

論文題目	田んぼダムに関する研究 － 洪水緩和機能の評価と普及に向けた技術開発 －
------	---

宮津 進

新潟大学大学院自然科学研究科 博士後期課程

環境科学専攻

目次

第1章 緒論

1. はじめに.....	1
2. 既往の研究.....	2
2.1 水田のもつ洪水緩和機能の評価に関する研究.....	2
2.2 田んぼダムの洪水緩和機能に関する研究.....	4
3. 本研究の目的と意義.....	5
4. 本論文の構成.....	6

第2章 田んぼダムの落水量調整装置の設計指針

1. 落水量調整装置の分類.....	7
2. 機能一体型落水量調整装置の課題.....	13
2.1 フリードレーン調整管の概要.....	13
2.2 フリードレーン調整管の問題点.....	13
2.2.1 小降雨イベント時の田面水位上昇.....	13
2.2.2 農家の田面水管理操作に伴う落水量調整機能の不安定化.....	17
3. 機能一体型落水量調整装置の課題解消のための方策.....	18
3.1 機能分離型フリードレーン調整管の特徴.....	18
3.2 効果検証試験.....	19
3.2.1 流出抑制効果の検証.....	20
3.2.2 ゴミ詰まりの検証.....	21
3.3 効果検証試験結果.....	23
3.3.1 流出抑制効果の検証結果.....	23
3.3.2 ゴミ詰まりの検証結果.....	28
3.4 機能分離型フリードレーン調整管の開発.....	30
3.5 機能分離型フリードレーン調整管の実施率向上効果.....	30
4. 落水量調整装置の具備要件.....	32
5. 落水量調整装置の流出孔径の設計方法.....	32
5.1 水田流出量算定モデルの構築.....	32
5.2 ゴミ詰まり回避のための流出孔径下限値の設定.....	33
5.3 想定する最大降雨イベントの適用.....	33
6. 落水量調整装置の流出孔の設計結果.....	33

第3章 落水量調整装置ごとの耕区スケールでの田んぼダムの効果検証

1. 検討する落水量調整装置.....	35
2. 水田流出量算定モデルの構築.....	37
2.1 水田流出量算定モデルの概要.....	37
2.2 流出モジュール.....	38
2.2.1 排水マス.....	38
2.2.2 フリードレーン管.....	39
2.2.3 塩ビ管.....	40
2.3 田面水位モジュール.....	41
3. 水田の諸元.....	41
4. 想定降雨イベント.....	41
5. 検証結果.....	43

第4章 内水氾濫解析モデルの概要

1. 内水氾濫解析モデル開発の意義.....	53
2. 内水氾濫解析モデルの全体構成.....	54
3. 地目別流出モデル.....	55
3.1 末端排水路の概念.....	55
3.2 水田.....	56
3.2.1 田面・末端排水路水位がともに区画畦畔高未満の場合.....	56
3.2.2 田面・末端排水路水位が区画畦畔高を越えた場合.....	57
3.3 畑地および市街地.....	57
3.4 山地.....	58
3.4.1 Kinematic Wave モデルの概要.....	58
3.4.2 Kinematic Wave モデルの基礎式.....	58
4. 河川・排水路網モデル.....	59
5. 氾濫流モデル.....	60
5.1 地形適合セルの特徴.....	60
5.1.1 計算負荷軽減.....	60
5.1.2 線分境界による忠実な氾濫流挙動の再現.....	61
5.2 地形適合セルの作成方法.....	61
5.3 氾濫流の計算.....	61

第5章 流域スケールでの田んぼダムの効果検証

1. 評価対象流域.....	63
2. 西蒲原地区概要.....	64
3. 内水氾濫解析モデルの構築.....	68
3.1 河川・排水路網モデル.....	68
3.1.1 排水路および排水区域の作成.....	68
3.1.2 排水路標高データおよび排水路断面データの作成.....	68
3.1.3 排水機場のモデル化.....	68
3.2 氾濫流モデル.....	76
3.2.1 地形適合セルの作成.....	76
3.2.2 土地利用地目の判別.....	76
3.2.3 圃場整備水田の位置把握.....	76
3.3 地目別流出モデル.....	76
3.4 内水氾濫解析モデルの再現性検証.....	80
3.4.1 対象降雨.....	80
3.4.2 再現計算シナリオ.....	80
3.4.3 河川水位の再現性.....	84
3.4.4 浸水範囲の再現性.....	84
4. 流域スケールでの田んぼダムの効果の定量評価.....	89
4.1 シミュレーションシナリオ.....	89
4.2 シミュレーション結果.....	89

第6章 直接積算法による田んぼダムの経済価値の算定

1. 直接積算法による田んぼダムの経済価値の算定手順.....	99
2. 基本数量の集計および資産額の算定.....	100
2.1 家屋.....	100
2.2 家庭用品.....	101
2.3 事業所償却・在庫資産.....	101
2.4 農家償却・在庫資産.....	102
2.5 農作物.....	103
3. 浸水被害額の算出方法.....	110
3.1 家屋.....	110
3.2 家庭用品.....	110

