日本国内における崖海岸侵食推定モデルの構築と精度の向上

東北大学 学生会員 〇的場 慧人 東北大学 正会員 有働 恵子

1. 目的

日本は世界的にも非常に長大な海岸線延長を有する 海洋国家であり、気候変動が進む現在、海岸の保全は土 地利用・国土保全の観点から我が国にとっての重要な 課題の一つである.しかし、岩石海岸の一形態である崖 海岸の侵食は、構成岩石の性質などの内的要因と波浪 や気温といった気候条件をはじめとする外的要因が相 互に関係し、複雑なメカニズムにより引き起こされる ため未だに推定モデルは確立されていない.本研究は、 崖海岸の侵食に及ぼす要因を抽出し、侵食モデルを構 築することを目的とする.

2. 方法

古谷(2021)は、目的変数として 1975 年前後から 2010 年前後を解析期間とする航空写真の解析により得られた国内 19 カ所の崖海岸の後退速度v(m/yr)を、説明変数として波浪と降雨の 2 つの侵食要因に関するパラメータを用いた重回帰分析による後退速度モデルの構築を行った。本研究では、効率的に後退速度の算定を行うために、Google Earth Engine の衛星画像解析ツールである CoastSat (Killian Vos et al., 2019)によって自動抽出した海岸線を用いて算定した後退速度を目的変数として与え、説明変数として波浪・降雨に潮位・気温変化・湿度・砂浜の有無・岩石強度を加えた合計 7 つの侵食要因を与えることとした。重回帰分析の際には、ステップワイズ法と AIC(赤池:1974)を用いてモデル構築に使用する説明変数を決定した。

後退速度の算定においては、2000年 \sim 2019年までの 20年間を対象とした。CoastSat によって Landsat7 及び Sentinel-2によりそれぞれ撮影された 2000年と 2019年の衛星画像から自動抽出された海岸線を重ね合わせ、各対象海岸において 10 測線を設定して、それぞれの測線に沿った 1年当りの変化量を算出した。10 測線の平均値を後退速度vとして与えた。

説明変数の算定において、波浪については気象庁が 提供する Coastal Wave Model の波浪解析データを用い て算定した $2008\sim2015$ 年の年平均波浪エネルギーフラ ックス $P_Y(kJ/m/yr)$ (古谷、2021)を使用した.

降雨については、RUSLE モデル(Renard et al., 1997) の降雨強度係数を使用することとし、レーダー・アメダス解析雨量より算定した $2006\sim2017$ 年の年平均降雨強度係数 $R(M)\cdot mm/ha\cdot h\cdot yr$)(古谷、2021)を用いた.

潮位については、気象庁が提供する潮汐観測データを用い、 $1975\sim2010$ 年頃までの朔望平均潮位差T(m)を算出し変数として用いた.

気温変化については、宇多ら(1999)の岩石中の間隙水の凍結によって岩石の劣化が促進されるという研究結果に基づき、DSJRA55の気温解析データを用いて、各後退速度算定地点における日平均気温が 0℃を下回った日数の年平均を 1975~2010 年までの 35 年間に渡り算定し、凍結回数F、(times/yr)として考慮した.

相対湿度については、Dietze et al.(2019)のドイツ北東部の岩石海岸において、日平均相対湿度が 85~93%の日に侵食量が大きく増加したという研究結果に基づき、DSJRA55 の気温及び露点温度差の解析データからTetensの式を用いた飽和水蒸気圧の計算を行い、後退速度算定地点における1975~2010年までの毎時相対湿度を算出し、日平均湿度が 85%を超える日数の年平均値を湿度パラメータH(days/yr)として与えることとした.

$$H = \frac{E_s}{E_t} \times 100$$

ここで、 E_s :露点に対する飽和水蒸気圧(hPa)、 E_t :気温 $t(^{\circ}C)$ に対する飽和水蒸気圧(hPa)である.

崖海岸海側の砂浜の有無については、Young(2018)の、カリフォルニア南部において、砂浜を有する崖海岸は、砂浜が無い崖海岸と比べた場合 49%後退速度が上回ったという研究結果に基づき、Google Earth を用いて目視によってその有無を確認し、砂浜を有する崖海岸には

ダミー変数1を,有さない海岸には0を与えた.

