

徳島県を対象とした 排水機場整備の費用対効果分析から考察される 割引率の設定についての重要性

三好 学¹・田村 隆雄²・武藤 裕則³・安藝 浩資⁴

¹正会員 修士(工学) ニタコンサルタント株式会社 (〒771-0122 徳島県徳島市川内町鈴江西38-2)

E-mail: miyoshim@nita.co.jp

²正会員 博士(工学) 徳島大学大学院社会産業理工学研究部 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

E-mail: tamura@ce.tokushima-u.ac.jp

³正会員 Ph.D. 徳島大学大学院社会産業理工学研究部 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

E-mail: muto_yas@ce.tokushima-u.ac.jp

⁴正会員 博士(工学) ニタコンサルタント株式会社 (〒771-0122 徳島県徳島市川内町鈴江西38-2)

E-mail: akih@nita.co.jp

本研究では、徳島県全域を対象とした内水氾濫解析と、その結果を基にした治水経済調査により内水被害額を算定する。内水氾濫解析では堤外流出量に新規整備を想定した排水機場の排水能力を加えた内水氾濫解析も同時に実施し、整備前後の被害額の差額を排水機場整備による便益とした。その便益と排水機場整備にかかる費用関数とを用いた費用対効果分析を行い、損益分岐点を求めた。この損益分岐点についての、気候変動(現況、気温2°C上昇、気温4°C上昇)を想定した場合と、景気変動(割引率が3.10%、3.91%、4.00%)を想定した場合の感度分析を行った。その結果、景気変動の方が気候変動より22倍、損益分岐点の振れ幅が大きいと、排水機場の費用対効果の評価にあたっては、割引率の設定に留意することが重要であることがわかった。

Key Words : *inundation inside levee, flood analysis, cost-effectiveness, flood control economic research*

1. はじめに

近年、地球温暖化の影響により内水被害リスクが増大している。一方、少子高齢化による社会保障費の増大や景気低迷による税収の不足により、災害対策にあてる予算が限られている。そのため、効率的な予算執行による災害対策が求められており、費用対効果を考慮し、増大するリスクに備える災害対策施設を整備することが重要である。

そこで、大谷ら¹⁾は毎年発生する費用と便益を現在価値化する割引率により、公共事業の費用対効果が大きく変動する可能性を指摘している。また、割引率の設定について、絶対的な手法のない中で、割引率の不確実性に対処するために、割引率の感度分析を主要先進国では実施していることを調査している。一方、時岡ら²⁾はこれまでの河川整備基本方針の検討にあたっては、計画規模以上の超過洪水時の被害軽減を考慮していなかったが、治水対策により超過洪水時の被害軽減効果が異なることを示している。また、気候変動による計画降雨量の変化量まで費用対効果分析を行うことにより治水対策の効果を評価可能であることを示している。

本研究では、徳島県全域を対象とした、現況と排水機場が新規に整備された場合を想定した内水氾濫解析を行う。それら氾濫解析結果に対し、治水経済調査を行い、建物と家財についての被害額を算定する。現況と排水機場が新規に整備された場合との被害額の差額を、排水機場整備による便益とし、排水機場整備の費用との比をとることにより、排水機場整備の費用対効果分析を行った。費用対効果の指標として、費用対効果の算定の際に現れた損益分岐点を採用し、損益分岐点について感度分析を行った。感度分析にあたっては、気候変動により気温が2°C上昇し降雨量が1.1倍になった場合と、4°C上昇し降雨量が1.3倍になった場合を想定した³⁾。その際に超過洪水時を考慮するために、1.1, 2, 3, 5, 10, 20, 50年確率雨量だけでなく、100, 500年確率雨量を考慮した。また、景気変動については、我が国で採用されている割引率を4.00%とした際の根拠とした既往の指針⁴⁾を参考に、3.10%と3.91%、および採用値4.00%の3ケースを想定し、感度分析を行った。これら気候変動と景気変動による排水機場整備の損益分岐点の感度分析から、それら変動による損益分岐点の振れ幅を評価し、割引率設定の重要性を考察する。