3.3 事業所償却・在庫.....	110
3.4 農家償却・在庫.....	111
3.5 農作物.....	111
3.6 公共土木施設等被害額.....	111
3.7 間接被害額.....	112
3.7.1 営業停止損失.....	112
3.7.2 家庭における応急対策費用.....	112
3.7.3 事業所における応急対策費用.....	113
4. 田んぼダムの浸水被害軽減額の算出.....	114
4.1 家屋・家庭用品，事業所償却・在庫及び農家償却・在庫被害.....	114
4.1.1 家屋・家庭用品.....	114
4.1.2 事業所償却・在庫.....	114
4.1.3 農家償却・在庫.....	115
4.2 農作物被害.....	115
4.2.1 水稻.....	115
4.2.2 畑作物.....	115
4.3 間接被害額.....	116
4.4 集計結果.....	117
4.5 田んぼダムの年平均被害軽減期待額の算出.....	118
4.5.1 降雨規模-田んぼダム効果曲線の作成.....	118
4.5.2 年平均被害軽減期待額への換算.....	119
4.5.3 年平均被害軽減期待額の算定結果.....	120
5. 全解析対象流域での経済価値の算定結果.....	120

第7章 田んぼダムの経済価値の簡易評価手法の開発

1. 経済価値評価額の簡易評価モデルの開発意義.....	122
2. 田んぼダムの経済価値評価額の簡易評価モデルの構築.....	122
3. 説明変数の選定根拠.....	123
3.1 田んぼダムの洪水緩和の規模および浸水のしやすさを表現する説明変数.....	123
3.1.1 非浸水範囲の水田割合と田んぼダムの洪水緩和効果の関係.....	123
3.1.2 圃場整備率と田んぼダムの洪水緩和効果の関係.....	123
3.2 浸水被害額の大きさおよび浸水のしやすさを表現する説明変数.....	124
4. 説明変数のデータ整備.....	124

4.1 浸水範囲の推定.....	124
4.2 水田・畑地・市街地の集計.....	125
4.3 水田・畑地・市街地の資産価値の集計.....	126
4.4 圃場整備率の集計.....	126
5. 経済価値評価額の簡易評価モデルの検定.....	127
5.1 説明変数同士の多重共線性の検証.....	128
5.2 被説明変数 Y に対する説明変数 X の寄与度.....	129
5.3 簡易評価モデルによる経済価値評価額の精度検証.....	130
第8章 田んぼダムの戦略的配置手法の開発	
1. 評価対象流域の作成.....	131
1.1 自然排水流域の作成.....	131
1.2 機械排水流域の作成.....	131
1.3 自然排水流域と機械排水流域の結合.....	131
2. 田んぼダムの経済価値の簡易評価モデルの適用.....	133
3. 田んぼダムの取組適地選定結果.....	138
第9章 総論	
1. 各章で得られた成果.....	140
2. 今後の課題と展望.....	143
参考文献.....	145
謝辞.....	149

第1章 緒論

1. はじめに

地球規模の気候変動が懸念される中、IPCCは、第4次報告書第1作業部会報告書で、大雨頻度が増加し、ほとんどの陸地における極端な高温や熱波、大雨の頻度は引き続き増加するとの見解を示した（IPCC, 2007）。我が国においても、近年、降雨パターンが変化し、短期的な大雨の出現頻度が増加傾向にあるという報告がある。気象庁の「異常気象レポート 2005」によると、日降水量 100mm 以上および 200mm 以上の日数は 104 年間（1901～2004 年）で有意な増加傾向があり、最近 30 年間（1975～2004 年）と 20 世紀初頭の 30 年間（1901～1930 年）を比較すると、100mm 以上日数は 1.19 倍、200mm 以上日数は 1.46 倍の増加がみとめられるとしている（気象庁, 2005）。実際、近年では主に梅雨時期にかけて毎年のように豪雨による大規模な水害が発生している（例えば平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨、平成 24 年 7 月九州北部豪雨など）。また、大雨の発生頻度が増加する一方で、極端な少雨の年も増加しており、全国的に年降水量の変動幅が拡大しつつあると報告されている（気象庁, 2011）。

降雨パターンの変化に加え、国土の約 7 割が山岳地帯である我が国は地形勾配が急であるため、雨水の流達時間が短く、水害に対して構造的に脆弱である。こうした国土条件に加えて、近年の農業の効率化、農地の都市転用および荒廃化が洪水被害増加に拍車をかけている。

全国の農地では土地改良事業により、区画整理、農道の整備、用排水路の整備等の基盤整備事業が行われたことで、農作業の効率化・省力化、農業作業性の飛躍的な向上をもたらした。その一方で、整備され直線化された排水路網は、農地からの流出率およびピーク流出量を増加させるとともに、洪水到達時間の短縮を招くことから、水害発生リスクを上昇させる（長谷川・鎌田, 1998；長谷川ら, 1999；小林ら, 1984）。

農地の都市転用は、人工物による地表面の被服による流出速度・ピーク流出量の増加を引き起こし（千家ら, 1981）、水害危険度を上昇させる（早瀬・角屋, 1988）。また、洪水時の河川水位より低い氾濫源に人口を集中させることにより、河川からの外水氾濫の他、内水氾濫による被害を増大させている。内水氾濫による被害の発生頻度は年々増加しており、全国の 1993 年-2002 年の 10 年間の外水および内水氾濫被害額の割合を比較すると、内水氾濫被害が 46% に及ぶ（国土交通省, 2013）。

また、中山間地域における深刻な過疎化と高齢化は耕作放棄地を漸増させ、農地の荒廃化を招く。これによって、農地からの流出率およびピーク流出量が増加し、農地の洪水緩和機能（流域保留量）が低下する（千葉ら, 1997；増本ら, 1997；吉田ら, 2012；吉村ら, 2001）。

