

東京大学公共政策大学院
2013 年度「公共政策の経済評価」

気仙沼市小泉地区における防潮堤建設計画に関する費用便益分析

2014 年 3 月 11 日

経済政策コース 1 年 郭じゅん

公共管理コース 2 年 加藤大祐

経済政策コース 1 年 櫻井優一

経済政策コース 1 年 西崎智紀

経済政策コース 1 年 福島和矢

目次

Executive Summary	4
1. はじめに	5
2. 気仙沼市小泉地区の概要	6
2.1. 小泉地区の地理的特徴.....	6
2.2. 小泉地区の東日本大震災での被害状況.....	6
2.3. 小泉地区における防潮堤建設計画.....	7
2.4. 防潮堤建設計画の現状.....	9
3. 分析の概要	10
3.1. 政策オプション	10
3.2. 当事者適格.....	10
3.3. 評価期間及び割引率.....	11
3.4. 評価項目.....	11
4. 費用の推計方法.....	13
4.1. 建設・維持費の推計方法.....	13
4.1.1. 建設費の推計方法	13
4.1.2. 維持費の推計方法	14
4.2. 景観破壊費用の推計方法.....	14
5. 便益の推計方法.....	15
5.1. 浸水軽減便益の推計方法.....	15
5.1.1. 浸水被害額の推計方法.....	15
5.1.1.1. 浸水地域の設定方法	15
5.1.1.2. 浸水地域に含まれる資産額の算定	16
5.1.2. 津波発生確率の設定	18
5.1.3. 浸水軽減便益の推計	18
5.2. 残存価値の推計方法.....	19
6. 推計結果	21
6.1. 建設・維持費の推計結果.....	21
6.2. 景観破壊費用の推計結果.....	22
6.3. 浸水軽減便益の推計結果.....	22
6.3.1. 浸水地域の設定	23
6.3.2. 浸水地域に含まれる資産額の推計結果.....	23
6.3.3. 浸水軽減便益の推計結果.....	27
6.4. 残存価値の推計結果.....	27

6.5. 純便益の推計	27
7. 感度分析	29
7.1. 感度分析の仮定	29
7.2. 感度分析の推計結果	30
8. 人的被害の考察	32
9. 結論と今後の課題	33
9.1. 結論	33
9.2. 分析の限界と今後の課題	33
謝辞	35
参考文献	36
補遺	38
A.1. 景観破壊費用の算定における小泉地区世帯数の推計結果	38
A.2. 従業員 1 人当たり平均事務所資産額の推計結果	39
A.3. 評価期間中の津波発生確率（基本ケース）	40
A.4. 各年の費用・便益の割引現在価値（基本ケース）	41
A.5. 各年の費用・便益の割引現在価値（最善ケース）	43

Executive Summary

研究の背景と目的

東日本大震災の被災地である宮城県気仙沼市小泉地区では、巨大防潮堤の建設が計画されている。しかし、防災集団移転によって低地に住民はいない、海岸の景観が破壊されるといった理由から、防潮堤の建設に反対する声も聞かれる。本研究では、小泉地区における防潮堤建設計画の費用便益分析を行い、その是非を客観的に考察する。

分析手法

現行計画通りの防潮堤を建設する(With ケース)、防潮堤を新設しない(Without ケース)という 2 つの政策オプションについて、国の立場から分析を行う。評価期間は 2014 年から 2065 年までの 52 年間とし、費用項目として建設・維持費と景観破壊費用、便益項目として浸水軽減便益と残存価値を推計する。

建設・維持費は宮城県の査定額に基づいて推計した。景観破壊費用は防潮堤によって破壊される景観の価値を明示的に捉えたものであり、海岸空間に対する支払意思額を算定した先行研究をもとに算定した。浸水軽減便益は、Without ケースで津波が発生したときの浸水地域に含まれる資産額を積算したのち、各年の津波発生確率を考慮して推計を行った。ここで積算した資産は、家屋・家財資産、事業所資産、農漁家資産、農地資産、公共資産の 5 つである。津波発生確率は BPT 分布に従うと仮定した。残存価値は評価期間終了時の防潮堤の価値であり、評価期間後に発生する純便益の割引現在価値によって推計した。

推計結果

推計結果は以下の通りであり、純便益は大きな負の値となった。感度分析の結果、この結果の頑健性も確認された。

項目		億円
費用	建設・維持費	245.0
	景観破壊費用	0.1
便益	浸水軽減便益	31.2
	残存価値	6.4
純便益		-207.5

結論と今後の課題

上記の推計結果より、現行の防潮堤計画は中止するべきである。ただし、小泉地区のみで防潮堤建設を取りやめることは現実的でないと思われ、建設費用を抑えるような計画の見直し及び他地域の防潮堤建設計画に対する費用便益分析の実施の必要性が示唆される。また、今後の課題としては、現行計画以外の With ケースの分析が挙げられる。

1. はじめに

東日本大震災は東北地方一帯に甚大な被害を与えた。「再び普段の生活を取り戻す」、現在に至るまで官民多くの人々が東北の復興に懸命に取り組んできた。しかしながら、地域住民の願いと実行されている復興計画が必ずしも一致しない場合がある。今回、我々が扱う宮城県気仙沼市小泉地区における防潮堤建設はそのような例の一つかもしれない。

気仙沼市小泉地区は 2011 年 3 月 11 日の東日本大震災に伴う津波によって甚大な被害に遭った。これを受けて、小泉海岸及び津谷川の沿岸には最高 14.7m の巨大防潮堤の建設が計画された。一方で、小泉地区では早くから防災集団移転（高台移転）計画が進み、既に着工した地区も存在する。高台に移るのだから、美しい海岸を破壊する防潮堤を建設しなくても津波の被害は防げるのではないか。地域住民の一部からは防潮堤の必要性について疑問の声が上がっている¹。

防潮堤は命を守るためのものであり、何物にも代えがたい。高台移転が完了すれば守るべき命はそこに存在せず、防潮堤は景観を破壊するだけである。こうした主張は双方にもっともな側面があり、定性的な議論によって是非を判断することは難しい。建設的な議論を行うためには、何らかの統一的な基準を設定する必要があるだろう。そこで本稿では、防潮堤の新設によって生じる影響を金銭価値化して費用便益分析を行うことで、防潮堤建設の是非を考えたい。我々は、本稿のような客観的分析がより良い復興計画の一助となると確信している。

尚、防潮堤建設が宮城県全域で計画されているのに対し、本分析の対象地域は気仙沼市の小泉地区という非常に限定的な一部の地区である。これによって政策提言としては限界のある分析となるが²、一方で、地区によって元の地形や復興状況には大きな差異が存在する。こうした状況を鑑みると、狭い地域に限って分析を行うことで正確性を向上させることができると考え、本分析では対象地域を小泉地区に限定した。各地で防潮堤建設の是非が話題となっている今、たとえ一部の地域であっても分析の枠組みを示すという点で、本分析には大きな意義がある。

本稿の構成は以下の通りである。まず、次節では本分析の対象地域である気仙沼市小泉地区について概説する。続いて第 3 節では分析の概要を説明する。第 4, 5 節ではそれぞれ費用、便益の推計方法を詳細に述べる。そして、それらの方法に基づく推計結果を第 6 節で紹介する。続く第 7 節では、推計における不確実性について検討し、第 6 節で得られた結果の頑健性を検証する。第 8 節では、第 7 節までの分析では考慮しない、津波によって生じうる人的被害について考察する。最後に第 9 節で本分析の結論及び今後の課題を述べる。

¹ たとえば朝日新聞（2014 年 1 月 19 日）「防潮堤の住民勉強会で疑問の声相次ぐ 気仙沼」を参照。

² この点に関しては第 9 節で詳しく検討する。

2. 気仙沼市小泉地区の概要

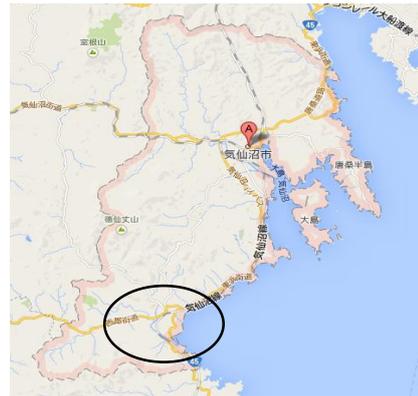
本節では、本分析の対象地域である宮城県気仙沼市の小泉地区について概説する。具体的には、小泉地区の地理的特徴、震災での被害状況、防潮堤建設計画の内容、そして計画の現状について述べる。

2.1. 小泉地区の地理的特徴

小泉地区は、宮城県北部に位置する気仙沼市の南部、旧本吉町（2009年に気仙沼市に編入）の一部である。おおよそ右図の円で囲んだ部分が該当する。およそ1,800人、518世帯が暮らしている。

本稿に関係する地理的特徴としては2点挙げられる。第一に、小泉海岸という美しい海岸が存在する。小泉海岸にある小泉海水浴場は環境省選定の「快水浴場百選」に選ばれており（環境省「快水浴場百選」ホームページ）、震災前はサーファーの憩いの場所であった。第二に、小泉地区の中央には津谷川（小泉川）という河川が流れている。震災以前には、そこでサケの漁が盛んに行われていた。

図1 気仙沼市小泉地区



Google マップより筆者作成

2.2. 小泉地区の東日本大震災での被害状況

小泉地区は東日本大震災において大きな被害を受けた地域の一つで、死者・行方不明者は43人に上る。図2に示すように広範囲にわたって浸水被害が発生し、518世帯のうち266世帯が全壊・流出した（森、2013）。津谷川を津波が遡上したことが大規模な浸水の要因と考えられる。さらに、家屋被害率からも、気仙沼市内において小泉地区の被害が特に大きかったことがわかる（図3）。