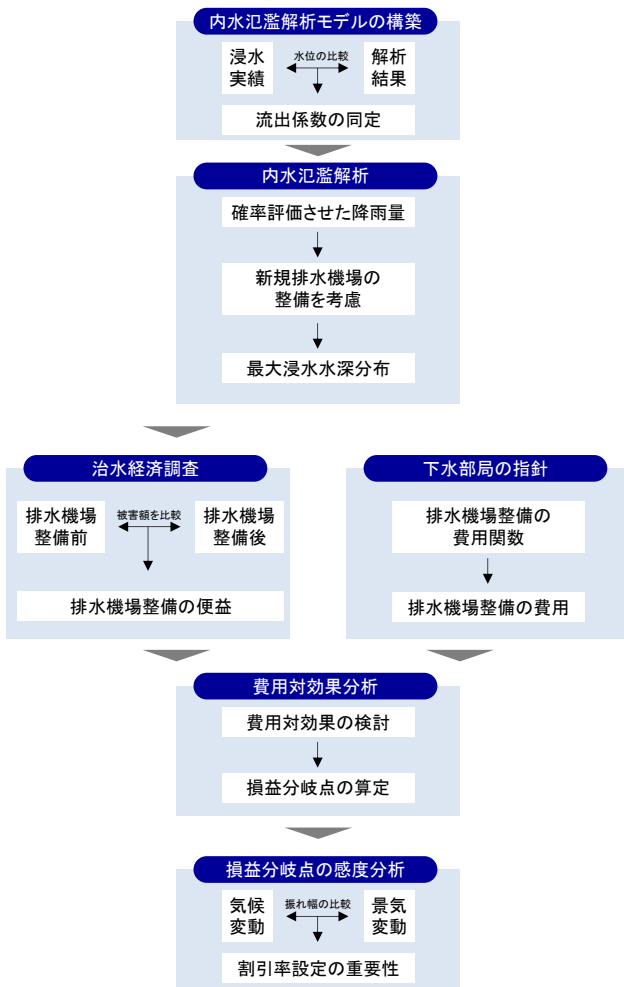


図-1 研究の流れ

2. 本研究で用いた手法

(1) 研究の流れ

研究の流れを図-1 に示す。まず、堤内地を平面二次元不定流解析、堤外排水を準線形貯留型関数モデルで構成した徳島県全域の内水氾濫モデルを構築した⁵⁾。次に、平成 16 年台風 23 号(以下、H16T23 という。)の降雨波形を引伸・引縮し、7 ケースの確率評価された降雨波形による内水氾濫解析から得られた最大浸水深分布をもとに、治水経済調査に基づく被害額算定を行った。被害額に発生確率を乗じた降雨規模別年平均被害額を累計し、建物と家財の年平均被害額を算定する。内水氾濫解析においては、現況に加え、強制排水時に新規に 5, 10, 20, 40m³/s の排水能力を持った排水機場を建物占有率が 3.0%以上の 51 小流域⁶⁾において整備した場合を想定した 4 ケースの計算を行い、現況と排水機場整備を想定した場合との被害額の差額を排水機場整備における便益とした。本研究では内水氾濫を想定していることから、排水機場は下水道局の指針⁷⁾に準拠することとした。この指針⁷⁾には、排水機場整備における建設費と維持管理費の費用関数が記載されており、その関数を用いて排水機