このように、我が国は気象条件及び国土条件の変化から、今後も洪水被害及びそれ

に伴う経済的損失は増大するものと予想される。我が国の洪水対策は、連続堤の増強に代表される河川整備およびダム・排水機場建設といった「集めて迅速に流す」方式による洪水の制御が実施されてきた。しかし、ダムや排水機場の建設などの大型土木工事による洪水対策は、関連事業費の削減や、周辺環境への負荷増大の懸念から、大きな進展は望めない。近年の急速な気象・国土条件の変化による洪水被害の拡大に対応するためには、従来の「集めて迅速に流す」方式による洪水制御（以下、従来の洪水対策）に加えて、河川流域での上・下流一体となった新たな洪水への対応策の必要性が指摘されている（例えば、増本ら、1998）。

こうした状況を踏まえ、国土交通省は、平成 21 年度に「今後の治水対策のあり方に関する有識者会議」を発足させ、幅広い治水対策を立案している（国土交通省、2010）。この中では、今後の治水対策には、流域全体で治水対策を分担し、それぞれの地域で可能な限り自己完結的に洪水を処理することで、河川へのピーク流出量を軽減し、治水安全度の確保を図ることが重要であるとの見解を示している。そのために、従来の洪水対策に加えて、(1) 水田・森林・ため池・調整池等の一次貯留機能を利用した「河道への流入量を減らす」方式の流域貯留対策、(2) 輪中堤・二線堤防・霞堤防・遊水地等に「氾濫流を制御・誘導する」方式の氾濫原減災対策を総合的に実施し、流域一体で洪水を制御する「流域治水対策」という新たな考え方を示している（国土交通省 2010）。

こうした中、既存施設施設の機能を補完する対策として、我が国の農地の約 3 分の 2 を占める水田の降雨貯留機能を生かした、「田んぼダム」による洪水対策が注目されている。田んぼダムとは、落水量調整装置によって水田の流出断面積を縮小することで、水田に降った雨水を一時的に水田に貯留し、下流域の湛水被害を軽減する取組のことである。田んぼダムは、水田地帯が本来有する洪水緩和機能を人為的に高める点に基本的特徴があり、とりわけ溢水による経済損失の軽減が求められる市街地、畑地、樹園地等の内水氾濫の軽減に有効である（例えば、吉川ら 2009a, 2010a）。普及主体である行政機関の働きかけに加え、筆者らによる効果検証の結果、田んぼダムの取組は新潟全県に拡大し（取組面積：約 9,530ha, 実施地区数：36 地区（2012 年現在））、県外でも新潟県の事例を参考に取組が拡大している。新潟県では、農業農村整備長期計画（新潟県、2011）の施策目標の一つに田んぼダムの普及および拡大を掲げ、今後、更なる取組の普及が期待される。

2. 既往研究

2.1 水田のもつ洪水緩和機能の評価に関する研究

農地の多面的機能が注目される中、水田が有する洪水緩和機能は、様々な研究により評価されてきた。志村（1982）は、水田の雨水貯留機能は水田面積と畦畔の高さで

決まるとし、全国の水田面積 300 万 ha に畦畔高 30cm から水稻栽培に伴う湛水深 3cm を差し引いた 27cm を乗じて、貯留可能容量は 81 億 m^3 であると概算した。これは、水田の洪水防止・緩和機能は、水田が畦畔に囲われている構造を持つことで降雨を貯留することができる、結果的に下流域の洪水を防いでいるという考えである。このような考え方に基づき機能を評価した研究は多い。

例えば、中村ら（1994）は、小貝川下流部の土地利用形態の変化に伴う排水特性の変化を検討し、水田の減少に伴う流出量の変化から水田の洪水緩和機能を評価した。この中で、水田の畦畔余裕高を畦畔高 150mm、湛水深 50mm から 100mm と推定し、対象水田地帯の面積 4,660ha の洪水調節容量は、灌漑期に 466 万 m^3 、非灌漑期に 700 万 m^3 であるとした。さらに、この洪水調節容量を持つ洪水調節池の建設事業費と比較し、経済価値は灌漑期で約 600 億円、非灌漑期では 900 億円と評価している。

平松ら（2001）は、筑後川下流クリーク低平農地域を対象とし、流域を 7 個の水田群と 4 個の河道でモデル化し、数値実験により洪水緩和機能の評価を行なった。流出解析の結果、総降雨量 513mm の時の最大水田流域貯留量は 273mm であると試算している。これにより、志村が概算した貯留可能容量（270mm）は、100 年確率降雨の評価値に相当するとしている。

中西ら（2002）は、ため池の雨水貯留可能容量を評価しているが、香川県と大阪府内のため池の雨水貯留の空き容量を試算し、その結果と志村の求めた水田の貯留可能容量を比較し、ため池は水田を上回る貯留可能容量を有していると結論付けた。

これに対し、流出解析分野の研究者からは、降雨の時間的な分布状況や水田からの落水量の実態から見積もるべきで、流出解析によって洪水抑制機能を評価すべきであるという意見が出された。例えば、早瀬（1994a）は中山間地水田域を対象に流出解析を行い、中山間地の水田が洪水抑制機能に果たす役割を評価し、中山間地の水田が耕作放棄されることによる影響を評価した。これによるとピーク流出量を抑える効果があることを明らかにしているが、水田貯留量自体は志村（1982）が試算したほど大きいものではないことを明らかにしている。それは、水田は雨水を貯留と同時に落水口から流出しているからであり、水田の雨水貯留量は降雨強度と落水量の兼ね合いで決まることを示唆している。

