

温暖化の不確実性を考慮した適応策の動的意思決定

熊本大学 学生会員 ○秋寄裕矢 正会員 柿本竜治, 安藤宏恵, 藤見俊夫

1. 背景と目的

近年, 地球温暖化が原因とされる異常気象が世界各地で多発している. IPCCでは, 今後も温暖化傾向は続く可能性が高いと予測しており, 我が国で特に懸念される気候への影響として高潮リスクの増大が挙げられる.

高潮は, 台風等による発達した低気圧の影響で高波やうねりが発生する現象であり, 河川氾濫や土地の浸水につながる. 近年は台風21号(2018年)や台風19号(2019年)などによる前例のない規模の高潮が全国各地で発生しており, こうした状況は今後さらに悪化する恐れがある. 我が国は国土面積あたりの海岸線延長が92.24m/km², 人口あたりの海岸線延長も27.25m/百人と他国に比べて非常に高く¹⁾, また水災害に対して脆弱な土地とされる三大湾(東京湾, 伊勢湾, 大阪湾)の海拔ゼロメートル地帯に人口や資産が集中している. これらの地域における高潮は, 都市機能の停止による莫大な経済損失につながりかねず, 想定される被害を軽減するための適応策を早急に検討することが求められる.

高潮被害の軽減へ向けた適応策としては, 一般的に堤防など海岸保護施設の強化が挙げられるが, それには多くの費用と期間を要し, 一度実施すると取り壊しや元の状態への復元が極めて困難である. そのため適応策の実施にあたり, 将来の不確実な高潮リスク変動へ柔軟に対応した意思決定を行う必要がある. 本研究では三大湾の一つである大阪湾を対象に, 不確実な気候変動へ柔軟に対応できる意思決定のあり方を検討する手段として, 堤防嵩上げの動的意思決定モデルを構築し, 対象期間における経済損失を最小化できる嵩上げ高さやタイミングを試算する.

2. 二項過程に基づく動的意思決定モデル

本研究では堤防の嵩上げを検討する対象期間を2020~2100年に設定し, 5年毎に事業の実施に関する意思決定を行うものとする. 不確実な温暖化状態を観測しながら, 対象期間の各時点で社会厚生が最も大きくなる場合の堤防嵩上げ高さを選択する. 社会厚生は式(1)に示すように, 高潮による年間期待被害額

$[-EL(s, x_t)]$ と堤防嵩上げ費用 $[-C(x_t, a_t)]$, 堤防維持費用 $[-m]$ の合計で決定される. 式中の s は, 政策開始点の2020年を基準とした海面上昇を表す. 海面は対象期間において, 大きさに応じた2パターンの上昇を5年毎に繰り返すと仮定し, IPCCによる温暖化シナリオに沿って二項過程モデル化を行った. x_t は同じく2020年を基準とした堤防高さを, a_t は x_t をもとに決定される堤防嵩上げ高さを意味し, 0.5m刻みで選択する. 海面上昇が s , 堤防高さが x_t のときの年間期待被害額 $EL(s, x_t)$ については, Si Ha et al.²⁾が実施した高潮氾濫解析によるデータを用いて推定する. $C(x_t, a_t)$ は x_t の高さを持つ堤防を a_t だけ嵩上げするのに要する費用であり, その大きさは嵩上げ高さ a_t に比例する. m で表される年間の堤防維持費用は, 堤防高さに関わらず一定とする.

式(2)は, 上記の社会厚生をもとに構築した動的意思決定モデルを示している. 式中の β は割引因子であり, r を社会的割引率として $\beta = 1/(1+r)$ と定義される. これを用いて将来における社会厚生 of 割引価値を算出し, 各期の海面上昇量に応じた二項過程モデルに沿って対象期間の最終期から後退的に逐次計算を行う.

$$u(s, x_t, a_t) = -EL(s, x_t) - C(x_t, a_t) - m \quad (1)$$

$$V_t(s, x_t) = \max_{a_t \geq 0} \left[\begin{array}{l} -EL(s, x_t) - C(x_t, a_t) - m \\ + \beta \left\{ p_u V_{t+1}(x_t + a_t, s + \Delta s_u) \right. \right. \\ \left. \left. + p_d V_{t+1}(x_t + a_t, s + \Delta s_d) \right\} \right] \quad (2) \end{array}$$

上記のモデルを用いて算出する堤防嵩上げ計画について, 本稿では温暖化シナリオと施工期間の違いによる変化に着目する. 温暖化シナリオは, IPCC 第5次評価報告書による RCP シナリオを適用し, その中で最悪ケースの RCP8.5 と最善ケースの RCP2.6 を検討する. またそれぞれのシナリオについて, 堤防嵩上げに期間が発生しないという理想的な環境を仮定した場合と, 20年の施工期間が発生する場合を検討する. なお社会的割引率は, 現在の日本で設定されている 4%を使用する.