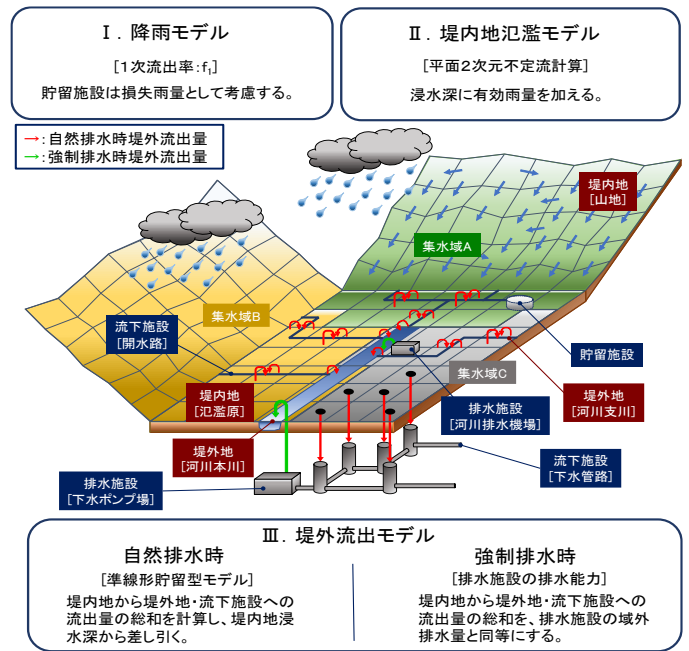


図-2 内水氾濫モデルの概念⁵⁾

場整備の費用とした。これら排水機場の便益と費用の比から費用対効果分析を行い、損益分岐点を求めた。そして、損益分岐点における気候変動と景気変動についての感度分析を行った。

(2) 内水氾濫モデル

内水氾濫モデルの概念図⁵⁾を図-2 に示す。この内水氾濫モデルは、二次元不定流モデル(地表面)に準線形貯留型モデル(堤外排水)を結合することにより構築されている。準線形貯留型モデルを用いると、流末に到達した流量を算定することができる。本研究では、準線形貯留型モデルを用い、地表面から流路への流出量を算定する。堤内地に整備されている流路は集水域全体に張り巡らされていることが多く、地表面から流路に流出する現象は、下流端だけでなく集水域全体で生じることが想定される。そのため、準線形貯留型モデルで算定された集水域の下流端に到達した流量分の水量を、集水域全体の浸水深から一定割合を差し引くことにより、地表面から流路に流出する現象をモデル化した。なお、流路に流入した氾濫水が再び地表面に溢れ出す現象は外水氾濫と考えられる。本研究では内水氾濫のみを対象としたため、再び流路から地表面に溢れ出す現象は扱わない解析モデルとなっている。詳細については著者らの研究⁵⁾に記載されている。本研究では、上記現況ケースに加え、強制排水時に新規に 5, 10, 20, 40m³/s の排水能力を持った排水機場を建物占有率が 3.0%以上の 51 小流域⁶⁾に対し整備した場合を想定した 4 ケースの計算を行った。この 4 ケースは、内水氾濫モデルのうえで、図-2 中の「III堤外流出モデル 強制排水時」において、5, 10, 20, 40m³/s の排水量を現況排水量に加算した計算によって行われ、これらを新規排水機場整備

したケースとした。建物占有率が 3.0%以上とすると、徳島県に存在する全 8 市の中心市街地を対象とすることができるため、建物占有率が 3.0%以上の 51 小流域を対象とした。

(3) 治水経済調査に基づく被害額算定

内水被害額の算定にあたっては、治水経済調査マニュアル⁸⁾を参照した。被害額に生起確率を乗じた降雨規模別年平均被害額を累計し、年平均被害額を算定した。現況と新規に 5, 10, 20, 40m³/s の 4 ケースの排水能力を持った排水機場整備を想定した場合との被害額の差額を排水機場整備における便益とした。

(4) 排水機場整備の費用

下水部局の指針⁷⁾に記載されている、排水機場整備における建設費と維持管理費の費用関数を、式(1),(2),(3),(4)に示す。本研究では式(1),(2),(3),(4)を用いて排水機場整備の費用とした。

$$C = 85.5Q^{0.60} (108.7/76.1) = C_1 + C_2 \quad (1)$$

$$C_1 = 39.5Q^{0.56} (108.7/76.1) \quad (2)$$

$$C_2 = 46.7Q^{0.62} (108.7/76.1) \quad (3)$$

$$M = 1.00Q^{0.69} (108.7/76.1) \quad (4)$$

ここに、 C :排水機場建設費(百万円)、 C_1 :排水機場土木・建築部分建設費(百万円)、 C_2 :排水機場機械・電気部分建設費(百万円)、 M :排水機場維持管理費(百万円)、排水機場排水量(m³/min)、108.7:平成29年度暫定治水事業費指数(治水総合)デフレーター⁹⁾、76.1:昭和54年度治水事業費指数(治水総合)デフレーター⁹⁾(費用関数は昭和54年度単価で作成されているため)である。