中西ら（2002）は、比較対象とした水田の貯留可能容量の試算値は、あくまで志村の手法により求めたものであり、実際の水田の貯留量は降雨パターンや水田の状態では異なることから、実際の水田がどの程度の貯留効果を有するか物理的現象を明らかにする必要があると指摘している。また、増本（1998）は、水文現象として畦畔高まで雨水が貯留されるという前提への疑問があることや、水田の水管理により算定量に違いが出ることを指摘している。早瀬（1994b）は、貯水ポテンシャルの評価に関して、特に傾斜地水田では豪雨時に農家が畦畔を切って被害防止に努めることから、水田に

雨水を 30cm 溜めることを期待した評価は難しいとしている。

事例的な評価として、大西ら（2004）は、傾斜地水田群における貯留特性を、実測値を元に水収支特性の実態を明らかにしている。得られた結果から、水田群への流入水（取水+降雨）はできるだけ貯留し、排水は極力抑えるような水管理を行なっているにも関わらず、地表面流去量が流出量の 37%-48%を占めていることを明らかにした。この対象地の場合では、流出量に対する浸透量成分の割合が湛水深の増加に伴って大きくなっていく傾向が見られるため、畦畔高以下でも流入水の全てが貯留されているわけではないとしている。

2.2 田んぼダムの洪水緩和機能に関する研究

田んぼダムの洪水緩和機能は、筆者らの研究グループが中心となって検証を行ってきた。以下に田んぼダムに関するこれまでの研究成果を示す。

(1) 水田耕区および流域スケールでの田んぼダムの洪水緩和機能の評価

田んぼダム発祥地である新潟県村上市神林地区において現地試験を実施し、田んぼダムの水田耕区スケールの流出特性を把握した（吉川ら，2009a）。この結果に基づき、流域スケールでの田んぼダムの効果を 1 次元不定流解析モデルによって定量評価した（吉川ら，2009b）。その結果、対象とした降雨イベント（日降水量 101.8mm）において田んぼダムを流域で 100%実施した場合、幹線排水路のピーク流量を 25~29%減少することが示された。

(2) 垂直設置型調整板の流出孔形状の設計

神林地区の田んぼダムは水田の排水マスに落水量調整板を水平に設置することで落水量抑制が図られるが、水田の排水機構は地域によって異なり、田んぼダムの落水量調整方法もそれに対応させる必要がある。低平農業地帯である新潟県白根郷地区において、適切な落水量調整技術を確立するため、田んぼダムの中核施設である垂直設置型落水量調整板の流出孔形状の設計を行った結果、横長四角形の孔が最良であることが明らかとなった（吉川ら，2010a）。

(3) 未圃場整備水田における流域スケールでの洪水緩和機能の評価

我が国の農地の圃場整備率は全国平均で約 60%であり、残りの 40%は未圃場整備水田（以下、未整備水田）である。本稿では、未整備水田における田んぼダムの実施に向けて、新潟県新潟市横江地区の未整備地区を対象に未整備水田の排水方式に対応した落水量調整キャップを開発した。その効果を 2 次元不定流解析に基づく氾濫解析によって定量的に評価した。その結果、田んぼダムの導入により、取組を実施しない場

合と比べ、浸水面積が約 1/3 減少するという結果が得られ、未圃場整備地域においても田んぼダム有効であることが明らかになった（吉川ら，2010c）。

3. 本研究の目的と意義

これまでの研究では、田んぼダムの洪水緩和機能の効果検証を目的とし、知見の蓄積を図ってきた。現在、新潟県内では既に約 9,530ha の水田に導入され（2011 年現在）、取組が広がりつつある。しかし、本格的な普及には、なお解決すべき課題は多い。

第 1 の課題は、高い普及性を備えた落水量調整技術が確立されていないことである。既往の研究では、水田の田区排水施設が異なる（1）圃場整備地域（新潟県神林地区）、（2）低平圃場整備地域（新潟県白根郷地区）、（3）未圃場整備地域（新潟県横江地区）を対象として、室内水理実験、現地観測および水理計算によって、現地に適した落水量調整装置を開発した。しかし、田区排水施設は多様であるため、田んぼダムの普及が進むにつれて、上記 3 つの調整装置では対応しきれない場合が生じることが予測される。田んぼダムの普及には、水田の立地条件、基盤条件および田区排水施設に即した落水量調整装置の設計指針の開発が必要となる。

第 2 の課題は、田んぼダムの洪水緩和機能の経済価値の評価手法が確立されていないことである。これまでも、田んぼダムの導入を検討している自治体および行政機関から経済価値算定の依頼が多数寄せられているが、こうした要求に対応できていない。田んぼダムの費用対効果の提示が取組導入への決め手となるため、経済価値の評価手法の開発が求められる。

水田の洪水緩和機能の経済評価は、代替法が用いられてきた。農業総合研究所（1998）は、志村（1982）による水田貯留可能容量の概算結果に基づいて、治水ダム建設費を代替財として、全国の水田の洪水緩和機能の経済価値を 2 兆 8,789 億円/年と試算した。また、三菱総合研究所（2001）・日本学術会議（2001）は、同様に治水ダムを代替財として全国の水田の洪水緩和機能の経済価値を評価し、3 兆 4,988 億円/年と試算した。