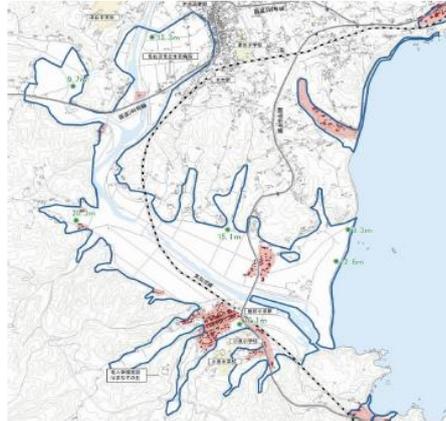
また、産業にも甚大な被害が発生した。前述したサケ漁については、拠点となる小泉川さけふ化場及び捕獲施設の全てが流失した。小泉川さけ有効利用調査が震災以降中止となっている（気仙沼市ホームページ「小泉川さけ有効利用調査の中止について」）事実からも被害の大きさを窺い知ることができる³。

農業についても、浸水によって大きな被害が発生した。気仙沼市本吉総合支所産業課のデータによれば、小泉地区の被災田は51.8haである。これは、震災前（2010年）の水稲田の面積の66.9%に上る。

³ このため、震災後のサケ漁のデータは存在せず、具体的な漁獲高の減少等は不明である。

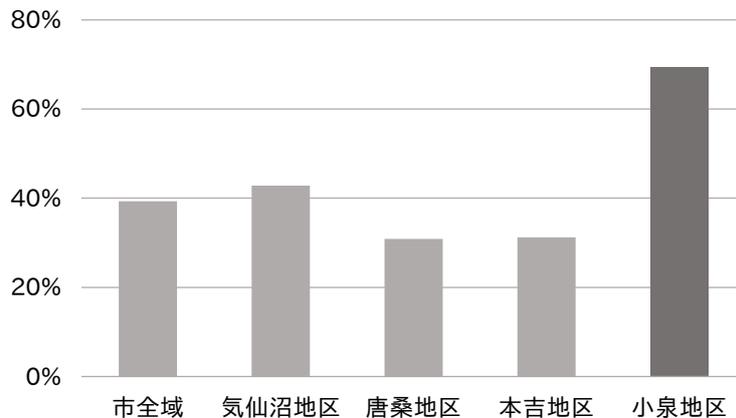
以上のように、東日本大震災において小泉地区では特に甚大な浸水被害が発生した。そして、巨大な防潮堤建設が計画された。2.3 節では、この防潮堤建設計画について詳細を説明する。

図 2 東日本大震災における浸水被害



【出典】第 1 回気仙沼市震災復興会議資料 6：主な地区の津波被害の状況について

図 3 東日本大震災における気仙沼市の家屋被害率



【出典】気仙沼市震災復興計画「海と生きる」

2.3. 小泉地区における防潮堤建設計画

ここでは、東日本大震災後、小泉地区で建設が計画された防潮堤について説明する。小泉地区では、最高 14.7m の防潮堤の建設が計画されている。建設には 200 億円以上の費用がかかることとされる。

以下では、復興事業における防潮堤の堤防高の設定について述べる。東日本大震災の復興事業では、津波を L1 津波と L2 津波に分類し、防潮堤は主に L1 津波への対応策として設置することが決められた（国土交通省水管理・国土保全局海岸室「今後の海岸堤防等の整備について」）。L1 津波とは数十年から百数十年に一度の規模の津波、L2 津波とは千年に一度

の規模の津波を指す。L1 津波に対しては従来通り防潮堤等のハード面での対策を行う一方で、L2 津波に対してはソフト面を重視し、被害の最小化を主眼とする「減災」に努めることが謳われた。

この方針を受けて宮城県で新設が計画された防潮堤は、L1 津波時に浸水が発生しない高さに設定するという考え方に基づく。具体的には、過去の L1 津波に該当する津波の際の浸水状況からシミュレーションを行い、浸水が発生しない堤防高を求めた。その結果計画された気仙沼市内の防潮堤の高さを表 1 に記す。小泉地区に該当するのは「大沢から蔵内」の区間であり、被害が大きかった小泉地区では市内でも特に高い防潮堤が計画されていることがわかる。

表 1 気仙沼市基本計画堤防高

起点	終点	高さ (m, T.P.)
岩手県境	真崎	8.0
真崎	御崎	11.3
御崎	田の浜	11.2
田の浜	鶴ヶ浦	9.9
鶴ヶ浦	岩井崎	7.2
潮見町	港町	5.0
港町	魚町	6.2
魚町	大浦	5.0
大初平	籠舞先	11.8
大初平	浦の浜	7.0
浦の浜	田尻	7.8
田尻	籠舞先	7.0
岩井崎	大沢	9.8
大沢	蔵内	14.7
蔵内	石浜	9.8

T.P. : 東京湾平均海面。堤防高が東京湾の平均海面に対して何メートルかを示している。

【出典】宮城県「気仙沼地域における海岸堤防の高さ」

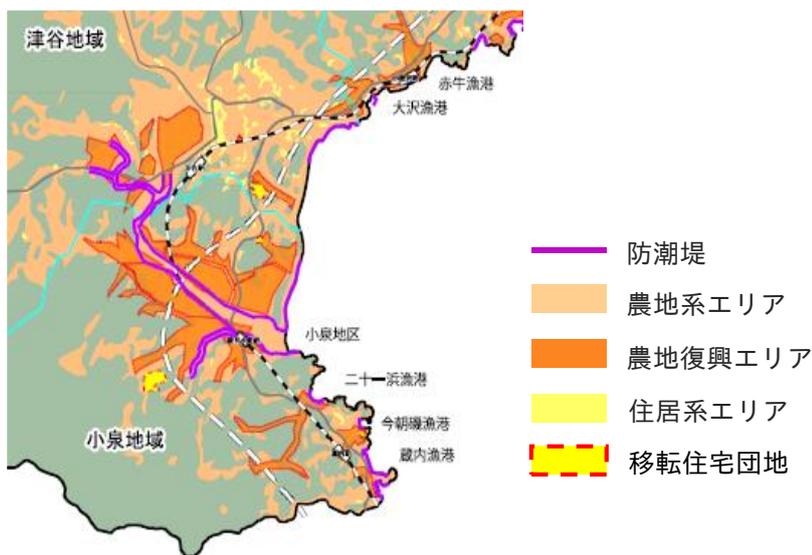
2.4. 防潮堤建設計画の現状

これまで述べた防潮堤建設計画は、震災から3年が経とうとしている2014年1月時点で未だ着工していない。小泉地区に限らず各地で住民からは巨大防潮堤の必要性について疑問の声が広がっている⁴。

小泉地区における防潮堤に対する反対意見としては、主に以下の2つが存在する。第一に、防災集団移転によって防潮堤の必要性はなくなるという主張である。小泉地区では防災集団移転計画が順調に進んでおり、集団移転が完了すれば全住民は高台に住むことになる。防潮堤を造ったところで、図4に示されるように海岸沿いに人は住まない。したがって、防潮堤は不要という意見である。第二に、防潮堤が小泉海岸の景観を破壊するという主張である。前述したように小泉海水浴場は美しい海岸で有名である。巨大なコンクリートの防潮堤を建造することによって、その景観が失われることに対する反対意見が存在する。この他にも、防潮堤の建設によって漁業に対する被害が発生する、防潮堤が存在することで海が見えなくなるため、却って津波から逃げ遅れる危険が高まるといった批判もある。

こうした背景で、気仙沼市において防潮堤の建設は未だ着工していない。むしろ建設の是非に関する議論は活発さを増している。次節以降では、本節で述べたように必要性に疑問が生じている気仙沼市小泉地区の防潮堤について客観的かつ定量的な分析を行い、建設の是非を検討していく。

図4 防災集団移転後の土地利用構想図



【出典】気仙沼市土地利用構想図

⁴ たとえば朝日新聞（2013年12月24日）「防潮堤、民意とズレ 宮城、変更には慎重姿勢 岩手、かさ上げ計画撤回」や日本経済新聞（2014年1月7日）「被災地の防潮堤、地域差じわり 宮城『巨大すぎ』住民反発」を参照。

3. 分析の概要

第3節では、本分析の枠組みを概説する。ただし、各費用・便益項目の個別の推計方法は次節以降で詳細に述べる。

3.1. 政策オプション

本分析では以下の2つの政策オプションを分析の対象とした。1つは新たな防潮堤を建設しないというオプション（以下「Without ケース」と呼ぶ）、もう1つは第2節で述べた現行計画通りの防潮堤を新設するというオプション（With ケース）である。

ここで、防災集団移転計画は所与のものとして扱う。すなわち、防災集団移転計画は現在の計画通り実行され、小泉地区の全世帯が高台に移転するものと仮定する。これは、未だ着工に至っていない防潮堤建設と比べ、防災集団移転計画は既に順調に進んでいるためである。事実、小泉地区では被災から3か月も経たない2011年6月5日に「小泉地区集団移転協議会」が住民によって設立され、定期的にワークショップを開いて議論を重ねながら、街づくりの計画を練り上げてきた（森、2013）。小泉地区には集団移転先となる地区が5つ存在するが⁵、そのうち2地区では気仙沼市内で最も早い2012年5月に大臣同意を得て、2013年6月16日には着工している。その他の3つの地区でも2013年9月3日に工事請負契約を締結済みであり、着工の準備が進んでいる（気仙沼市「復旧・復興事業の取組状況と課題」）。これらの事実から、小泉地区の住民は高台移転を望んでおり、実質的に全ての地区で着工済みであると判断し、防災集団移転計画の実行を所与として分析を行うこととした。

また、With ケースにおいては、現行計画通りの防潮堤の堤防高の設定方法より、L1津波発生時には浸水が生じないものと想定する。以下の説明においては、特に断ることなく With ケースでの浸水を考慮しないため留意されたい。

3.2. 当事者適格

当事者適格とは、費用便益分析を行う際の分析者の立場を意味する。本分析では、当事者適格を日本国とし、中央政府にとっての費用及び便益を検討する。したがって、たとえば国から気仙沼市への補助金は便益とはみなさない⁶。

これは以下の3つの理由による。第一に、東日本大震災の被災地における防潮堤建設は国の復旧・復興事業の一環であることが挙げられる。国家としてのプロジェクトである以上、費用便益分析における当事者適格も国家とするのがもっともらしい。第二に、防潮堤の予算

