

# 中山間地における水田の耕作放棄が流出に及ぼす影響

The Effect of Abandoned Paddy fields on Runoff Characteristics in Small Mountainous Basins

吉村亜希子\* 石田憲治\* 渡嘉敷勝\*

Akiko YOSHIMURA Kenji ISHIDA Masaru TOKASHIKI

(農業工学研究所\*)

(National Institute for Rural Engineering)

## I はじめに

中山間地域における深刻な過疎化と高齢化は、農業を取り巻く経済的條件の低下のもとで、耕作放棄地を漸増させている。耕作放棄地の増加は国土保全機能の低下にもつながり、たとえば平成6年度の「土砂災害抑制機能調査」(新潟県牧村)によれば、水田の耕作放棄と土砂災害発生確率との関係は耕作放棄以前に比べ3倍以上であることが明らかにされている<sup>1)</sup>。

このように流域内での農地利用変化は、その流域の水循環の変化をもたらし、これまで築かれてきた健全な水循環バランスを破壊させる。これが国土保全機能の潜在的な低下を生じ、豪雨時の災害等を誘発している。こうした災害の増加は農村地域住民の定住空間としての中山間地域の存在を危うくしている。

中山間地域の持続的な発展のためには、適正な土地利用計画の策定が不可欠であり、そのためには、水循環の健全性を損なう耕作放棄の影響を流出変化の解明を通じて明らかにすることにより、農地再編計画の基礎資料として活用する必要がある。

そこで本研究では、耕作放棄の発生など農地利用状況が変化した中山間小流域に試験区を設定し、試験区における農地利用変化に伴う流出変化を既存の水文流出モデルを用いて解析するとともに、試験区における流出量の連続観測を行い、この実測データをもとに流出の変化の検討を行った。

## II 試験地区の概要

### 1 地区の概要

試験区は中山間地域に位置する、山形県寒河江市T集落内に設定した。寒河江市の気象は内陸型であり、市内の水田の灌漑期間は5~8月である。根雪期間は12~3月、年間平均降水量は1,255mmで、あまり降雨の多くない地域である。T集落は寒河江市北部の中山間地域に位置し、14の水田団地からなる集落である。水田面積は111.49ha、そのうち現在29.03haが耕作放棄され、放棄率は26.0%である。集落内の水田のほとんどは整備されており、不整形か0.2ha以下の未整備水田である。このT集落内の中央部に位置する傾斜1/10の水田団地内に試験区を設けた。

試験区は水文流出モデルを適用することを考慮し、水位流量観測が容易であり、調査・観測の協力が得られること、耕作状況が試験区ごとに均一であり、かつ比較のために、二つの試験区が近接していることを条件に選定した。採用した耕作



図1. 試験区概要図

放棄水田と、耕作水田がそれぞれまとまって隣接する小集水域である。また、水の流れについては流入地点が確認できる。

耕作が放棄されている方を試験区 A (放棄区)、耕作が行われている方を試験区 B (耕作区) とする (図 1)。各試験区の集水面積、耕作面積等の諸元は表 1 に示す。

表 1. 試験区の諸元

試験区	A (放棄区)	B (耕作区)
流域面積 (ha)	6.9	4.7
耕地面積 (ha)	0.37	1.04
耕地率 (%)	5.4	22.2
放棄面積 (ha)	0.37	0.36
放棄率 (%)	100	34
斜面勾配	1/3.4	1/4.0

試験区 A ではすべての水田で平成 2 年より耕作が放棄されており、放棄後、植林された部分と、そのまま放置され雑草が生い茂っている部分が混在する。これに対し試験区 B では、一部の耕作放棄地を除きほとんどの水田で近隣の農家による水稲の作付けが継続されている。

## 2 試験区の調査および観測方法

各試験区の流域区分は、山地部は航空写真より作成された 1/2,500 の地形図、水田部は地形図と現地調査により行った。試験区の流域面積及び耕地面積は 1/2,500 の地形図から計測した。また、試験区の水田の畦畔高、欠口などは一筆ずつ計測を行い、放棄による形状の変化を把握した。流出量の観測は、各試験区の流出が集まる地点 (図 1 の●) に自動計測が可能な水圧式水位センサーを設置し、10 分ごとに水位の観測を連続して行うとともに、観測期間中における十数回の流量観測から水位流量曲線を求めて流量に換算することとした。また 1999 年度流出量の観測結果から、試験区 B では流域外からの用水流入による影響が大きいことから 2000 年度からは試験区 B の中で耕作水田のための灌漑用水が入っている用水路 (図 1 の○) にも水圧式水位センサーを設置し、同様の観測を行った。観測期間は 1999 年 7 月～11 月および 2000 年 5 月～11 月の 2 カ年の灌漑期を含む期間、観測を行った。

