

温暖化による高潮リスク増大に対する 適応政策の最適実施計画

熊本大学 学生会員 ○秋寄 裕矢
熊本大学 正会員 藤見 俊夫

1. 背景と目的

地球温暖化が叫ばれて久しい現在、異常気象の増加など様々な気候変動が世界各地で発生している。地球温暖化は平均気温の上昇とともに氷河の融解などによる海水面位の上昇ももたらしており、多くの国と地域がその影響を受けている。本研究では我が国における影響の一つである高潮のリスクおよび被害の増大について着目する。

高潮とは台風などにより生じる強い低気圧の影響で高波やうねりが発生して海面が大きく上昇する現象であり¹⁾、河川の氾濫や土地の浸水につながる。台風の規模や降水量が歴代級の記録となるケースは増加傾向にあることから高潮のリスクも増大を続けていると考えられ、対策が必要であるといえる。

高潮の対策は、高潮により発生する水害そのものを防ぐ方法と水害が発生した場合の被害を軽減する方法とに大別され、本研究では後者に着目する。この方法による対策の具体例として防潮堤の整備が挙げられる。被害額を軽減するには高さを嵩上げする必要がある一方で、嵩上げをする場合も費用が生じる。さらに嵩上げの実施を決定してから効果が現れるまでには整備期間によるタイムラグが生じるため、実施を決定した時点で手遅れとなる可能性も危惧される。これらを踏まえた上で、温暖化の長期的な予測に基づき経済損失を最小限にするための計画を立案することが本研究の目的である。

2. 温暖化状態の推移

国連気候変動に関する政府間パネル (IPCC) による最新の評価報告書では、RCPシナリオに基づいた地球温暖化の予測が発表されている。RCPシナリオとは将来における大気中の温室効果ガス

濃度を複数のパターンに分けて想定したものであり、それぞれの場合における気温変化も予測することができる²⁾。以下の表1では1986～2005年を基準とする21世紀末 (2081～2100年) 時点での世界平均気温のシナリオ別予測を示す。

本研究ではRCPシナリオの中で最も悲観的な予測であるRCP8.5に基づいて温暖化が進行するものとする。対策を計画する対象期間を2000～2100年に定め、1年毎に温暖化状態が変化する。各時点の温暖化状態は対象期間の始点である2000年を基準とした平均気温で表し、二項過程で推移するものとする。対象期間の100年間を10年毎に分割した際の温暖化状態の推移を図1に示す。なお図1では簡略化のため10年毎に分割しているが、実際は1年毎に分割した際の推移を用いる。

表1. 21世紀末の世界平均気温の予測

シナリオ名称	平均 (°C)	予測上昇範囲 (°C)
RCP8.5	+3.7	+2.6～+4.8
RCP6.0	+2.2	+1.4～+3.1
RCP4.5	+1.8	+1.1～+2.6
RCP2.6	+1.0	+0.3～+1.7

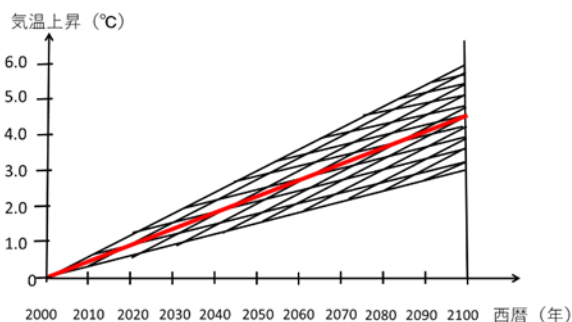


図1. 温暖化状態の推移 (太線部は平均変化)