別の下水部局の指針¹⁰⁾には、排水機場の土木・建築部分は耐用年数50年、機械・電気部分は耐用年数15年と記載されている。そこで、本研究では、排水機場建設から50年間についての費用対効果を検討した。また、その50年間において15, 30, 45年目に機械・電気部分の更新費(再度建設)を、維持管理費とは別に計上することとした。

一方、徳島県徳島市の下水部局が管轄している徳島市中心部に整備されている排水機は290台あり、総排水量は18,943m³/minである¹¹⁾。そのため、徳島市の平均的な排水機の能力は1.09m³/s(=18,943/60/290)と考えられる。この290台のうち0.50m³/s以上2.00m³/s未満の排水機は102台あり、全体の35%を占める¹¹⁾。本研究では、この平均的な排水機の能力(1.09÷1m³/s)を参考し、5m³/sの排水能力を持った排水機場を整備を想定する場合は1m³/sの排水機を5台、10m³/sの排水能

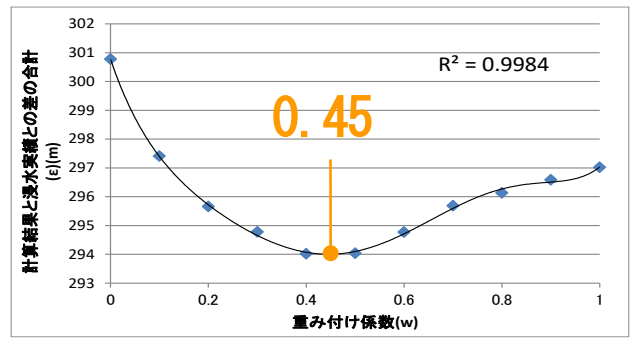


図-3 流出係数の重み付け係数の同定

力を持った排水機場を整備を想定する場合は1m³/sの排水機を10台、20m³/sの排水能力を持った排水機場を整備を想定する場合は1m³/sの排水機を20台、40m³/sの排水能力を持った排水機場を整備を想定する場合は1m³/sの排水機を40台を整備することを想定した。これは、突発的な故障により一部排水機が機能不全に陥っても、他排水機が機能し浸水を低減(機能不全リスクを分散)させる効果があると考えられる。

3. 徳島県全域での適用

(1) 対象地区と対象降雨

本研究で対象とした地区は、徳島県全領域(4,146km²)であり、この領域を25mメッシュに分割し氾濫解析を行った。徳島県では徳島市中心部では下水管渠を通じポンプ排水を行っているものの、それ以外の郊外部と他市町村では下水整備は行われておらず、下水排水機場は整備されていない状況である。本研究で対象した降雨波形は、徳島県全域で浸水痕跡が調査¹²⁾されているH16T23とした。対象地区が広域であるため、気象庁管轄の池田、徳島、穴吹、半田、京上、蒲生田、福原旭、木頭、日和佐、宍喰の10観測所の位置でティーセン分割し、それぞれの観測雨量を外力として与えた。管轄領域において最も人口の多い徳島観測所の観測雨量を一例として示すと281mmの24時間雨量と、40mm/hrの最大時間雨量を観測しており、生起確率は1時間雨量で約1.5年、24時間雨量で約12年である。

(2) 内水氾濫モデルの構築

H16T23時の浸水痕跡マップ¹²⁾が徳島県により公表されている。このマップには、徳島県において2,844箇所の痕跡水位が記載されている。本研究では、著者らの研究³⁾と同様に、これら浸水実績と計算値との比較を行い、流出係数の重み付け係数を同定した。図-3に計算結果と浸水実績の水位の差を示す。計算水位と測量水位の差の絶対値を求め、その合計値を誤差評価値 ε と定義した。図-3をみると、流出係数の重み付け係数 $w=0.45$ の際に差が最小になり、平均で10.3cm(=294.12m/2,844箇所)の差があることがわかる。ここで、