なお、観測データは流量に変換した後、各試験

区間での比較を行うために流出量を面積当たりの流出高に換算した。降雨データは長期の解析では試験流域近傍のアメダス観測地点を、観測期間中の流出解析には近傍の観測資料<sup>注 1)</sup>を用いた。観測期間中の降雨は、近傍アメダス観測地点の過去 38 年間 (うち 3 年間欠測) のデータから求めた確率降雨と比較検討を行った。観測期間中の日最大降雨は、1999/9/15 の日降雨 122mm であり、日降雨量としては 50 年確率に相当する大きな降雨であった。そのほかには大きな降雨はなかった。

## III 水田の耕作放棄による流出変化の検討

### 1 水文流出モデルによる流出変化の検討

#### (1) 水文流出モデルの概要

水文流出モデルはこれまで、流域の特徴、解析の目的などにあわせて雨水流モデルやタンクモデルなどいろいろなモデルが提案されてきた。本研究では、中山間水田の土地利用変化の物理的な部分を再現し、流出変化を求めるため早瀬<sup>2)</sup>が提案した、流域全体を山地域と水田域を分割して、解析を行うモデルを用いた。

山地流域では、流域をいくつかの矩形斜面と流路が組み合わさったものと見なし、これらの斜面や流路における雨水の流下現象を、「流れの運動法則」と「連続の関係」を用いて水理学的に追跡する雨水流モデル (Kinematic wave 法) を用いて解析する<sup>3)</sup>。水田部は欠口という切り欠きをもつ貯水池と見なした。傾斜地水田では完全越流によって流出するので、水田を貯水池と見なし、水田から流出する流量を堰の公式を用いて求めた。なお、堰の公式は畦畔の形に近いことから台形堰 (本間の式)<sup>4)</sup>を用いた。

#### (2) 土地利用条件のモデル化の前提条件

上記モデルでは流域からの流出要素のうち、直接流出のみを対象にしている。このため実際の降雨から直接流出に関与する有効雨量を求める必要がある。有効雨量の推定方法は、その簡便さを重視して、雨水保留量曲線法を用いた。流域における雨水保留量は土地利用条件によって大きく異なるので山地、耕作水田、耕作放棄の 3 つに分類して算定した。山地の値は、流域における山地の占める割合の多い試験区 A の観測流出量から求めた。試験区 A は流域面積に占める水田の割合

が小さく、また放棄後の年数も経過しているため、山地の値に近いと考える。水田域における主な雨水保留分は畦畔欠口高に貯留される雨水量であるとされている<sup>5)</sup>。このため、試験区水田の湛水量とほぼ等しい文献値の水田及び放棄水田の雨水保留量曲線<sup>3)</sup>を使用した(図2)。

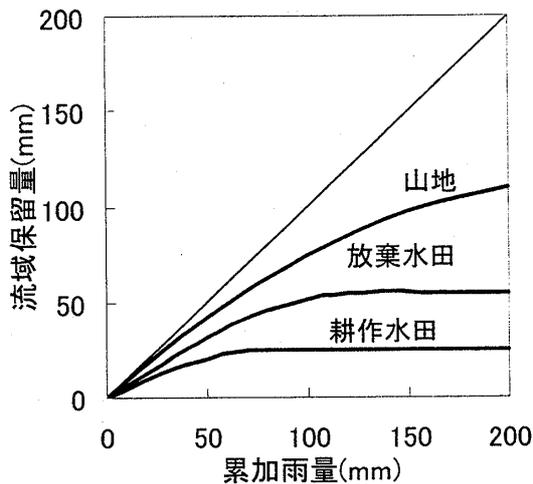


図2. 雨水保留量曲線

各モデルについて要約して整理すると以下の通りである。

- ①山地モデル: 開田前もしくは放棄後長い時間が経った場合を仮定して流域全体を森林とする雨水流モデルを用いる。
- ②耕作水田モデル: 耕作が行われている水田を想定し、畦畔高、欠口高のパラメータを実測値にあわせ、また水稻栽培の作期にあわせた湛水深パラメータを与える。
- ③放棄水田モデル: 耕作放棄水田は、水田の畦畔が摩耗し、欠口も大きく崩れた場合を想定する。この場合、モデル部分の畦畔高、欠口高、欠口幅のパラメータを実測値にもとづいて変化させる。また、②、③の水田上流山地には山地モデルを適用する。

