

インフラ整備における 動学的不整合問題の影響： 陸前高田市防潮堤整備を例として

北村 直樹¹・河野 達仁²・山崎 清³・岩上 一騎⁴

¹学生非会員 東北大学 情報科学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-3-09-408)

E-mail:kitamura@se.is.tohoku.ac.jp

²正会員 東北大学大学院 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-3-09-408)

E-mail:kono@plan.civil.tohoku.ac.jp

³株式会社 価値総合研究所 パブリックコンサルティング事業部

⁴株式会社 価値総合研究所 経済社会政策グループ 社会基盤・政策評価担当

E-mail:kazuki_iwakami@vmi.co.jp

費用便益分析は無駄な公共事業を行うといった政府の失敗を避けるために有効な手段と考えられている。しかし、費用便益分析の義務化で、住民が費用便益分析に基づく公共投資政策を期待することになると動学的不整合問題が生じる可能性がある。これは、費用便益分析では住民の行動（顕示選好）に基づき効用変化を計測するため、費用便益分析に基づいて最適と判断される政策が住民の行動前後で異なることによる。本研究では防潮堤整備政策を例にとり、費用便益分析の義務化による動学的不整合問題のメカニズムを示すとともに、動学的不整合問題がどの程度社会的厚生を達成を妨げるかを示す。

Key Words : *dynamic/time inconsistency, cost benefit analysis, infrastructure improvements*

1. はじめに

近年、日本では公共投資政策に対して費用便益分析が義務づけられるようになり、事業種類別に費用便益分析マニュアルも整備されてきた。費用便益分析は便益と費用を比較して便益が上回るプロジェクトのみを採択するというものであり、無駄な公共事業という政府の失敗を避けるために非常に有効な手段である。しかし、費用便益分析の義務化によりある主体(本研究ではデベロッパー)が費用便益分析に基づく公共投資政策を期待して戦略的に行動することで、最善の社会厚生が達成できない問題、いわゆる動学的不整合問題が生じる可能性がある。

この動学的不整合問題の一般的な構造は Kydland and Prescott(1977)によって示されている。特に、費用便益に基づく公共投資、具体的には交通投資における動学的不整合問題の発生メカニズムについての分析が Kono and Notoya(2011)において示されている。

しかしながら、動学的不整合問題の定量的研究は極めて少なく、木内(2005)にも「時間比整合性の問題は理論的研究が多い反面、実証研究は極めて少ない。これは、規律性やインセンティブといった変数

が多くの場合、観察不可能であるためであろう。従って、実証分析を行う場合、それらと代替的に観察可能な変数を選ぶ必要がある。」とある。また、実証分析的な論文は、Persson and Tabellini(2004) や Brender and Deazen (2004)などに限られる。そして、公共投資に対する定量的研究は皆無である。定量的分析を用いれば、動学的不整合問題の重要性やその特性を把握でき、対処方法を検討することができる。

そこで、本研究では動学的不整合問題の非効率の程度を実証分析において算出することを目的とする。具体的なインフラ整備として、陸前高田市における防潮堤整備に着目し、その際行われる費用便益分析において起こる動学的不整合問題の非効率の程度を分析する。防潮堤を例とした理由として、東日本大震災において実際に防潮堤整備が必要となり、現実的に動学的不整合問題が発生しうる状況であるためである。また、本研究の分析によってインフラ整備を行う際に、費用便益分析の動学的不整合問題の非効率の程度がインフラの整備費用などの条件とどのような関係があるかを把握し、どういったインフラ整備の場合に費用便益分析の動学的不整合問題による非効率を考慮するべきかを示す。