増本ら（2004）は、用排水路を含めた水田域の洪水緩和機能を遊水池で代替する経済評価法を定式化した。その結果、計画洪水時の水田の貯留容量を遊水池容量で代替できることを示した。利根川流域を対象として、計画高水流量に対応する水田の貯留量（ m^3 ）を遊水池の建設費で代替したところ、100 年確率降雨イベントにおいて利根川流域で 3,214 億円、全国に換算した場合には 2 兆 6,321 億円と試算した。

代替法は具体的な財やサービスに置き換えて評価するため理解しやすいこと、計算が煩雑でないことなどの利点があるが、代替材に何を選択するかで評価額が大きく変化するという課題がある。田んぼダムの浸水被害軽減効果は取組地域の土地利用形態などによって大きく異なるため、代替法では実際の評価額と乖離が生じる可能性を否定できない。実態に見合った評価には、氾濫解析シミュレーション等に基づき被害規

模を算定し，建築物などの財産面や農業などの産業面の被害額を積み上げる直接積算法によって評価することが求められる。

第 3 の課題は，田んぼダムの取組の普及戦略が確立されていないことである。田んぼダムの洪水緩和機能は地域の特性（流域における水田面積の割合，水田の立地条件，基盤条件など）に大きく依存し，取組実施面積との単純な比例関係を持たない。田んぼダムの導入地域は無作為に決定するのではなく，洪水緩和機能と必要性が共に高い地域を選定することが重要である。これは，適所に取組を導入することによって費用対効果に基づく財政面でのメリットに加え，広域スケールでの治水対策としてより大きな効果が期待できるからである。そのためには，田んぼダムの洪水緩和機能の規模に基づく取組適地の選定手法を開発し，より高い機能の発揮が期待できる地域において，優先的に取組の推進を図る等の普及戦略を確立することが求められる。

本研究では，今後の田んぼダムの全国展開，流域全体を俯瞰する治水対策としての展開を目指し，田んぼダムの洪水緩和機能を耕区および流域スケールで定量評価することに加え，普及に関する上記 3 つの課題を解消する技術・手法を確立することを目的とする。

4. 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。第 1 章では，研究の背景，既往の研究，研究の意義・目的と構成について述べる。第 2 章では，高い普及性を備えた落水量調整装置の設計指針について述べる。第 3 章では，現地試験・観測結果に基づいて構築した数値モデルを用いてシミュレーションを実施し，水田耕区スケールでの田んぼダムの流出抑制効果について検証する。第 4 章では，第 3 章で構築した数値モデルを援用して開発した内水氾濫解析モデルの概要について述べる。第 5 章では，構築した内水氾濫解析モデルを現地流域に適用し，再現性を検証した後，10 年確率，30 年確率，50 年確率，100 年確率雨量を想定したシミュレーションによって流域スケールでの田んぼダムの洪水緩和効果を定量評価する。第 6 章では，直接積算法による田んぼダムの経済価値評価手法を開発し，第 5 章で得られた洪水緩和効果の評価結果の経済価値を算定する。第 7 章では，第 6 章で得られた結果に基づき開発した経済価値簡易評価手法について述べる。第 8 章では，経済価値簡易評価手法を援用して開発した田んぼダムの取組適地選定手法について述べる。最後に第 9 章では，各章で得られた結果についてまとめる。

第2章 田んぼダムの落水量調整装置の設計指針

落水量の調整は、流出抑制効果が高ければ良いというものではない。畦畔越流の回避などの安全性の確保や通常の水管理への影響なども考慮する必要がある。本章では、現在供用中の落水量調整装置の概要および課題を整理し、高い普及性を備えた落水量調整装置開発のための設計指針、および流出孔径の設計方法を示す。

1. 落水量調整装置の分類

これまでに考案された田んぼダムの落水量調整装置は、田面水位管理機能と落水量調整機能を併せ持つ「機能一体型」とそれらを分離させた「機能分離型」の2種類に大きく分類できる。すなわち、田面水の流出を直接的に孔で抑制する方式は、孔が田面水位管理機能と流出量抑制機能をもつため前者に当り、堰板等管理された田面水位を越えた余剰水の流出量を別途設けられた孔で抑制する方式は、堰板と孔が田面水位管理機能と流出量抑制機能それぞれ担うため、後者となる。

村上市神林地区で採用されている排水マス底部に設置する水平設置型落水量調整板（**図2.1**，**写真2.1**）や上越市三和地区，長岡市深沢地区等で採用されている排水マスの内部に設置する垂直設置型落水量調整板（**図2.2**，**写真2.2**）は、調整板とは別に田面水位管理用のセキ板が設けられており、セキを越えた流出水を調整板で抑制するといった点で機能分離型といえる。これに対し、見附市貝喰川地区において採用されているフリードレーン調整管（**図2.3**，**写真2.3**）は、フリードレーン管の側面に開けられた孔に、田面水位の管理と落水量の調整の両機能をもたせるため、機能一体型である。この他、新潟市白根郷地区で採用されている落水量調整金具（**図2.4**，**写真2.4**），新潟市横江地区で採用されている落水量調整キャップ（**図2.5**，**写真2.5**）が機能一体型である。