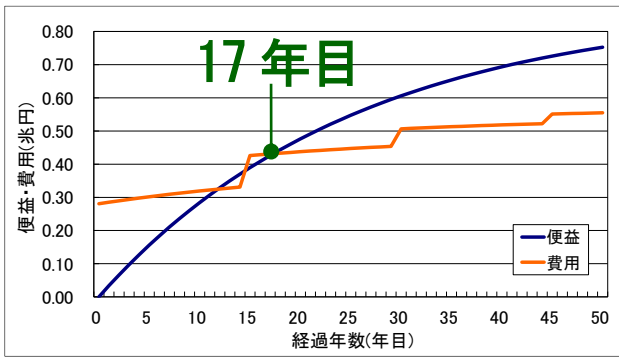


図-4 整備される排水機場の小流域内合計排水能力が 5m³/s における便益と費用

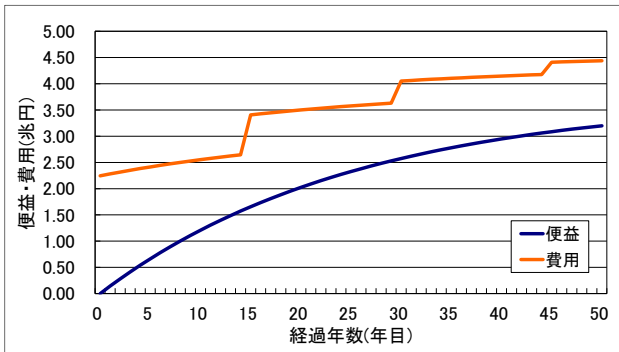


図-5 整備される排水機場の小流域内合計排水能力が 40m³/s における便益と費用

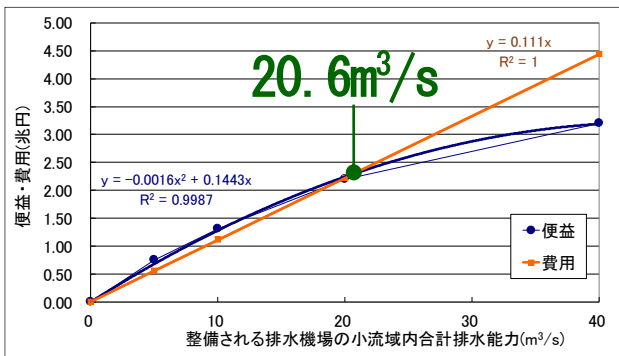


図-6 整備される排水機場の小流域内合計排水能力と 便益・費用との関係

治水経済調査マニュアルでは、浸水被害率を浸水深0.5m未満、0.5m以上1.0m未満、1.0m以上2.0m未満、2.0m以上3.0m未満、3.0m以上の5区分で定義しており、本研究では0.5m未満は対象外である。この10.3cmは、本研究で対象の4区分のうち浸水深の最も浅い階級である50cm(0.5m以上1.0m未満)の20.6%であることから、浸水被害額の算定は妥当と考えられる。

4. 損益分岐点の算定と感度分析

(1) 損益分岐点の存在

整備される排水機場の小流域内合計排水能力が 5m³/s と 40m³/s における便益と費用の関係を図-4 と図-5 に示す。図

表-1 気候変動による降雨量の増加率³⁾

	降雨量	流量	洪水発生頻度
4℃上昇 (RCP8.5)	1.3倍	約1.4倍	約4倍
2℃上昇 (RCP2.6) (暫定値)	1.1倍	約1.2倍	約2倍

表-2 気候変動に伴う降雨確率の再評価

徳島県全域における 流域平均雨量(mm/24hr)		192	240	288	341	407	471	554	617	773
生起確率 (確率年)	現況	1.10	2.0	3.0	5.0	10.0	20.0	50.0	100.0	500.0
	気温が2℃上昇	1.09	1.5	2.3	3.8	7.2	13.2	29.2	53.2	237.6
	気温が4℃上昇	1.07	1.2	1.5	2.3	3.9	6.6	12.9	21.5	76.1

4と図-5中の費用は、1年目に排水機場建設費が初期費用として計上される。さらに、機械・電気部分の更新費が計上されており、15、30、45年目に不連続に上昇している。図-4をみると、17年目で便益が費用を上回ることがわかる。そのため、耐用年数50年以内に費用対効果(B/C)は1.0以上となり、事業は経済的には妥当性が高いと判断できる。一方、図-5をみると、耐用年数50年以内に、便益が費用を上回ることが無い。そのため、費用対効果(B/C)は1.0未満となり、経済的には事業妥当性は低いと判断できる。