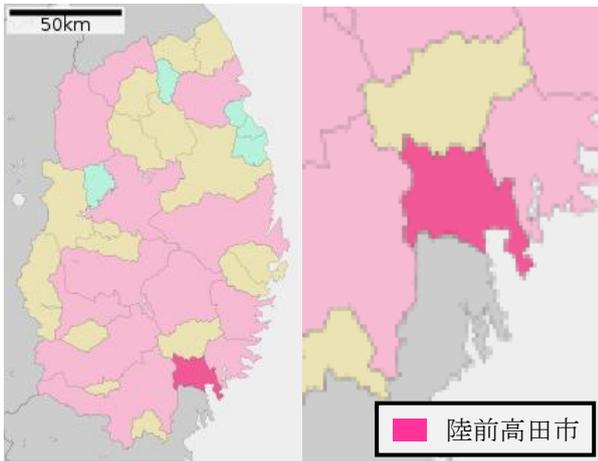


図1：陸前高田市の場所

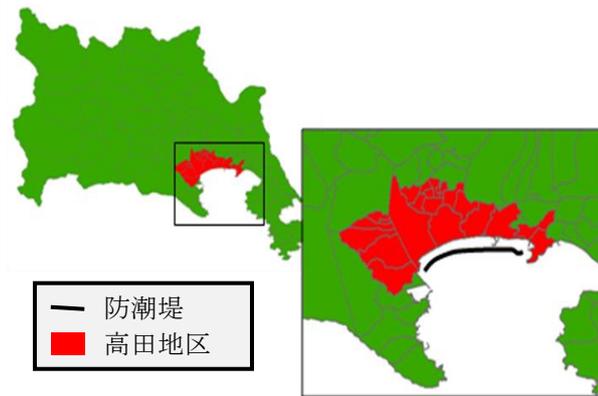


図2：高田地区と防潮堤

2. 対象インフラ整備：陸前高田市防潮堤

この章では、本研究で対象とする陸前高田市の場所および防潮堤の位置とその規模、陸前高田市の人口、産業について述べる。

陸前高田市は岩手県に属する宮城県に接した市（p2-図1参照）である。また、海に面しており複数の防潮堤を擁する。その中で本研究では、2011年の東日本大震災において整備が必要となった防潮堤の一つである全長1977mの防潮堤（図2参照）に注目し、その高さの増減の分析を行う。

陸前高田市のH17年の人口は24,709人であり、前述した本研究で扱う防潮堤の整備の影響を受ける高田地区（図2の赤で示した地区、本研究で定義した地区および地区名）のH17年人口は6,885人である。また、陸前高田市の産業の特徴として、勤務地として海を必要とする漁業およびその関連産業に従事する従業者が多いことが挙げられる。このことにより、震災前後における企業の立地変更を考えずとも影響はそれほど大きくないと言える。

3. 都市立地均衡モデル

モデルは陸前高田市を対象とした町丁目111ゾー

ンで構成されるモデルであり、ベースとして「Excelで学ぶ地域・都市経済分析」上田編著2009, pp.111-114のCUEモデルを用いている。また、土地の需要と供給が合致する土地市場の均衡モデルであり、均衡への調整は地代を介して行われる。行動主体は家計・不在地主の2主体であり、土地市場は住宅市場1市場である。また、従業地、つまり通勤先は固定とし、ゾーン別の従業者数は震災前の実データを用いる。よって、通勤トリップ費用はゾーンごとに固有の値があり、その値は変化しない。

家計は式(1)で示されるように、所得制約の下で効用を最大化するように土地・私事トリップ・合成財を消費し、その結果として得られる効用値に基づき居住地の選択を行う。なお、想定している立地行動は確率的選択（式(4)参照）である。ここで、移住費用はゼロとする。よって、住民はより効用の高いゾーンに移住するモデルである。その時、各住民には地区固有の魅力度があり、その魅力度が確率的に変動すると仮定している。なお、その確率項はガンベル分布とする。さらに、家計効用関数の所得（時間価値に拘束時間から通勤・通学時間を差し引いた時間を掛け合わせたもの）から整備防潮堤高別に決まるゾーン別年あたり津波被害リスク D を差し引いていることで防潮堤の要素を組み込んでいる。なお、準線形効用関数を用いており、リスク中立である。そのため、津波被害の期待値をリスクによる費用として所得から減じることが出来る。