⁵ 本吉津谷地区、登米沢地区、小泉東地区、小泉町地区、小泉浜地区である。

⁶ 当事者適格を気仙沼市とした場合には、補助金も便益とみなされる。

は国税が投入されている復興予算から支給されることである⁷。したがって、仮に気仙沼市や宮城県といった地方自治体を当事者適格とすると、費用を過小に算定する可能性が高い。第三に、費用便益分析は一般に国レベルで行うことが望ましいとされる (Boardman et al., 2011)。これら 3 つの理由から、本分析の当事者適格を国と設定する。

3.3. 評価期間及び割引率

本分析において、費用・便益の評価期間は 2014 年から 2065 年までの 52 年間とする。2014 年および 2015 年を With ケースにおける防潮堤の建設期間と想定し、その後 50 年間の費用・便益を算定する。ただし、50 年間という期間は必ずしも防潮堤の耐用年数と一致しないため、後述するように、便益項目として評価期間後の防潮堤の価値を考慮する⁸。

また、将来発生する費用・便益を現在発生するものと同様に扱うことは適当でないため、社会的割引率を設定し、金額を割り引く必要がある。ここでは行政の指針にならない、社会的割引率を 4.0% と設定する (国土交通省「公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針」)。すなわち、X 年に発生する便益・費用が A である場合、その割引現在価値

$$\frac{A}{1.04^{X-2014}} \quad (i)$$

を現在の価値として算定する。この操作は次節以降で述べる各評価項目の全てに共通する。

3.4. 評価項目

本分析では、費用及び便益項目として表 2 に示す 4 つの項目を検討する。各項目の具体的な推計方法については、次節以降で順に説明する。

まず、費用項目について述べる。1 つは建設・維持費である。これは、With ケースにおいて防潮堤の建設及び評価期間中の維持にかかる費用である。もう 1 つは景観破壊費用である。これは、防潮堤の建設によって破壊される小泉海岸の景観の価値を表す。第 2 節で述べたように小泉海岸は美しい海岸として有名であり、そこに巨大な防潮堤を建設して海岸を覆うことに対する住民の反対意見は根強い。そこで、本分析では景観破壊の費用を明示的に考慮する。

便益についても、費用と同じく 2 つの項目を考察する。1 つは浸水軽減便益である。これは With ケースにおいて防潮堤の新設によって軽減される津波発生時の浸水被害を意味する。本分析では、簡単化のため L1 津波のみの発生を想定し、L2 津波を考慮しない⁹。した

⁷ 財務省「復興関連予算 資料 4-1」では、復興事業の主要な財源として所得税・法人税及び歳出カット・税外収入が挙げられており、復興事業の費用は国民全体で負担することがわかる。

⁸ 岩崎 (2011) によれば、防潮堤の耐用年数は 60 年程度、最大 100 年とされている。

⁹ この妥当性に関しては、第 9 節で詳しく検討する。

がって、With ケースにおいては堤防高の設定方法より浸水は発生せず、Without ケースにおいて L1 津波が発生したときの浸水被害額が、With ケースの便益となる。もう 1 つの便益項目は、前述した評価期間後の防潮堤の価値である。2065 年になると新設した防潮堤が一切の機能を失うということは起こりえないため、評価期間後に発生する純便益を考慮する必要がある。本稿では、これを残存価値と呼ぶ。

表 2 評価項目一覧

評価項目		概要
費用	建設・維持費	防潮堤の建設及び評価期間中の維持にかかる費用。
	景観破壊費用	防潮堤による景観破壊の心理的費用。
便益	浸水軽減便益	With ケースにおいて軽減される津波発生時の浸水被害。
	残存価値	評価期間後の防潮堤の価値。

4. 費用の推計方法

本節では、第3節で述べた評価項目のうち、費用項目の推計方法を説明する。概要は表3に記したとおりである。以下では、それぞれについてより具体的に説明する。便益の推計方法については次節で述べる。

表3 費用の推計方法の概要

費用項目	推計方法
建設・維持費	建設費は行政による査定額を使用する。維持費は建設費の0.5%が毎年発生すると仮定する。
景観破壊費用	先行研究(笠井ほか、1999)の海岸価値に対する支払意思額を小泉地区の住民に適用。

4.1. 建設・維持費の推計方法

建設・維持費とは、With ケースにおいて防潮堤を新設する際にかかる費用及び評価期間中の維持にかかる費用である。以下でそれぞれについて推計方法を記す。

4.1.1. 建設費の推計方法

行政による査定額を使用する。これは、以下の2つの理由による。第一に、防潮堤建設計画は震災直後から進んでおり、震災から半年あまりしか経っていない2011年10月の「宮城県震災復興計画」にも既に記載されている。したがって、行政には査定を行うために十分な期間が現在までに存在し、ある程度の信頼性は確保されていると推察される。第二に、本分析の期間中に我々自身で建設費の推計を行うことは困難であった。これは、データの制約及び我々の技術的な限界による。以上の2点から、本分析においては行政による査定額が最も信頼性の高い建設費の推計と判断し、その値を用いることとする。

また、防潮堤の建設期間は2014年と2015年の2年間と仮定する。これは、事業主である宮城県が、復興予算の原則的な使用期限である2015年中の建設を目指しているためである(宮城県土木部河川課「防潮堤建設計画の基本的な流れとルール」)。

さらに、建設費は建設期間の2年間に均等に発生すると仮定する。すなわち、第3節で説明した割引を考慮すると、査定額 C に対し、建設費の割引現在価値は

$$\frac{C}{2} + \frac{C/2}{1.04} \quad (\text{ii})$$

となる。

4.1.2. 維持費の推計方法

建設費の0.5%にあたる金額が毎年、維持費として発生すると仮定して算定する。この算定方法は成瀬・北原（1998）で実態調査による平均値として紹介されているほか、青森県や千葉県、大阪市でも採用されている（青森県「大湊湾海岸（浸食）事業：費用対効果分析説明資料」、千葉県「千葉県の海岸事業」、大阪市「費用便益分析について」）。本分析では詳細な維持費の予測を行うことは困難であるため、簡便な方法としてこれを採用する。

また、評価期間において維持費が発生するのは、建設期間を除いた50年間である。すなわち、2016年から2065年までの期間にわたって毎年、建設費の0.5%が維持費として必要となる。これらの割引現在価値を求めることで、維持費の算定を行う。

4.2. 景観破壊費用の推計方法

3.4節でも述べたように、建設計画では海岸が埋め立てられ、海岸や津谷川（小泉川）に巨大な防潮堤が建設されることになっている。そのため、住民は川や海が見えなくなることを懸念している。これを受け、防潮堤建設により海岸や河川の持っていた価値が失われると考え、それを景観破壊費用として明示的に考慮する。

景観破壊費用は防潮堤が半ばまで完成する2015年から発生すると仮定し、以下の式によって算定する。

$$\text{景観破壊費用} = 1 \text{ 世帯当たりの支払意思額} \times \text{世帯数}$$

支払意思額とは、海岸・河川の景観を改善するための工事およびその景観の維持に対して自分自身がいくら支払う意思があるかを表すものである。仮想評価法を対象世帯に実施して推計することが望ましいが、本分析では簡便のため先行研究の数値を用いる。

また、景観破壊費用が発生する世帯は小泉地区の住民に限定する。これは、景観破壊の影響は周辺で日常的に生活を営む住民に対して大きいと考えられるためである。小泉地区の世帯数は気仙沼市の統計データから得る。ただし、高齢化の進む小泉地区において評価期間の52年間にわたって世帯数が一定と仮定することは現実的ではない。そこで、本分析では以下の仮定のもとで将来の世帯数を推計する。

まず、小泉地区の世帯数は気仙沼市の人口に比例して変化するものとする。そして、気仙沼市の将来人口は、国立社会保障・人口問題研究所（以下、社人研）「日本の地域別将来推計人口（平成25年3月推計）」に基づいて推計する。具体的には、社人研の推計は5年ごとであるため、それぞれの5年間の中で各年の人口変化率は一定であると仮定して毎年の人口を推計する。さらに、社人研の人口推計の期間は2040年までであるため、2040年以降は2035年から2040年の減少率で毎年減少すると仮定する。

5. 便益の推計方法

前節では 2 つの費用項目の推計方法を述べた。つづいて本節では、第 3 節で紹介した 2 つの便益項目の推計方法を説明する。概要は表 4 のとおりである。以下で詳細を述べる。

表 4 便益項目の推計方法の概要

便益項目	推計方法
浸水軽減便益	Without ケースにおける想定浸水地域に含まれる資産額を算定したのち、津波発生確率を勘案して推計。
残存価値	無限期にわたって維持費及び浸水時の被害資産額、津波発生確率が一定という仮定のもとでの評価期間後の純便益を推計。

5.1. 浸水軽減便益の推計方法

まず、浸水軽減便益の推計方法について述べる。3.4 節で述べたように、Without ケースにおける浸水被害額をもって、With ケースにおいて L1 津波が発生したときの便益とみなす。そして、L1 津波の発生確率及び将来の割引を考慮し、浸水軽減便益の割引現在価値を推計する。将来の割引は第 3 節で述べたとおり、毎年 4.0%で行う。そこで、以下では浸水被害額の推計方法及び津波発生確率の設定について順に説明する。

5.1.1. 浸水被害額の推計方法

浸水被害額は農林水産省ほか「海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）」に則って算定する。算定は浸水地域の設定及び浸水地域に含まれる資産額の算定の 2 段階からなる。それぞれの段階について以下で順に述べる。

5.1.1.1. 浸水地域の設定方法

行政によるシミュレーション結果を用いる。これは、以下の 2 つの理由による。第一に、分析の整合性の問題である。本分析では、With ケースにおいて L1 津波時には浸水が発生しないという仮定を置いているが、これは行政のシミュレーションに基づくものである。すなわち、行政が行ったシミュレーション結果に対して浸水が生じないように現行の防潮堤計画は設計されている。したがって、With ケースで浸水が生じないという仮定と整合的な分析を行うためには、行政のシミュレーションを用いる必要がある。第二に、技術的な制約である。我々自身がシミュレーションを行うことは困難であったため、入手可能な浸水シミュレーションの中で信頼性が高いと考えられる行政のものを使用することとした。

5.1.1.2. 浸水地域に含まれる資産額の算定

表 5 に示す各資産額を積算することで、浸水地域に含まれる合計の資産額を算出する。これは基本的に「海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）」に則ったものであるが、一部修正を加えている¹⁰。以下では、これらの資産項目の算定方法の詳細を順に説明する。

