

立地均衡モデルを用いた淀川下流域における 治水事業評価に関する考察

EVALUATION OF FLOOD CONTROL WORKS BENEFIT AT THE LOWER YODO RIVER BASIN USING LOCATION EQUILIBRIUM MODEL

立川康人¹・太田裕司²・寶 馨³

Yasuto TACHIKAWA, Yuji OTA, and Kaoru TAKARA

¹正会員 博(工) 京都大学助教授 防災研究所水災害研究部門 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

²修(工) 京都大学大学院工学研究科 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

³フェロー 工博 京都大学教授 防災研究所水災害研究部門 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

To analyze the benefit of flood control works conducted in the Yodo River basin, the location equilibrium model developed by Takagi *et al.* (1996) is applied to the lower Yodo River basin. The location equilibrium model accesses the benefit of public works as a measure of contentment of people living the area under various uncertainties. In the study, the benefit of flood control works conducted at the lower Yodo River basin between 1938 and 1998 is measured by the model, and is compared with the cost used for the public works during the period.

Key Words : location equilibrium model, flood control works, Yodo River basin, benefit and cost

1. はじめに

淀川流域では、古くは仁徳天皇による茨田の堤の築造から明治以降の近代治水事業に至るまで、さまざまな治水事業が行われてきた。治水事業の進展に伴い、淀川流域の治水に対する安全性は飛躍的に高まり、人口が集中するとともに財産が高度に集積することになった。この間の治水事業が淀川流域の社会経済に対して果たした役割は非常に大きなものがある。

近年、財政事情の逼迫や公共事業に対する批判の強まりなどの社会情勢から、公共事業に対する説明責任が必須となっている。現在まで実施されてきた事業に対する評価をできるだけ正確に行い、今後の事業の方向性について分析することは、国や地方自治体が説明責任を果たす上で極めて重要である。淀川流域において実施された治水事業、特に大阪という大都市を抱える地域におけるこれまでの治水事業の効果を分析することは、将来における淀川での治水事業のあり方を考える上でも大きな意味を持つ。

本研究では明治以降の淀川における治水事業の効果を分析するため、図-1に示す大阪府下の淀川流域において、立地均衡モデルを用いて治水事業の評価を試みた。立地均衡モデルは被害軽減額でなく、対象とする地域に暮らす人々の満足度を計測指標にして事業効果やその採算性を分析する手法である。これにより、単な

る被害軽減額のみならず幅広い意味での治水事業による便益を捉えることができる。本研究では、近代治水事業の成果が現れ始めた1938年から1998年までの61年間を分析期間として、その間の淀川の治水事業の便益を計測し、この間の治水事業費との比較を行なった。

2. 立地均衡モデル¹⁾

立地均衡モデルでは、対象地域を洪水危険度と地域の持つ特性によって分割し、分割された各ゾーンへの世帯数配分を土地の需要と供給との均衡から求め、地代や立地量の変化から便益を算出する。ここでは高木ら¹⁾のNested Logit Modelを採用し、図-1に示すようにゾーンを設定する。各世帯は初めに浸水の危険性がある地域Aか、危険性がない地域Bのどちらかを選択し、次に地域特性に応じて地域Aの中に設定した4つのゾーンのいずれかを選択して居住するものとする。

