

# 強化学習を用いた堤防嵩上げの動的意思決定

熊本大学 学生会員 ○藤村幸大

熊本大学 正会員 藤見俊夫

## 1. 背景と目的

我が国では国土面積あたりの海岸線延長が 92.24m/km<sup>2</sup>, 人口あたりの海岸線延長も 27.25m/百人と他国に比べて高い<sup>1)</sup>. そのため津波や高潮等による浸水リスクも高まっていると言える. また、近年では温暖化の影響により自然災害が激甚化しており、2019年8月には4名の方が死亡した九州北部豪雨や、9月には台風15号・19号と関東地方に甚大な被害をもたらす台風が2つも発生している.

IPCC5次評価報告書においても様々な項目において将来の状況が悪化することが報告されている. 海面においては最大でも約60cm上昇すると推定されており<sup>2)</sup>, 海岸線延長の長い我が国においては更に浸水リスクが高まるため、早急な対応策を講じることが求められる.

高潮などの浸水リスクを軽減する緩和策・適応策には様々な考えられるが、堤防建設が一般的である. このような公共事業は一度建設すると取り壊すことが困難であり、社会資本を活用するため無駄な建設を行うことはできない. そのため公共事業では、海面水位などの将来的変動を把握し、柔軟に対応した政策意思決定を行うモデルが求められる. しかしながら、柔軟に対応するためにはモデルに様々な環境変数を考慮する必要性や、細かな変動を捉えるために気候変動を細分化する必要がある. 環境変数の増加や細分化により計算コストは指数関数的に増加する. そこで本研究では、温暖化による不確実な海面上昇に対して最適な堤防高さの実施タイミングを検討する動的意思決定モデルに強化学習を導入し、計算コストの削減を試みる.

## 2. 研究手法

### A) モデル

本研究では、堤防建設の政策意思決定モデルを構築するにあたり、簡易的な条件のもと行った. その条件を表-1に示す. 温暖化状態は現状維持と悪化の

2項過程で変化するとし、モデル内では温暖化が悪化する確率を与えることで計算を行った. 社会厚生は、海面水位と堤防高さの差から期待被害額の算出を行った. 建設コストは、単純に堤防の嵩上げ高さより算出し、これと期待被害額の合計を社会厚生とした. この社会厚生が小さくなるように政策意思決定を行う. また、海面水位や堤防嵩上げ高さは10cm刻みで変化させ簡略化している.

### B) 強化学習

政策意思決定において社会厚生を最小にするような最適化問題では動的計画法を用いることが一般的である. 特に温暖化変動といったシステムの遷移が確率的に変化する場合は後ろ向きに解くことが多い. この手法の問題点は、システムの全状態を配列の要素として予め準備しておく必要があるため、計算コストが膨大になってしまう. その問題を解決するために本稿では配列計算ではなくニューラルネットワークを用いる強化学習をモデルに導入した. 本稿で用いた強化学習はDeep Q-Network (以下DQN) と呼ばれる手法で、システムの状態と行動から算出されるQ値をディープラーニングを使って最適化する手法である.

## 3. 結果および考察

表-1の簡易モデルの条件をもとに実行した結果を以下に示す. 本稿では、温暖化の上昇確率を0.2と

表-1:簡易モデルの条件

	条件
温暖化状態	2項過程 (現状と悪化)
社会厚生	期待損失
	建設コスト
海面水位の変化	10cm 刻み
堤防嵩上げ高さ	10cm 刻み

表-2: 結果(温暖化上昇確率 0.2)

		堤防高さ [cm]				
		0	10	20	30	40
温暖化状態 [cm]	0	0				
	10	10	0			
	20	20	10	0		
	30	30	20	10	0	
	40	40	30	20	10	0

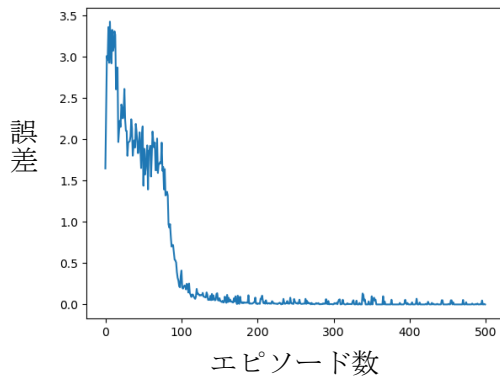


図-2: 収束度(温暖化上昇確率 0.2)

表-3: 結果(温暖化上昇確率 0.5)

		堤防高さ [cm]				
		0	10	20	30	40
温暖化状態 [cm]	0	30	0			
	10	40	40			
	20	40	40	0		
	30	40	40	40	0	
	40	40	40	40	40	0

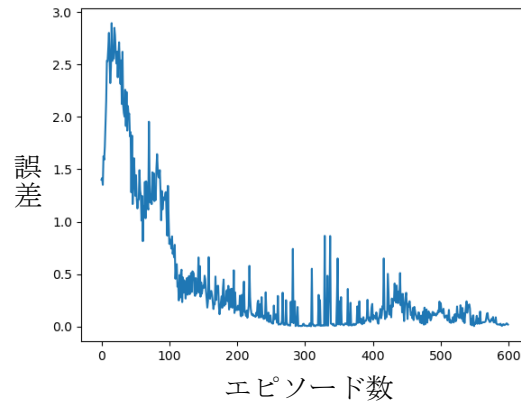


図-3: 収束度(温暖化上昇確率 0.5)

0.5 に設定し結果の比較を行った. 図-2 と表-2 は温暖化上昇確率が 0.2 の結果, 図-3 と表-3 は温暖化上昇確率 0.5 の結果を表している.

温暖化上昇確率が 0.2 の場合は, 下三角行列の形になっており, 温暖化状態と堤防高さが等しくなるように堤防嵩上げをするという結果が得られた. また, 収束度においては, 時々誤差が大きいエピソードも見られるが, 概ね 300 エピソード以降は誤差が 0.0 に収束していることが分かる. 一方で温暖化上昇確率が 0.5 の場合は, ほとんどの状態において嵩上げ高さが 40cm という結果となっており妥当な結果とは言い難い. また, 収束度においても徐々に収束しているように見えるが, 突発的に誤差が大きくなるエピソードが存在し, 上手く収束していない.

以上より温暖化上昇確率が低い方が妥当な結果を得ることが出来, 値も収束している事が分かる. これは, 本モデルにおいて温暖化状態に上限を設けているためだと考える. 1 エピソードを 600 ステップとし, 1 ステップごとに温暖化が上昇するか否かを決定しているため, 上昇確率が高いと少ないステップ数で温暖化が上限に達してしまう. そのため上限に達した後は上手く学習が行われないうえに, 収束

も遅くなっていると推察される.

#### 4. おわりに

本稿では堤防嵩上げの動的意思決定モデルに強化学習を導入する事を目的とし, その初期段階として温暖化上昇確率を変化させることでモデルを観察した. 温暖化上昇確率が低い方が収束しやすく, 妥当な結果が得られることが分かった. 今後は, 簡易モデルではなく, 温暖化上昇確率をエピソード内で変化させることや, 堤防高さなどを 1cm 単位で変化させることによって高度な動的意決定モデルの構築を目指す.

#### 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](http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/kaigan_hozen/01/pdf/s02-2.pdf) (2019年12月28日)
- 2) 国立環境研究所: 地球温暖化「日本への影響」-新たなシナリオに基づく総合的影響予測と適応策-, 環境省環境研究総合推進費 戦略研究開発領域 S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究 2014 報告書, 2014.