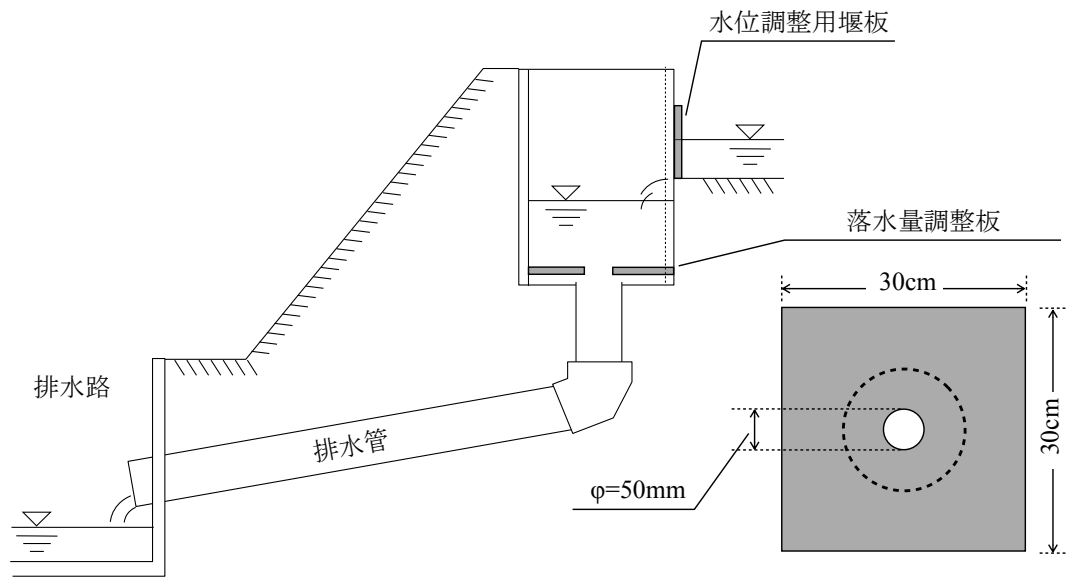


図 2.1 水平設置型落水量調整板（村上市神林地区）

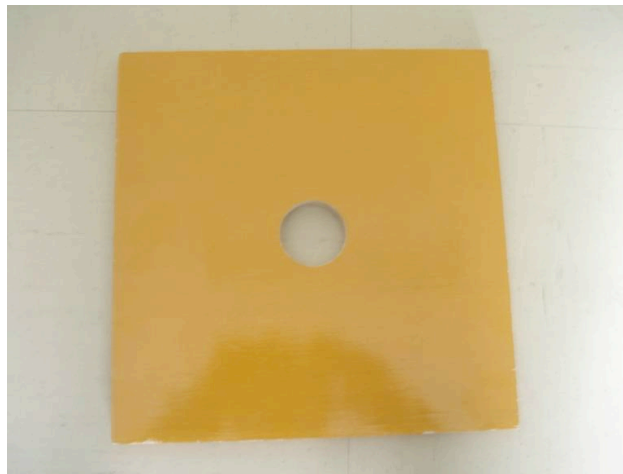


写真 2.1 水平設置型落水量調整板（村上市神林地区）

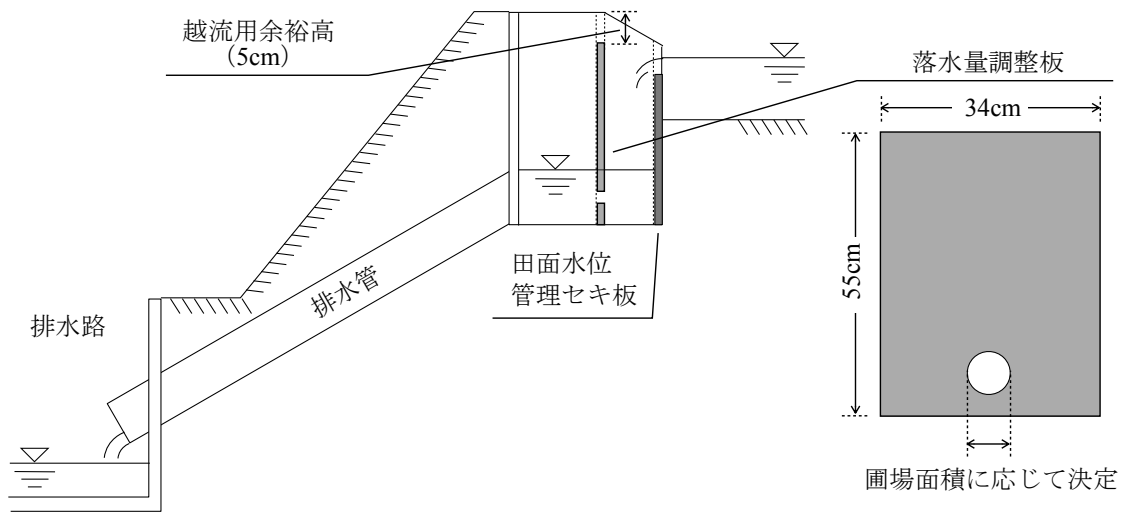


図 2.2 垂直設置型落水量調整板（長岡市深沢地区，上越市三和地区）



写真 2.2 垂直設置型落水量調整板（長岡市深沢地区，上越市三和地区）

機能一体型落水量調整管

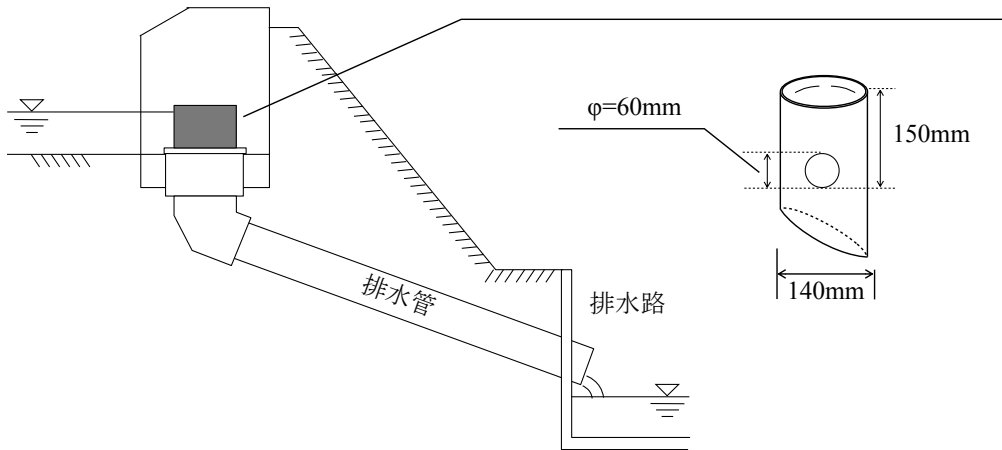


図 2.3 機能一体型フリードレーン調整管（見附市貝喰川地区）



写真 2.3 機能一体型フリードレーン調整管（見附市貝喰川地区）

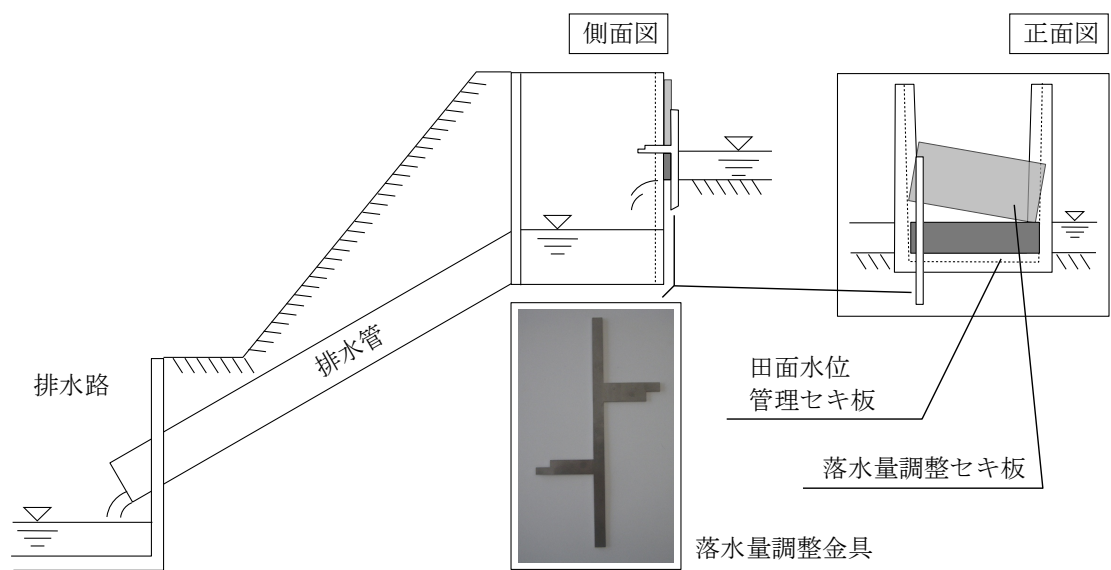


図 2.4 落水量調整金具（新潟市白根郷地区）



写真 2.4 落水量調整金具（新潟市白根郷地区）

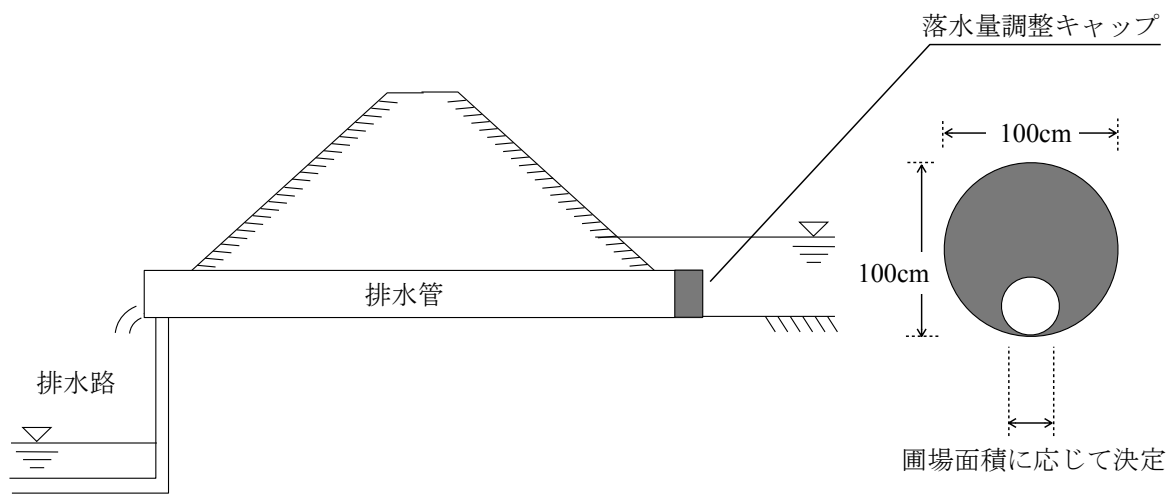


図 2.5 落水量調整キャップ（新潟市横江地区）



写真 2.5 落水量調整キャップ（新潟市横江地区）

2. 機能一体型落水量調整装置の課題

田んぼダムは、大きな流出抑制効果をもつことが第一の条件としてあげられる。一方、小規模降雨時には、できるだけ管理水位に影響を与えないことが農家の積極的な取組への参画には必要な条件である。こうした観点から検証した結果、機能一体型落水量調整装置には以下2つの問題点が確認された。①田面水流出を直接的に抑制するため小規模降雨イベントでも田面水位が上昇し、営農に影響がある。②落水量調整機能が農家の田面水位管理によって操作されるため、安定した落水量調整機能の確保が期待できない。ここでは、現在供用中のフリードレーン調整管を例に問題点を整理した。