(3) 観測流域のモデル化および計算結果

以下の点に注意して調査流域のモデル化を行った(図3)。

- ①試験区A,Bともに水田1筆が1タンクとしたが、試験区Bのなかの小さい水田は一つにまとめて1タンクとした。
- ②試験区Aでは中央の4筆の水田以外は放棄後植林され、畦畔も全く確認できない状況なので、山

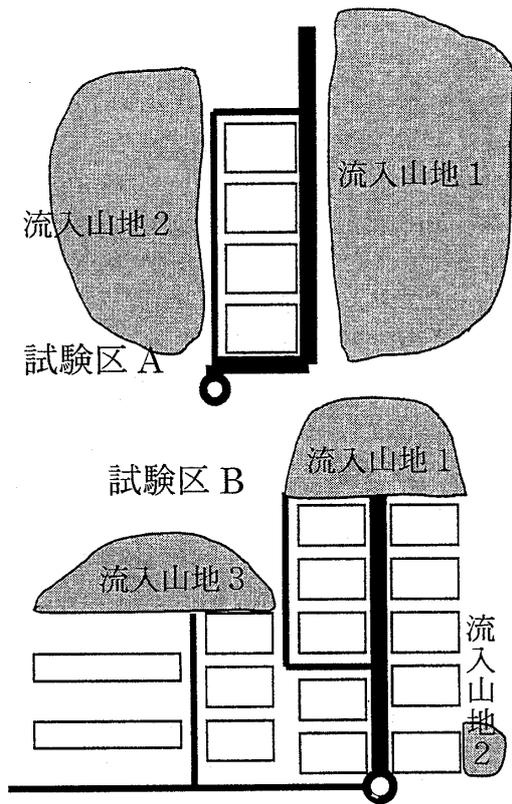


図3. 各試験区のモデル図

表2. モデルのパラメータ

	畦畔高 (m)	欠口幅 (m)	欠口高 (m)	初期湛水深(m)
放棄水田モデル	0.1	0.3	0.01	0
耕作水田モデル	0.3	0.2	0.08	0.05または0.0

※耕作区の初期湛水深は水管理にあわせた

地として扱った。

③両試験区の降雨時の流出方向は、平常時は欠口から流出するとし、洪水時は現地調査から越流する畦畔方向を決定した。

④各モデルのパラメータは、放棄水田モデルでは試験区Aの4筆の水田の平均値、耕作水田モデルでは試験区Bの水田の平均値を用いた(表2)。

以上のように作成したモデルに観測期間中の幾例かの降雨を当てはめ、試験区Aおよび試験区Bにおいて試験区内の水田が耕作された場合、もしくは放棄された場合を想定し、パラメータを変化させ、シミュレーションを行った。代表的な結果を図4、5、6に示す。グラフより以下の特徴があることが分かる。

①いずれの降雨でも、試験区Bで耕作が放棄された場合が最も流出高が高く、次は試験区Aからの流出、試験区Bで耕作された場合が流出高が最も

低い。

②試験区 A において、水田が耕作された場合と放棄された場合を比較すると、どの降雨の場合でも放棄した方が流出高が圧倒的に高い。

③試験区 B において、図 4、5 のようなまとまって降った降雨の場合、放棄された場合がピーク流出高は高くなるが、図 6 の長く続く降雨の場合は耕作率の高い試験区 A では、耕作された場合の方が、降雨後半のピーク流出高は高くなっている。

