

クリーク低平農地域の洪水緩和機能の評価

平松, 和昭
九州大学農学部排水干拓工学講座

四ヶ所, 四男美
九州大学農学部排水干拓工学講座

森, 健
九州大学農学部排水干拓工学講座

<https://doi.org/10.15017/23630>

出版情報 : 九州大学農学部学藝雑誌. 54 (1/2), pp.25-33, 1999-11. Faculty of Agriculture, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

クリーク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・森 健

九州大学農学部排水干拓工学講座

(1999年7月13日受付, 1999年8月24日受理)

Estimation of the Flood Mitigation Function of Agricultural Land in a Flat Low-lying Area with Creek Networks

Kazuaki HIRAMATSU, Shiomi SHIKASHO and Ken MORI

Laboratory of Land-Drainage and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture,
Kyushu University 46-05, Fukuoka 812-8581

緒 言

水田を主体とした農地が有する機能に関しては、従来、単に食糧生産の場としての機能的側面が注目されてきた。しかし、近年、その見方が大きく変貌しつつある。すなわち、食糧生産機能に加えて、洪水緩和、水資源涵養、水質浄化、土壤流失防止、農業影響緩和、生態多様化、景観保全、気候緩和などの機能である。増本(1998)も指摘しているように、このような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、今後の農業農村の発展にとって極めて重要なことと考える。

本論文では、このうち洪水緩和機能に注目する。

農地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を有する。このような農地の持つ洪水緩和機能は、農業が営まれ始めた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。

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いる。志村(1982)は、水田が洪水時に貯えうる最大貯留高を平均的な畦畔高とし、また畑地のそれを平均的な粗間隙容量とし、この最大貯留高にそれぞれの面積を乗じた総容量として治水容量を算定している。志村の研究は、極めて概算的な算出法ではあるが、農地の持つ洪水緩和機能を国土スケールで定量的に明示した先駆的研究として評価は高い。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。また、個々の洪水時に測定された水文資料を基にした実証的研究もおこなわれており、例えば中村ら(1994)は利根川支流の小貝川流域の水田の洪水緩和機能を検討している。一方、農地の洪水緩和機能の評価に流出モデルによる数値実験を援用した研究も散見され、例えば早瀬(1994)は都市近郊の低平地流域の洪水緩和機能を低平地タンクモデルを用いて検討している。さらに、代替法や仮想状況評価法、トラベルコスト法、ヘドニック法などを用いて、洪水緩和機能をはじめとする農業の環境便益を外部経済効果として評価する試みもなされている(例えば嘉田, 1996)。

これに対して、本研究では対象を沿岸部に位置するクリーク低平農地域に限定する。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。解析には、このような特徴を有するクリーク低平農地域を想定した仮想流域モデルを使用し、水田、畑地、市街地の3パターンの土地利用形態の違いやクリークの面積比率が洪水流出特性に与える影響、および排水施設の最適管理によって洪水流出特性がどのように変化してくるかを分布定数型流出モデルを用いた数値実験によって検討する。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試みる。

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. クリーク低平地流域の洪水流出モデル

クリーク低平農地域の洪水流出現象は様々な要素が複雑に絡み合った現象である。そのため、個々の要素の役割を明確に把握し見通しを良くするため、実流域の主要な要素を選択抽出し単純化した仮想流域モデルで数値実験を行った。

仮想流域モデルの構成に当たっては、筑後川下流右岸地区に広がるクリーク水田地帯を参考にした。図1と表1に水田流域モデルの概要を示す。4個の水田タンクと2個の河道タンクからなる連続貯水池モデルで、洪水は下流端の河道タンク1から排水門を通じて地区

外に自然排水される。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日連続ハイレトグラフを用いた。図2にその一例($p=10$ 年)を示す。また、外水位には有明海湾奥における小潮平均潮位を採用し、計算開始時と最高潮位時が一致する位相 $\theta=0$ と、最低潮位時が一致