ここで、整備される排水機場の小流域内合計排水能力と便益・費用の関係(図-6)をみると、整備される排水機場の小流域内合計排水能力が20.6m³/s以上となると、費用が便益を上回り、損益分岐点が生じていることがわかる。損益分岐点が存在することは、排水機場整備のみで内水対策を行うことに費用対効果の面で限界があることを示唆している。そのため、排水機場以外の対策オプションを組み合わせ、内水対策を行うことが重要と考えられる。

(2) 気候変動を考慮した感度分析

気候変動の感度分析にあたっては、気候変動により気温が2℃上昇し降雨量が1.1倍になった場合と、4℃上昇し降雨量が1.3倍になった場合を想定した(表-1)³⁾。なお、本項の割引率は4.00%とした。氾濫解析の外力として与えた各確率年の降雨量の徳島県全域における空間平均を求め、降雨量が1.1倍もしくは1.3倍になった際の確率評価を再度行った(表-2)。この確率評価により年平均被害額を再評価し、損益分岐点の位置を示したもの(図-7)をみると、気候変動より降雨量が増大しても、損益分岐点の位置は概ね変化しないことがわかる。ここで、排水機場整備の年間便益と降雨の生起確率の関係(図-8)をみると、超過洪水時の生起確率100、500年を除く、生起確率1.1年から50年までの区間は概ね便益は同額であることがわかる。そのため、気温上昇に伴う降雨量増大による災害発生確率の変化があっても、上記区間確率(1.1年から50年まで)における排水機場整備による便益が概ね