試験区 B は試験区 A に比べ、流域内における水

田の占める割合が大きい。水田が放棄された場合、畦畔高の変化により、流出の一時保留量が小さくなり、流出が大きくなると考えられる。このため、水田面積の広い試験区 B の方が耕作放棄による流出変化が大きくなると判断される。一方、試験区 A は試験区 B に比べ、流域に占める水田の割合が小さい。このため流域の保留量は畦畔の変化による一時保留量の増減よりも山地に左右される割合が大きいため、耕作された場合と放棄された場合の流出高の差が小さい。また、降雨の状況により、耕作された場合と放棄された場合の流出の特徴が異なるが、これは短時間の降雨では水田に一時保留されることによりピーク流出高を抑えられるが、長時間の降雨の場合は耕作水田の空き容量による保留量よりも、耕作放棄水田において雨水保留量曲線から求められる浸透などによる流域保留量が大きくなることから耕作水田の流出高が高くなると判断される。

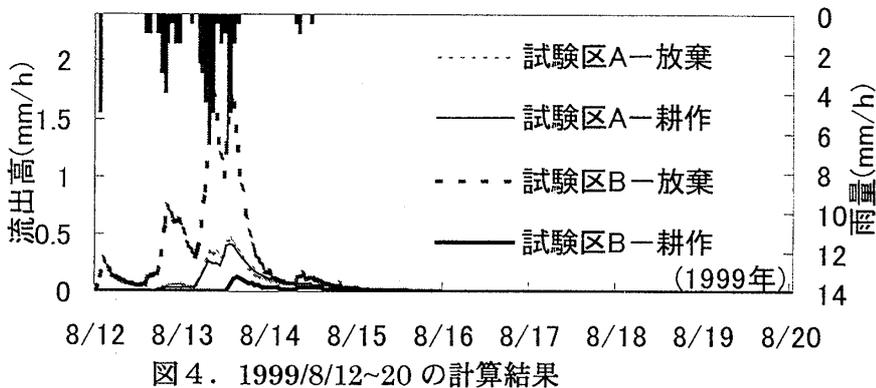


図 4. 1999/8/12~20 の計算結果

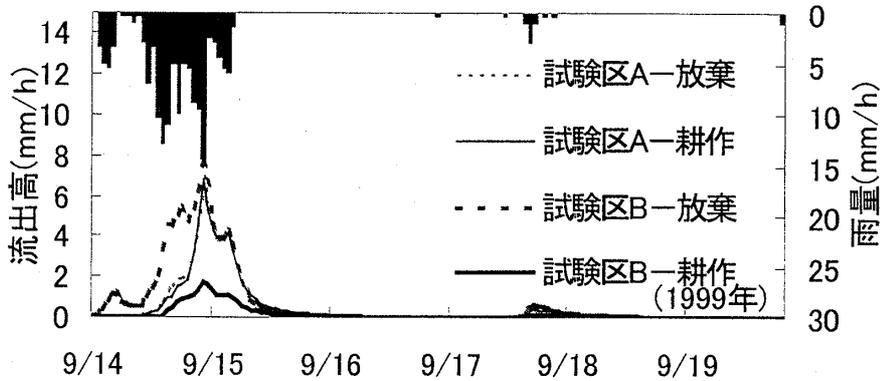


図 5. 1999/9/14~19 の計算結果

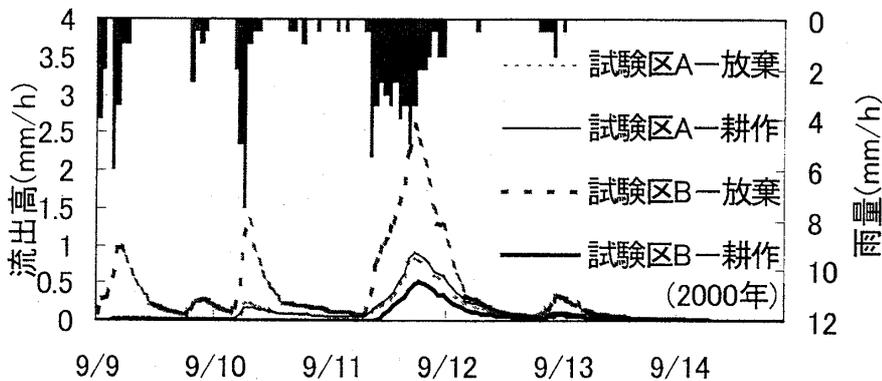


図 6. 2000/9/9~14 の計算結果

## 2 実測による流出変化の検討

次に実際の観測結果からの検討を行った。観測結果の一部を図 7 に示す。試験区 A では降雨と対応した流出であるが、試験区 B では降雨とは関係のない流出変動がある。灌漑の状況に応じて変化していることから、人為的に水管理を行っていることが分かる。特に大きい降雨であった 1999/9/15 や、2000/9/9 などでは流出ピークから急激に逡減している。これは降雨による水稻への冠水被害を軽減するためや、越流による畦畔破壊防止のために流域外へ雨水を排除する対策がとられたため、観測地点のある水路を介さずに流出したものと考えられる。