(1) 便益の評価

対象地域内に居住する住民が治水事業によって享受する総便益は、各世帯ごとの便益の総和とゾーン内の全ての土地を供給していると仮定する仮想的な不在地主の便益の和

$$(\text{総便益}) = \sum (\text{世帯便益}) + (\text{不在地主便益})$$

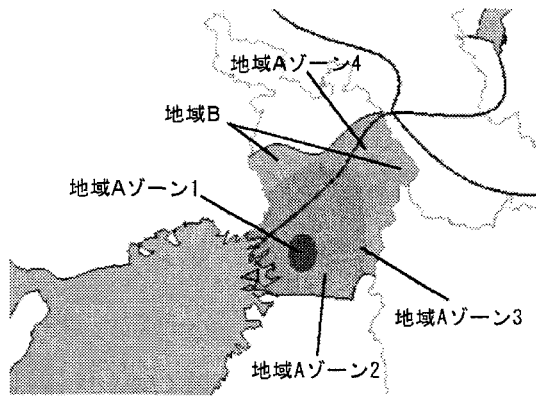


図-1 対象地域とゾーン区分

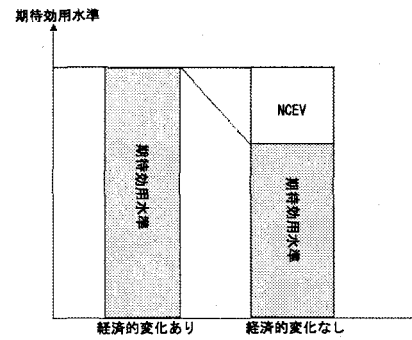


図-2 非限定等価的偏差 NCEV の概念

として表現されるものとする。

a) 世帯便益

高木らのモデルに従い、ゾーン j の各世帯の期待効用関数は式 (1) のように Gorman 型効用関数²⁾に状態生起確率 ϕ_i^j をかけた形で表されるものとする。

$$E[V_i^j] = \sum_i \phi_i^j \cdot a \cdot \ln(\bar{H} - H_i^j) \{c^j \ln R^j + dI + eT^j + fD^j + g\} + M \quad (1)$$

ここで、 E は状態 i に関して期待値を取ることを表す記号、 i : 状態を表す添え字 (1=洪水時, 0=平常時)、 ϕ : 浸水生起確率、 I : 所得 (円)、 $\bar{H}$: 浸水深定数 (10m)、 H : 予測浸水深 (m)、 R : 地代 (円)、 T : 最寄駅への平均所要時間 (分)、 D : 中心部駅への平均所要時間 (分)、 a, c, d, e, f, g, M : モデルパラメータである。

次に、便益を計測するために森杉ら³⁾による等価的偏差 (Equivalent Variation, EV) という指標を導入する。これは、治水施設が整備された場合に住民が持つ高い期待効用水準と、整備されない場合の低い期待効用水準とを比較し、式 (2) のように治水施設がある場合の期待効用水準と等しくするために、治水施設がない場合の期待効用水準の所得に加算される金額のことである。

$$E[V_i^{\alpha j}] = \sum_i \phi_i^{\beta j} \cdot a \cdot \ln(\bar{H} - H_i^{\beta j}) \{c^j \ln R^{\beta j} + d(I^{\beta j} + NCEV) + eT^j + fD^j + g\} + M \quad (2)$$

添え字 α は治水事業実施時、 β は非実施時を示す。ここでは状態やゾーンに独立な非限定 EV (Non-Contingent EV, NCEV) を世帯便益として導入するものとし、その概念を図-2 に示す。

b) 不在地主の便益

不在地主便益は、治水安全度の変化などに代表される環境の変化によってもたらされる土地の持つポテンシャルの変化を示す指標である。環境変化によって利

便性が変化すると世帯数や地代が変化し、不在地主による便益として計測される。この便益は、治水施設が整備された場合の地代 R_α^j と治水施設が整備されなかった場合の地代 R_β^j 、および住宅供給面積とから式 (3) のように定義される。

$$LB \simeq \sum_j \frac{1}{2} (L_\alpha^j + L_\beta^j) (R_\alpha^j - R_\beta^j) \quad (3)$$

ここで、 LB : 不在地主便益、 L^j : ゾーン j の住宅地供給面積である。

(2) 世帯・不在地主の行動と均衡計算手順

立地均衡計算手順の全体の流れを図-3 に示す。まず、式 (1) に、初期値として地代・所得・浸水生起確率などの条件を設定し、世帯数を乗じてゾーンごとの期待効用水準 $E[V_i^j]$ を求める。以降の均衡計算によって世帯数と地代は変化していくので、ここでの地代と世帯数の値は計算開始の初期値である。

