第Ⅱ部門　　　気候変動を考慮した海岸保全計画におけるリアルオプション分析の有用性の検討

関西大学大学院理工学研究科　学生員　○神永　彩貴
関西大学環境都市工学部　正会員　安田　誠宏
神戸大学大学院工学研究科　正会員　瀬木　俊輔
東北大学大学院情報科学研究科　正会員　河野　達仁

1.　序論

令和 2 年に気候変動を踏まえた海岸保全のあり方 [1] が提言され，将来気候として気温 2℃上昇相当を前提としつつ，4℃上昇相当も適宜考慮するとされた．この対応において，財政難を抱える地方自治体は，経済効率性を考慮した対策を行う必要がある．経済評価の主な手法として費用便益分析があるが，現行手法には 2 つの課題がある．将来の不確実性が考慮されておらずシナリオの柔軟な変更が想定されていない点，将来における施設の段階的な改良を選択肢に含めていない点である．課題に対応する手法としてリアルオプション分析があり，安田ら [2] はその有効性を示したが，他手法との比較はなされていない．本研究では，リアルオプション分析に加え，現行の費用便益分析（不確実性と施設の段階的な改良を考慮しない），および，段階的整備計画（不確実性は考慮しないが，施設の段階的な改良は考慮する）の 3 手法を，期待社会的総費用の観点で比較し，リアルオプション分析の有用性を示すことを目的とする．また，社会的割引率を 2 パターン（4.0%，2.0%）設定し，その影響についても考察する．

2.　研究手法

(1)　シナリオツリーの作成

安田ら [2] と同様に，高知市の長浜海岸を対象海岸とする．IPCC AR6 Sea Level Projection Toolより得た対象海岸付近の海面上昇予測データから，SSP1-2.6およびSSP5-8.5の海面上昇量を用いてシナリオツリーを作成した．（**図-1**）

(2)　越波・浸水計算

土佐湾沿岸海岸保全施設技術検討会 [3] において推算された将来気候による台風の外力データから，確率年数（10, 20,･･, 100, 200, ･･, 1000 年）ごとのデータを抽出し，打上げ・越波統合算定モデル IFORM[4] を用いて越波量を算定する．続いて，レベル湛水法により浸水深を算定する．

(3)　被害額算定

海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）[5] に従い，堤防

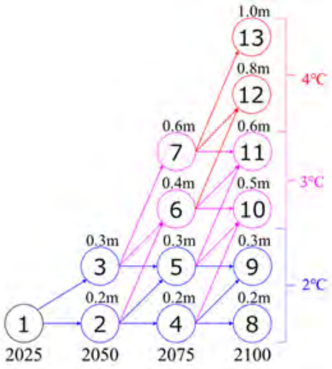

図-1　シナリオツリー
（青：2℃想定，赤：4℃想定，各ノードの数値は海面上昇量）

嵩上げ高ごと（+0 m～+4.0 m），確率年数ごとに，年期待被害額を算定する．本研究では，人口減少に伴い被害額が減少するとした安田ら [2] の分析に加え，一般資産額のうち事業所および農漁家の資産額については，経済成長や労働生産性の上昇を考慮する．

(4)　堤防嵩上げ費用算定

安田ら [2] と同様に，対策工は堤防嵩上げのみとする．嵩上げ費用は過去の施工実績から算出した105千円/mを基準とし，盛土高さが増すほど嵩上げ費用が増加する傾向を反映した算出式を採用する．また，高知県公共事業再評価委員会 [6] の資料に基づき，財政支出の難しさを表すシャドープライスを考慮し，嵩上げ費用は4倍に設定する．

(5)　社会資本整備の評価手法

現行の費用便益分析，段階的整備計画，リアルオプション分析を用いる．現行の費用便益分析は，気候変動の不確実性を考慮せず，**図-1**のシナリオ①→②→⑤→⑨（気温2℃上昇相当）が実現すると仮定し，将来の施設の段階的改良も行わない前提のもと，最適な堤防嵩上げ高を選定する手法である．段階的整備計画も気候変動の不確実性を考慮しないが，将来の施設の段階的改良を含めた長期整備計画を動的計画法により最適化する点が異なる．一方，リアルオプション分析は，シナリオツリーの分岐確率を動的計画法に組み込み，気候変動の不確実性と将来の施設

Saki KAMINAGA, Tomohiro YASUDA, Shunsuke SEGI and Tatsuhito KONO
k756511@kansai-u.ac.jp

の段階的改良の両方を考慮し長期計画を最適化する手法である．なお，本研究で用いたリアルオプション分析は，安田ら[2]で用いられたものと同様である．

(6) 社会的割引率

公共事業評価では，過去の国債の実質利回り等を参考に，社会的割引率 4.0%を適用するのが一般的である．しかし，近年の実質利回りは 1.0～2.0%程度の低水準で推移している．このような背景を踏まえ，本研究では，社会的割引率 4.0%および 2.0%の 2 パターン設定した．