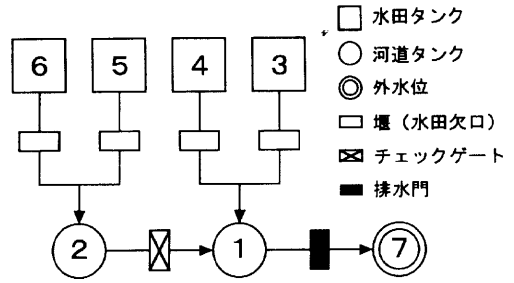


図1 水田流域モデルの概要。

表1 水田流域モデルの諸元

排水路	底幅 = 5 m, 側法勾配 = 1 : 2, 水路底勾配 = 1/6,000 水路長 = 2,400m, 末端水路底高 = -3.0m
チェックゲート	幅 = 4 m, ゲート頂高 = -0.3m [クリーク管理水位 - 0.5m, 排水路中央]
排水門	幅 = 4 m, 高さ = 1 m, 敷高 = -1.5m [排水路末端]
降雨曲線	3日連続ハイレトグラフ [確率年 = 2, 5, 10, 20, 50, 100年]
外水位	小潮平均潮位 = $0.21 + 0.8\cos 2\pi(t + \theta)/T$, $T = 12.42h$
位相差	$\theta = 0$ h (計算開始時 = 満潮時), 3 h, 6 h (計算開始時 = 干潮時), 9 h
水田	タンク 3 ~ 6 流域面積 (ha) 25 欠口敷高 (m) 0.05 欠口幅 (m) 25
初期水位	タンク 1, 2 は最低潮位, ほかのタンクは越流頂高
計算法	反復型台形公式 ($\epsilon = 1$ mm, 最大 $\Delta t = 60$ 秒)

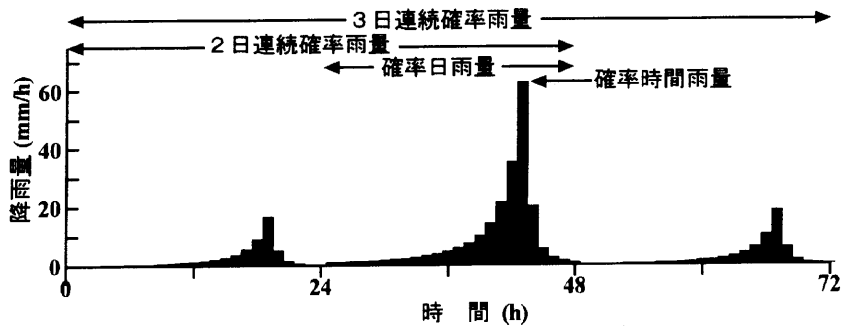


図2 入力降雨の一例 (3日連続確率降雨量, $p=10$ 年)。

する $\theta = 6h$ 、およびその中間の $\theta = 3, 9h$ で計算を行った。その他は、筑後川下流右岸地区のクリーク水田地帯の標準的諸元を参考に決定した。数値計算には反復型台形公式を用いた。

一方、畑地流域と市街地流域は、図1の4個の水田タンクとその欠口の部分を表2の4個の斜面に置き換え、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および河道タンク2に流入させた。その際、畑地流域では、図2の3日連続ハイエトグラフと図3に示す畑地における標準的な雨水保留量曲線（瀧本ら、1996）から求めた有効降雨を入力降雨に用いた。図3の雨水保留量曲線を使用した場合、初期損失雨量は68.9mmとなる。

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 とクリーク面積比率指標 I_β および排水施設の最適管理指標 I_γ から構成される洪水緩和指標 MI を定義する。

$$MI \equiv I_a \times I_\beta \times I_\gamma \tag{1}$$

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

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

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

ここで、 A はクリーク面積比、 A_0 は I_a 計算時のクリーク面積比（=3.9%）、 $H_{p,max}$ 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（=-0.59m）である。また、 I_a, I_β, I_γ は水田流域だけを対象に計算される。クリーク低平農地域においてクリーク面積比率と最適管理を考慮したときのピーク末端水位の上昇は、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4は、表1、表2に示した流域面積25haの1個の水田タンク、畑地斜面、市街地斜面からの確率年 $p = 10$ 年の時の流出量を比較したものである。水田タンクからの流出は下流側の影響を受けない完全越流状態での値である。同図のように、市街地と水田からの流出はほぼ降雨ピーク時にピークが発生しており、畑地ではピーク発生時刻が遅れが生じている。また、ピーク流出量は、市街地、畑地、水田の順に小さくなっている。図5に各地目ごとのピーク末端水位 $H_{p,max}$ を示す。畑地流域と市街地流域では、水田流域に比べて $H_{p,max}$ が大きく、また外潮水位相 θ の影響を強く受けている。クリーク低平農地域の洪水緩和機能を考える場合、ピーク流出量の値だけでなく、流出波形と外水位との相対的関係が重要となることが示唆され

