

相対的な海面上昇を経験した海岸における 修正Bruun則による汀線変化予測

渡邊 国広¹・加藤 史訓¹・高木 利光²・和山 千帆³
花田 昌幸³・竹内 由衣³

¹正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 海岸研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

E-mail:watanabe-k92tc@mlit.go.jp

²フェロー 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8 CS タワー14F)

E-mail:ts-takagi@yachiyo-eng.co.jp

³八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8 CS タワー14F)

気候変動に伴う海面水位の上昇による汀線変化の簡便な予測として土砂量変化を考慮できるBruun則に着目し、国内の海岸における深浅測量結果を用いて手法の適用性を検証した。地殻変動等によって相対的な海面上昇を経験した5海岸を対象にした再現計算では、一部の海岸を除けば±1.0 m/年程度の精度で過去に生じた汀線変化を再現できることが確認され、10海岸を対象とした平衡断面形状の近似式の精度検証では、Deanによって提案されている海浜断面係数を用いて予測した場合の0.5-2.8倍の汀線変化が実際には生じていることが確認された。南九十九里海岸を対象とした予測の試行では、沿岸漂砂量分布の設定を正確にできれば、精度良く汀線変化を予測できることが確認され、これらの結果を踏まえて土砂量変化を考慮できるBruun則を活用する際の留意点について考察した。

Key Words : sea-level rise, shoreline change, Bruun rule, beach profile, projection

1. 研究目的

気候変動に伴う海面上昇による海岸線の後退について、全国規模ではBruun則¹⁾に基づく将来予測が実施され^{2,3)}、例えば国内77海岸を対象にした予測では、最も厳しいRCP8.5シナリオで2081年～2100年には83%の砂浜が消失すると指摘されている²⁾。Bruun則とは岸沖方向の海浜断面形状に着目し、海面水位の上昇量に応じて平衡断面形状を保つように岸沖方向の土砂移動が起こると仮定した簡便モデルであり、国内の地先海岸でも使用された例がある⁴⁾。海面上昇による汀線変化の予測手法としては他にも3次元海浜変形モデルの活用⁵⁾や、岸沖漂砂を詳細にモデル化した平衡型汀線変動モデルも提案されている⁶⁾。

今後整備・更新する海岸保全施設については、将来の海面水位の上昇量を考慮して設計する方針も示されており⁷⁾、都道府県等の海岸管理者には所管する膨大な数の海岸について、計画の見直しが求められることになる。

海岸保全事業の予算が確保された海岸については、3次元海浜変形モデル⁸⁾を用いるなどして具体的な保全策を検討することが可能であるが、その前段階として各海岸管理者が所管する海岸の中から優先的に対策を実施す

る海岸と箇所を選定する際には、より簡便に海面上昇等による影響を概算できる手法も必要となる。

Bruun則は岸沖方向の海浜断面内の土砂量が変化しないことを仮定しているが、地先海岸スケールの将来予測においては沿岸漂砂の影響を無視するわけにはいかない。Dean and Houston⁹⁾によって沿岸漂砂や養浜等による土砂量変化を考慮できる方法(以下、修正Bruun則)も提案されているが、我が国の海岸の地形特性やデータ整備状況における適用性は不明である。

平均海面水位は、全球平均では2006年から2015年までの10年間で3.6mm/年のペースで上昇していることが報告されており⁹⁾、我が国の沿岸においても同程度の結果が報告されている¹⁰⁾。この規模の上昇量では、これまでに経験してきた海面水位の上昇が海浜地形変化に与えてきた影響を検証することは難しいが、地殻変動や地盤沈下(以下、地殻変動等)によって地盤高が低下することで、相対的により大きな海面水位の上昇を経験している海岸が存在する。本研究では、そのような海岸で生じてきた海浜地形変化を分析することで修正Bruun則の適用性を明らかにすることを目的とした。