$$V(q_i, r_i, I_i) = \max_{x_i, l_i} [\alpha_x \ln x_i + \alpha_l \ln l_i + Z_i] + \tau_i$$

$$s.t. \quad Z_i + q_i x_i + r_i l_i = I_i - D_i \quad (1)$$

i :ゾーン, q_i :私事トリップ費用, r_i :地代,
 x_i :私事トリップ数, l_i :土地消費量, Z_i :合成財消費量,
 α_x, α_l :パラメータ, I_i :一人当たり所得, D_i :津波被害リスク
 τ_i :間接効用関数に含まれていない要因（確率項）

上記の効用最大化問題を解くと私事トリップ消費量、宅地面積消費量、間接効用関数が得られる。加えて、パラメータが式(2),(3)のように表され、それぞれ年あたりの時に対する消費額・交通に対する消費額を表す。

$$\alpha_x = q_i x_i \quad (2)$$

$$\alpha_l = l_i r_i \quad (3)$$

$$P_i = \frac{\exp \theta (V_i + \tau_i)}{\sum_j \exp \theta (V_j + \tau_j)} \quad (4)$$

P_i :立地選択確率, θ :パラメータ

次に、不在地主は式(5)で示されるように土地供給関数に基づいて土地を提供し、地代収入を得る。

$$y_i = A(r_i)^\sigma Y_i \quad (5)$$

y_i : 住宅地供給面積, Y_i : 住宅地供給可能面積,

A, σ : パラメータ, r : パラメータ

均衡条件は各ゾーンにおける土地需給面積の一致, 各ゾーン人口の合計と総人口の一致, および効用一定である.

ここで, モデルのパラメータについては基本的に H17年のデータに基づきキャリブレーションを行い求めた. その結果, 推定されたパラメータ値はそれぞれ $\alpha_x=40.8$, $\alpha_l=18.0$, $A=4.5$, $\sigma=0.53$ であった.

続いて交通トリップ作成について説明しておく. トリップは着地の従業員数もしくは人口と, 交通抵抗で発生トリップを按分することで得ている.

$$OD_{ij} = \frac{\frac{EOP_j}{\exp(\lambda \cdot C_{ij})}}{\sum_j \frac{EOP_j}{\exp(\lambda \cdot C_{ij})}} \cdot T_i \quad (6)$$

$$OD_{ij} = \frac{\frac{POP_j}{\exp(\lambda \cdot C_{ij})}}{\sum_j \frac{POP_j}{\exp(\lambda \cdot C_{ij})}} \cdot M_i \quad (7)$$

EOP_j : 従業者数, POP_j : 人口, T_i, M_i : 発生トリップ

C_{ij} : ゾーン間所要時間, λ : パラメータ

また, 津波被害額については, 期待値による被害を以下のステップ1~ステップ4のように求めており, その値は防潮堤の整備高さによって増減する. これによって, 防潮堤要素が立地均衡モデルに組み込まれたことになる. すなわち, 整備防潮堤高を高くするほど津波被害のゾーン別リスク D は減少し, 年あたり被害額は減少することになる.

ステップ1: 岩手地震・津波シミュレーション及び被害想定調査 (2003-2004年, 岩手県作成: 明治三陸地震による津波, 昭和三陸地震による津波に加え, 想定宮城県沖地震による津波の3つの津波を考慮し, 予測される最大の浸水深を明示したもの) をもとに浸水深を設定する. ここで, 浸水深とは浸水域の地面から水面までの高さ (深さ) である. では具体的にゾーン別浸水深 Λ の設定法を述べる. まず, 到来する津波による遡上高が防潮堤整備高 K を超える場合の浸水深 Λ は津波シミュレーション時に想定された浸水深 Ω で一定 (式(8)) とする. さらに, 到来する津波による遡上高 Φ がシミュレーション作成時の想定遡上高 $10m$ (シミュレーション作成時の高田地区遡上高は明治三陸地震 $10.4m$, 昭和三陸地震 $6.0m$, 想定宮城県沖地震 $10.2m$ と設定されている) を超す場合, シミュレーション時の想定浸水深 Ω に $10m$ を超した値を足したものを (式(9)) を浸水深として設定す