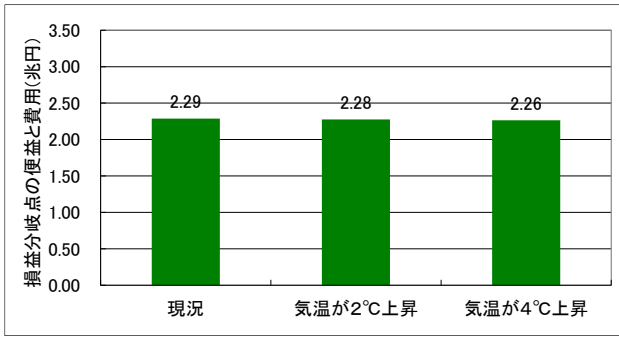


図-7 気候変動を考慮した際の損益分岐点の位置

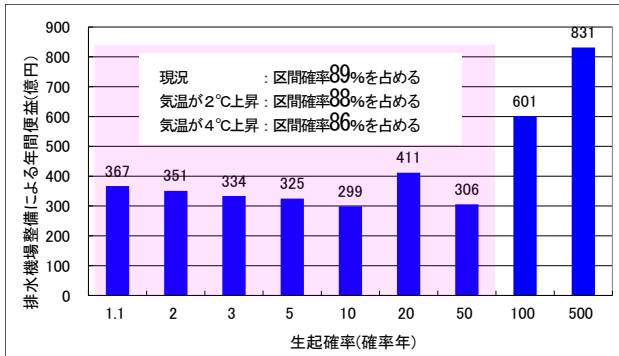


図-8 排水機場整備の年間便益と降雨の生起確率の関係

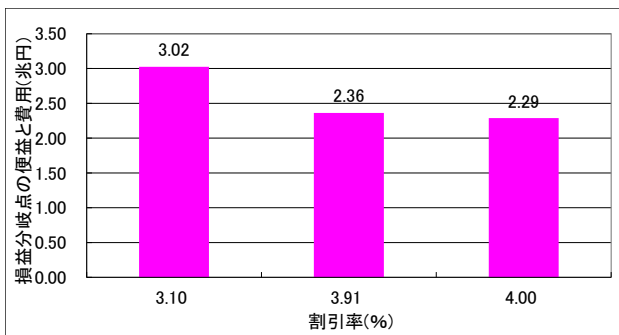


図-9 景気変動を考慮した際の損益分岐点の位置

同額である影響が大きく、災害発生確率の変化は損益分岐点が生じる金額に大きな影響を与えにくいことが、損益分岐点の位置が概ね変化しない要因と考えられる。

(3) 景気変動を考慮した感度分析

景気変動の感度分析にあたっては、割引率が3.10%、3.91%、4.00%の3ケースを想定し、感度分析を行った。我が国では割引率を4.00%に採用した根拠として、既往の指針⁴⁾において国債(10年もの)の実質利回りの平均(GDPデフレーター割戻後)を参考としたと記載されている(表-3)。同指針⁴⁾には、実質利回りの1991年から1995年間の値(3.91%)、1986年から1995年間の値(3.85%)、1993年から2002年間の値(3.10%)、1983年から2002年間の値(3.52%)の4値を参考にした旨の記載があり、本研究では実際の景気変動により計測された値として、この4値の最大値(3.91%)と最小値(3.10%)、さらに現在採用されている値(4.00%)の3値を感度分析に用いた。なお、本項では現況の降雨生起確率を用いた。

表-3 国債(10年もの)の実質利回りの平均⁴⁾

	国債(10年もの)名目利回り平均	国債(10年もの)実質利回り平均 (GDPデフレーター割戻後)
H3 ~ H7* (1991 ~ 95)	4.09 %	3.91 %
S61 ~ H7* (1986 ~ 95)	4.78 %	3.85 %
H5 ~ H14 (1993 ~ 2002)	2.23 %	3.10 %
S58 ~ H14 (1983 ~ 2002)	3.95 %	3.52 %

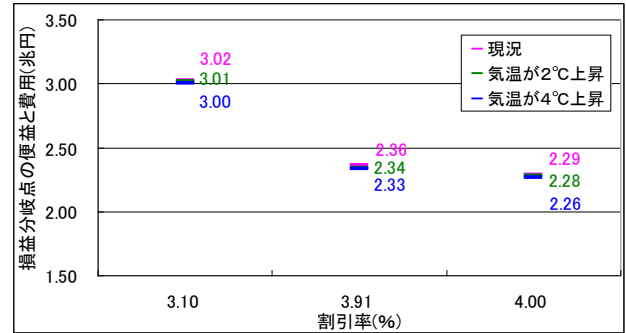


図-10 気候変動による損益分岐点の振れ幅

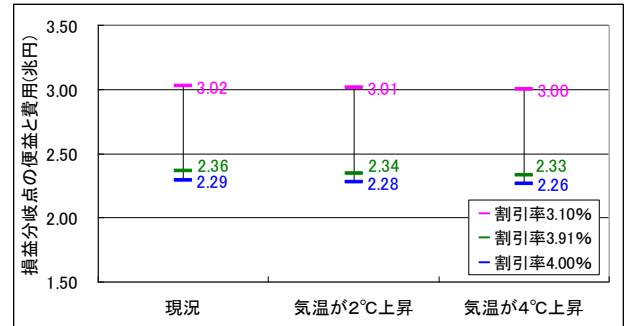


図-11 景気変動による損益分岐点の振れ幅

景気変動を考慮した際の損益分岐点の位置(図-9)をみると、割引率が小さくなるにつれて、損益分岐点が生じる便益・費用の金額が大きくなるのがわかる。これは、割引率が小さくなると、現在価値化した便益が大きくなり、より大規模な対策を図ることができることが要因と考えられる。

(4) 気候変動と景気変動の振れ幅の比較

気候変動による損益分岐点の振れ幅を図-10に、景気変動による損益分岐点の振れ幅を図-11に示す。図-10をみると、今後の気候変動予測により現況から気温が4℃上昇すると、割引率が4.00%の場合には0.03(=2.29-2.26)兆円、3.91%の場合には0.03(=2.36-2.33)兆円の振れ幅であることがわかる。図-11をみると、割引率が3.10%から3.91%の間の振れ幅は、現況では0.66(=3.02-2.36)兆円、気温が2℃上昇した場合には0.67(=3.01-2.34)兆円、気温が4℃上昇した場合には0.67(=3.00-2.33)兆円の振れ幅であることがわかる。これらから、現況から気温が4℃上昇した場合(最大で0.03兆円の振れ幅)より、割引率を4.00%と設定した際に参考にした

図-12 10年もの国債の利回りの推移¹³⁾

既往の指針⁴⁾に記載されている国債利回りの最大値と最小値が50年間継続した場合(最大で0.67兆円の振れ幅)の損益分岐点の振れ幅の方が22倍大きいことがわかる。国債利回りの経年変化¹³⁾(図-12)をみると、近年は3.10%未満の国債利回りが継続していることがわかる。これが継続すると、図-11の損益分岐点の振れ幅よりも大きな振れ幅を想定し、排水機場の費用対効果を評価することが求められる。そのため、排水機場の費用対効果分析にあたっては、割引率の設定に留意することが重要と考えられる。