2. 手法

(1) 研究の構成

本研究で修正Bruun則として扱うのは式(1)であり、右辺第1項までのBruun則に断面内の土砂量変化を表現する項が右辺第2項以降に追加された形となっている。

$$\frac{dX}{dt} = -\frac{dS}{dt} \left(\frac{W_*}{h_* + B} \right) + \frac{\phi}{(h_* + B)} - \frac{1}{L(h_* + B)} \frac{dV_{sink}}{dt} + \frac{1}{L(h_* + B)} \frac{dV_{source}}{dt} - \frac{1}{(h_* + B)} \frac{dQ}{dy} \quad (1)$$

ここで、 X ：汀線の変化量 (m)、 S ：海面上昇量 (m)、 W_* ：土砂の移動限界水深までの水平距離 (m)、 h_* ：移動限界水深 (m)、 B ：バーム高 (m)、 L ：海岸延長 (m)、 ϕ ：移動限界水深より沖からの土砂供給量 (m^3)、 V_{sink} ：漂砂系からの土砂損失量 (m^3)、 V_{source} ：漂砂系への土砂供給量 (m^3)、 dQ/dy ：沿岸漂砂量の沿岸方向の変化量 ($m^3/year/m$)。

海岸管理者が要対策海岸の抽出に用いる予測手法に求められる要件としては、一連の漂砂系内に侵食箇所と堆積箇所が混在している場合にも適用可能であること、深淺測量結果が無い場合でも活用できることが挙げられる。

本研究ではまず、Bruun則の考え方に断面内の土砂量変化を追加した場合の汀線変化予測の精度を検証し、続いて平衡断面形状の近似式の我が国の海岸における適用性を検証した。最後に、修正Bruun則を実際の海岸に適用し、得られた汀線変化の予測結果を実測値と比較することで、地先海岸スケールの概略検討に対する本手法の適用性と使用時の留意点について考察した。なお、平衡断面形状の近似式は、測量成果が不十分な海岸でBruun則による予測をおこなう際に、移動限界水深までの水平距離を求めるのに用いられることが多い。

(2) 土砂量変化が既知の海岸における精度検証

a) 対象海岸における地盤変動量

地殻変動等による地盤高の低下傾向が強い海岸として5海岸を選定した(図-1)。近傍の潮位観測所で海岸昇降検知センターが公表している地盤変動量の推定値¹¹⁾によれば、地盤高の低下は新潟西港で最も大きく9.1 mm/年(1989年～2005年)、最も小さい胆振海岸で1.8 mm/年(1967年～2011年)であった(図-2)。本研究ではこれを踏まえて、胆振海岸、新潟海岸、富士海岸、駿河海岸における相対的な海面上昇量をそれぞれ2.0 mm/年、9.0 mm/年、6.0 mm/年、8.0 mm/年として与えた。九十九里海岸については九十九里浜侵食対策検討委員会が示した15.0 mm/年(1968年～2012年)¹²⁾を採用した。

b) 汀線変化速度の算定方法

式(1)で示した修正Bruun則のうち、土砂量変化による影響分である右辺第2項以下を統合した式(2)を用いた。

$$\frac{dX}{dt} = -\frac{dS}{dt} \left(\frac{W_*}{h_* + B} \right) + \frac{1}{(h_* + B)} \frac{dV}{dt} \quad (2)$$

ここで、 V ：断面内の土砂量の変化 (m^3/m)。

5海岸34測線における2時期の深淺測量結果から各測線における土砂変化量を算出し、式(2)の右辺第2項に代入することで相対的な海面水位の上昇に対する汀線変化速度を算定して、測量によって得られた汀線変化速度と比較した。算定に必要な移動限界水深とそこまでの水平距離は、予測対象の2時期以外も含む複数時期の測量結果から地形変化の限界水深を判読して設定した。

(3) 砂浜の平衡断面形状の検証

Bruun則では砂浜の平衡断面形状は式(3)で近似される。

$$h = Ay^{2/3} \quad (3)$$

ここで、 h ：水深 (m)、 A ：海浜断面係数 ($m^{1/3}$)、 y ：沖方向の距離 (m)。

底質の中央粒径が1.09 mm以下の海岸における海浜断面係数がDean¹³⁾によって示されていることから、国内10海岸(図-1)のうち、汀線付近の底質の中央粒径が1.09 mm以下であることが確認されている計60測線を対象とした。各測線における底質調査と近い時期に実施された深淺測量の結果を最も近似できる海浜断面係数を算定し、Dean¹³⁾が提案した係数と比較した。