2.1 フリードレーン調整管の概要

見附市の田んぼダム事業区域内の水田は圃場整備時に田区排水施設としてフリードレーン（口径140mm）が設置された。フリードレーンは、湛水・落水の操作が簡便で、管理水位が自在に操作できる点に特徴がある（**図2.3**，**写真2.3**）。フリードレーンの設置数は、水田面積に応じて決められており、水田面積60a以下は1箇所、60a以上は2箇所である。

本地区の田んぼダムでは、フリードレーンの管の側面に円形孔（直径60mm）を設置する落水量調整方法（フリードレーン調整管）を採用した。流出断面積を管上面の140mmから管側面60mmに縮小することで、水田からのピーク流出量を抑制する（**図2.3**，**写真2.3**）。通常時は、孔の下縁を管理水位に合わせて水位の調整を行うが、大雨時には管理水位以上になった田面水が流出孔から排水される。管上端は、畦畔高より5-10cm低い位置に設定するが、これは、想定外の大雨時に過剰湛水した場合の余水吐として機能する。

2.2 フリードレーン調整管の問題点

2.2.1 小降雨イベント時の田面水位上昇

フリードレーン調整管は、フリードレーン管側面に設けられた孔によって流出抑制するため、低湛水時の流出断面積が制限され、小降雨時に田面水位が上昇することが懸念された。そこで、水田耕区の田面水位および流出量を経時的に算定できる「水田流出量算定モデル（**図2.6**）」を用いて、小規模降雨時にフリードレーン調整管が田面水位に与える影響を評価した。「水田流出量算定モデル」の詳細は第3章に示す。

