

## 筑後川下流低平農地域の洪水緩和機能の評価

誌名	九州大学大学院農学研究院学芸雑誌
ISSN	13470159
著者	平松, 和昭 四ヶ所, 四男美
巻/号	56巻1号
掲載ページ	p. 1-8
発行年月	2001年10月

## 筑後川下流低平農地域の洪水緩和機能の評価

平松和昭・四ヶ所 四男美

九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座水環境学研究室  
(2001年6月22日受付, 2001年7月11日受理)

### Flood Mitigation Function Estimates of a Flat Low-lying Agricultural Area along the Lower Reach of the Chikugo River

Kazuaki HIRAMATSU\* and Shiomi SHIKASHO

Laboratory of Drainage and Water Environment, Division of Regional Environment Science,  
Department of Bioproduction Environmental Science, Faculty of Agriculture,  
Kyushu University, Fukuoka 812-8581

#### 緒 言

水田を主体とした農地が有する機能的側面として、従来から明示的に知られていた食糧生産機能に加えて、近年、洪水緩和、水資源涵養、水質浄化、土壌流出防止、農薬影響緩和、生態多様化、景観保全、気候緩和などの諸機能が注目されている。このうち洪水緩和機能は、洪水時に流域に降った雨水を一時貯留する貯水池としての機能で、農業が営まれ始めた太古の昔から機能し続けている重要な国土保全機能の一つである。洪水緩和機能をはじめとして、農地の持つ食糧生産以外の機能的側面を意識的に捉え、定量的に評価することは、今後のわが国の農業農村の発展にとって極めて重要なことと考える。

農地の持つ洪水緩和機能を定量化しようとする研究は従来から試みられており、国土スケールで農地の洪水緩和機能を定量化した志村(1982)の研究、低平農地の洪水貯留容量を流域スケールで概算する方法を示した三野ら(1991)の研究、個々の洪水時に測定された水文資料を基にした実証的な研究(例えば、中村ら、1994; 早瀬, 1994)、さらに洪水緩和機能を農業の環境便益と捉え、その外部経済効果を評価する試み(嘉田, 1996)、等がなされている。

これに対して、著者らは、沿岸部に位置するクリーク低平農地域を想定した仮想流域モデルを用いた数値

実験から、その洪水緩和機能の定量化を試みた(平松ら, 1999)。さらに、得られた結果から、クリーク低平農地域の洪水緩和機能を総合的に表現するマクロな指標の策定を行った。

本論文では、筑後川下流クリーク水田地帯に位置する実流域を対象とした数値実験によって、以上の仮想流域で得られた結果を検証する。

なお、本研究は、「農林水産技術会議事務局：農林水産業及び農林水産貿易と資源・環境に関する総合研究」による研究成果の一部であることを付記する。

#### 解析モデルと方法

1. 筑後川下流クリーク水田地帯の洪水流出モデル  
有明海沿岸部などにみられるクリークは、用水路と排水路を兼用した水路システムとなっていること、極めて大きな洪水貯留容量を持つこと、低平地に位置するため勾配が非常に小さいこと、等が特徴である。また、一般に沿岸低平農地域は自己流域を持たないため用水の供給は常に不足気味であり、一方、排水不良地でもあるため絶えず湛水の危険にさらされている。そのため、用水確保と雨水排除という相反する目的を満たすような特異な排水系統が構築されている。

以上の特徴を考慮し、解析対象流域として、図1a)に示す佐賀県神埼郡千代田町の低平農地域を選定した。同流域は、城原川と田手川に挟まれた地区に位置する

\* Corresponding author (E-mail: hiramatu@agr.kyushu-u.ac.jp)