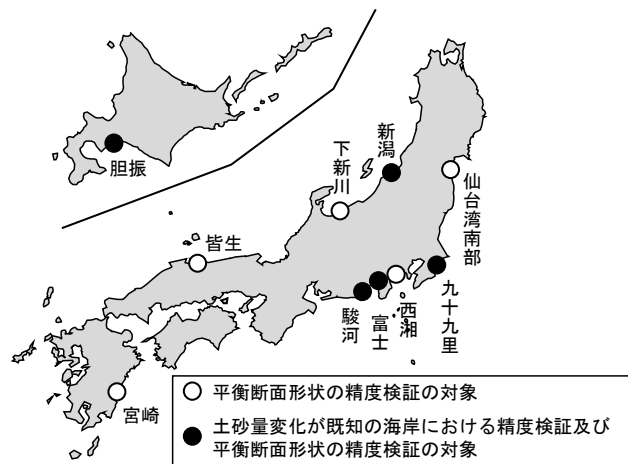


図-1 対象海岸の位置

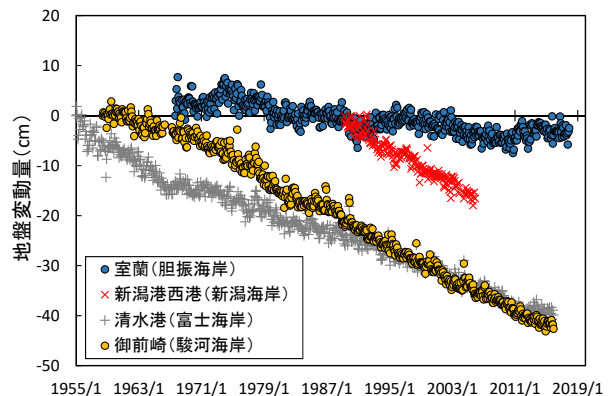


図-2 海岸近傍における地盤変動量

(4) 修正Bruun則による汀線変化予測

a) 汀線変化量の予測手法

南九十九里海岸（片貝漁港～太東漁港）において1977年～2015年までの38年間に観測された汀線変化¹²⁾を対象とした予測を式(1)によって行なった。

算定にあたっては、対象沿岸約23.1kmを沿岸方向に約2.3kmずつ10区域に分割することで(図-3)、場所による汀線変化の違いにも対応できるようにした。各変数は表-1のとおり設定し、移動限界水深よりも沖からの土砂供給については考慮しなかった。移動限界水深とバーム高は宇多ら⁹⁾に従い、移動限界水深までの距離は海底勾配を1/50として算定した。相対的な海面上昇量は、宇多ら⁹⁾が示した地盤沈下量のうち1977年から2012年までの平均値を算定して設定した。対象期間中に区域6から区域9において実施された計約27.5万m³の養浜については、その全体積を土砂供給量として反映させた。

b) 沿岸漂砂量の設定

九十九里波浪観測所における2000年～2017年の波浪データから16方位毎にエネルギー平均波を求め、表-2のとおり代表波を設定した。この代表波毎にエネルギー平衡方程式による波浪変形計算を実施したうえで小笹・Bramptonの沿岸漂砂量式により沿岸漂砂量の分布を求め、各代表波の出現頻度に応じて重み付けして統合した沿岸漂砂量分布から、沿岸漂砂量の沿岸方向の変化量 dQ/dy （以下、沿岸漂砂量の勾配）を求めた。

沿岸漂砂量の勾配は、北から南へ変化を見たときに北向きの沿岸漂砂量が増える場合を負とし、区域2から区域9までは一律に-1.45m³/year/mと設定した。片貝漁港及び太東漁港を越えての沿岸漂砂の出入りは無いと仮定し、区域1の北側境界と区域10の南側境界で沿岸漂砂量が0m³/yearとなるように、区域1、区域10の沿岸漂砂量の勾配をそれぞれ-6.4m³/year/m、19.5m³/year/mと設定した。

また、大木ら¹⁴⁾が地盤沈下による影響を補正して算定した沿岸漂砂量分布図のうち、本研究で設定した10区間における1977年～1993年及び1993年～2015年の結果を判読して得た沿岸漂砂量の勾配による予測も実施した。