表 5 算定する資産項目の概要

資産項目	概要
家屋・家財資産	一般家庭の家屋及び家屋に存在する家庭用品の資産額。
事業所資産	事業所に存在する在庫資産・償却資産額。
農漁家資産	農漁家が持つ機械等の資産額。
農地資産	農業産出額及び浸水時に必要となる除塩費用。
公共資産	公共土木施設及び公益事業等の資産額。

(1) 家屋・家財資産

家屋資産、家財資産はそれぞれ以下の式によって算定する。

$$\text{家屋資産} = \text{家屋平均床面積} \times \text{家屋数} \times \text{家屋 1 m}^2\text{当たり単価} \times \text{被害率}$$

$$\text{家財資産} = \text{世帯数} \times \text{1 世帯当たり家庭用品評価額} \times \text{被害率}$$

ただし、家屋平均床面積は県・市町村統計書データから、家屋 1 m²当たり単価及び 1 世帯当たり家庭用品評価額は国土交通省「治水経済調査マニュアル（案）」を参照する。家屋数と世帯数は同一とみなし、浸水地域の範囲から地図を用いて概算することとする。

また、被害率は被害の程度に応じて設定する係数であるが、本分析では以降の資産額の算定も含め全て 1 と仮定する。これは、細かい地域ごとの被害の程度を予測することが困難であったためである。「海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）」では「津波による被害率は『Tsunami—三陸津波 100 年—』（首藤伸夫）等を参考に津波高 2m 未満の地域では 0.5、2m 以上の地域では 1.0 とする。」とされているため、本分析での仮定は本来よりも浸水軽減便益を大きく見積もる可能性が存在することに留意されたい。

(2) 事業所資産

事業所資産は以下の式によって算定する。

$$\text{事業所資産} = \text{従業員数} \times \text{従業員 1 人当たり平均事業所資産額} \times \text{被害率}$$

ただし、従業員 1 人あたり事業所資産額は産業ごとにことなるため、右辺第 2 項は産業大

¹⁰ 「海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）」では農産物資産と農地資産が別に計上されているが、農地資産額は農業産出額に基づいて算出されており、二重計上と考えられる。したがって、本分析では農産物資産を除外した。また、農地が浸水した場合には、そこでの農業生産が失われるだけでなく、塩害が生じる。生産の再開には除塩作業が必要となるため、除塩にかかる費用を便益として計上する必要がある。そのため、本分析では農地資産額として農業産出額及び除塩費用を算定することとする。

分類別の資産額の平均をとることで算出する。各産業大分類の従業員 1 人当たり償却・在庫資産評価額は「治水経済調査マニュアル（案）」から、従業員数は県・市町村統計書データから得る。また、家屋・家財資産と同様に被害率は 1 と仮定する。

(3) 農漁家資産

農漁家資産は以下の式によって算定する。

農漁家資産 = 農漁家 1 戸当たり償却・在庫資産単価 × 農漁家数 × 被害率
 ただし、農漁家 1 戸当たり償却・在庫資産単価は「治水経済調査マニュアル（案）」のデータを用いる。農漁家数は県・市町村統計書データから得る。また、被害率は 1 とする。

(4) 農地資産

前述したとおり、農地資産として浸水によって失われる農業産出額及び浸水によって必要となる除塩費用を算定する。

(4-a) 浸水によって失われる農業産出額

以下の式で求める被災後の各年の逸失農業産出額の合計によって求める。

$$\text{逸失農業産出額} = \text{被災前農業産出額} \times \text{減収率}$$

ただし、被災前農業産出額は県・市町村統計書データから得る。減収率は「海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）」に則り、以下のように仮定する。

表 6 農業産出額の減収率

年数	被災年	1 年目	2 年目	3 年目	4 年目	5 年目	6 年目以降
減収率	1.0	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.0

(4-b) 除塩費用¹¹

以下の式によって算定する。

$$\text{除塩費用} = \text{単位面積当たり除塩費用} \times \text{耕地面積}$$

ただし、単位面積当たり除塩費用は他地域の事例を適用する。また、耕地面積は県・市町村統計書データから得る。

(5) 公共資産

以下の式によって算定する。

$$\text{公共資産} = \text{一般資産被害額} \times \text{公共資産係数}$$

¹¹ 現実には除塩を行わずに耕作を放棄する可能性も存在するが、ここではすべての耕地に対して除塩を行うと仮定する。

ここで、一般資産被害額は（１）から（４）で述べた資産のうち除塩費用を除いたものを指す。公共資産係数は、過去の被災事例から公共資産の被害額と一般資産被害額の比率を求めたものであり、「海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）」に則り 1.83 とする。尚、「公共資産係数」という名称は「海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）」では定義されていないが、本稿ではこれ以降の表記の簡便性のため、この名称を用いる。

この推計方法は簡便な方法であり、本来は浸水地域内の公共土木施設や公益事業の資産額を積み上げることで算定するべきである。本分析ではデータや時間の制約から積算は困難と判断し、簡便な方法に伴う不確実性については第 7 節で述べる感度分析で対応することとした。

5.1.2. 津波発生確率の設定

ここでは、本分析で想定する L1 津波が評価期間の各年において発生する確率について説明する。これによって、先に述べた各資産の被害が生じる確率を設定し、各年の確率的浸水軽減便益を求めることができる。

本分析では、津波の発生確率分布として BPT 分布を想定する。BPT 分布は文部科学省の地震調査研究推進本部が用いている分布であり、定期的に発生する地震による津波の確率分布として一般的とされる（地震調査研究推進本部地震調査委員会「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価（第二版）について」）。BPT 分布の密度関数は、平均地震発生間隔 μ とばらつき α によって、

$$f(t; \mu, \alpha) = \left[\frac{\mu}{2\pi\alpha^2 t^3} \right]^{1/2} \exp \left[- \left\{ \frac{(t - \mu)^2}{2\mu\alpha^2 t} \right\} \right] \quad (\text{iii})$$

で定義される。ただし、 t は前回の津波からの時間である。

ここで、平均地震発生間隔 μ は 38.3 年と設定した。これは、明治以降に三陸海岸で発生した津波の間隔の平均をとったものである¹²。また、ばらつき α は 0.24 とした。これは、地震調査研究推進本部によって仮定されている数値である。

5.1.3. 浸水軽減便益の推計

以上で算定した浸水地域に含まれる資産額を K 、 X 年に津波が発生する確率を p_X とすると、 X 年の確率的浸水軽減便益 EB_X は

$$EB_X = p_X K \quad (\text{iv})$$

で表わされる。そして、その総和の割引現在価値 B は以下の式によって算定され、

¹² 三陸海岸では 1896 年に明治三陸津波、1933 年に昭和三陸津波、1960 年にチリ津波、2011 年に東日本大震災による津波が発生している。

$$B = \sum_{k=2016}^{2065} \frac{EB_k}{1.04^{k-2014}} \quad (v)$$

これが浸水軽減便益の値となる。

5.2. 残存価値の推計方法

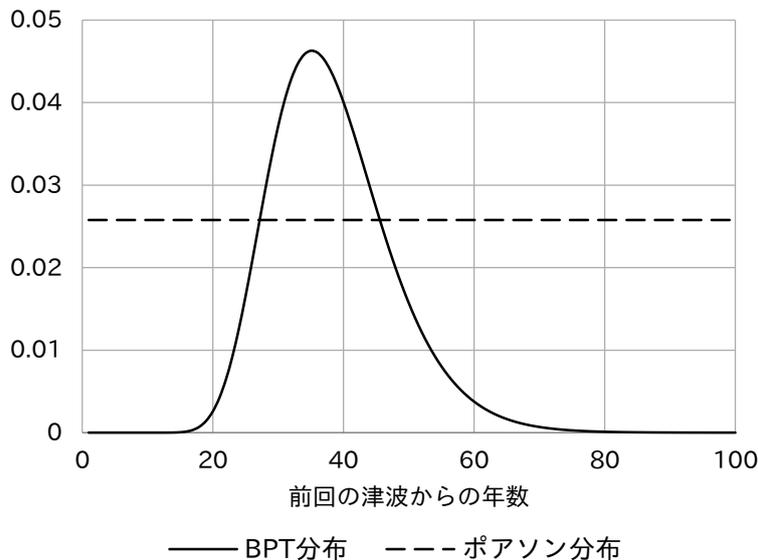
評価期間後に防潮堤によって生じる純便益の割引現在価値が残存価値となる。この算定のために、以下の3つの仮定を置く。第一に、純便益は無限期間生じると仮定する。すなわち、維持費を支払うことで防潮堤は永久に機能するものとする。第二に、維持費として毎年建設費の0.5%が発生すると仮定する。すなわち、評価期間中と同じだけの維持費が発生し続けるとする¹³。第三に、評価期間後は、先に述べたBPT分布ではなく、ポアソン分布に従ってL1津波が発生すると仮定する。以下、3つ目の仮定について詳細を記す。

ポアソン分布は、過去の最新活動時期が不明の地震について適用される分布であり（地震調査研究推進本部）、地震はランダムに起こっているという仮定のもとで発生確率を計算する。平均地震発生間隔を μ とすると、各年の地震発生確率 p は年によらず一定で、

$$p = 1 - \exp\left(-\frac{1}{\mu}\right) \quad (vi)$$

で表わされる。 μ の値はBPT分布と同様に38.3年とする。このとき、各年の地震発生確率はおおよそ2.57%になる。

図5 津波発生確率（平均地震発生間隔：38.3年）



¹³ 実施には建設から時間が経つと大規模な改修が必要になるため、この仮定のもとでの残存価値の推計はやや過大であると思われる。

残存価値の推計において、BPT 分布ではなくポアソン分布を用いるのは、「各年の地震発生確率が一定である」というポアソン分布の特徴のためである。図 5 から明らかなように、BPT 分布では各年の地震発生確率が前回の地震からの年数によって異なる。したがって、たとえば 1,000 年後の地震発生確率を算出する場合、その前の地震を何年と仮定するかが問題になる。東日本大震災の 2011 年と仮定することは、その後 1,000 年間地震が起きないことを意味しており、現実的ではない。一方で、適当な設定を行うことも困難である。なぜならば、 X 年の地震発生確率を BPT 分布によって定めるためには、 X 年より前の一定期間の地震の発生の有無を決める必要があるためである¹⁴。これに対して、ポアソン分布の仮定のもとでは各年の地震発生確率は前回の地震からの年数に関わらず一定である。そのため、先に述べたような問題は起こらず、無限期間にわたる津波の発生確率を整合的に算定することができる。これが、残存価値の推計においてポアソン分布を仮定する理由である。