ゾーンごとの期待効用水準の値が求まると、地域 A、B の最大期待効用値は次のように表される。

$$S^A = \frac{1}{\theta} \ln \left\{ \sum_{A_j} \exp(\theta \cdot E\{V_i^{A_j}\}) \right\} \quad (4)$$

$$S^B = E\{V_i^B\} \quad (5)$$

これにより世帯が地域 A または B を選択する確率は ω を地域選択のロジットパラメータとして

$$P^A = \frac{\exp(\omega \cdot S^A)}{\exp(\omega \cdot S^A) + \exp(\omega \cdot S^B)}, \quad P^B = 1 - P^A \quad (6)$$

となる。さらに、世帯が地域 A を選択した後の A 内のゾーン A_j を選択する確率は θ をゾーン選択のロジットパラメータとして

$$P^{A_j} = \frac{N^{A_j}}{N^A} = \frac{\exp(\theta \cdot E\{V_i^{A_j}\})}{\sum_j \exp(\theta \cdot E\{V_i^j\})} \quad (7)$$

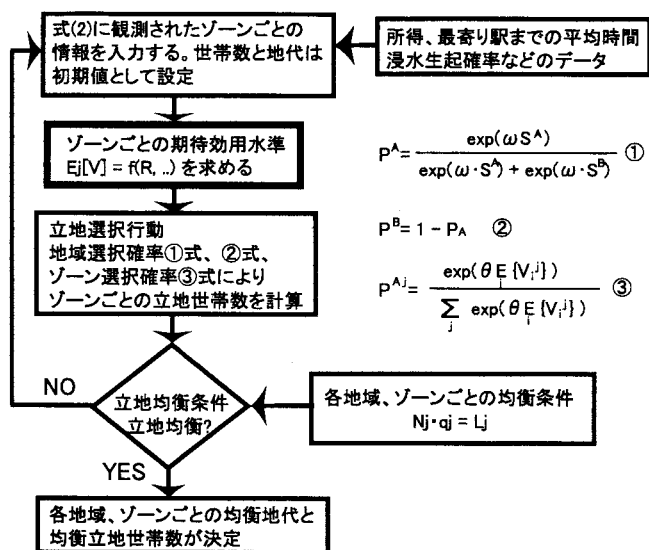


図-3 立地均衡モデルのフロー

となる。 N^A は地域 A における世帯数、 N^{Aj} は地域 A 内のゾーン j における世帯数である。式 (4)~(7) からゾーンごとの選択確率が求まるので、ゾーンごとの世帯立地数 N^{Aj} を算出することができる。

次に、ゾーンごとの地代 R^j から、土地需要関数

$$q^j = -\frac{c^j}{d} \cdot \frac{1}{R^j} \quad (8)$$

を用いて住宅地需要量 q^j (=ゾーン別住宅地面積/ゾーン別世帯数) を算出する。 c^j/d はパラメータであり現況の値から定める。これにゾーンごとの世帯立地数 N^{Aj} を乗じると、ゾーン全体の住宅地需要量が得られる。

同じく住宅地供給量を算出する。ゾーンごとの地代 R^j を土地供給関数

$$L^j = K^j \left(1 - \frac{\sigma^j}{R^j}\right) \quad (9)$$

を用いてゾーンごとの住宅地供給面積 L^j を算出する。 K^j はゾーン j の住宅地供給可能面積、 σ^j は土地需要パラメータであり現況の値から定める。

ゾーンごとに住宅地供給量と住宅地需要量とが一致した場合に均衡状態にあると考え、均衡状態にない場合は地代を変更して均衡状態に到達するまで繰り返し計算を実行する。すなわち、 $q^j \cdot N^j > L^j$ のとき地代を $R^j + \Delta R$ とし、 $q^j \cdot N^j < L^j$ のときは地代を $R^j - \Delta R$ として繰り返し計算を行い、均衡状態を満たす R^j の値を求める。このときの R^j を均衡地代、 N^j を均衡立地世帯数とし、この場合の最大期待効用値を求め、最終的に NCEV や不在地主便益を求める。

(3) 立地選択モデルのパラメータ推定

1998 年の状態が立地均衡状態であると仮定し重回帰分析により (1) 式のモデルパラメータを求める。(1) 式

表-1 世帯行動モデルのパラメータ

Parameter	推定値	t 値
ad	1.04152×10^{-7}	1.72
ae	-1.164×10^{-4}	1.89
af	-0.00221	4.47
ag	19.44	1.99