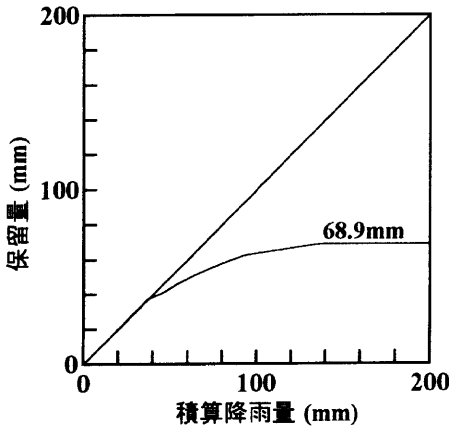


図3 畑地における標準的な雨水保留量曲線（瀧本ら、1996）。

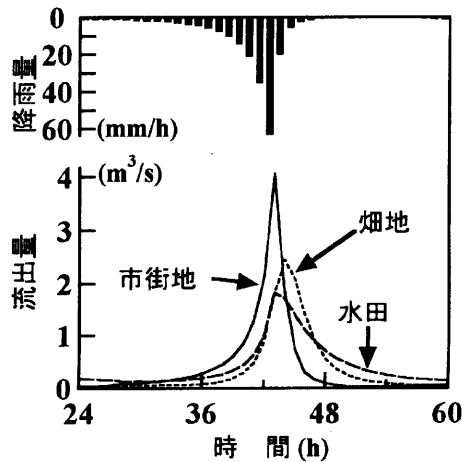


図4 水田、畑地、市街地からの流出の一例（ $p = 10$ 年）。

表2 畑地流域モデルと市街地流域モデルの諸元

畑地:	斜面3~6
流域面積 (ha)	25
斜面長 (m)	100
斜面勾配	10^{-4}
等価粗度 ($s/m^{1/3}$)	0.4
※畑地では標準的な雨水保留量曲線から求めた有効降雨を使用	
市街地:	斜面3~6
流域面積 (ha)	25
斜面長 (m)	100
斜面勾配	10^{-4}
等価粗度 ($s/m^{1/3}$)	0.025
計算法:	河道タンクは反復型台形公式 ($\epsilon = 1 \text{ mm}$, 最大 $\Delta t = 60 \text{ 秒}$)
	斜面流は Kinematic wave 法

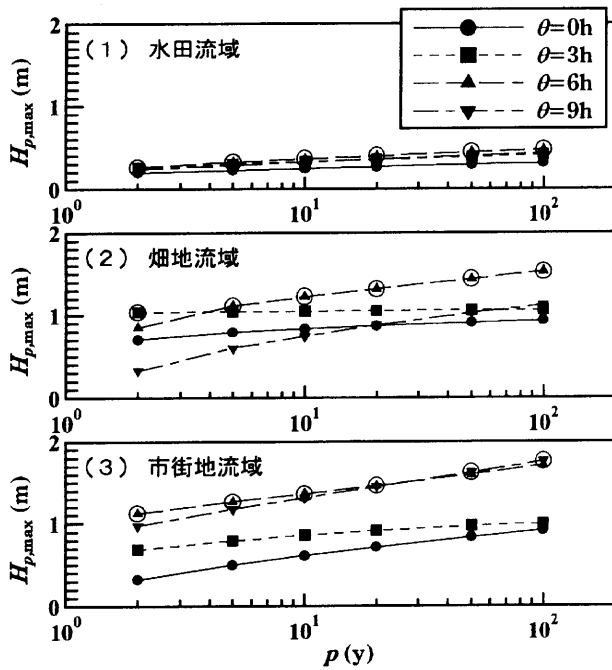


図5 確率年 p とピーク末端水位 $H_{p,max}$ の関係。

る、これに対して水田流域では、水田の貯留機能によって $H_{p,max}$ は他の地目に比べ小さく、また θ や p の影響は小さく安定した $H_{p,max}$ になっている。図6に流域地目指標 I_a の計算結果を示す。 I_a の計算には、図5の各確率年 p における最も危険側、すなわち図中に○印を付した値を使用した。図6によると、 I_a は p に関係なくほぼ一定値で、その平均は畑地流域で0.923、水田流域で0.480であった。水田流域では、市