また、全体の流出高は放棄率の高い試験区 B の方が上流用水路からの流入は差し引いているにも関わらず高い。これは試験区 B の方が浸透量が多いことを示唆している。こうした背景には試験区 B が放棄後 10 年を経過しており、土壌構造の変化等の影響があると考えられる。土壌の孔隙率調査からも試験区 B の方が孔隙率が高い結果が得られている (表 3)。また試験区周辺の浸透量に関しては、試験区の下流側に位置する井戸において地下水位の観測を行ったところ、降雨後は急激に水位が上がり、ピークの後には速やかに逓減していくこと、水路管理者からの聞き取り調査では、流域内の土水路においては浸透による損失が多いことが明らかになっており、耕作水田以外では

浸透量が多いと考えられる。このために、耕作水田が多い試験区 B の流出高が高いと推察する。

#### IV 流出モデルシミュレーションと実測値からの考察

試験区においては水文流出モデルシミュレーションの結果から、また実測結果からも農地利用の変化によって流出が変化することが明らかになった。流出モデルシミュレーションの結果から、流域における耕地面積の割合の小さい試験区 A では農地利用が変化しても流出高に余り変化は見られないが、耕地面積の割合の大きい試験区 B では耕作された場合と比較し、放棄された方が流出

表 3. 農地利用変化による土壌孔隙率の変化

孔隙率 ( $pF_{0-2.7}$ )	試験区A (放棄区)			試験区B (耕作区)			森林							
	作土 (5-10cm)			耕盤 (15-20cm)			表層 (0-15cm)	下層 (15-50cm)						
	0.13	0.11	0.13	0.03	0.04	0.05	0.10	0.08	0.06	0.03	0.04	0.04	0.28	0.19