表-2 土地需要関数のパラメータ

c_1/d	c_2/d	c_3/d	c_4/d
-23505.1	-8963.7	-27034.3	-25512.4

表-3 土地供給関数のパラメータ

σ_1	σ_2	σ_3	σ_4
795.6	236.0	181.1	151.1

の間接効用関数 V_i^j を

$$V_i^j = ad \ln(\bar{H} - H_i^j) \left\{ \frac{c^j}{d} \ln(R^j) + I^j \right\} + ae \ln(\bar{H} - H_i^j) T^j + af \ln(\bar{H} - H_i^j) D^j + ag \ln(\bar{H} - H_i^j) + M \quad (10)$$

と変形する。ここで、 c^j/d の値は (8) 式をもとに現況の値から定まる。また、世帯が地域 A を選択した後にゾーン j を選択する確率 P^{Aj} は (7) 式のように定義されている。 N^A は地域 A における世帯数、 N^{Aj} は地域 A 内のゾーン j における世帯数であり計測可能な値であるので、(10) 式の各パラメータにかかる係数値を計測すれば、(7) 式をもとにモデルパラメータ ad 、 ae 、 af 、 ag の値を重回帰分析により定めることができる。そこで、ゾーン A1 から A4 の内部を約 1.5km のグリッドで分割して、177 個のサブゾーン j' を設定し、そのサブゾーン j' ごとに、パラメータ ad から ag にかかる係数値、すなわちサブゾーン j' における現況の平均所得や最寄り駅までの平均時間、その駅から中心部の駅までの平均時間、世帯数、平均地代、浸水確率、平均浸水深を既存の資料^{(4),(5),(6),(7),(8),(9)}をもとに計測した。

浸水生起確率に関しては、1938 年から 1998 年の過去 61 年間を想定し、(浸水発生回数)/(61 年) の値をそれぞれのサブゾーンにおける浸水生起確率として、ゾーンごとのサブゾーンの浸水生起確率の平均値をゾーンの現況 (1998 年) の浸水生起確率とした。また、期待浸水深は、1986 年の豪雨による洪水記録を参照してサブゾーンごとに 0m から 0.5m 刻みで設定し、サブゾーンのゾーンごとの平均値を現況におけるゾーン期待浸水深とした。

表-4 現況の観測値と現況の推定値

項目	A1	A2	A3	A4	B
設定した条件					
供給可能面積 (m ²)	17,565,400	101,049,400	72,504,416	58,522,840	116,417,251
最寄駅への平均時間 (分)	9.41	10.48	17.98	16.38	18.39
最寄駅への平均時間 (分)	9.41	10.48	17.98	16.38	18.39
中心駅への平均時間 (分)	4.35	11.54	19.96	23.15	23.19
洪水発生確率	0.04629	0.04533	0.06594	0.03472	0
期待浸水深 (m)	0.1176	0.1728	0.1667	0.1618	0
現況の再現結果					
推定供給面積 (m ²)	10,160,486	48,792,352	28,650,415	35,190,136	96,910,142
推定地代 (千円/m ²)	1,070.840	320.688	300.966	263.722	273.305
推定期待効用水準	49.24187	50.77743	49.96347	49.38581	15.55225
推定ゾーン選択確率	0.1129	0.5244	0.2323	0.1304	-
推定地域選択確率	0.7655	0.7655	0.7655	0.7655	0.2345
推定立地世帯数	205,684	955,176	423,238	237,527	557,530
現況の実測値					
現況地代 (千円/m ²)	1,071.330	320.728	300.966	263.722	273.305
現況立地世帯数	206,047	955,417	423,058	237,454	557,542

土地需要関数 (8) のパラメータ c_j/d 、土地供給関数 (9) のパラメータ σ_j は現況 (1998 年) のデータをもとに設定した。得られたパラメータ値を表-1,2,3 に示す。