街地流域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。これに対して畑地流域は、市街地流域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。畑地流域では、図2のハイトグラフから初期損失雨量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

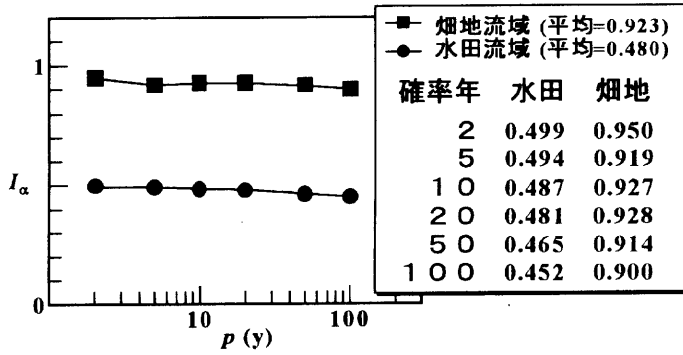


図6 流域地目（土地利用形態）指標 I_α .

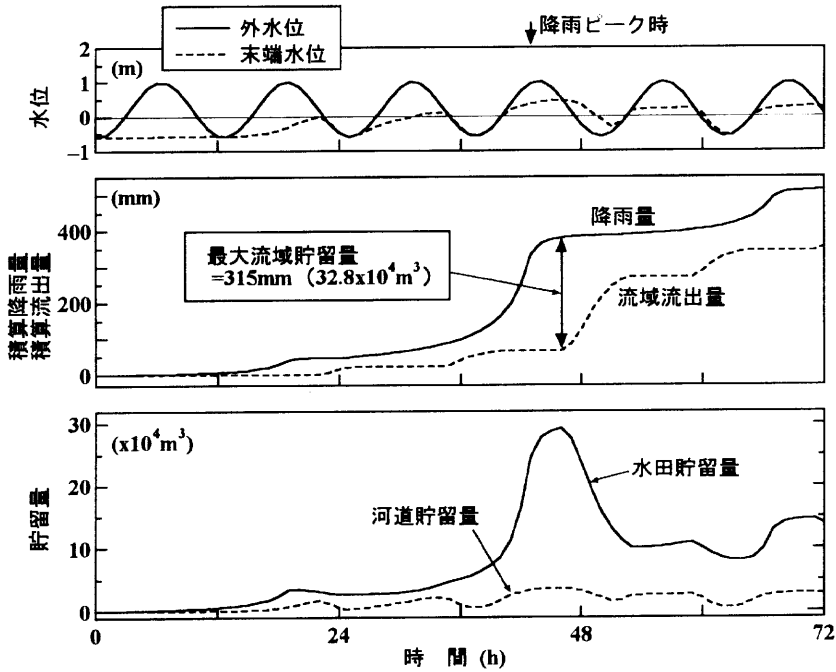


図7 水田流域モデルにおける流域貯留量の経時変化 ($p=100$ 年, $\theta=6$ h).

ていないためと考えられる。

図7に確率年 $p=100$ 年における水田流域の降雨量と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。外潮位位相には図5の水田流域で最も危険側の値が得られている $\theta=6$ h を用いている。 $\theta=6$ h の場合、図7のように降雨ピーク時前後で自然排水ができない。そのため全流域 (104ha) の最大貯留量は315mm ($32.8 \times 10^4 \text{m}^3$) となるが、その90%を水田貯留が占めるという計算結果になってお

り、水田の洪水緩和能力の大きさがうかがえる。一方、図8に確率年 $p=100$ 年における市街地流域の降雨量と流域流出量の積算値および河道タンクと市街地斜面の貯留量の経時変化を示す。市街地流域では市街地貯留量が著しく小さいため、図7に比べると最大流域貯留量は半分以下となっている。図9に各確率年 p における最大貯留量を流域別に示す。図9の畑地流域では、初期損失雨量68.9mmは流域貯留量に加味している。同図のように、流域貯留量という指標で見ると