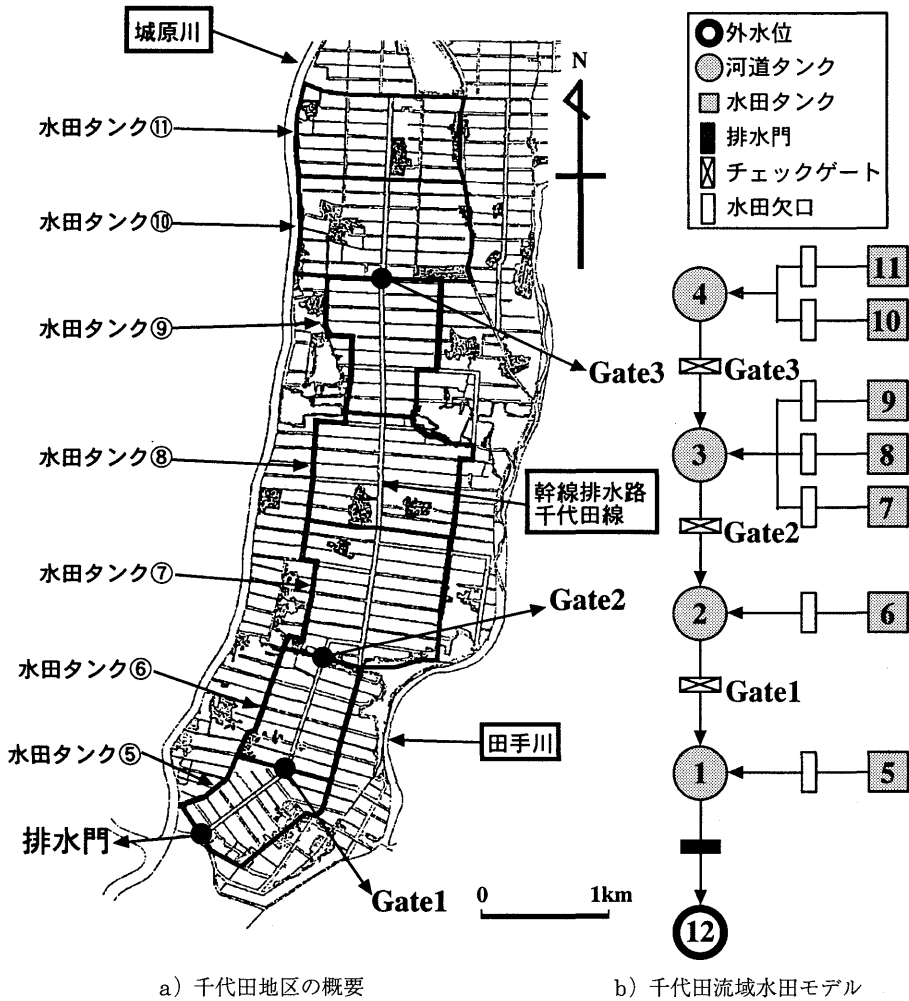


図1 解析対象流域と洪水流出モデル

クリーク水田地帯で、幹線排水路千代田線の集水域である。流域面積は583.7ha、流域面積に占めるクリークの面積比率は2.6%である。洪水は末端の排水門から自然排水され、同流域の直下流部で筑後川感潮域に排除される。この流域を、図1a)に示すように7個の水田群に分割し、これと4個の河道タンクを連結することで、図1b)に示す連続貯水池モデルを構成した。表1に水田タンク、河道タンク、チェックゲートおよび末端の排水門の諸元を示す。

入力降雨と外水位には、前報(平松ら, 1999)とはほぼ同じ条件を用いた。すなわち、表1に示すように、入力降雨には、佐賀地方気象台の過去71年間(1926~

1996年)の降雨資料を用いて、超過確率 $p=2, 5, 10, 20, 50, 100$ 年の確率雨量から求めた3日連続ハイレートグラフを用いた。その際、確率日雨量を第2日目の総雨量、2日連続確率雨量を1、2日目の総雨量とし、3日間の総雨量が3日連続確率雨量となるようにハイレートグラフを作成した。また、外水位には有明海湾における小潮平均潮位を採用し、計算開始時と最低潮位時が一致する位相差 $\theta=6h$ で計算を行った。 $\theta=6h$ は、第2日目の降雨ピーク時と満潮時がほぼ一致する場合に相当し、他の $\theta$ 値も用いた前報でも、 $\theta=6h$ はおおむね最危険側の結果が得られている。連続貯水池モデルを用いた数値計算には、反復型台形