(4) 現況の再現計算

同定されたパラメータを用いて現況の再現計算を行った結果を表-4 に示す。現況地代と推定地代、現況立地世帯数と推定立地世帯数はかなりよく適合している。

3. 治水事業評価

治水施設整備が行われなかったと仮定する場合の期待浸水深と浸水確率を再現することは容易ではない。そこで、淀川水系予想浸水図⁶⁾から得られる浸水深をサブゾーンごとに読み取り、それらをゾーンごとに平均値として求めた値を浸水深の上限値と考えた。また、淀川流域災害資料集⁵⁾に記載されているすべての豪雨イベントにおいて床上浸水の発生した回数を年数 (61 年) で割った値を年平均浸水生起確率と考えた (表-5)。それらをもとに複数パターン期待浸水深と浸水確率を設定して、それぞれの場合における便益を計算した。

(1) 世帯便益

1938 年時点における状況から治水事業がなされてこなかった場合と、1938 年の時点から治水事業がなされてきた場合 (現況) とを 1998 年時点の状況と比較し、2.

表-5 期待浸水深と浸水生起確率の上限の参考値

ゾーン	A1	A2	A3	A4
年平均浸水生起確率	0.4754	0.4754	0.4754	0.4754
期待浸水深 (m)	1.5000	1.2074	0.8864	2.8529

で示した NCEV によって世帯便益を評価する。淀川水系浸水想定区域図に記されている浸水深と過去の豪雨から求めた浸水確率 (0.47) をそのまま使用した場合には、NCEV の値が一世帯あたり約 22 億 8500 万円、年額にして一世帯あたり 3745 万円という非常に大きな値となった。現実には、浸水想定区域図に記載の地域がすべて同時に浸水することはないので、浸水確率と期待浸水深を変化させてそれぞれのケースで均衡計算を行った。それぞれの場合の NCEV の変化の様子を図-4 に示す。縦軸は便益の値、横軸は表-5 を最大浸水深としてそこから差し引いて設定した浸水深の減分を示し、図中のそれぞれの直線は浸水生起確率ごとに計算された NCEV の値を結んだものである。

予測浸水深を減らしていくと浸水被害が少なくなり、洪水防御施設がある場合の状況との差が小さくなるため、NCEV も低下する。分析開始時点である 1938 年時点の状況を、ここで想定している最大の浸水深よりも 1m 小さい浸水が発生するとし、その状態が 1998 年時点まで変化しなかったとすると、浸水生起確率が 1/20 の時は NCEV は一世帯あたり約 124 万円、年額にして

表-6 浸水想定区域図から 1m 低い浸水深を設定した場合の便益

洪水生起確率	NCEV/世帯	NCEV/世帯/年	不在地主便益	不在地主便益/年	総便益	総便益/年
1/10	1,361.0 (万円)	21.4 (万円/年)	553.6 (億円)	9.08 (億円/年)	238,595 (億円)	3911 (億円/年)
1/20	123.8 (万円)	2.0 (万円/年)	145.0 (億円)	2.38 (億円/年)	22,713 (億円)	372 (億円/年)

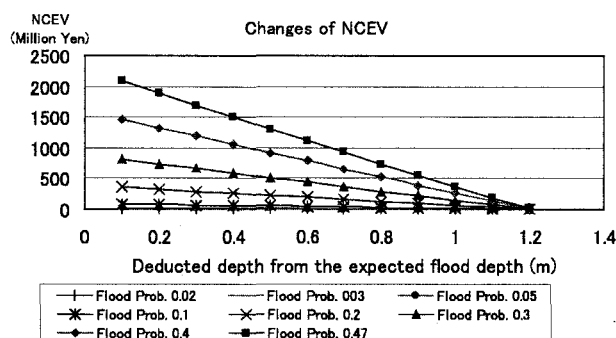


図-4 NCEV の変化

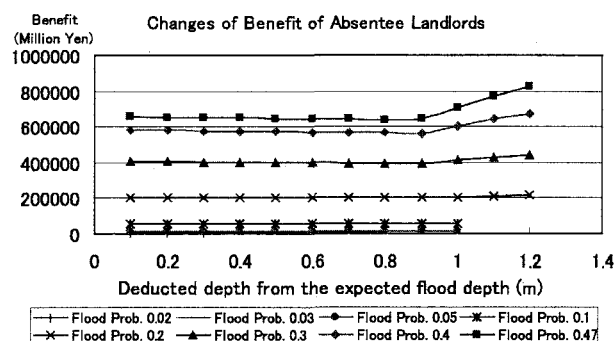


図-5 不在地主の便益の変化

約 2 万円となり (表-6 参照)、浸水の危険性がある地域 A の総世帯数 1,821,625 世帯を乗じることにより、総額で 22,568 億円、年額にして 370 億円となった。