3. 結果

(1) 土砂量変化が既知の海岸における精度検証

5海岸34測線について相対的な海面上昇量と断面内の土砂量変化から予測された汀線変化は、同じ海岸の中でも測線によって異なり、胆振海岸を除く4海岸では後退（侵食）だけでなく前進している箇所もあった(表-3)。測量による実測値よりも汀線後退が大きくなる傾向となったが、離岸堤や突堤等の海岸保全施設が存在しない測線では実測値に近い値となった(図-4)。汀線変化の傾向（前進か後退）が整合したのは、構造物がない測線で



地理院タイル（全国ランドサットモザイク画像「データソース：Landsat8画像（GSI, TSIC, GEO Grid/AIST）, Landsat8画像（courtesy of the U.S. Geological Survey）, 海底地形（GEBCO）」）を加工して作成

図-3 南九十九里海岸の区域分割位置

表-1 各領域における変数設定

区域	dS/dt (cm/yr)	W_* (m)	h_* (m)	B (m)	V_{source} (10 ³ m ³)	dQ/dy (m ³ /yr/m)
1	1.1	400	8.0	2.48	0	-6.40
2	1.1	400	8.0	2.48	0	-1.45
3-4	1.6	400	8.0	2.48	0	-1.45
5	0.9	400	8.0	2.48	0	-1.45
6	0.9	400	8.0	2.48	30.5	-1.45
7	0.9	375	7.5	2.325	37.8	-1.45
8	1.2	350	7.0	2.17	167.7	-1.45
9	1.2	325	6.5	2.015	39.0	-1.45
10	1.2	300	6.0	1.86	0	19.5

表-2 代表波浪の設定条件

波向	重心波向(°)	波高(m)	周期(s)	作用日数
E	95	1.46	6.8	27
ESE	113	1.33	8.0	122
SE	135	1.32	7.8	110
SSE	156	1.51	7.3	74
S	176	1.43	6.2	30

は11測線中10測線、構造物が設置されている測線では23測線中18測線であった。

地形変化の限界水深までの水平距離が750m未満の測線では、構造物の設置状況によらず算定値と実測値の差が概ね±1.0m/年程度の差に収まっており(図-5)、対応する汀線変化の実測値は最大5.9m/年、85パーセントイル値で1.9m/年であった。

算定結果のうち、相対的な海面上昇による影響を表す式(2)の右辺第1項によるものは、断面内の土砂量変化を表す右辺第2項によるものに比べて小さく、九十九里海岸以外の4海岸では、ほとんどの測線における汀線変化は土砂量変化によって決まっていた(図-6)。

(2) 砂浜の平衡断面形状の検証

10海岸60測線における測量結果から求めた海浜断面係数の約90%がDeanの係数¹³⁾の0.5～1.5倍の範囲に入っていた(図-7)。仮に移動限界水深が不変で、海浜断面係数が0.5倍、1.5倍になった場合、式(3)より求まる移動限界水深までの水平距離 W_* はそれぞれ約2.8倍、約0.54倍と逆算され、式(1)の右辺第1項の水位上昇に起因する汀線変化量も約2.8倍、約0.54倍となる。Bruun則で算定された

汀線変化量にはこの程度の誤差が含まれることに注意せねばならない。

下新川海岸のように汀線付近の底質が砂であっても沖が礫で構成されている測線や、仙台湾南部海岸のようにかつて存在した沖合のバーが消失するなどの侵食過程にある測線では差が大きくなる傾向が見られた。

(3) 修正Bruun則による汀線変化の予測結果

南九十九里海岸について修正Bruun則によって予測された38年間の汀線変化量は、海岸全体で平均18.5 mの後退と算定され、このうち相対的な海面水位の上昇による汀線後退量は17.1 mであった。同時期に撮影された空中写真からの判読結果と比較すると、区域4及び区域5については良く一致していたが、区域2から区域9にかけての汀線後退量は実測では平均31.0 mであったのに対して予測値は平均10.0 mとなった(図-8)。区域10は実測値との乖離が大きかったが、大木ら¹⁴⁾が提示した地盤沈下補正後の沿岸漂砂量分布を考慮して予測した結果は実測値に近い値となった(図-8)。