以上を整理すると、残存価値 B_2 は以下の式によって算定される。ただし、 p はポアソン分布に基づく津波発生確率、 K は浸水時の被害資産額、 C は各年の維持費を示す。

$$B_2 = \sum_{k=2066}^{\infty} \frac{pK - C}{1.04^{k-2014}} \quad (\text{vii})$$

¹⁴ たとえば、2200 年の地震発生確率を、前回の地震から 50 年経ったという仮定のもとで BPT 分布に従って求めるとする。これは、2150 年に地震が発生し、2151 年から 2199 年までの 49 年間には地震が発生しなかったと仮定していることと同値であり、2150 年から 2200 年までの地震の有無を確率 1 で設定していることになる。

6. 推計結果

第4節、5節では各評価項目の推計方法の詳細を説明した。本節では、それらの推計方法に基づいて行った算定の結果を述べる。概要は表7のとおりである。

表7 推計結果の概要

項目		億円
費用	建設・維持費	245.0
	景観破壊費用	0.1
便益	浸水軽減便益	31.2
	残存価値	6.4
純便益		-207.5
費用便益比		0.153

6.1. 建設・維持費の推計結果

宮城県土木部河川課によれば復興事業における海岸堤防等の査定決定額は表8のとおりである。このうち、小泉地区に該当するものは11番「赤崎海岸～蔵内漁港、津谷川河口～ふ化場」であるため、建設費を226億円とする。そして、建設期間の2年間で113億円ずつ発生すると仮定する。

表8 海岸堤防等の査定決定額

番号	地区名	事業費(億円)
1	大沢(唐桑漁港)～只越漁港	77
2	金取漁港～御崎～鮎立～日向貝	140
3	大島沿岸	139
4	鶴ヶ浦～大浦～浜町、鹿折川河口～万行沢橋	242
5	魚町～港町～川口町	41
6	大川河口～大橋、神山川河口～神山橋	63
7	大川河口前浜～母体田～面瀬川	102
8	尾崎～千岩田	31
9	川原漁港～岩井崎～沖の田川	164
10	野々下～赤牛漁港	102
11	赤崎海岸～蔵内漁港、津谷川河口～ふ化場	226
12	大沢(津谷)漁港～登米沢	5
合計		1,333

【出典】防潮堤を勉強する会ホームページ「『宮城県土木部河川課 門脇雅之課長』への追加質問の回答」

さらに、各年の維持費は建設費の0.5%であるため、1.13億円と推計される。これが2016年から2065年までの50年間にわたって発生し続ける。

以上より、評価期間中の建設・維持費の総和の割引現在価値は、

$$113 + \frac{113}{1.04} + \sum_{k=2016}^{2065} \frac{1.13}{1.04^{k-2014}} \quad (\text{viii})$$

によって求まり、245.0億円となる。

6.2. 景観破壊費用の推計結果

各年の景観破壊費用は以下の式によって算定される。

X年の景観破壊費用 = 1世帯当たり支払意思額 × X年の小泉地区世帯数

1世帯当たり支払意思額は、笠井ほか(1999)を参照し、1,588円/年・世帯と設定した¹⁵。また、2015年の小泉地区の世帯数は、2013年11月と等しいと仮定し、551世帯とする。2016年以降の世帯数の推計は補遺A.1に示す。これは、表9に示す社人研の将来人口推計に基づくものである。ただし、2040年以降は2035年から2040年と等しい人口減少率で、気仙沼市の人口が減少するものと仮定している。

以上の数値をもとに景観破壊費用の割引現在価値を計算すると、1,464万円になる。

表9 気仙沼市将来人口推計

年	推計人口	1年当たり人口変化率
2015	65,804	
2020	62,561	-1.0057%
2025	57,495	-1.6747%
2030	52,394	-1.8410%
2035	47,435	-1.9690%
2040	42,656	-2.1015%

【出典】国立社会保障・人口問題研究所「日本の地域別将来推計人口（平成25年3月推計）」

6.3. 浸水軽減便益の推計結果

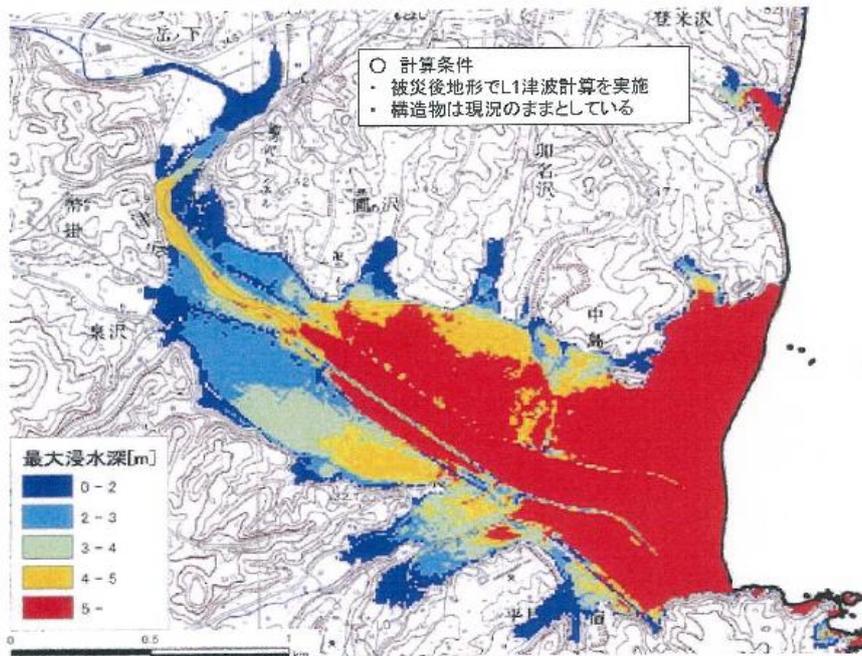
第5節で説明した推計方法に添って、浸水地域の設定、浸水地域に含まれる資産額の推計結果について順に述べる。

¹⁵ 支払意思額の算出にあたってはメタ分析を行わず、笠井ほか(1999)のみの値を採用した。この理由は、想定している状況が本分析と近いこと及び後述するように景観破壊費用の金額が小さく、政策提言上複数の研究を参照する意義が薄いことがある。

6.3.1. 浸水地域の設定

宮城県気仙沼土木事務所に問い合わせ得たシミュレーション結果を用いる。シミュレーションの仮定は以下の通りである。まず、発生した津波は明治三陸津波（L1 に相当）規模とする。そして、防潮堤の新設は行われていないとする。最後に、構造物は現状のままとする。以上の3つの仮定に基づく浸水シミュレーションの結果が図6に示したものである。

図 6 浸水シミュレーション結果（L1 津波、防潮堤なし）



【出典】宮城県気仙沼土木事務所

6.3.2. 浸水地域に含まれる資産額の推計結果

ここでは、先に示した浸水シミュレーションに基づいて算定した予想浸水地域に含まれる資産額について述べる。概要は表 10 の通りである。

表 10 浸水地域に含まれる資産額の推計結果

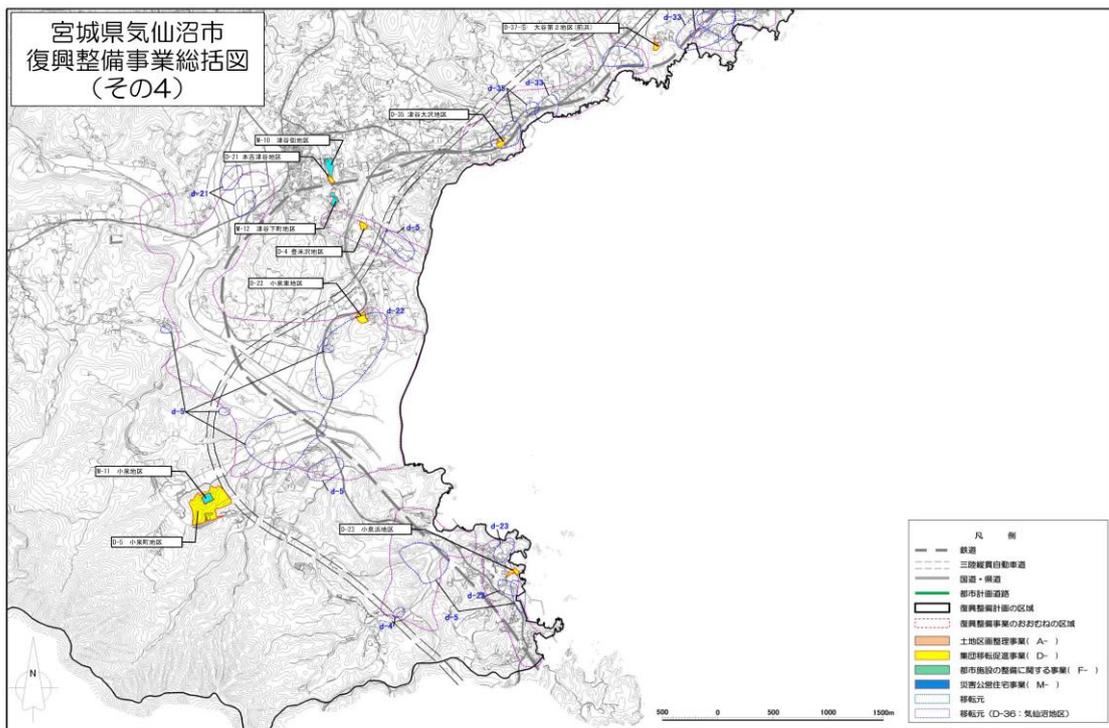
資産項目		億円
家屋・家財資産		0.0
事業所資産		30.9
農漁家資産		3.1
農地資産	農業産出額	8.5
	除塩費用	23.7
公共資産		77.7
合計		120.2