る. また, 遡上高が防潮堤高 K を超えない場合の浸水深 Λ はゼロ (式(10)) である.

$$\Lambda_i(K) = \Omega_i \quad \text{st. } \Phi > K, \quad \Phi \leq 10m \quad (8)$$

$$\Lambda_i(K) = \Omega_i + (\Phi - 10) \quad \text{st. } \Phi > K, \quad \Phi > 10m \quad (9)$$

$$\Lambda_i(K) = 0 \quad \text{st. } K \geq \Phi \quad (10)$$

Λ_i : 浸水深, K : 防潮堤整備高, Φ : 遡上高

Ω_i : シミュレーション時想定浸水深

ステップ2: 遡上高 Φ 別津波到来回数分布を求める. NOAA内のNGDCにおける地震および津波観測データ (1611~2011の400年分) および地震個別の調査値より, 三陸に津波被害をもたらしたものを抽出し, その遡上高 Φ 別津波到来回数分布 (400年・回数/m) を求める (要参照: 付録-①). ここで, 遡上高とは陸へあがった津波が到達した標高である

ステップ3: 被害額の設定を行う. 津波による被害は家屋損壊と死亡のリスクのみを考え, 家屋全壊の被害は一人当たり632万円 (半壊はその半額) とし, 木造住宅の損壊基準 ($\Lambda \geq 2m$: 全壊, $0 < \Lambda \leq 2m$: 半壊) に沿って各状態ゾーン別に被害状況を設定する. ここでは, 家屋の価格一軒当たり2,000万円, 陸前高田市の平均家計人数3.2人 (2005年国勢調査), 社会的割引率4%としている. また, 死亡リスクについては統計的生命価値2億3千万円に東日本大震災での陸前高田市における死亡率 (陸前高田市死者数1554人/陸前高田市総人口24,709人=6.29%) を掛け合わせた額1447万円 (半壊はその半額) と設定した.

ステップ4: 整備防潮堤高ごとにステップ1, 2, 3で求めた値を用いてゾーン別津波被害リスク D を作成する. ゾーン別に家屋損壊リスクと死亡リスクを足し合わせた額がゾーン別の津波被害リスク D となる. ここで, D の値の例を挙げると, 防潮堤高6m時約21万円, 防潮堤高11m時約11万円である. これは, 一人当たりの所得約110~170万円と比較すると, その約7~20%を占めるものである. さらに, D における死亡コストの割合は約7割である. またここでは, 地震のリスクというものは常にあるためストックとフローの被害額の値が等しくなるとの考えの下, ゾーン別津波被害リスクを設定している.

4. シミュレーション結果および結果

本研究では, Optimalケース, 動学的不整合ケースの2ケースにおいてシミュレーションをする.

Optimalケース 社会厚生 (家計と不在地主の厚生合計) が最善となる整備防潮堤高を求めるケース. 社会厚生・防潮堤整備コスト (要参照: 付録②) ・純便益 (家計と不在地主の厚生から整備コストを差し引いたもの) を比較する際は震災前の防潮堤高

T.P.6mが整備された状態を基準とする。また、社会最適を求める際はログサムを用いた。社会厚生を求める式は以下のようなものである。式(11)は家計の間接効用のログサム、式(12)は地主の厚生であり、不在地主が家計に土地を供給したことによって得た所得、式(13)は社会的厚生、式(14)は社会的割引率4%を用いてストックに直した社会的厚生である。

$$W^H = N_T \left\{ \ln \sum_{i=1}^{111} \exp(V_i) \right\} \quad (11)$$

$$W^L = \sum_{i=1}^{111} (r_i y_i) \quad (12)$$

$$W = W^H + W^L \quad (13)$$

$$W_{stock} = N_T \left\{ \ln \sum_{i=1}^{111} \exp(V_i) \right\} \frac{1}{0.04} + \sum_{i=1}^{111} (r_i y_i) \frac{1}{0.04} \quad (14)$$