表1 千代田流域水田モデルの諸元

排水路	底幅=14.0m, 側面勾配=1:2			
	河道タンク1	河道タンク2	河道タンク3	河道タンク4
水路底勾配	1/5,600	1/8,600	1/8,600	0
水路長 (m)	1,000	750	3,250	1,500
水路末端底高 (m)	-0.560	0.000	0.140	0.360
チェックゲート	Gate 1	Gate 2	Gate 3	
幅 (m)	4	5	10	
ゲート頂高 (m)	1.75	2.14	2.11	
排水門	幅=5.0m, 高さ=3.5m, 敷高=-1.56m [排水路末端]			
降雨曲線	3日連続ハイエトグラフ [確率年=2, 5, 10, 20, 50, 100年]			
外水位	1.94+0.8cos2π(t+θ)/T, T=12.42 h			
位相差	θ=6h (計算開始時=干潮時, 降雨ピーク時=満潮時)			
水田流域	水田タンク5	水田タンク6	水田タンク7	水田タンク8
流域面積 (ha)	64.3	49.0	107.7	92.7
欠口敷高 (m)	2.63	3.26	3.42	3.36
欠口幅 (m)	64.3	49.0	107.7	92.7
	水田タンク9	水田タンク10	水田タンク11	
流域面積 (ha)	68.3	99.9	86.6	
欠口敷高 (m)	3.21	3.28	3.44	
欠口幅 (m)	68.3	99.9	86.6	
初期水位	タンク1は初期外水位 (1.145m), ほかのタンクは越流頂高			
計算法	反復型台形公式 (ε=1 mm, 最大Δt=60秒)			

公式を用いた。

以上の千代田地区の現況を対象とした計算に加え、水田が畑地および市街地に転換された場合を想定した計算も行う。前報と同様に、畑地流域モデルと市街地流域モデルでは、図1b)の7個の水田タンクとその欠口の部分を、斜面長100mの斜面群に置き換え、kinematic wave法で計算した斜面からの流出量を強制的に河道タンク1から河道タンク4に流入させた。その際、畑地斜面、市街地斜面の等価粗度は、それぞれ0.4, 0.025s/m<sup>1/3</sup>とした。なお、畑地流域では、畑地における標準的な雨水保留量曲線から求めた有効降雨を入力降雨に用いた。使用した雨水保留量曲線では、初期損失雨量は68.9mmとなる。

以下では、千代田地区の現況モデルを千代田流域水田モデル、畑地および市街地への転換を想定したモデルをそれぞれ千代田流域畑地モデル、千代田流域市街地モデル、また、前報の仮想流域を対象とした検討で用いたモデルを、仮想流域水田モデル、仮想流域畑地モデル、仮想流域市街地モデルと称する。

## 2. クリーク低平農地域の洪水緩和指標

以上のモデルを用いた数値実験から得られた計算結果から、クリーク低平農地域の洪水緩和機能を総合的

に表現するマクロな指標として、流域地目(土地利用形態)指標  $I_a$  とクリーク面積率指標  $I_\beta$  および排水施設の最適管理指標  $I_\gamma$  から構成される洪水緩和指標  $MI$  を定義する(平松ら, 1999)。

$$MI = I_a \times I_\beta \times I_\gamma \quad (1)$$

$$I_a = \frac{(H_{p,max} - H_0)_{\text{水田 or 畑地}}}{(H_{p,max} - H_0)_{\text{市街地}}} \quad (2)$$

$$I_\beta = \frac{(H_{p,max} - H_0)_A}{(H_{p,max} - H_0)_{A_0}} [= \exp\{-\beta(A - A_0)\}] \quad (3)$$

$$I_\gamma = \frac{(H_{p,max} - H_0)_{\text{最適管理}}}{(H_{p,max} - H_0)_{\text{無管理}}} \quad (4)$$

ここで、 $A$ はクリーク面積率、 $A_0$ は  $I_a$  計算時のクリーク面積率 (=2.6%)、 $H_{p,max}$  は河道タンク1における確率年  $p$  のピーク水位 (ピーク末端水位)、 $H_0$  は河道タンク1における初期水位 (=1.145m) である。また、 $I_\beta$ 、 $I_\gamma$  は水田モデルだけを対象に計算される。 $\beta$ は指数関数近似の際のパラメータである。クリーク低平農地域において、クリーク面積率と最適管理を考慮したときのピーク末端水位の上昇高は、市街地流域の場合に  $MI$  を乗じて求められることを(1)式は示している。