(1) 家屋・家財資産

第 3 節で述べたように、本分析では防災集団移転を所与のものとして扱う。その結果、図 6 に示した浸水地域に居住家屋は存在しないと判断し、家屋・家財資産を 0.0 億円とした。この根拠を以下に示す。

図 7 は、気仙沼市復興整備事業総括図の本吉地区部分である。黄色あるいは水色で塗りつぶされた部分が居住地域に該当する。図 6 と図 7 を照合するとわかるように、宮城県のリシミュレーションに基づく堤防なし、L1 津波時の浸水地域と、復興整備事業総括図の居住地域には重なりがない。これは、津波が発生しても浸水地域に家屋・家財資産が存在しないことを意味している。したがって、この評価項目は 0.0 億円とみなす。

図 7 気仙沼市復興整備事業総括図



(2) 事業所資産

事業所資産額は、従業員数と従業員 1 人あたり平均事業所資産額の掛け算によって求められる¹⁶。それぞれについて推計結果を以下に記す。

① 従業員数

本来は浸水地域の従業員数を算定するべきであるが、個々の事業所の位置及び従業員数の把握は困難であったため、小泉地区全体の従業員数に東日本大震災での被災率を乗じる

¹⁶ これは、被害率を 1 と仮定しているためである。

ことで推定した。小泉地区の従業員数は、直接のデータは入手できなかったため、以下の式によって求めた。

$$\text{小泉地区従業員数} = \text{小泉地区人口} \times \frac{\text{気仙沼市従業員数}}{\text{気仙沼市人口}}$$

ただし、農漁家については別の評価項目で算定するため、「気仙沼市従業員数」には農林漁業従事者は含まない。また、東日本大震災での被災従業員率についても小泉地区に限定したデータは入手できなかったため、気仙沼市全体の数値を用いた。

2013年11月末の気仙沼市統計（気仙沼市ホームページ「気仙沼市の人口と世帯数」）より小泉地区人口は1,582人である。また、「気仙沼市統計書（平成23年版）」によると、平成21年の気仙沼市人口は75,298人、農林漁業を除いた従業者数は29,547人である。東日本大震災での被災従業員率は83.5%である（気仙沼市震災復興計画「海と生きる」）。したがって、小泉地区の従業員数は518人と推計される。

② 従業員1人当たり平均事業所資産額

従業員1人当たり平均事業所資産額は、以下の式を産業大分類ごとに足し合わせることで得られる。

$$\text{産業大分類別従業員1人当たり償却・在庫資産単価} \times \frac{\text{当該市町村産業別従業員数}}{\text{当該市町村従業員総数}}$$

ここで、産業大分類別従業員1人当たり償却・在庫資産単価は「治水経済調査マニュアル（案）」の2012年のデータを用いた。また、当該市町村産業別従業員数、当該市町村従業員総数の当該市町村として小泉地区が含まれる気仙沼市の一部である旧本吉町を採用し、「気仙沼市統計書（平成23年版）」から2009年の本吉町のデータを用いた。詳細については補遺A.2で紹介する。推計の結果、従業員1人当たり平均事業所資産額は595.7万円となった。

以上より、事業所資産額は518人と595.7万円／人を掛けて、30.9億円と求まる。

(3) 農漁家資産

農漁家資産は、農漁家1戸当たり償却・在庫資産単価と農漁家数の掛け算によって算定される。

① 農漁家1戸当たり償却・在庫資産単価

「治水経済調査マニュアル（案）」より2012年の数値は243.6万円である。

② 農漁家数

ここでも本来は浸水被害を受ける農漁家に限定して数えるべきであるが、従業員数と同様の理由で困難であったため、小泉地区全体の農漁家数を求めた。「気仙沼市統計書（平成23年版）」より2012年の小泉地区における農漁家数は126戸である。

以上より、農漁家資産額は243.6万円／戸と126戸を掛けて、3.1億円である。

(4) 農地資産

農地資産には逸失農業産出額及び除塩費用の2つが含まれるため、別々に推計する。

(4-a) 浸水によって失われる農業産出額

被災後の各年の逸失農業産出額は、

$$\text{被災前農業産出額} \times \text{減収率}$$

によって計算される。ここで、減収率は第5節の表6で示したとおりである。

被災前の農業産出額は以下のように求める。

$$\text{被災前農業産出額} = \text{小泉地区耕地面積} \times \frac{\text{本吉町農業産出額}}{\text{本吉町耕地面積}}$$

右辺第2項は小泉地区を含む本吉町における単位面積当たりの産出額である。これに小泉地区の耕地面積を掛けることで、小泉地区の農業産出額を計算する。

小泉地区耕地面積は、気仙沼市本吉総合支所産業課に問い合わせた結果、107.6ha（2013年）であることがわかった。また、本吉町農業産出額及び本吉町耕地面積は宮城県気仙沼地方振興事務所地方振興部「気仙沼・本吉地域の統計」より2005年のデータを得た¹⁷。農業産出額が12.4億円、耕地面積が585haである。

以上の数値と、表6に示した減収率を掛け合わせることで、浸水によって失われる農業産出額の被災年を基準年とする割引現在価値は8.5億円と求まる。

(4-b) 除塩費用

除塩費用は、以下の式によって算定される。

$$\text{除塩費用} = \text{単位面積当たり除塩費用} \times \text{耕地面積}$$

¹⁷ ややデータが古く、2005年以降に農業技術の進歩等で生産性が高まっているとすると、単位面積当たりの産出額を過小に推計している可能性がある。ただし、以下で明らかになるように純便益の値は大きな負であるため、この推計の多少のずれは結論に大きな影響を及ぼさない。

前述のように、耕地面積は気仙沼市本吉総合支所産業課に問い合わせた 107.6ha という数値を採用する。また、単位面積当たり除塩費用は 1ha 当たり 2,200 万円とする。これは宮城県岩沼市の推計である¹⁸。

したがって、除塩費用は 23.7 億円と推計される。

(5) 公共資産

公共資産額は、以下の式によって算定される。

$$\text{公共資産} = \text{一般資産被害額} \times 1.83$$

ここで、一般資産被害額とは (1) から (4) の合計金額から除塩費用を除いたものである。したがって、公共資産額は、42.8 億円に 1.83 を乗じて、77.7 億円と求まる。

6.3.3. 浸水軽減便益の推計結果

以上より、浸水地域に含まれる資産額の合計は、120.2 億円と推計された。さらに、5.1.2 節及び 5.1.3 節で述べた津波発生確率と割引を考慮すると、浸水軽減便益の割引現在価値は 31.2 億円と算定される¹⁹。

6.4. 残存価値の推計結果

先に述べたように各年の維持費は 1.13 億円、L1 津波発生時の被害資産額は 120.2 億円である。また、第 5 節で説明したとおり平均地震発生間隔は 38.3 年と設定する。

これらの仮定のもとで残存価値を計算すると、

$$\sum_{k=2066}^{\infty} \frac{[1 - \exp(-1/38.3)] \times 120.2 - 1.13}{1.04^{k-2014}} \quad (\text{ix})$$

より、6.4 億円となる。

6.5. 純便益の推計

以上の結果をまとめると、費用は、建設・維持費が 245.0 億円、景観破壊費用が 0.1 億円の合計 245.1 億円である。一方、便益は、浸水軽減便益が 31.2 億円、残存価値が 6.4 億円の合計 37.6 億円である。したがって、純便益は-207.5 億円と 0 を大きく下回る。また、費用便益比も 0.153 と 1 を下回る²⁰。

¹⁸ 河北新報社（2011 年 7 月 3 日）「宮城の自治体 重い“1 割負担”一括全額補助望む」を参照。

¹⁹ 各年の津波発生確率は補遺 A.3 を確認されたい。

²⁰ 各評価項目の各年の金額は補遺 A.4 を参照されたい。

尚、浸水地域に含まれる資産額の合計 120.4 億円は、津波の発生確率や割引を考慮しなくても建設維持費 245.0 億円を下回っている。これは、純便益が負になるという結果が、防潮堤建設のタイミングの問題ではないことを示している²¹。

表 7 推計結果の概要（再掲）

項目		億円
費用	建設・維持費	245.0
	景観破壊費用	0.1
便益	浸水軽減便益	31.2
	残存価値	6.4
純便益		-207.5
費用便益比		0.153

²¹ 浸水地域に含まれる資産額の合計が建設・維持費を上回っている場合には、BPT 分布のもとで津波の発生確率が高くなる 2050 年頃に防潮堤を建設すれば純便益が正になる可能性がある。本分析においては、そのような可能性はない。

7. 感度分析

前節では、本分析の基本となる仮定のもとでの推計結果を示した。しかし、前節で用いた数値あるいは仮定にはいくつかの不確実性が存在する。そこで、本節では、それらの不確実性に対する考察として感度分析を行う。特に、前節で示したように基本ケースにおける純便益は大きな負の値であったため、できるだけ便益が大きくなるケースを検討する最善ケース感度分析を行い、それでも純便益が正にはならないことを示す。

7.1. 感度分析の仮定

以下では、具体的にどのように数値・仮定を変更するのかを説明する。感度分析の想定概要は表 11 のとおりである。

表 11 最善ケース感度分析における想定概要

	基本ケース	最善ケース
建設費	226 億円	基本ケースの 90%
建設期間	2 年間	基本ケースの 110%
評価期間中の津波発生確率	BPT 分布	ポアソン分布
公共資産係数	1.83	2.98
社会的割引率	4%	2%

(1) 建設費・建設期間

国土交通省「港湾整備事業の費用対効果分析マニュアル」では、建設費及び建設期間は基本ケースのプラスマイナス 10%の変動幅で感度分析を行うべきとされている。本分析では、費用を増加させる方向への感度分析は無意味であるため、建設費は基本ケースの 90%、建設期間は 110%とする。建設期間を延長することによって、割引後の建設費の数値を小さくすることができる。

(2) 評価期間中の津波発生確率

第 5 節の図 5 に示したように、BPT 分布は前回の地震の直後の地震発生確率をポアソン分布と比較して小さく見積もる。そのため、2011 年に地震が発生したばかりの小泉地区では、評価期間の初期の数年間の津波発生確率はきわめて小さな値となっている（補遺 A.3 参照）。一方、ポアソン分布では地震の発生をランダムと考えるため、前回の地震がいつかは無関係に地震の発生確率が定まる。したがって、2011 年から間もない評価期間の初期であっても約 2.6%の確率で津波が発生する。