W^H :家計厚生, W^L :地主厚生, N_T :総人口

動学的不整合ケース 防潮堤整備により浸水被害が変化する地区(以下、高田地区と呼ぶ)にデベロッパーが戦略的に住民を移住させた後、被害軽減額を便益、防潮堤整備コストを費用とした費用便益分析により整備防潮堤高を求めるケース

ここで、社会厚生は家計の厚生と地主の地代収入の和であり、被害軽減額は整備防潮堤高を高くしたことにより防ぐことのできる津波被害リスクの額である

Optimalケースでは、開発地区におけるOptimalな防潮堤高はT.P.10mであり、その際の純便益は約114億円であった(図3参照)。

動学的不整合ケースでは、デベロッパーが戦略的に住民を移住させ、高田地区の人口がOptimalな状態から約1.5倍程度になると、整備される防潮堤高はT.P.11mとなることが分かった。なお、震災前の高田地区人口は6,885人であった。また、仮に、震災前の陸前高田市総人口約24,000人が高田地区に住んだ場合でも、整備される防潮堤高は12mである。

ここで、上記2ケースの比較をするため2ケースの結果より図4(p3参照)を描く。

図4の縦軸は(A)が整備防潮堤高、(B)が被害軽減額、(C)が高田地区の社会厚生を表し、横軸は(A)、(B)、(C)ともに高田地区の人口を表す。また、横軸の最小値は震災前高田地区人口、最大値が震災前高田地区人口の2倍である。曲線(a)はOptimalケースの結果を示しており、整備防潮堤高が決定した後に均衡した人口が住み着いた際の高田地区の人口を示す。曲線(b)は動学的不整合ケースの結果を示しており、高田地区の人口が決定した後に費用便益分析により決定した整備防潮堤高を示す。また、曲線(c)(d)は曲線(b)と同様、動学的不整合ケースの結果を示し、曲線(c)は震災前防潮堤高T.P.6mからの整備防潮堤高