## 結果と考察

図2, 3に, 仮想流域と千代田流域の流域地目指標  $I_a$  の計算結果を示す。図2の仮想流域では,  $I_a$  は  $p$  に関係なくほぼ一定値で, その平均は畑地で0.923, 水田で0.480であった。水田では, 市街地に比べてピーク末端水位の上昇が半分以下に押さえられており, 大きな洪水緩和能力を有することがわかる。これに対して畑地は, 市街地に比べ若干の洪水緩和機能を有するものの, その能力は小さい。畑地モデルでは, 雨水保留量曲線から算定された初期損失雨量68.9mmを除いた有効降雨を入力降雨として用いているが, 実際は  $H_{p,max}$  が発生するのは第2日目であるため, この初期損失分が洪水緩和に寄与していないためと考えられる。また, 図3の千代田流域でも, 仮想流域と同様の理由で, 畑地の  $I_a$  が1に近い値になっている。しかしながら, 水田と畑地の差が仮想流域ほど顕著でない。これは, 千代田地区では末端の排水門の排水能力が相対

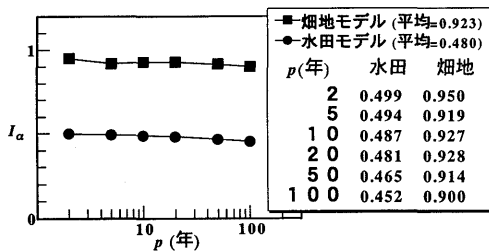


図2 仮想流域における流域地目(土地利用形態)指標  $I_a$  (平松ら, 1999)。

的に大きく, 特に出水規模が小さいときに土地利用形態の違いによる  $H_{p,max}$  の差が顕著に生じないためと考えられる。

図4に, 確率年  $p=100$ 年における積算降雨量, 千代田流域水田モデルから得られた流域流出量の積算値, および河道タンクと水田タンクの貯留量の経時変化を示す。また, 図5, 6には, 千代田流域畑地モデル, 千代田流域市街地モデルから得られた結果を示す。なお, 図5, 6の最下段の畑地貯留量と市街地貯留量は, それぞれ畑地斜面, 市街地斜面上の貯留量である。また, 畑地モデルでは, 初期損失雨量68.9mmを流域貯留量に加味している。同図によると, 最大流域貯留量は水田, 畑地, 市街地でそれぞれ273, 286, 160mmとなっており, 水田, 畑地の貯留能力が市街地に比べ非常に大きいことが分かる。また, 水田, 畑地では, 総降雨量 (=516mm)の半分以上の洪水を一時的に流域に貯留している。