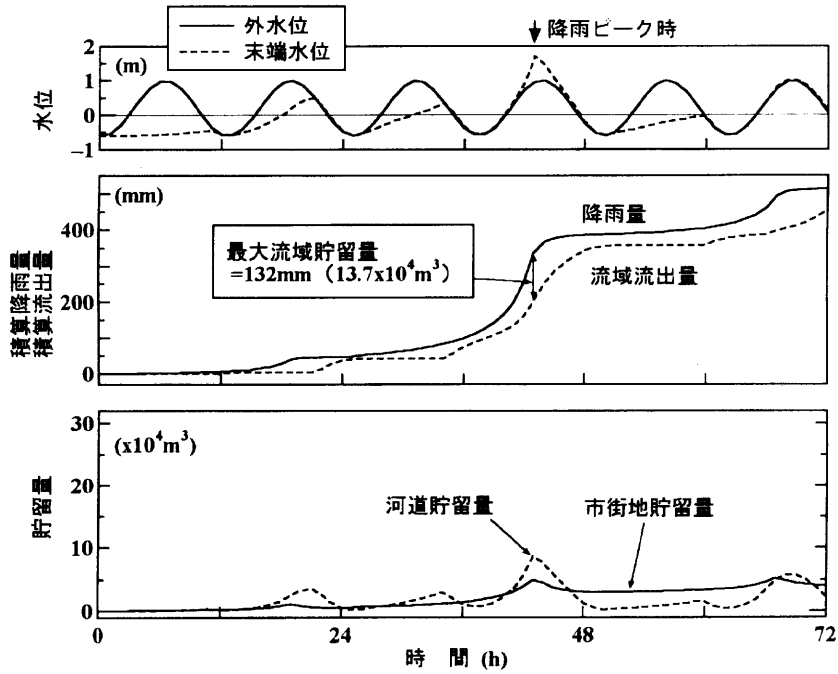


図8 市街地流域モデルにおける流域貯留量の経時変化 ($p=100$ 年, $\theta=6$ h).

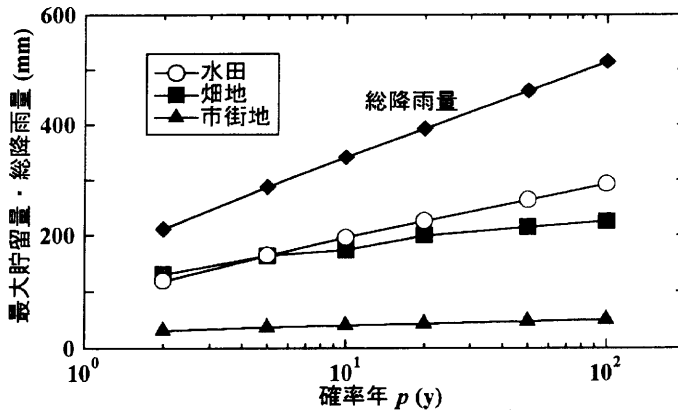


図9 確率年 p と流域最大貯留量の関係.

畑地流域は水田流域と同等の洪水緩和機能を有しており、総降雨量の半分程度の洪水を一時的に流域に貯留できることがわかる。

図10に水田流域を対象に計算されたクリーク面積比率指標 I_β 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、クリーク面積比が大きくなると I_β 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 β が変化している。

図11は、河道タンク1の水位上昇によって、下流側水田タンクに局所的に過大な湛水位の上昇が生じないように、河道タンク2との間にあるチェックゲートを最適制御した場合の最適管理指標 I_β の計算結果である。計算は水田流域を対象に行い、図11には外潮位位相 $\theta=0, 3, 6, 9$ h の中で最も危険側の値を用いた。

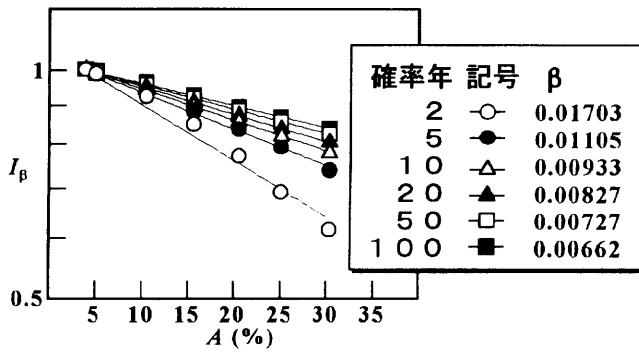


図10 クリーク面積比率指標 I_β ($\theta = 6h$).