3. 結果

現行の費用便益分析，段階的整備計画，およびリアルオプション分析について，社会的総費用（＝浸水被害額＋堤防嵩上げ費用）の観点で比較を行う．費用便益分析および段階的整備計画は，シナリオ①→②→⑤→⑨（気温 2℃上昇相当）が実現すると仮定し，この条件下の最適堤防嵩上げ高さを用いて社会的総費用を算出する．一方，リアルオプション分析は，シナリオツリーの分岐確率を考慮していることから，すべてのシナリオが実現する可能性を考慮している．したがって，全シナリオに対応する最適堤防嵩上げ高に基づき，社会的総費用を算出する．

表-1 および**表-2** に，社会的割引率 4.0%および 2.0%における，全 18 通りのシナリオの社会的総費用の期待値と，気温上昇想定ごとの期待値を示す．**表-1** より，社会的割引率 4.0%の場合，現行の費用便益分析による期待社会的総費用が最も大きく，リアルオプション分析が最も小さくなった．ただ，リアルオプション分析と段階的整備計画の差は小さい．**表-2** より，社会的割引率 2.0%の場合，リアルオプション分析の期待社会的総費用は他の 2 分析と比較して大幅に小さくなった．

社会的割引率による結果の違いは，リアルオプション分析が有する 2 つの効能によって説明できる．1 つ目は，段階的な整備を実施し必要な支出を後回しにすることで利払いを削減できる点，2 つ目は，将来のシナリオの分岐を考慮することで状況に応じた最適な対策を取ることが可能となる点である．段階的整備計画は，1 つ目の効能のみを有し，現行の費用便益分析はいずれの効能も持たない．社会的割引率が 4.0%と高い場合，将来になるほど堤防嵩上げ費用が小さく見積もられるため，1 つ目の効能が発揮される．そのため，施設の段階的改良を行う段階的整備計画およびリアルオプション分析の期待社会的総費用の差は小さくなった．一方，社会的割引率が 2.0%と低い場合，遠い将来の被害額を過小評価することなく算定するため，リアルオプション分析のみが有する 2 つ目の効能が発揮され，期待社会的総費用を抑えることができた．

表-1 すべてのシナリオ経路の期待社会的総費用および気温上昇想定ごとの期待社会的総費用（社会的割引率 4.0%）

	期待社会的総費用	+2℃	+3℃	+4℃
(A) 現行の費用便益分析	8,677	8,189	8,711	9,079
(B) 段階的整備計画	8,040	7,764	8,004	8,406
(C) リアルオプション分析	7,934	7,764	7,921	8,135
(A) − (C)	743	425	790	944
(B) − (C)	106	0	83	271

(百万円)

表-2 すべてのシナリオ経路の期待社会的総費用および気温上昇想定ごとの期待社会的総費用（社会的割引率 2.0%）

	期待社会的総費用	+2℃	+3℃	+4℃
(A) 現行の費用便益分析	10,021	8,745	9,820	11,802
(B) 段階的整備計画	9,845	8,431	9,644	11,762
(C) リアルオプション分析	8,817	8,510	8,800	9,165
(A) − (C)	1,204	235	1,020	2,637
(B) − (C)	1,028	-79	844	2,597

(百万円)

4. 結論

本研究では，海岸保全施設整備計画に，現行の費用便益分析，段階的整備計画およびリアルオプション分析の 3 手法を適用し，期待社会的総費用の観点から比較を行った．その結果，リアルオプション分析は，いずれの社会的割引率においても最も期待社会的総費用を抑えられる有用な手法であることが示された．また，社会的割引率が 4.0%と高い場合は必要な支出を後回しにすることによる効果，社会的割引率が 2.0%と低い場合は将来の不確実性を考慮する効果が顕著であった．

参考文献

1) 気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会：気候変動を踏まえた海岸保全のあり方提言（概要），2020.
2) 安田誠宏，吉村優一，瀬木俊輔，河野達仁：気候変動を考慮した海岸保全施設整備計画におけるリアルオプション分析の適用，土木学会論文集，Vol.80，No.17，24-17066，2024.
3) 国土交通省高知河川国道事務所，高知県港湾・海岸課：気候変動を踏まえた土佐湾沿岸海岸保全施設技術検討会，2024.
4) 間瀬肇，由比政年，金洙列，楳田真也，松下紘資，安田誠宏，平山克也：越波流量算定式の再考察と IFORM の精度向上，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.77，No.1，pp.18-27，2021.
5) 農林水産省農村振興局・水産庁，国土交通省河川局・港湾局：海岸事業の費用便益分析指針（改訂版），2024.
6) 高知県土木部土木政策課：高知県公共事業再評価委員会，https://www.pref.kochi.lg.jp/doc/saihyouka-index