以上のことから、評価期間中の津波発生確率がポアソン分布に従うと仮定することで、評価期間の初期の津波発生確率を大きくすることができる。近い将来の便益は割引が小さいため、これによって浸水軽減便益を大きく推計することができる。

(3) 公共資産係数

浸水地域に含まれる公共資産額を求める際には、一般資産被害額に 1.83 を乗じるという推計方法を採用した。5.1.1 節で述べたように、この値は「海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）」に則ったものであるが、過去の海岸災害の事例の平均値であり、不確実性が存在する。そこで、最善ケースとして、公共資産係数を 2.98 と設定した。これは以下の根拠に基づく。

2006 年から 2009 年の一般資産等被害額、公共土木施設被害額、公益事業等被害額は、国土交通省「水害統計調査」によれば表 12 のとおりである。公共土木施設被害額と公益事業等被害額の合計金額と一般資産等被害額の比率を求めると以下のようになり、最も値が大きい 2006 年で 2.98 である。便益をできるだけ大きく推計するという最善ケースの方針より、公共資産係数は最大値に設定することが望ましい。したがって、感度分析においては公共資産係数を 2.98 とした。

表 12 公共資産・一般資産比率

	一般資産等被害額 (A)	公共土木施設被害額 (B)	公益事業等被害額 (C)	(B+C) / A
2006 年	86,644	253,469	4,448	2.98
2007 年	54,968	151,141	2,647	2.80
2008 年	101,866	60,606	3,879	0.63
2009 年	175,445	105,443	5,215	0.63

単位：百万円

【出典】国土交通省「水害統計調査」

(4) 社会的割引率

本分析の基本的な構造としては、初期に多額の費用が建設費として発生し、便益は小さい確率で長期間にわたって発生する。したがって、将来の割引を小さくすることで、相対的に便益を増大させることができる。そこで、最善ケースでは社会的割引率を 2% に設定した。

7.2. 感度分析の推計結果

表 13 に最善ケース分析の推計結果を示す。最善ケースにおいても純便益は-19.5 億円と負の値なる。費用便益比も、基本ケースと比較すると改善するものの、やはり 1 は下回る。したがって、小泉地区の防潮堤建設計画の純便益が負であるという前節の推計結果は頑健なものと言えるだろう²²。

²² 各評価項目の各年の金額は補遺 A.5 を参照されたい。

表 13 最善ケース分析の推計結果

項目		基本ケース	最善ケース
費用	建設・維持費	245.0	214.4
	景観破壊費用	0.1	0.2
便益	浸水軽減便益	31.2	135.0
	残存価値	6.4	60.1
純便益		-207.5	-19.5
費用便益比		0.153	0.909

単位：億円（費用便益比を除く）

8. 人的被害の考察

本稿では、ここまで津波によって生じうる人的被害について検討しなかった。第 6 節、第 7 節で示したようにいくら純便益が負であろうと、防潮堤を建設しないことで甚大な人的被害が生じるのであれば、建設は望ましいかもしれない。そこで、本節では一回の津波で何人の死者が生じると仮定すれば純便益が正になるかを明らかにすることで、本分析の推計結果の頑健性を示す。

費用便益分析では、人の死を扱う際には「統計的生命価値」を用いる。これは、死亡のリスクに対する人々の支払意思額を測ったものであり、本分析では内閣府の報告書に倣い、統計的生命価値を 2 億 2,600 万円／人とする²³。この仮定のもとで、基本ケースにおける純便益が正になる死者数の下限を求めると、96 人になる²⁴。そして、我々は、この死者数は現実的ではない値だと考えている。以下で根拠を示す。

まず、第 2 節で述べたように、東日本大震災における小泉地区の死者・行方不明者は 43 人である。「千年に一度」とも言われる東日本大震災の 2 倍を超える人的被害を生じさせる津波が発生する可能性は低い。第二に、これまでも繰り返し述べたように、小泉地区では高台移転がなされる。したがって、一般に津波発生時に人が亡くなる可能性は低くなる。第三に、小泉地区は人口減少が進む地域である。今後住民が減っていく中で、東日本大震災を超える死者が発生する可能性はやはり低いと思われる。

以上の 3 点から 96 人の死者が発生する確率はきわめて低いと想定され、小泉地区防潮堤建設の純便益が負であるという推計結果は、たとえ人的被害を考慮したとしても変わるものではないと考えられる。

²³ 内閣府「交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査研究報告書」を参照。

²⁴ すなわち、第 5 節で定義した BPT 分布に従って 96 人の死者が発生すると仮定すれば、純便益は正の値になる。

9. 結論と今後の課題

9.1. 結論

我々が行った費用便益分析では、小泉地区の現行の防潮堤建設計画の純便益は-207.5 億円と大きな負の値と推計された。第 7 節、第 8 節で示したように、この結果は非常に頑健なものと考えられ、費用便益分析の観点から防潮堤建設は推奨されない。もちろん、費用便益分析は政策評価の一手法でしかなく、絶対的な基準を提供するものではないが、本計画の純損失は巨額である。我々は現行の計画は中止するべきであると考えている。

ただし、現実的には、宮城県が事業主である防潮堤建設を気仙沼市の小泉地区のみで中止するという事は困難であろう。そのため、我々は以下の 2 点を提案したい。

まず、小泉地区では防潮堤建設を完全にやめるのではなく、計画の見直しを行うべきである。純便益が負となる大きな要因は、巨額の建設費である。防潮堤の堤防高を下げることによって建設費は確実に抑制することができる。その他、設置場所の変更等も含め、便益を維持しつつ費用を抑えることができる代替案を検討することが必要であろう。

第二に、本分析のような定量的な評価を他の地域の防潮堤でも行うべきである。東北の被災地では、小泉地区以外にも防潮堤建設計画への反対意見が出ている地域が存在する。本分析の推計方法は小泉地区に特殊なものではなく、他の地域への応用は可能である。復興を効率的に進めるためにも感情論ではない定量的な政策評価が求められ、費用便益分析は有効な道具となりうる。

9.2. 分析の限界と今後の課題

最後に、本分析の限界を述べ、今後の課題として整理したい。本分析には主に 3 つの限界がある。第一に、検討できなかった費用項目が存在する。第二に、千年に一度の規模と言われる L2 津波を考慮していない。第三に、現行計画以外の With ケースを検討することができなかった。以下で順に説明する。

1 点目に関しては、住民からの防潮堤に対する反対意見としては、漁業に悪影響が生じる、防潮堤の存在によって海が見えなくなり、却って津波から逃げ遅れるといったものがある。これらは本来防潮堤建設の費用として扱うべきであるが、本分析では推計の困難から分析の対象外とした。ただし、純便益が負という推計結果を得たため、政策提言のベクトルという意味では、費用を増大させるこの課題は大きな問題にはならない。

次に、L2 津波を分析の対象から外した点も限界として挙げられる。これは、L2 津波発生時の被害の推計が困難だったためである。ただし、この点に関しても以下の 2 つの理由から、政策提言上は大きな問題でないと考えている。第一に、千年に一度とされる L2 津波が評価期間の 2065 年までに生じる確率はきわめて小さく、確率的便益への影響は小さい。第二に、L2 津波発生時には With ケースでも浸水が生じるが、これは L1 津波発生時に比べて

便益が相対的に小さくなることを意味する。純便益が負という推計結果を変更させる要因になる可能性は低い。

最後の限界は、第一、第二の限界と異なり、重大な問題である。本分析は現行計画を否定する結果を得たものの、その代替となる政策案を提示する力はない。今後、現行計画以外の With ケースを設定し、定量分析することが重要であろう。そして、どのような計画であれば純便益が正になるのか見当を行うことで、よりよい政策の提言が可能となると考えている。また、9.1 節で述べたように、他地域に分析の対象を拡大することも政策提言としての意義を強めるうえで有効だろう。

謝辞

本稿の執筆にあたって、多くの方にご指導いただいた。指導教官の岩本康志教授には分析段階から論文完成に至るまで様々なアドバイスをしてくださった。また、鎌江伊三夫教授、北野泰樹教授、八田達夫教授にも中間報告等を通じて大変お世話になった。宮城県気仙沼土木事務所及び気仙沼市本吉総合支所産業課の方々には、ご多忙のなか分析に必要な資料を提供していただいた。国土交通省港湾局の方々には、公共資産係数の感度分析に関して有益な助言を頂いた。この場を借りて厚く御礼申し上げたい。

尚、本研究における分析結果、主張は全て筆者たち個人の見解であり、所属する機関としての見解を示すものではない。また言うまでもなく本稿にあり得る誤りは全て筆者たちに帰するものである。

参考文献

- A. E. Boardman, D. H. Greenberg, A. R. Vining, and D. L. Weimer (2011) “Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice 4th edition” Pearson Series in Economics.
- 青森県（2009）「大湊湾海岸（浸食）事業：費用対効果分析説明資料」。
- 岩崎敬環境計画事務所（2011）「海の見えない漁村は本当に安全なのか？」。
- 大阪市（2010）「費用便益分析について」。
- 笠井雅広・佐藤慎司・今村能之・原文宏・平野宣一（1999）「CVMによる海岸空間の価値に関する意識調査」海岸工学論文集、第46巻：1286-1290。
- 気仙沼市（2011）「気仙沼市震災復興計画 海と生きる」。
- 気仙沼市（2011）「気仙沼市統計書（平成23年版）」。
- 気仙沼市（2011）「第1回震災復興会議資料6：主な地区の津波被害の状況について」。
- 気仙沼市（2013）「土地利用構想図（第1～7回公表分）」。
- 気仙沼市（2013）「復旧・復興事業の取組状況と課題」。
- 気仙沼市（2014）「復興整備事業総括図（その4）」。
- 国土交通省（2004）「公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針」。
- 国土交通省河川計画課「水害統計調査（平成18年～21年）」。
- 国土交通省港湾局（2004）「港湾整備事業の費用対効果分析マニュアル」。
- 国土交通省水管理・国土保全局海岸室（2012）「今後の海岸堤防等の整備について」。
- 国土交通省水管理・国土保全局河川計画課（2013）「治水経済調査マニュアル（案）」。
- 国立社会保障・人口問題研究所（2013）「日本の地域別将来推計人口（平成25年3月推計）」。
- 財務省（2012）「復興関連予算 資料4-1」。
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2011）「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価（第二版）について」。
- 千葉県（2008）「千葉県の海岸事業」。
- 内閣府政策統括官（2007）「交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査研究報告書」。
- 成瀬進・北原政宏（1998）「海岸事業の費用対便益分析について」海岸工学論文集、第45巻：1231-1235。
- 農林水産省農村振興局・水産庁、国土交通省河川局・港湾局（2004）「海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）」。
- 宮城県（2012）「気仙沼地域における海岸堤防の高さ」。
- 宮城県（2011）「宮城県震災復興計画～宮城・東北・日本の絆 再生からさらなる発展へ～」
- 宮城県気仙沼地方振興事務所地方振興部（2009）「気仙沼・本吉地域の統計」。
- 宮城県土木部河川課（2012）「防潮堤建設計画の基本的な流れとルール」。
- 森傑（2013）「気仙沼市小泉地区の住民発案による高台集団移転計画とコミュニティの継承（概要）」。

朝日新聞（2013年12月24日）「防潮堤、民意とズレ 宮城、変更には慎重姿勢 岩手、かさ上げ計画撤回」< <http://www.asahi.com/articles/DA2S10896031.html>>2014年1月27日アクセス.