4. 考察

(1) 土砂量変化を考慮したBruun則の適用性

土砂量変化が既知の海岸における予測結果の精度は、地形変化の限界水深までの水平距離が750m未満の測線では概ね±1.0 m/年の精度であった(図-5)。これは汀線変化量の実測値の大部分が2 m/年未満であったことを考えれば相対誤差としては無視できないが、砂浜幅が広い海岸であれば管理上は許容できる誤差と考えられる。

離岸堤や突堤などの構造物が設置された測線で精度が低くなったのは、モデルが前提とする土砂量変化と汀線変化の相関が悪いためと考えられる。予測モデル上はバームから移動限界水深まで一律に地形変化が生じるのに対して、実際には沖合施設等により陸側は地形が安定化し、地形変化の大部分が沖合で生じるために、汀線後退が緩和されたものと推察される。

地形変化の限界水深までの距離が750 mを越える測線における精度の低下は(図-5)、胆振海岸と新潟海岸におけるものであった。遠浅の海岸では予測精度が下がる可能性も考えられるが、本研究では扱った海底勾配の範囲が限定されているため検証できなかった。

(2) 平衡断面形状の適用性

国内10海岸における深浅測量結果から算定した海浜断面係数が、底質粒径からDean¹³⁾に従って求めた場合の0.5~1.5倍になったことは、今回対象とした海岸は地形や海象等の条件の幅が広いことや、海岸における底質調査の精度を考慮すれば妥当な結果と考えられる。

特に日本には、下新川海岸のように汀線付近にはわずかに砂が堆積していても、沖が礫で構成された急勾配となっており、式(3)では近似できない海岸も多い。

表-3 各海岸における汀線変化速度の算定結果

海岸名	算定期間	測線	汀線変化速度(m/年) ※沖向きが正
胆振	1988~1995年 (7年間)	2	-2.6 ~ -5.8 (mean -4.2)
新潟	1985~2010年 (6~25年間)	7	2.3 ~ -3.1 (mean 1.5)
駿河	1962~2004年 (11~41年間)	11	7.5 ~ -5.1 (mean 0.4)
富士	1968~2010年 (36~42年間)	7	0.9 ~ -0.9 (mean -0.3)
九十九里	1982~2015年 (33年間)	7	0.7 ~ -2.6 (mean -0.7)