岩石強度については、井上(2017)が示した、河川や海岸の岩盤強度が乾湿の繰り返しと吸水膨張により指数的に減少することを表す式を用いて岩盤の引張強度を逆算的に求め、次式中で $\sigma_{a0} = K(MPa)$ とした.

$$\frac{\sigma_{TC}}{\sigma_{T0}} = \exp(-C_{dw} \frac{W_{a0}}{\sigma_{T0}} N)$$

 σ_{TC} : 風化後の引張強度(MPa), σ_{T0} : 元の引張強度(MPa), C_{dw} : 経験的な定数 0.21(井上,2017), W_{a0} : 岩盤の吸水率(%),N: 乾湿サイクル数である。 σ_{TC} については,サムナーら(2021)が河川における乾湿風化を考えるに当たって,風化された岩石は最終的に細粒化することに着眼し,岩盤強度の最小値は $0.2\sim0.3$ MPa と知られていることから $\sigma_{TC}=0.27$ (MPa)とした。Nについては,乾湿がそれぞれ 30 分以上起こるサイクルがN=3回で岩石の細粒化が生じるとしており,この値を用いることとした。 W_{a0} は日下部ら(2010)が複数の岩石試料について求めた物性値を後退速度算定地点について当てはめて与えた。この際には三木(1989)の地質図を参考に,原ら(2017)が福島県内で岩石種・堆積年代別に算定した岩盤の一軸圧縮強度に対応するようにした。



図 1:全国 19 か所の後退速度算定地点

3. 結果 考察

2. で算出した 19 カ所分の目的変数及び、標準化した説明変数から重回帰分析とステップワイズ法によって構築された後退速度のモデル式が以下である.

$$v = -0.18R + 0.24$$
 (決定係数: 0.16)

この式は崖海岸の後退速度が降雨に強く依存している ということを示しているが,決定係数の値より,推定モ

デルとして実用するための十分な精度が得られていない.この結果の原因としては、CoastSatを用いた解析を行うに当たり、解析期間の2時期の画像のみを使用して後退速度を算出していることがあげられる.今後、解析に使用する画像数を大幅に増やすなど海岸線の自動抽出時に生じる誤差を小さくするための方法を検討し、十分な精度を持つ方法に改良する必要がある.

4. まとめ

本研究では、海岸沿いの衛星画像を自動解析することにより得られた後退速度と崖海岸侵食に関する 7 つの要因を考慮し、崖海岸侵食モデルの構築を行った。衛星画像を用いた崖侵食後退量の解析では、効率的にモデル構築時の測点数の追加を行うことが可能であるが、崖海岸侵食量は長期的に見ても大きくないことから、現時点では十分な精度が得られていない。今後崖侵食量の解析手法を改良する必要がある。

参考文献

- 1) 古谷仁、有働恵子:日本における崖海岸侵食モデルの構築,土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集,II-72,2021.
- Kilian Vos, Kristen D. Splinter, Mitchell D. Harley, Joshua A. Simmons, Ian L. Turner: CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery, Environmental Modelling & Software, Volume 122, December 2019, 104528.
- 3) 猿渡亜由未,丸山利幸:北海道沿岸における冬季の波浪エネルギー賦存量評価,土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 69, No. 2, I_91-I_96, 2013.
- 4) M. Dietze, K. L. Cook, L. Illien, O. Rach, S. Puffpaff, I. Stodian, N. Hovius: Impact of Nested Moisture Cycles on Coastal Chalk Cliff Failure Revealed by Multiseasonal Seismic and Topographic Surveys, JRG Earth Surface, Vol. 125, Issue 8, pp. 1-17.
- 5) サムナー圭希, 井上卓也, 清水康行:岩盤河川の蛇行流路における乾湿風化の影響, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.77, No.2, L_745-L_750, 2021.
- 6) 日下部裕基, 伊東佳彦, 阿南修司: 岩石の乾湿繰り返しによる強度低下の定量化に関する検討, 寒地土木研究所月報, No.688, pp 23-29, 2010 年9月.
- 7) 原勝重:福島県内に分布する地盤材料の物理・力学特性について(3)~岩石材料の物理・力学特性~, 土と水,第65号,第5章、2017.