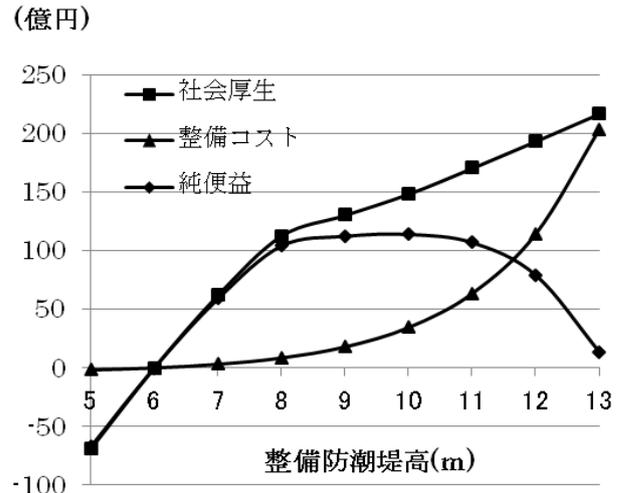


図3: Optimal ケース結果

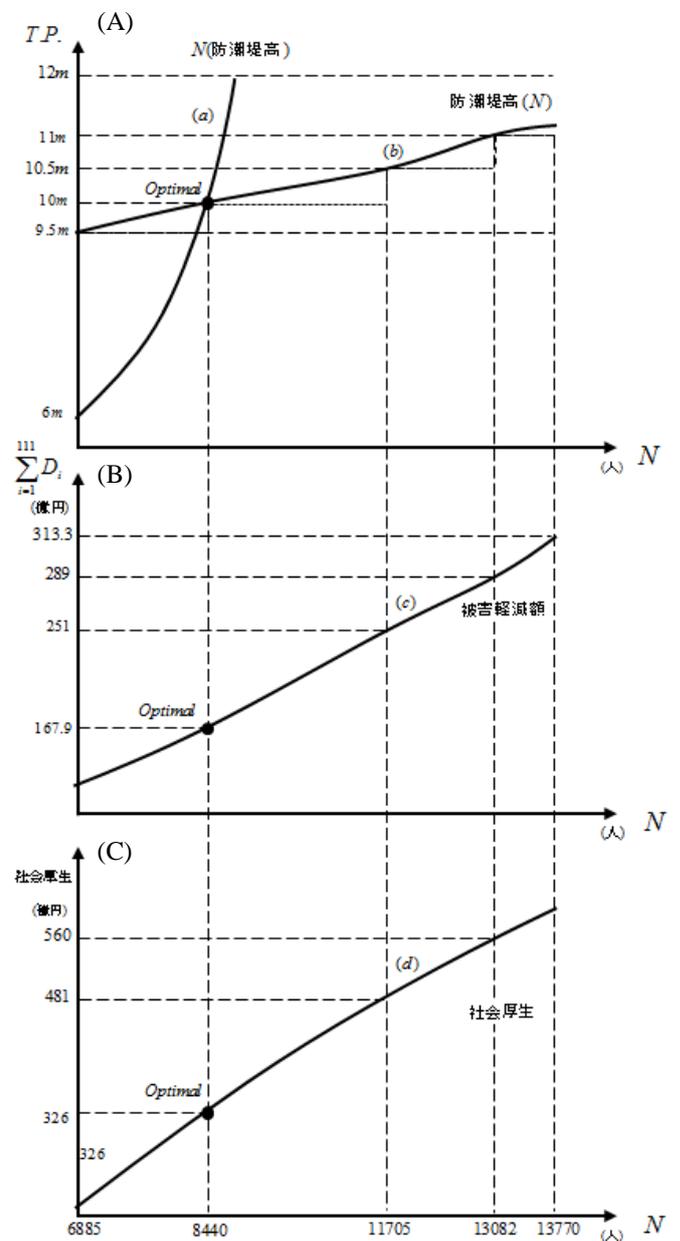


図4: シミュレーション結果まとめ

ごとの被害軽減額（費用便益分析において便益として扱われる）の増加を示した値、曲線(d)は整備防潮堤高ごとの高田地区における社会厚生を示している。

各(A),(B),(C)を具体的にみていく。まず(A)はOptimal（高田地区の人口が8,440人）の時、整備された防潮堤に均衡する人口と高田地区の人口に均衡する防潮堤の高さが等しくなることを示しており、高田地区の人口がそれ以上増加すると、人口に対して不必要に高い防潮堤が整備されることがわかる。つまり、(a), (b)の差が動学的不整合問題の存在とその程度を示している。次に(B)をみる。ここからは、高田地区の人口増加に伴い被害軽減額が上昇していることがみてとれる。これは、人口増加に伴い防潮堤によって守るべき人命や資産が増加するためである。最後に(C)をみると、高田地区の人口を増加させるにつれて社会厚生が増加していることがわかる。また、人口を初期の2倍にした点（13,770人）においても社会厚生（家計と地主の厚生の合計）が増加し続けていることがみてとれることから、開発事業者が開発を行う際は大規模な開発が行われると予測できる。

5. 考察

デベロッパーによる戦略的移住により、高田地区の人口が最適人口の1.5倍のケースでは、整備防潮堤高はT.P.11mとなった。このとき、Optimalな防潮堤高T.P.10mを整備する際のコストと比較すると約29億円の差がある。これは税金が無駄な公共投資に注がれることを意味する。また、約29億円というコスト差は社会的割引4%を使ってフローに直すと約1.2億円となる。ここで、陸前高田市の平成21年度予算は約103億円であることより、この結果は市が毎年予算の1%強を支出することに相当する。