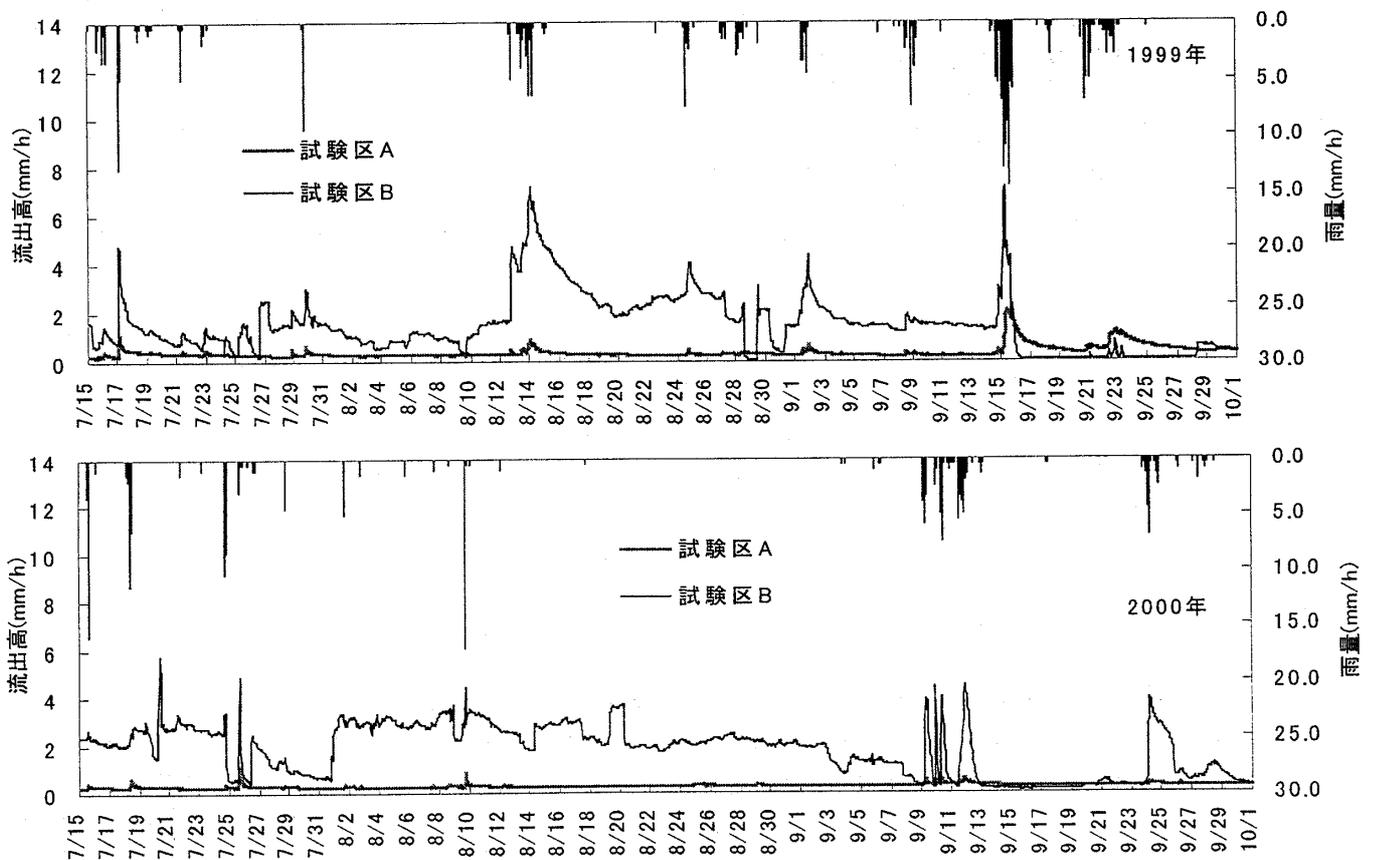


図 7. 試験区 A,B の観測流出高

高が高くなった。実際は、試験区 A ではすべての水田が耕作放棄され、試験区 B ではほとんどの水田が耕作されている。観測結果からは試験区 A と比較し、試験区 B の流出高が高い値であった。これは両試験区の下流における地下水位の観測の結果や、耕地の土壌構造変化などから考察されるように放棄により浸透量が増加していること、また耕作されている水田においては降雨時に、地表流を積極的に流域外に排除する管理が行われており、放棄による流域の物理的な変化のみを再現したシミュレーションに反映されていないためだと考えられる。今度、人為操作を組み込んだモデルを開発していく必要がある。

## V おわりに

農地利用の変化による流出変化は、耕作放棄による物理的な水循環の変化だけでなく、耕地の作付けに伴う水管理の変化による影響が大きいことが分かった。特に試験区流域では放棄されることにより圃場の土壌孔隙率が大きくなるため、下方への浸透が増加する。このことが流域内に不安定な地下水を増大させていることが示唆される。このような耕作放棄に伴う水循環の変化により、災害の可能性が懸念される。

本研究の推進に当たっては T 集落区長ほか地元関係者並びに東北農政局資源課、寒河江市役所の担当者各位及び山形大学の安中助教授に多大なるご協力をいただいた。ここに記して深謝する。

## 補注

注 1) 山形県森林研究センター降雨観測資料を加工の上使用した。

## 参考文献

- 1) 農林水産省(1997): 中山間地域の位置づけと中山間地域農業のあり方について, 食料・農業・農村基本問題調査会第4回農村部会資料
- 2) 早瀬吉雄(1992): 中山間地水田域の洪水防止機能評価, 応用水文 No.4 pp.81-89
- 3) 角屋睦(1980): 流出解析手法(その6), 農土誌 48.6 pp.37-43
- 4) 土木学会編(1999): 『水理公式集[平成11年版]』, 丸善 pp.243
- 5) 豊國永次, 角屋睦(1966): 水田地帯における流出解析について, 京大防研年報9号 pp.631-636

Two small mountainous test basins were selected to evaluate the effects of abandoned paddy fields on runoff characteristics. In the test basin A, where paddy fields occupy only 5% and all of which have been abandoned for more than 10 years, the runoff was relatively indicating the runoff characteristic were similar to those forest landuse. On the other hand, in the test basin B, where paddy fields occupy about 22% and only one-third of which have been abandoned, the runoff was generally higher and the effect of abandoned paddy fields was detected sharper than in A.