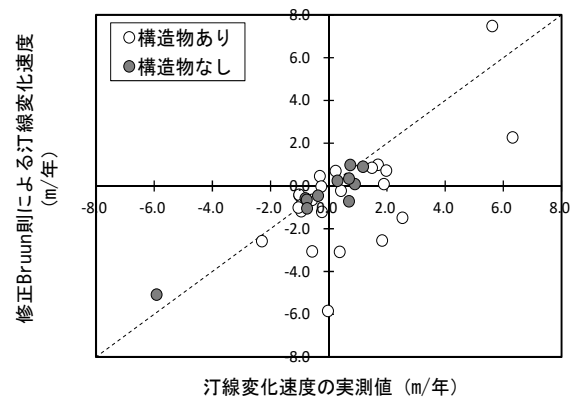


図-4 汀線変化速度の算定結果と実測値の関係

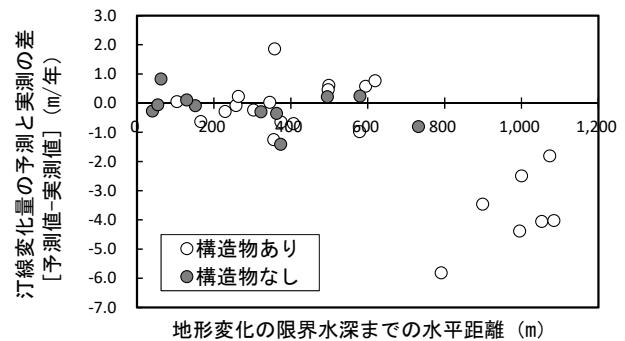


図-5 地形変化の限界水深までの距離と算定結果の関係

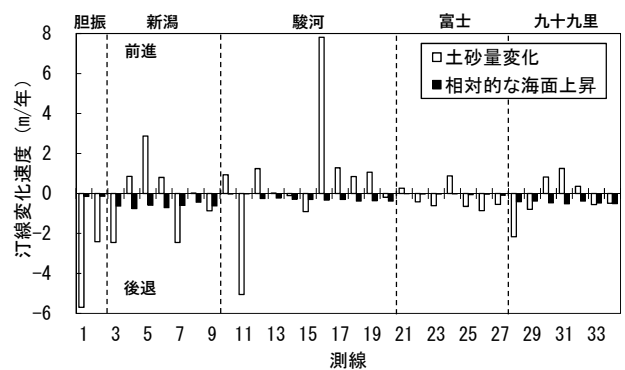


図-6 土砂量変化と海面水位の上昇による汀線変化

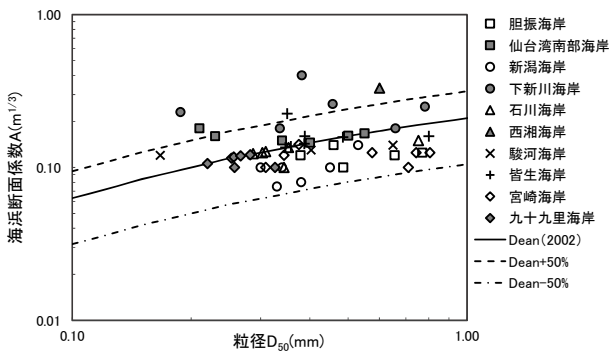


図-7 汀線付近の粒径と海浜断面係数の関係

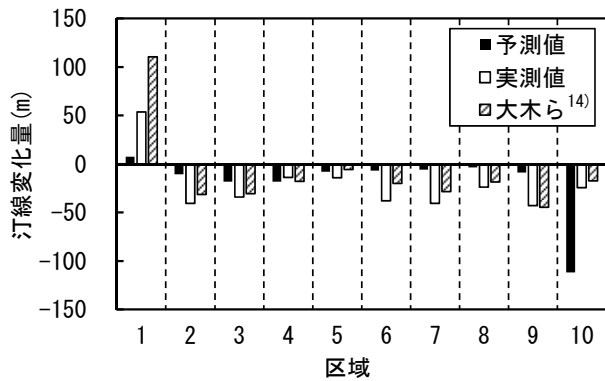


図-8 汀線変化量の修正 Bruun 則による予測結果

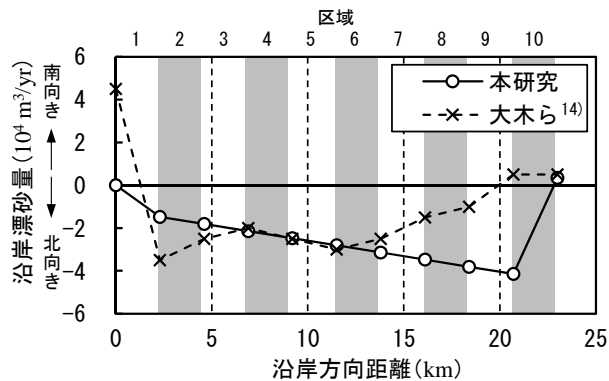


図-9 汀線変化予測に用いた沿岸漂砂量分布

平衡断面係数の適用範囲の拡大や近似式の改良を進めていくことが必要ではあるが、実務上は平衡断面形状を用いて将来の汀線後退量を予測する場合には、予測結果のうちの水位上昇に起因する汀線後退量が3倍近くになる場合があることに留意し、要注意と判断された海岸については深浅測量を実施した上で改めてより詳細な予測をおこなう対応が考えられる。また、移動限界水深についても、波浪観測結果からの推定によって設定される例²⁴⁾もあり、その場合の誤差にも留意する必要がある。

(3) 南九十九里海岸における修正Bruun則による予測

南九十九里海岸で生じた相対的な海面水位の上昇に対して修正Bruun則を適用した結果は、前進・後退の変化傾向は実測と整合したものの、両端を除く8区域における変化量は実測と比べて平均で約21 mの差が生じており、いずれも後退量が過小であった。南白亀川以南において