最後に、防潮堤の整備コストと動学的不整合問題の程度を分析して、防潮堤以外のインフラ整備における動学的不整合問題について考察を行う。防潮堤整備費用は図5の整備コストの曲線からわかるように、整備規模拡大によるコスト上昇が大きくなる特性を持っている。よって、費用便益分析における費用増加が大きい。そのため、デベロッパーの戦略的行動により多くの住民が高田地区に移住し、高田地区人口が最適の1.5倍程度となっても、便益上昇による防潮堤高はOptimalのT.P.10mからT.P.11mへと変化することどまっている。そこで、道路整備のように規模拡大による整備費用の上昇が緩やかなインフラ整備においては、費用便益分析を用いた戦略的行動に対する整備規模増加がより敏感となり、より規模の大きい動学的不整合問題の非効率が生じると考えられる。

6. 結論

陸前高田市の防潮堤整備において動学的不整合問題の存在を示すことができた。またその非効率の程度は市が毎年予算の1%強を支出することに相当する規模の大きいものであった。さらに、防潮堤整備は整備規模の増大によるコストの上昇が急である。そのため、住民が戦略的に行動しても整備される防潮堤の高さはそれほど高くない。逆に、整備規模増大によるコスト上昇が緩やかなインフラ整備においては、より規模の大きい動学的不整合問題の非効率が生じることから、動学的不整合問題をより十分に考慮する必要があると言える。

防潮堤整備よりも比較的成本上昇が緩やかな投資としては、道路整備や農業関連整備などが挙げられよう。一方、防潮堤のようにコスト上昇が急である投資は、トンネル整備、堤防などである。

付録：

① 遡上高Φ別津波到来回数分布T(Φ)の作成

世界の災害情報を扱うNGDC（NOAA内）における地震および津波観測データ（1611~2011の400年分）より三陸に津波被害をもたらしたものを抽出し、その遡上高Φ別津波到来回数分布（400年・回数/m）を求めると図5のようになる。ここで、規模の大きい東日本大地震（遡上高15m）、チリ地震（6m）、昭和三陸地震（6m）、明治三陸地震（10m）、慶長三陸地震（20m）については、個別に対象地域に沿った値を調査しその値を用いた。さらに、上記で得た遡上高Φ別津波到来回数分布を用いて、観測遡上高ごとに値を与えるため、遡上高Φ別到来回数を観測遡上高から前後2mに振り分け、さらに400（年）で割ると1年あたりの遡上高Φ別津波到来回数分布T(Φ)が図6のように求められる。この振り分けの理由として、今後生起する分布を想定するために実際に生起した地震の規模分布をならす必要があることがある。

② 防潮堤整備コスト関数の算出

防潮堤整備のコスト関数作成においては、過去の岩手県による防潮堤整備コスト（チリ地震津波災害復興誌記載）および現段階の岩手県試算防潮堤整備コスト（高田海岸）データをもとに回帰分析により作成する。この際、名目工事費を実質工事費に換算する（建設時の金額を現在価値に換算する）ため、その倍率として作成されている建設工事費デフレーターを用いる。また、関数形は式(11)のように設定する。

$$C(K) = \gamma \exp(\tau \cdot K) \quad (11)$$

C:防潮堤整備コスト, K:防潮堤高, γ, τ :パラメータ

回帰分析により作成したコスト関数を用いて計算した設定防潮堤高ごとの防潮堤整備コストは図7のように示される。また、得られたパラメータがであること、今回整備を考える防潮堤は高田地区沿岸に整備される予定の延長1,977m(岩手県策定)の防潮堤