図7に, 各確率年  $p$  における千代田流域と仮想流

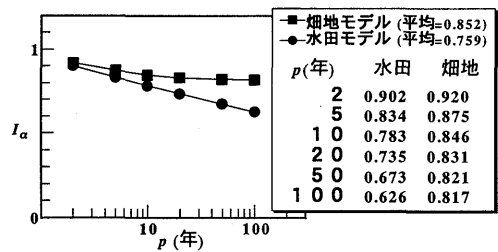


図3 千代田流域における流域地目(土地利用形態)指標  $I_a$ 。

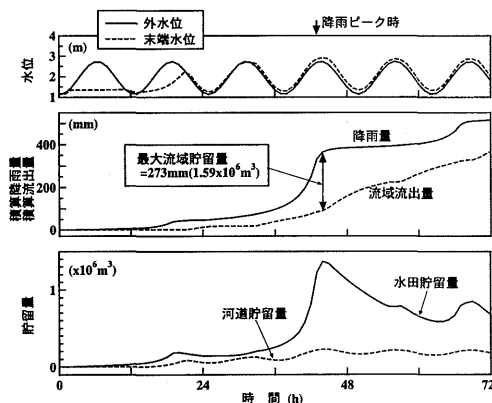


図4 千代田流域水田モデルにおける流域貯留量の経時変化 ( $p=100$ 年)。

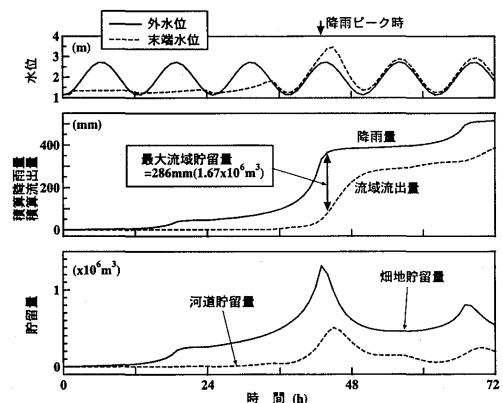


図5 千代田流域畑地モデルにおける流域貯留量の経時変化 ( $p=100$ 年)。

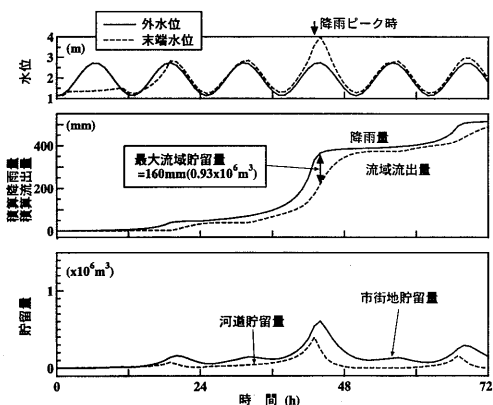


図6 千代田流域市街地モデルにおける流域貯留量の経時変化 ( $p=100$ 年).

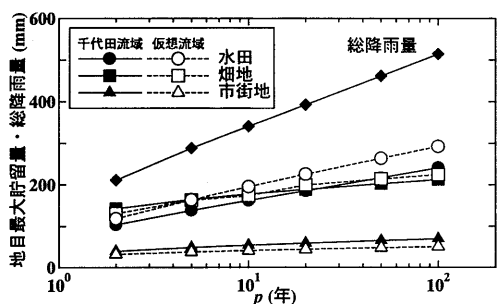


図7 仮想流域と千代田流域の各地目最大貯留量の比較.

域の各地目の最大貯留量と総降雨量の関係を示す。図7の最大貯留量は、図4, 5, 6の最下段の水田貯留量、畑地貯留量、市街地貯留量の最大値を貯留高 (mm) に換算したものに相当する。同図からも水田、畑地の洪水緩和能力の大きさがわかる。また、各地目ともに、仮想流域と千代田地区は類似の結果となっており、前報で行った流域諸元の設定の妥当性が窺える。

志村 (1982) は、農地、森林が洪水時に貯えうる最大貯留高として、水田は平均的な欠口頂からの畦畔高 (=270mm)、畑地は平均的な粗間隙容量 (=60mm)、また森林も平均的な粗間隙容量 (=176mm) とし、これらの最大貯留高にそれぞれの面積を乗じた総容量として、国土スケールの治水容量を算定している。また、三野ら (1991) は、干拓地のような低平農地が洪水貯留容量の大きな遊水池や洪水排除能力の大きな排

水施設を持つ点に注目し、その地域の降雨特性と排水路や排水施設のフロー能力から、低平農地の洪水貯留容量を流域スケールで概算する方法を示した。志村の試算値および三野らの方法を千代田流域に適用して得られた貯留容量、および図7の千代田流域モデルでの評価値を比較した結果を図8に示す。まず、水田では、志村の試算値は千代田流域での100年確率降雨時の評価値に相当しており、また三野らの方法から得られた貯留量は、千代田流域の評価値の約半分程度であることが分かる。一方、畑地では、志村の試算値は千代田流域の評価値よりかなり小さい値となっている。また、千代田流域の水田、畑地の両評価値とも、出水規模が大きい場合、森林における志村の試算値176mmを上回る値となっている点が興味深い。

図9, 10に、仮想流域および千代田流域の水田モデルから計算されたクリーク面積率指標  $I_{\beta}$  の計算結果を示す。図中の実線は (3) 式の指数関数による回帰式である。クリークの洪水貯留機能によって、クリーク面積率が大きくなると  $I_{\beta}$  は小さくなっており、その程度は (3) 式の指数関数で近似できることがわかる。また、出水規模に応じてパラメータ  $\beta$  が変化しており、仮想流域と千代田流域でパラメータ  $\beta$  は比較的近い値となっている。

なお、実流域においてクリーク面積率に数種の値があるということは奇異に感じると推察されるので少し説明しておく。本試算では、幹線クリークのみを考慮したときを基準クリーク面積率 (2.6%) とし、そのほかのクリーク面積率は、水田タンク内に存在する支線クリークを適当な面積だけクリークとして考慮したときに対応している。