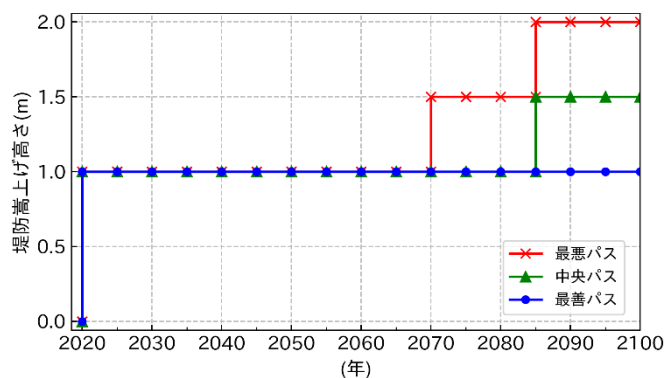


図-1 RCP8.5, 施工期間なし

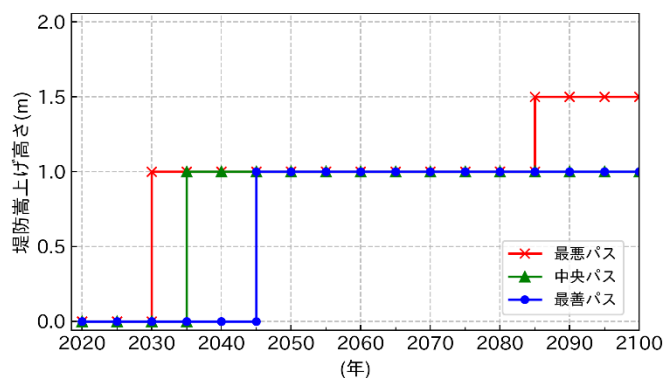


図-2 RCP8.5, 施工期間 20 年

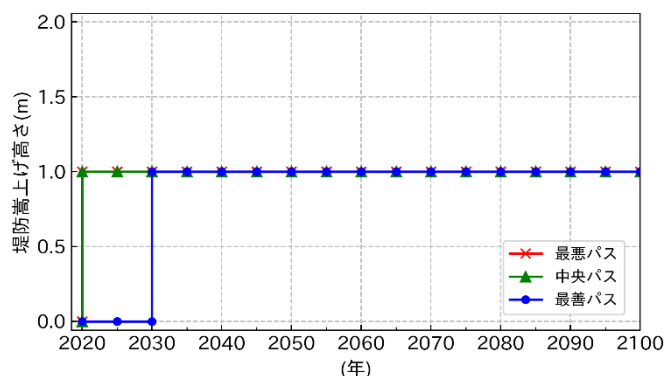


図-3 RCP2.6, 施工期間なし

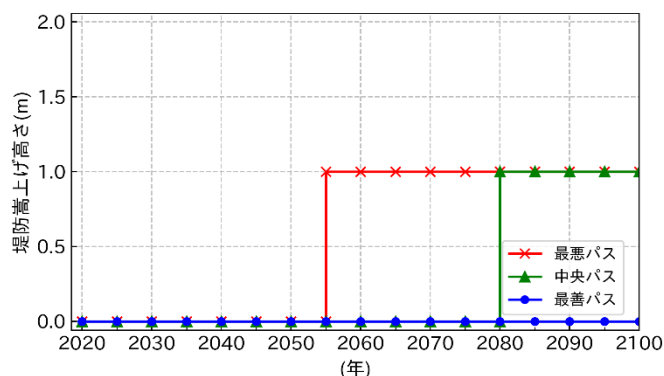


図-4 RCP2.6, 施工期間 20 年

3. 結果および考察

各条件のもと、経済損失が最小化される堤防嵩上げ計画を算出した結果を図-1～4に示す。各図では、RCP シナリオに基づく二項過程モデル上で海面が最も大きく上昇する最悪パス、平均的に推移する中央パス、そして海面上昇量がモデル内で最小となる最善パスを通る場合の計画をそれぞれ表している。

RCP8.5 においては、施工期間が存在しない場合は最大 2.0m、20 年の施工期間を要する場合は最大 1.5m の嵩上げを意思決定するという結果が得られ、対象期間の後半に積極的な嵩上げを決定する傾向が見られる。一方 RCP2.6 においては、施工期間に関わらず 1.0m を超える嵩上げは意思決定されない結果となった。これらは RCP2.6 で予測される 2020～2100 年の海面上昇量が RCP8.5 における予測の約半分であることや、RCP8.5 では海面が指数関数状に上昇することが要因であると考えられる。

また施工期間に着目すると、発生しない場合はより早い時期から嵩上げを決定する傾向が両シナリオで見られる。本研究のモデルは施工期間中に新たな意思決定ができず、一方で温暖化は進行を続けるため、この期間が長いほど嵩上げの実施には慎重にな

ると考えられる。実際には施工期間中に嵩上げ高さの見直し等が行われる場合は十分に考えられるため、こうしたケースを考慮できるようモデルを改善していくことが今後の課題として挙げられる。

4. おわりに

本稿では不確実な温暖化および高潮リスク増大への適応策として、動的意思決定モデルを用いた堤防嵩上げ計画の算出を行った。温暖化が大きく進行するほど、また施工期間が短いほど積極的な嵩上げを意思決定するという結果が得られた。今後は施工期間中における意思決定の見直しや、嵩上げに伴う手戻り費用などを考慮することでさらに高度な動的意

参考文献

- 1) 国土交通省資料：海岸の現状と課題, http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/kaigan_hozen/01/pdf/s02-2.pdf (2021 年 12 月 27 日)
- 2) Si Ha et al. : Cost-benefit analysis of adaptation to storm surge due to climate change in Osaka Bay, Japan, 2021.