3. 堤防嵩上げモデルについて

本研究では、対象期間において何もしない放置計画、初年度のみ嵩上げを実施する初期計画、対象期間中は何回でも嵩上げの実施ができる動的計画と3種類の計画を用意し、それぞれの場合において予想される被害額の比較を行う。初期計画および動的計画については、堤防嵩上げの実施を決定してから効果が現れるまでに生じるタイムラグを考慮しない場合とする場合それぞれにおいて予想される被害額を算出する。使用する動的計画モデルはそれぞれ以下の通りである。

$$V_t(x_t, s) = \max_{a_t \geq 0} \left[-EL(x_t, s) - C(a_t) + \beta \left\{ p_u V_{t+1}(x_t + a_t, s + 1) + p_m V_{t+1}(x_t + a_t, s) \right\} \right]$$

$$x_{t+1} = x_t + a_t$$

式 1. タイムラグを考慮しない場合の動的計画モデル

$W_t(s, x, a)$

$$= \begin{cases} C(a) + \sum_{k=0}^{f-1} \beta^{f-1-k} \sum_{i=0}^{f-1-k} C_i^{f-1-k} p_u^i p_m^{f-1-k-i} EL(s+i, x) \\ + \beta^f \sum_{i=0}^f C_i^f p_u^i p_m^{f-i} V_{t+f}(s+i, x+a) & \text{if } a > 0, \\ -EL(x, s) + \beta \{ p_u V_{t+1}(x, s+1) + p_m V_{t+1}(x, s) \} & \text{if } a = 0 \end{cases}$$

式 2. タイムラグを考慮する場合の動的計画モデル

式1について、 s は温暖化状態であり、対象期間の始点である2000年を基準とした平均気温で表す。 x_t は t 期時点での適応策の水準であり、対象期間の始点である2000年を基準とした堤防の高さで表す。堤防の高さは1cm刻みで0cm～100cmとする。 a_t は t 期において追加的に実施する適応策を意味し、嵩上げする堤防の高さで表す。嵩上げできる高さは1cm刻みで0cm～100cmとする。 $EL(x_t, s)$ は温暖化状態が s 、適応策の水準が x_t の場合の高潮による期待損失額である。 $C(a_t)$ は t 期に行う堤防嵩上げに要する建設費であり、 $EL(x_t, s)$ との合計額が各期の社会厚生である。 β は割引因子であり、 $\beta = 1/(1+r)$ と表すことができる。 r は割引率であり、5% ($r = 0.05$) とする。 p_u は t 期において温暖化状態が悪化（気温が大きく上昇）する確率であり、 $p_u = 0.5$ とする。 p_m は t 期において温暖化状態が現場維持（気温が小さく上昇）する確率であり、 $p_m = 1 - p_u$ と表されることから $p_m = 0.5$ と

なる。これより、 $V_t(x_t, s)$ は t 期において温暖化水準が s 、適応策の水準が x_t のとき最終期から t 期までの総被害額を表す。

式2は嵩上げの実施決定から効果の発現までに f (年) のタイムラグが生じると仮定したモデルであり、各パラメータの単位および範囲は式1と同様である。本研究では $f = 3$ とし、3年のタイムラグが生じる（3年の整備期間を要する）と仮定する。

4. 結果と考察

計画別に算出した予想被害額を表2に示す。対象期間を通して何もしない放置計画は最も被害額が大きく、3年のタイムラグを考慮する場合としない場合のいずれにおいても動的計画が初期計画を下回る結果となった。このことから、対象期間内で高潮による被害額を最小限に抑制するには堤防の嵩上げを複数回行う必要があると考えられる。

また初期計画と動的計画のいずれにおいても、タイムラグを考慮する場合がしない場合を上回る結果となった。したがって堤防の嵩上げに要する整備期間は被害額を抑制するための計画に影響を及ぼすことが考えられる。今後は整備期間の長さによる被害額の変化などについても検証していきたい。

表2. 計画別の予想被害額（億円）

タイムラグ	初期計画	動的計画
なし（0年）	5683	5404
あり（3年）	5763	5484
放置計画	6347	

5. 参考文献

- 国土交通省、「高潮発生メカニズム」
https://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/kaigan/kaigandukuri/takashio/1mecha/01-2.htm（2019年12月27日）
- WWF、「地球温暖化についてのIPCCの予想シナリオ」
<https://www.wwf.or.jp/activities/activity/1035.html>（2019年12月28日）