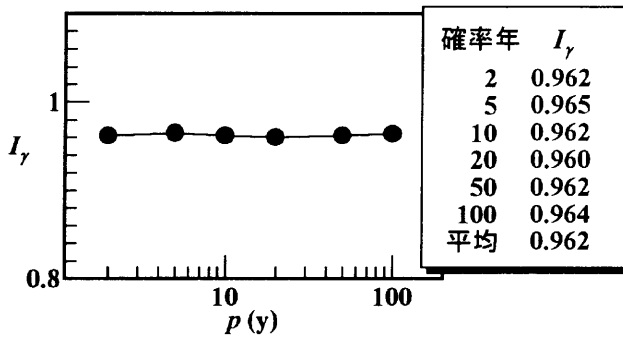


図11 排水施設の最適管理指標 I_γ ($\theta = 0, 3, 6, 9h$ で最危険側を使用).

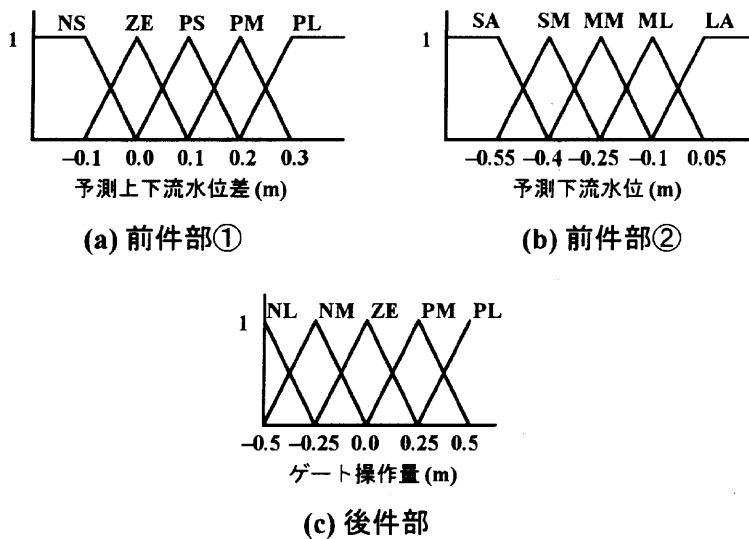
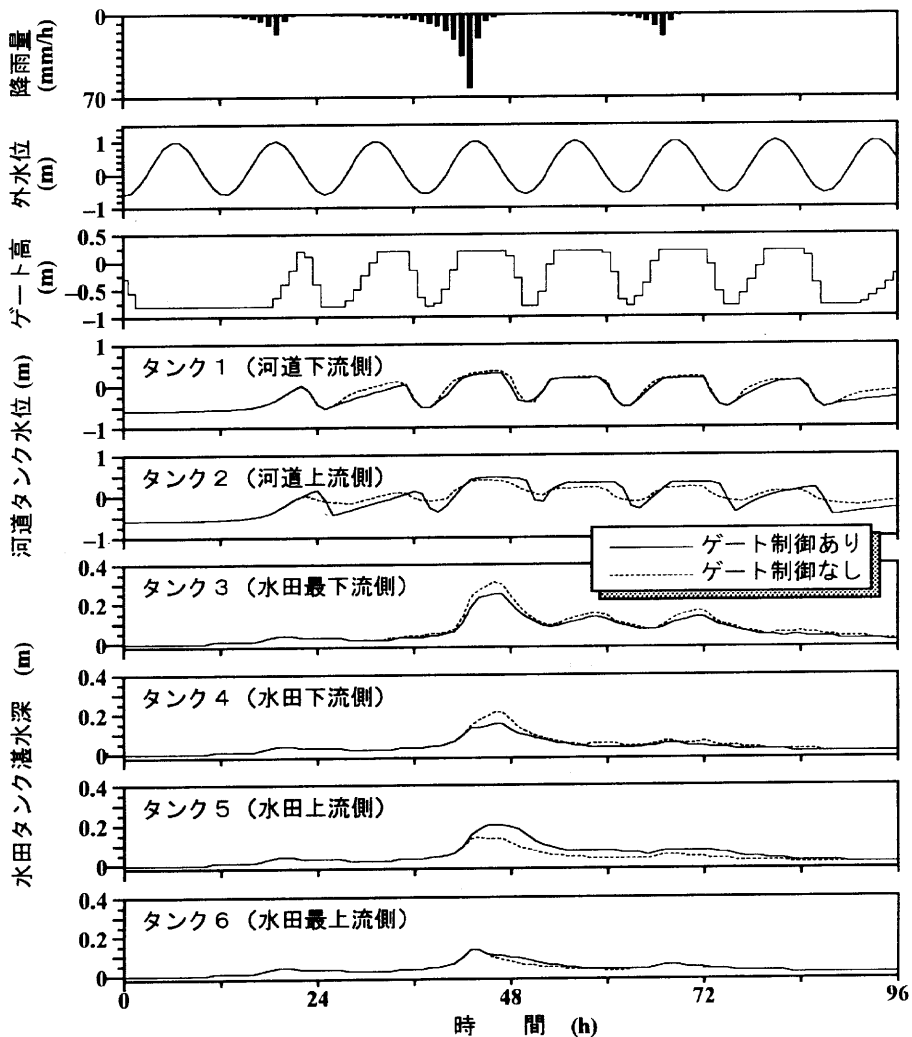