(2) 不在地主便益

NCEV の導出と同じく、1998 年時点の状況について、1938 年時点における状況から治水事業がなされなかった場合と治水事業がなされた場合 (現況) とを比較し、2. の立地均衡モデルに示した不在地主便益の定義によって不在地主便益値を評価する。

ここでも世帯便益の算出と同じように、期待浸水深と浸水確率を変化させたそれぞれの場合について不在地主便益の値を求めた。その結果を図-5 に示す。縦軸は便益値、横軸は淀川浸水想定区域図から差し引いた浸水深の値、図中の直線は洪水生起確率ごとにプロットした値を結んだものである。これによると、浸水確率を変化させたいずれの場合においても、期待浸水深を 0.9m 変化させた時点から大きく上昇に転じていることが分かる。これは期待浸水深を減じていくにつれ、表-5 に示されるように、期待浸水深の一番低いゾーン A3 がほとんど浸水の影響を受けなくなったことによるものであると考えられる。なお、その変化が起こるまで浸水深を徐々に差し引いていっても不在地主便益がほとんど変化せず一定となっている。この理由は、均衡計算により地代が上昇すると世帯数は減り、地代が下落すると世帯数は増える方向にはたらし、住宅地変化量に地代変化をかけた値である不在地主便益の値は大きく変化することがないためであると考えられる。

また、1938 年時点での状況を、予測浸水図に記載の洪水による浸水深から 1m 低い規模の浸水被害が 20 年に 1 度の確率で発生するとし、その状況が 1998 年まで続いたとした場合の不在地主便益は表-6 に示すように総額で約 145 億円、年額にして約 2 億 3765 万円という結果が得られた。同じ条件下で浸水被害が 10 年に 1 度の確率で発生するとした場合の不在地主便益は、総額約 553 億 6 千万円、年額にして約 9 億 757 千万円という結果であった。

(3) 総便益

以上の結果から、期待浸水深と浸水確率を変化させたそれぞれの場合における対象地域全体の総便益を図-6 に示す。また、NCEV および不在地主便益の節で述べたのと同様の条件での便益の計算結果を表-6 にまとめる。

高木ら¹⁾による適用結果の NCEV の試算値は 1 世帯 1 年当たり約 9000 円、建設経済研究所¹⁰⁾による荒川における NCEV の試算値は 1 世帯 1 年当たり 5.61 万円という値が得られている。本研究によって得られた NCEV の値は、表-6 による洪水生起確率 20 年に 1 度の場合の約 2 万円という値や、洪水生起確率 10 年に 1 度の場合の約 21 万円という値と比較すると、人口と財産の集積が進んでいる淀川流域が首都圏における荒川流域の場合と同じく、人口密度の比較的小さい高木らの適用事例に比べると効用値が高い水準にあることが読み取れる。このことは、淀川流域は人口や財産が集積して洪水防御の必要性が高く、また、それによる満足度も高い水準にあるということができる。