は砂浜幅が既に50 m未満の箇所が多いことを考えれば、これは無視できない差である。

本研究で考慮していない海面水位自体の上昇を全球平均と同じ3.6 mm/年の速度で与えれば、38年間で約5.2 mの汀線後退が加算されるが、海岸全体に対してほぼ一律に影響するため、区域による精度の違いは解消されない。

養浜を全く考慮しない場合、区域8は汀線後退量が約8.0 m増加するものの、区域6、区域7、区域9ではそれぞれ約1.3 m、約1.7 m、約2.0 mの後退量増にしかならず、養浜の扱いを追求しても大きな改善にはならない。

本研究における沿岸漂砂量の勾配は、南白亀川から南へ行くに従って北向きの沿岸漂砂量が多くなる設定であるが、大木ら¹⁴⁾の沿岸漂砂量分布に従えば南へ行くに従って沿岸漂砂量が減少する(図-9)。一宮川の河口周辺とその北側を含む区域7は護岸の前面にほとんど砂浜が無く、一宮川以南の区域8及び9にはヘッドランド群が設置されており、これらによる沿岸漂砂量の低減を見込めていないことの影響が大きかったと考えられる。

(4) 修正Bruun則を活用する上での留意点

5海岸における精度検証結果から、多くの海岸では海面水位の上昇よりも土砂量変化の方が汀線後退への影響が大きく、沿岸漂砂による土砂収支の見積もり精度が重要であることが確認された。

しかし将来予測では、海浜地形の変化から断面内の土砂収支を算定することができないため、本研究で試行したような代表波浪などから推定せざるを得ない。想定し得る複数パターンの沿岸漂砂量分布について感度分析をおこない、予測結果の幅を把握した上で対策検討に用いるなどの工夫が必要であろう。感度分析の幅を絞り込むうえでも海岸保全事業を実施していない海岸についても、汀線変化量に漂砂の移動高を掛け合わせる等の簡易手法により土砂収支を把握しておく必要がある。

(5) 砂浜保全における気候変動適応策への示唆

汀線変化の大部分が断面内の土砂量変化で説明されるという結果は、将来予測される海面水位の上昇を考慮した場合でも、各海岸で優先的に対策を実施すべき箇所は、土砂収支の不均衡が生じている箇所であり、現在の侵食対策を着実に進めていくことが重要であることを示唆する。その上で、海面水位の上昇によって新たに必要な浜幅が確保されなくなる砂浜も侵食対策の対象に追加できるように、修正Bruun則を始めとする簡便な方法を用いて所管する全ての海岸に対する概略調査を実施しておくことが必要である。

なお、本研究で考慮した気候変動の影響は平均海面水位の上昇のみであり、実際には漂砂に影響する波浪にも変化が起こる可能性がある。波浪についての知見は海面

上昇に比べて乏しいために、現時点で予測に見込むことは難しいが、気候変動が海象に与える影響についての研究動向に注意しつつ、現状の予測を上回る海浜地形変化が生じた場合にも影響をなるべく抑えることができる柔軟性の高い対策を検討していくことも必要であろう。

5. まとめ

本研究では、土砂量変化が既知の5海岸における精度検証、10海岸を対象とした砂浜の平衡断面形状の検証、南九十九里海岸を対象とした修正Bruun則による汀線変化予測の試行を行い、以下の結果を得た。

土砂量変化が既知の場合、修正Bruun則による予測は、胆振海岸と新潟海岸を除けば概ね±1.0 m/年の精度を示し、要対策海岸の抽出段階にも活用可能な精度を有する。

ただし現状では、将来の沿岸漂砂量分布を精度高く予測することが難しいため、沿岸漂砂の感度分析を実施して幅を持った予測を行うなどの工夫が必要である。

さらに平衡断面形状の近似式を用いた場合には、海面上昇に起因する汀線変化量が予測結果の0.54~2.8倍の範囲をとりえることに留意する必要がある。

また、本研究で対象とした海岸では、相対的な海面水位の上昇よりも断面内の土砂量変化の方が汀線変化に大きな影響を与えており、侵食対策を着実に進めることが気候変動適応策としても重要であることが確認された。

