集, PP. 1046-1050, 1993

表 - 2 汀線後退量の計算条件

	A ($\text{m}^{1/3}$)	H_{mean} (m)	T_{mean} (sec)	σ_H	h_s (m)	i	H_0/L_0	H_b (m)	B (m)	W. (m)
Hamada	0.1	1.07	6.02	0.54	6.45	1/80	0.019	1.31	1.33	517
	0.15					1/43		1.32	1.34	282
	0.2					1/28		1.39	1.39	183
Toyama	0.1	1.26	6.32	0.66	7.81	1/90	0.020	1.54	1.53	690
	0.15					1/48		1.54	1.53	376
	0.2					1/30		1.64	1.54	244
Maizuru-1	0.1	1.12	5.93	0.70	7.89	1/90	0.020	1.37	1.36	700
	0.15					1/48		1.37	1.36	381
	0.2					1/31		1.46	1.41	248

表 - 3 50年後の汀線後退量の計算結果

年海面上昇率 (cm/year)			Hamada 0.783	Toyama 0.052	Maizuru-1 0.220
汀線後退 距離 (50年間) (m)	A = 0.1	Bruun 式	26.3	1.9	8.3
		Dean 式	26.4	1.9	8.4
	A = 0.15	Bruun 式	14.2	1.1	4.5
		Dean 式	14.4	1.1	4.6
	A = 0.2	Bruun 式	9.1	0.7	2.9
		Dean 式	9.3	0.7	2.9