図11, 12は最適管理指標  $I_T$  の計算結果で、それぞれ仮想流域水田モデル、千代田流域水田モデルから得られた結果である。いずれも下流側に洪水の集中が生じないように、ファジィ推論を用いて排水路のチェックゲートを最適制御した結果である。仮想流域水田モデルでは  $H_{p,max}$  の上昇が4%程度押さえられている。一方、千代田流域水田モデルでは図1の Gate2より上流部の排水路が極めて緩勾配であるため、上述の制御ルールに加えて上流域の過度の湛水を押さえることも考慮した。そのため、 $I_T$  は1に近い値となっているが、湛水時間は上流側の水田で僅かではあるが減少している。一般に排水施設は個々の流域特性を応じた管理が行われるが、最適管理指標  $I_T$  はその影響を受けるものと考えられる。

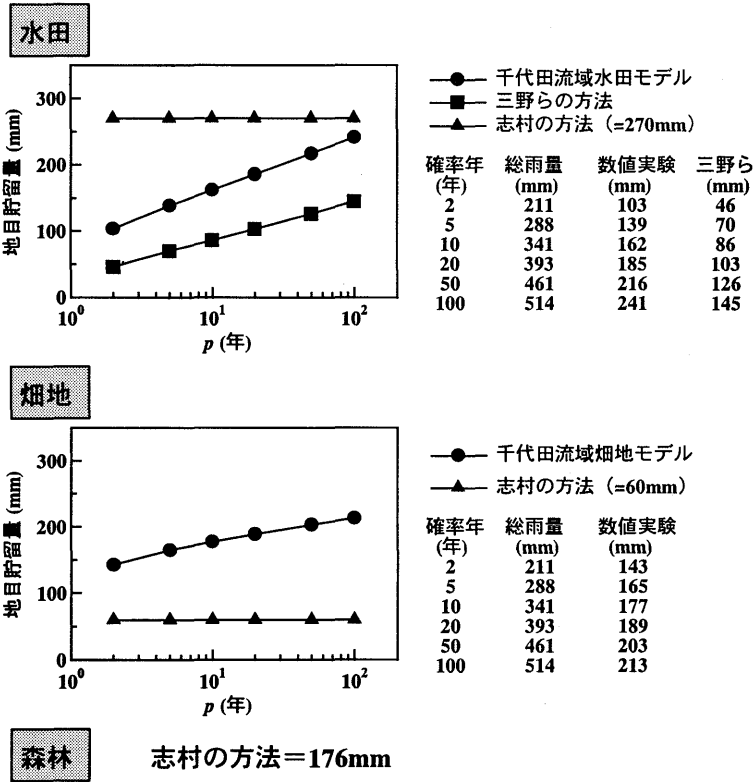


図8 既往の評価手法(志村, 1982; 三野ら, 1991)と千代田地区の洪水貯留能力.

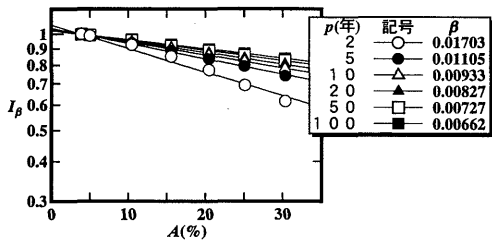


図9 仮想流域におけるクリーク面積率指標  $I_\beta$  (平松ら, 1999).

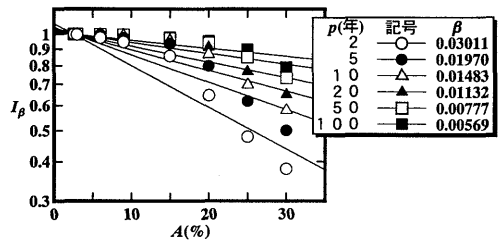


図10 千代田流域におけるクリーク面積率指標  $I_\beta$ .

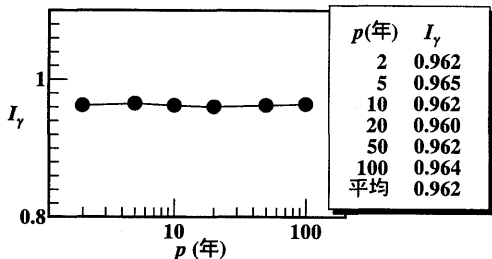


図11 仮想流域における排水施設の最適管理指標  $I_\gamma$  (平松ら, 1999).