図12 ファジィ制御に使用したゲート操作に関するメンバーシップ関数.

また、チェックゲートの制御は、両河道タンクの予測水位差と河道タンク1の予測水位を前件部に用いたファジィ推論で行った。図12と表3にゲート操作に関するメンバーシップ関数と操作規則を示す。図11の L は出水規模に関係なく一定となっており、その平均は0.962となった。図13に確率年 $p=10$ 年、外潮水位相 $\theta=6$ hの場合の降雨量、外水位、チェックゲート高、河道タンク水位、水田タンク湛水深の経時変化を示す。おおむね外水位の上昇時にチェックゲート高は高くなっており、これによって下流側への洪水の集中が緩和されている。その結果として、図11のようにピーク末端水位の上昇が約4%程度押さえられている。排水施設

表3 ファジィ制御に使用したゲート操作規則

予測上下流 水位差	予測下流水位				
	SA	SM	MM	ML	LA
NS	ZE	PM	PM	PL	PL
ZE	ZE	ZE	PM	PM	PL
PS	NM	ZE	ZE	PM	PM
PM	NM	NM	ZE	ZE	PM
PL	NL	NM	NM	ZE	ZE

図13 チェックゲートの最適管理による地区内貯留パターンの変化 ($p=100$ 年, $\theta=6$ h).

を適切に管理することで、洪水緩和機能がさらに高まることがわかる。

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、仮想流域モデルを用いた数値実験の結果を報告した。流域地目指標 L_a やクリーク面積比率指標 L_b 、最適管理指標 L_c 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考える。得られた結果を要約すると以下のものである。すなわち、①農地の洪水緩和機能は水田流域の場合に特に効果的である、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低平農地の洪水緩和機能は(1)式でおおむね評価できる。

また、ファジィ推論がクリーク低平農地域の排水施設の最適管理に有効であることも併せて示された。

なお、現在、本数値実験の検証のため、筑後川下流

クリーク水田地帯の実流域で洪水緩和機能の評価作業を進めており、その結果は次の機会に報告したい。

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
- 増本隆夫 1998 水田の貯留機能評価と水資源の流域管理にみるパラダイム・シフト. 水文・水資源学会誌, 11: 711-722
- 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
- 瀧本裕士・堀野治彦・丸山利輔・渡辺紹裕 1996 農地造成に伴う洪水流出特性の変化. 水文・水資源学会誌, 9: 542-550

Summary

Agricultural land has a function, such as a reservoir, that temporarily stores up storm flow during floods. This flood storage effect of agricultural land, which is known as the flood mitigation function, is one of the many important functions for country conservation which have been working from the very beginning days of agriculture.

In this paper, the flood mitigation function of agricultural land in a flat low-lying area with creek networks has been investigated quantitatively. First, three virtual basin models were constructed by selecting the typical characteristics of the flat low-lying area in the Saga plain facing the Ariake Sea: paddy field basin model, upland field basin model and urbanized basin model. Second, the difference of flood runoff characteristics caused by the land utilization, the creek area ratio, and the existence of optimal control of drainage facilities, was evaluated using numerical simulations from the viewpoint of flood mitigation. Finally, an indicator to estimate the flood mitigation function of agricultural land in a flat low-lying area was studied in a macro-view.

It was concluded that the flood mitigation function of agricultural land in a flat low-lying area with creek networks could be evaluated by the macro-indicator MI , consisting of three sub-indicators, *i.e.* L_a for the land utilization, L_b for the creek area ratio, and L_c for the optimal control of drainage facilities. It was also suggested that the fuzzy reasoning was an effective technique for the optimal control of the drainage system in a flat low-lying area with creek networks.