朝日新聞（2014年1月19日）「防潮堤の住民勉強会で疑問の声相次ぐ 気仙沼」<<http://www.asahi.com/articles/ASG1L6DC1G1LUNHB00S.html>>2014年1月27日アクセス.

「快水浴場百選」<<https://www2.env.go.jp/water-pub/mizu-site/suiyoku2006/data/index.asp?info=9>>2014年1月27日アクセス.

河北新報社（2011年7月3日）「宮城の自治体 重い“1割負担” 一括全額補助望む」<http://www.kahoku.co.jp/spe/spe_sys1071/20110704_01.htm>2014年1月27日アクセス.

気仙沼市「気仙沼市の人口と世帯数」<<http://www.city.kesennuma.lg.jp/www/contents/1146185553349/index.html>>2014年1月27日アクセス.

気仙沼市「小泉川さけ有効利用調査の中止について」<<http://www.city.kesennuma.lg.jp/www/contents/1314143906728/index.html>>2014年1月27日アクセス.

日本経済新聞（2014年1月7日）「被災地の防潮堤、地域差じわり 宮城『巨大すぎ』住民反発」< http://www.nikkei.com/article/DGXNASDG2701T_W4A100C1CC1000/>2014年1月27日アクセス.

防潮堤を勉強する会「『宮城県土木部河川課 門脇雅之課長』への追加質問の回答」<<http://seawall.info/pdf/120927-kadowaki-anser.pdf>>2014年1月27日アクセス.

補遺

A.1. 景観破壊費用の算定における小泉地区世帯数の推計結果

年	世帯数	年	世帯数
2015	551	2041	350
2016	545	2042	342
2017	540	2043	335
2018	535	2044	328
2019	529	2045	321
2020	524	2046	314
2021	515	2047	308
2022	506	2048	301
2023	498	2049	295
2024	490	2050	289
2025	481	2051	283
2026	473	2052	277
2027	464	2053	271
2028	455	2054	265
2029	447	2055	260
2030	439	2056	254
2031	430	2057	249
2032	422	2058	244
2033	413	2059	239
2034	405	2060	234
2035	397	2061	229
2036	389	2062	224
2037	381	2063	219
2038	373	2064	215
2039	365	2065	210
2040	357		

A.2. 従業員 1 人当たり平均事務所資産額の推計結果

産業大分類		従業員 1 人 当たり償却 資産評価額 (2012 年)	従業員 1 人 当たり在庫 資産評価額 (2012 年)	本吉町 従業員数 (2009 年)	従業員 1 人 当たり平均 事業所資産額
符号	産業名				
E	建設業	1,472	3,649	412	671.5
F	製造業	5,107	4,527	901	2,762.6
G	電気・ガス・熱供 給・水道業	109,953	5,455	8	293.8
H	情報通信業	5,641	1,426	2	4.5
I	運輸業	5,178	1,254	201	411.5
J	卸売・小売業	1,815	2,162	525	664.5
K	金融・保険業	4,622	290	31	48.5
L	不動産業	24,251	9,296	21	224.2
M	飲食店、宿泊業	1,943	154	114	76.1
N	医療、福祉	1,712	57	376	211.7
O	教育、学習支援業	864	271	227	82.0
P	複合サービス業	4,622	290	76	118.8
Q	サービス業	4,622	290	114	178.2
R	公務	4,622	290	134	209.5
合計				3,142	5,957.5

単位：千円

【出典】治水経済調査マニュアル（案）、気仙沼市統計書（平成 23 年版）

A.3. 評価期間中の津波発生確率（基本ケース）

年	確率密度	年	確率密度
2016	1.28659E-22	2041	0.037081152
2017	5.12198E-18	2042	0.040256661
2018	8.94272E-15	2043	0.042804417
2019	2.22195E-12	2044	0.044662895
2020	1.50936E-10	2045	0.045809299
2021	4.14491E-09	2046	0.046255588
2022	5.89983E-08	2047	0.046042628
2023	5.13583E-07	2048	0.045233398
2024	3.06542E-06	2049	0.043906029
2025	1.36112E-05	2050	0.042147271
2026	4.77273E-05	2051	0.040046777
2027	0.000138203	2052	0.037692426
2028	0.000341962	2053	0.035166744
2029	0.000742443	2054	0.032544402
2030	0.001444276	2055	0.029890669
2031	0.002559697	2056	0.027260688
2032	0.004189273	2057	0.024699403
2033	0.006401587	2058	0.02224197
2034	0.009216883	2059	0.019914523
2035	0.012598334	2060	0.017735147
2036	0.016452432	2061	0.015714962
2037	0.020637776	2062	0.013859239
2038	0.024979934	2063	0.012168477
2039	0.029289343	2064	0.010639414
2040	0.033379229	2065	0.009265932
2041	0.037081152		

ただし、「E-X」は10のマイナスX乗を表す。

A.4. 各年の費用・便益の割引現在価値（基本ケース）

年	建設・維持費	景観破壊費用	浸水軽減便益	残存価値
2014	11,300,000	0	0	
2015	10,865,385	841	0	
2016	104,475	801	0	
2017	100,457	762	0	
2018	96,593	726	0	
2019	92,878	691	0	
2020	89,306	657	0	
2021	85,871	622	0	
2022	82,568	588	1	
2023	79,392	556	4	
2024	76,339	525	25	
2025	73,403	497	106	
2026	70,579	469	358	
2027	67,865	442	998	
2028	65,255	418	2,374	
2029	62,745	394	4,956	
2030	60,332	372	9,269	
2031	58,011	351	15,796	
2032	55,780	330	24,858	
2033	53,635	312	36,524	
2034	51,572	294	50,565	
2035	49,588	277	66,457	
2036	47,681	261	83,450	
2037	45,847	245	100,653	
2038	44,084	231	117,144	
2039	42,388	217	132,070	
2040	40,758	205	144,724	
2041	39,190	193	154,590	
2042	37,683	181	161,374	
2043	36,234	171	164,988	
2044	34,840	161	165,530	
2045	33,500	151	163,249	

2046	32,212	142	158,499	
2047	30,973	134	151,701	
2048	29,781	126	143,303	
2049	28,636	119	133,748	
2050	27,535	112	123,452	
2051	26,476	105	112,788	
2052	25,457	99	102,074	
2053	24,478	93	91,572	
2054	23,537	88	81,484	
2055	22,631	83	71,961	
2056	21,761	78	63,105	
2057	20,924	73	54,977	
2058	20,119	69	47,603	
2059	19,345	65	40,983	
2060	18,601	61	35,094	
2061	17,886	57	29,900	
2062	17,198	54	25,355	
2063	16,537	51	21,406	
2064	15,901	48	17,996	
2065	15,289	45	15,070	
2066				639,193
合計	24,499,507	14,640	3,122,136	639,193

単位：千円

A.5. 各年の費用・便益の割引現在価値（最善ケース）

年	建設・維持費	景観破壊費用	浸水軽減便益	残存価値
2014	9,245,455	0	0	
2015	9,064,171	858	0	
2016	97,751	833	421,204	
2017	95,834	808	412,945	
2018	93,955	784	404,848	
2019	92,113	761	396,910	
2020	90,307	739	389,127	
2021	88,536	712	381,497	
2022	86,800	686	374,017	
2023	85,098	662	366,683	
2024	83,429	638	359,493	
2025	81,794	615	352,444	
2026	80,190	592	345,534	
2027	78,617	569	338,759	
2028	77,076	548	332,116	
2029	75,565	527	325,604	
2030	74,083	507	319,220	
2031	72,630	488	312,961	
2032	71,206	469	306,824	
2033	69,810	451	300,808	
2034	68,441	433	294,910	
2035	67,099	416	289,127	
2036	65,784	399	283,458	
2037	64,494	383	277,900	
2038	63,229	368	272,451	
2039	61,989	353	267,109	
2040	60,774	339	261,871	
2041	59,582	325	256,737	
2042	58,414	312	251,703	
2043	57,269	300	246,767	
2044	56,146	288	241,929	
2045	55,045	276	237,185	

2046	53,965	265	232,534	
2047	52,907	254	227,975	
2048	51,870	244	223,505	
2049	50,853	234	219,122	
2050	49,856	225	214,826	
2051	48,878	216	210,613	
2052	47,920	207	206,484	
2053	46,980	199	202,435	
2054	46,059	191	198,466	
2055	45,156	183	194,574	
2056	44,270	176	190,759	
2057	43,402	169	187,019	
2058	42,551	162	183,352	
2059	41,717	155	179,757	
2060	40,899	149	176,232	
2061	40,097	143	172,776	
2062	39,311	137	169,389	
2063	38,540	132	166,067	
2064	37,784	127	162,811	
2065	37,044	121	159,619	
2066				6,008,586
合計	21,442,744	20,129	13,500,452	6,008,586

単位：千円