5. まとめ

気候変動と景気変動による排水機場整備の損益分岐点の感度分析から、これら変動による損益分岐点の振れ幅を評価し、割引率設定の重要性を考察した。得られた知見を以下に記す。今後、徳島県以外の地域でも同様の知見が得られるか、検討が必要と考える。

(1) 排水機場整備のみで内水対策を行うことの限界

整備される排水機場の小流域内合計排水能力が $20.6\text{m}^3/\text{s}$ 以上となると、費用が便益を上回り、損益分岐点が発生した。損益分岐点が存在することは、排水機場整備のみで内水対策を行うことに費用対効果の面で限界があることを示唆して

おり、排水機場以外の対策オプションを組み合わせ、内水対策を行うことが重要と考えられる。

(2) 割引率の設定の重要性

気候変動と景気変動の排水施設整備による損益分岐点の振れ幅を比較すると、景気変動の方が気候変動より22倍大きいことがわかった。そのため、排水機場の費用対効果の評価にあたっては、割引率の設定に留意することが重要と考えられる。

参考文献

- 1) 谷 悟,佐渡 周子,今野 水己,土谷 和之,牧 浩太郎:主要先進国等の公共事業評価に適用される社会的割引率,土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.69, No.5, pp.I_163-I_171, 2013.
- 2) 時岡 真治,池内 幸司,大塚 健太,魚波 勝彦,石井 光太郎:アンサンブル気候予測実験データを用いた適応策としての治水対策の経済的評価,土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.5, pp.I_1-I_6, 2018.
- 3) 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会:気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言, p.15, 2019.10.
- 4) 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(共通編), p.5, 2008.6.
- 5) 三好 学,田村 隆雄,武藤 裕則,安藝 浩資:全国規模で整備されているオープンデータを用いて広域かつ詳細な浸水深分布を作成する内水解析モデル,土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, pp.I_1321-I_1326, 2018.
- 6) 国土地理院:国土数値情報 流域メッシュデータ,2009.3.27.
- 7) (社)日本下水道協会:流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説, p.242, 2008.9.
- 8) 国土交通省河川局:治水経済調査マニュアル(案), pp.37-70, 2005.4.
- 9) 国土交通省水管理・国土保全局:治水経済調査マニュアル(案) 各種資産評価単価及びデフレーター,平成17年4月1日付け国河計調第2号, pp.18-19, 2019.3.改正.
- 10) (社)日本下水道協会:下水道事業における費用効果分析マニュアル(案), p.251, 2006.11.
- 11) 徳島市:排水機場一覧, 2016.4.
- 12) 徳島県:平成16年台風23号浸水痕跡マップ, 2005.3.
- 13) 財務省理財局:国債金利情報, 2019.11.

(2020.6.1 受付)

IMPORTANCE OF SETTING DISCOUNT-RATES CONSIDERED THE COST-EFFECTIVENESS ANALYSIS OF DRAINAGE PUMP STATION CONSTRUCTION IN TOKUSHIMA PREFECTURE

Manabu MIYOSHI, Takao TAMURA, Yasunori MUTO, and Hiroshi AKI

Inland water damage was calculated by inland water inundation analysis and flood control economic survey, in Tokushima prefecture. The inland water inundation analysis was also carried out by adding the drainage capacity of the pump station assuming new development to drainage outside the levee. The benefit from drainage pump station construction was the different from inundation-damage before and after the construction of the drainage pump station. On the other hand, the cost was calculated from the cost-function for the construction of the drainage pump station. The cost-effectiveness(benefit) analyzes calculated the breakeven-point. With regard to this breakeven-point, sensitivity analysis was performed when climate change was assumed (current situation, temperature rises by 2 °C, temperature rises by 4 °C) and economic fluctuations (discount rates are 3.10%, 3.91%, 4.00%). As a result, breakeven-swing of economic fluctuation is 22 times larger than one of climate change, so setting discount rates is important in assessing the cost-effectiveness of drainage station construction.