参考文献

- 1) Bruun, P.: Sea-level rise as a cause of shore erosion, *J. Waterways Harbors Div.*, 88, 117-130, 1962.
- 2) Udo, K. and Takeda, Y.: Projections of Future Beach Loss in Japan Due to Sea-Level Rise and Uncertainties in Projected Beach Loss, *Coastal Engineering Journal*, 59:2, 1740006-16, DOI: 10.1142/S051856341740006X, 2017.
- 3) Mori, N., Nakajo, S., Iwamura, S. and Takeda, Y.: Projecti-

ons of decrease in Japanese beaches due to climate change using a geographic database, *Coastal Engineering Journal*, 60:2, 239-246, 2018.

- 4) 澁谷容子, 藤原伸泰, 森 信人, 黒岩正光, 志村智也: 気候変動に伴う海面上昇と波浪特性の変化が汀線に及ぼす影響—鳥取砂丘海岸をケーススタディーとして—, *土木学会論文集 B3(海洋開発)*, Vol. 73, No.2, pp.I_546-I_551, 2017.
- 5) 宇多高明, 大谷靖郎, 五十嵐竜行, 大木康弘: 沿岸漂砂と地盤沈下に起因する南九十九里浜の海浜変形の再現計算, *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, Vol. 71, No.2, pp.I_691-I_696, 2015.
- 6) 伴野雅之, 栗山善昭, 橋本典明: 長期地形観測データに対する非線形混合モデルの適用による平衡断面の不確実性評価, *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, Vol. 70, No.2, pp.I_546-I_550, 2014.
- 7) 気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会, https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/hozen/index.html, 参照 2020-5-15.
- 8) Dean, R.G. and Houston, J.R.: Determining shoreline response to sea level rise, *Coastal Engineering*, 114, 1-8, 2016.
- 9) IPCC: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, 2019. In press.
- 10) 野口賢二, 諏訪義雄, 五味久昭, 松藤絵里子: 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向けて, *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, Vol. 66, No.1, pp.1256-1260, 2010.
- 11) 海岸昇降検知センター: 潮位観測から推定された地殻変動, <https://cais.gsi.go.jp/cmdc/center/katoutumura.html>, 参照 2020-1-17.
- 12) 千葉県: 九十九里浜侵食対策検討会議資料, 2017. <https://www.pref.chiba.lg.jp/kasei/shingikai/sinnsy-oku/kentoukaigi-kekka.html>, 参照 2020-5-15.
- 13) Dean, R.G.: *Beach Nourishment: Theory and Practice*, World Scientific, 399p., 2002.
- 14) 大木康弘, 宇多高明, 大谷靖郎, 五十嵐竜行, 三波俊郎: 九十九里浜全域における地盤沈下を考慮した沿岸漂砂量分布の算定, *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, Vol. 72, No.2, pp.I_775-I_780, 2016.

(Received March 16, 2020)

(Accepted July 27, 2020)

PROJECTION OF SHORELINE RESPONSE TO RELATIVE SEA-LEVEL RISE USING THE MODIFIED BRUUN RULE

Kunihiro WATANABE, Fuminori KATO, Toshimitsu TAKAGI, Chiho WAYAMA, Masayuki HANADA and Yui TAKEUCHI

The beach profiles obtained from the Japanese coasts were examined to evaluate the applicability of the modified Bruun rule proposed by Dean and Houston (2016). Five beaches that experienced land subsidence were selected, and the relative sea-level rise was calculated. The projections carried on these beaches using this rule showed that shoreline response to relative sea-level rise could be calculated with an accuracy of 1.0 m/year. Beach profiles of 10 beaches, including the five mentioned previously, were compared to the profiles estimated using the formula expressing the equilibrium beach profile. The projected changes on these 10 beaches based on the equilibrium beach profile were approximately 0.5–2.8 times greater than the observed maximum shoreline change. The results of the examination on the Southern Kujukuri beach suggested that the accuracy of shoreline projection depends on the accuracy of the estimated amount of long-shore drifting sand. Further, some instructions that we should follow when employing the modified Bruun rule were discussed according to these findings.