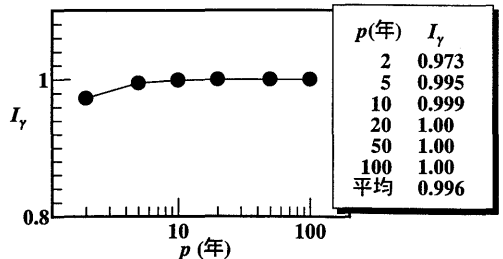


図12 千代田流域における排水施設の最適管理指標  $I_\gamma$ .

## 要 約

クリーク低平農地域の洪水緩和機能を総合的に表現するマクロな指標の策定を目的として、佐賀県神埼郡千代田町に選定したクリーク水田流域を対象に数値実験を行い、前報（平松ら、1999）の仮想流域での計算結果との比較を交えながら、その洪水流出特性を検討した。流域地目指標  $I_a$  やクリーク面積率指標  $I_b$ 、最適管理指標  $I_r$  の値は、流域条件や降雨条件の違いによって当然変化してくると考えられるが、本論文で示した洪水緩和指標  $MI$  を用いることで、クリーク低平農地域の洪水緩和機能をマクロに評価することができるとの確信を得た。得られた結果を要約すると以下のようである。すなわち、①農地の洪水緩和機能は水田の場合に特に効果的であり、また、畑地も水田にほぼ匹敵する洪水緩和機能を有する、②クリークのもつ洪水緩和機能はその面積比率で評価できる、③適切な排水施設管理によって洪水緩和機能はさらに高まる、④クリーク低平農地の洪水緩和機能は（1）式でおおむね評価できる。

以上のように、仮想流域で得られた知見を実流域においても検証することができた。

## 文 献

- 嘉田良平 1996 農業の外部経済効果の評価と政策的合意. 1996年度日本農業経済学会大会報告要旨: S37-S49
- 早瀬吉雄 1994 水田地帯の洪水防止・軽減機能の評価と機能向上事業の提案. 農業土木学会誌, 62: 943-948
- 平松和昭・四ヶ所四男美・森 健 1999 クリーク低平農地域の洪水緩和機能の評価. 九大農芸誌, 54(1・2): 25-33
- 三野 徹・山本徳司・長堀金蔵 1991 干拓地の土地・水利用体系の再編成と排水改良. 農業土木学会誌, 59: 1033-1038
- 中村好男・雨沢英治・寺田義久・佐藤俊郎 1994 小貝川下流部での排水特性と水田の流出緩和機能. 農業土木学会誌, 62: 949-954
- 志村博康 1982 水田・畑の治水機能評価—国土に必要な治水容量の農地・ダム森林による分担—. 農業土木学会誌, 50: 25-29



## Summary

The flood mitigation function of agricultural land in the Chiyoda district of Saga Prefecture, Japan, has been quantitatively evaluated using numerical simulations. This district is located on a flat low-lying area along the lower reach of the Chikugo River, characterized by paddy fields with a network of creeks and drainage to the tidal compartment of the Chikugo River. Generally speaking, agricultural land has a function, such as that of a reservoir, which temporarily stores up storm flow during floods. This flood storage effect for agricultural land, which is known as the flood mitigation function, is one of the many important functions for country's conservation that has been in effect since the beginning of agriculture itself.

First, a paddy field basin model was constructed based on the present condition of the Chiyoda district and an upland field basin model and an urbanized basin model were introduced under the assumption that paddy fields of the Chiyoda district would be converted into upland fields and urbanized areas. Second, the difference in flood runoff characteristics caused by land utilization, the creek area ratio, and the existence of optimal control of drainage facilities, was evaluated using the basin models from the viewpoint of flood mitigation. Finally, an indicator to estimate the flood mitigation function of agricultural land in a flat low-lying area in a large scale view, that was proposed by the authors in the previous paper, was examined in the Chiyoda district.

It was concluded that the flood mitigation function of a flat low-lying agricultural area was evaluated by the macro-indicator  $MI$ , consisting of three sub-indicators, i.e.  $I_\alpha$  for the land utilization,  $I_\beta$  for the creek area ratio, and  $I_\gamma$  for the optimal control of drainage facilities.