であることより、コスト関数は式(12)で表される。

$$C(K) = 1997\{0.71\exp(0.56 \cdot K)\} \quad (12)$$

謝辞：本論文を作成するにあたり安藤朝夫教授，曾道智教授，横井渉央助教，張陽助教にから貴重なコメントを頂いた。ここに感謝する。

参考文献

- 1) Brender, A. and Drazen, A. : Political Budget Cycles in New versus Established Democracies, *mimeo*, 2004.
- 2) Kono, T. and Notoya, H. : Is Mandatory Project Evaluation Always Appropriate? Dynamic Inconsistencies of Irreversible Projects, *Journal of Benefit-Cost Analysis.*, Manuscript 1072, 2011.
- 3) Kydland, F. E. and Prescott, E. C. : Rules Rather than Discretion: The Inconsistency of Optimal Plans, *The Journal of Political Economy*, Vol. 85, No. 3, pp.473-492, 1977.
- 4) Persson, T. and Tabellini, G. : Constitutions and Economic Policy, *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 18, No. 1, pp.75-98, 2004.
- 5) 上田孝行：『Excel で学ぶ地域・都市経済分析』，pp.162，コロナ社，2011.
- 6) 木内祐輔：経済政策における時間非整合性：展望，*mimeo*，2005.
- 7) 岩手県：『チリ地震津波災害復興誌』，pp.102-259，1969.
- 8) 平成 17 年国勢調査（町丁・字集計）
- 9) 形成 18 年事業所企業統計（調査区等に関する集計）
- 10) 平成 17 年地価公示
- 11) 平成 16 年都道府県地価調査
- 12) 平成 17 年都道府県地価調査
- 13) 平成 18 年国土数値情報土地利用細分化メッシュ
- 14) 平成 17 年都市計画年報
- 15) 平成 18 年事業所企業統計（調査区等に関する集計）

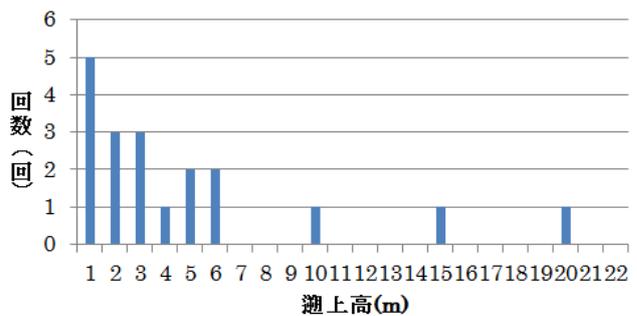


図 5：400 年あたり遡上高別津波到来回数分布(実測)

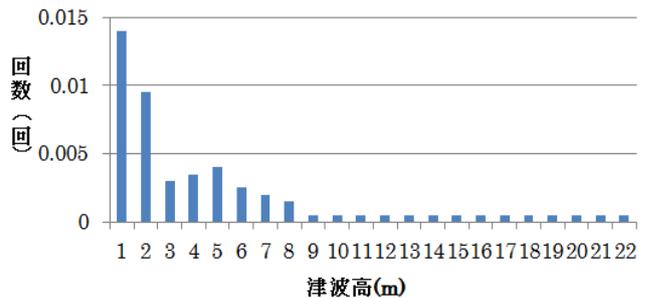


図 6：1 年あたり遡上高別津波到来回数分布(作成)

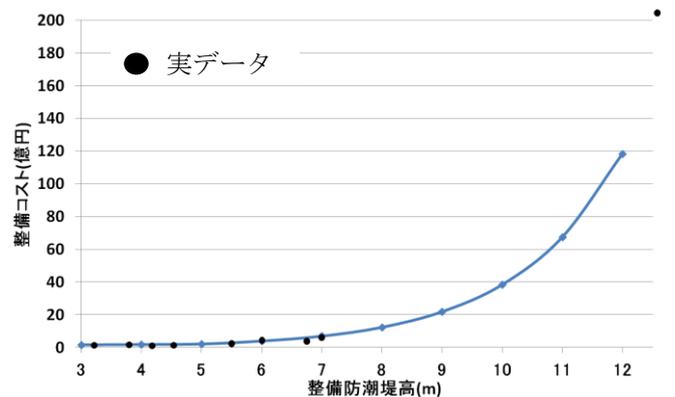


図 7：防潮堤整備コスト

(2012. 8. 3 受付)