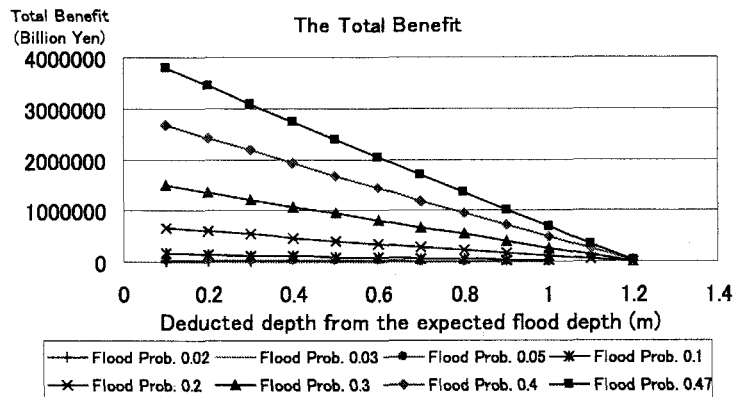


図-6 総便益の変化

(4) 治水事業費との関連

分析開始時点(1938年)から分析終了時点(1998年)までに行われてきた淀川における治水事業費の総額は、1998年現在の価値に換算して5464億円に達すると推定される¹¹⁾。この値は、分析対象期間中に第二次大戦やその戦後の混乱期も含まれるため、阪神淡路大震災以前は、昭和40年代から阪神淡路大震災前までの淀川治水事業費の年平均値約84億8400万円を用いて推定したものである。また、震災後は事業費が大幅に増えたので別個に取り扱い、それぞれの年の事業費を1998年現在の価値に変換して計算した。なお、1998年現在の貨幣価値に換算する際には、各種資産評価単価およびデフレーター¹²⁾の総合物価指数第12表に記載の値を用いた。事業費の額と推定された総便益とを比較すると、1938年時点で比較的治水事業の成果が現れていたとしても、総便益は事業費を上回る値となった。

4. おわりに

大阪府下の淀川流域において、1938年から1998年までの61年を対象とし、立地均衡モデルを用いて世帯便益と不在地主便益そしてその合算値である総便益を計測し、この間の治水事業費との比較を行った。

分析開始期間の条件を様々に設定することによって、それぞれの場合における総便益値が図-6に示すように算出された。ここで求められた値と分析対象期間である61年間に使われた事業費とを比較した結果、計測された便益値は総事業費を上回るという結果が得られた。

ただし、この計算結果は条件を変えることによって大きく変化する。ゾーンごとに設定している浸水生起確率や期待浸水深、市区町村ごとに測られる所得や住宅地面積などをいかに正確に計測するかが重要となる。この意味で、洪水・氾濫再現計算の精緻化とともに、その再現・予測計算の不確かさを合わせて提示すること

が重要である。

また、本研究では世帯の便益と不在地主の便益しか計測していないが、実際には企業等の事業所の立地に関する便益も存在する。その意味において今回計測された便益地よりもかなり大きな便益値が計測されることが推察される。

謝辞：国土交通省淀川工事事務所、大阪府統計資料室には、大阪府下の世帯数や地価、予測浸水図などの資料を提供して頂いた。また、科学技術振興事業団戦略的創造研究推進事業(CREST)(京都大学：寶 馨代表)、科学研究費補助金基盤研究(B)(2)14380201(京都大学：井上和也代表)の補助を得た。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 高木朗義・森杉壽義・上田孝行・西川幸雄・佐藤尚：立地均衡モデルを用いた治水投資の便益評価手法に関する研究，土木計画学研究・論文集 No.13, pp.339-348, 1996.
- 2) ハル・R・ヴァリアン：ミクロ経済分析，勁草書房，1986.
- 3) 森杉壽義 編：社会資本整備の便益評価，勁草書房，1997.
- 4) 建設省近畿地方建設局(当時)：淀川百年史，1974.
- 5) 国土交通省近畿地方整備局淀川工事事務所：過去の淀川流域災害資料集，2001.
- 6) 国土交通省近畿地方整備局淀川工事事務所，木津川上流工事事務所：淀川水系淀川・宇治川・木津川・桂川浸水想定区域図，2002.
- 7) 総務省統計局：大阪府市区町村の町丁別世帯及び人口，2000年国勢調査.
- 8) 国土交通省：平成10年地価公示，1998.
- 9) 総務省統計局：住宅・土地統計調査(平成10年確報).
- 10) 財団法人建設経済研究所 編：平成12年度治水事業の評価に関する調査研究報告書，2000.
- 11) 国土交通省近畿地方整備局淀川工事事務所：昭和46年以降の淀川改修工事費.
- 12) 国土交通省河川局河川計画課：各種資産評価単価及びデフレーター，2001.

(2003. 4. 11受付)