5つのシミュレーションシナリオ（①10mm/day，②20mm/day，③30mm/day，④40mm/day，⑤50mm/day）を設定し、管理水位を基準とした最大田面水深および降雨後の管理水位への影響時間を算定した。検証で用いる水田の諸元は、面積：50a，減水深：15mm/day，畦畔高：20cm，水口と水尻の高低差：3cmとした。

各シナリオの管理水位を基準とした田面水位変化を**図2.7**，管理水位を基準とした最

大田面水深および管理水位への影響時間をそれぞれ表2.1(a), 表2.1(b)に示す.

フリードレーン調整管を用いて田んぼダムを実施した場合, 日降水量10mmでも実施しない場合と比較して田面水深が増加することが示された. また, 通常排水時からの排水遅延時間は, 日降水量10mmでは約17.6h, 日降水量50mmでは約45.8hになることが明らかになった.

田んぼダムの普及には, 取組農家の日常営農作業に支障がない調整装置が求められる. フリードレーン調整管は, 大規模降雨時のみならず, 小規模降雨時にも田面水位が上昇するため, 農家の田面水位管理目標の設定が困難となることが示された.

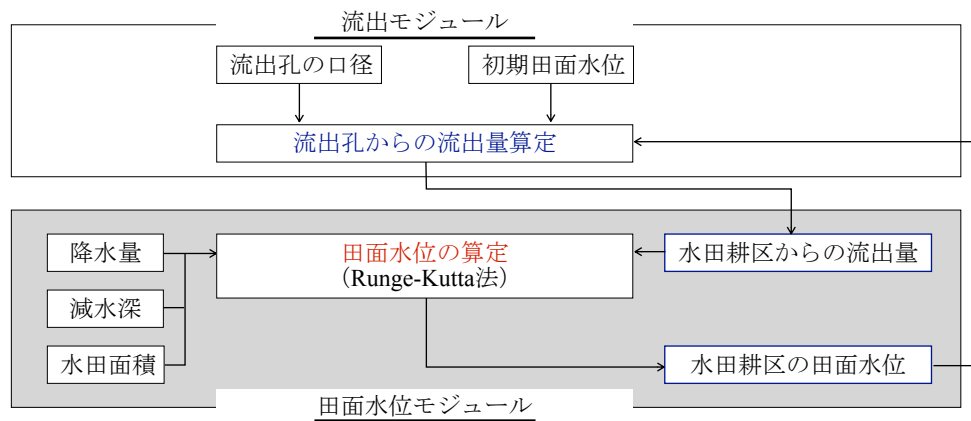


図 2.6 水田流出量算定モデルの概念図

表 2.1 小規模降雨時の田面水位への影響評価（フリードレーン調整管）

日降水量	田んぼダムあり	田んぼダムなし	差
10mm	1.8	1.4	0.4
20mm	2.7	2.0	0.7
30mm	3.4	2.5	0.9
40mm	4.1	3.0	1.1
50mm	4.8	3.4	1.4

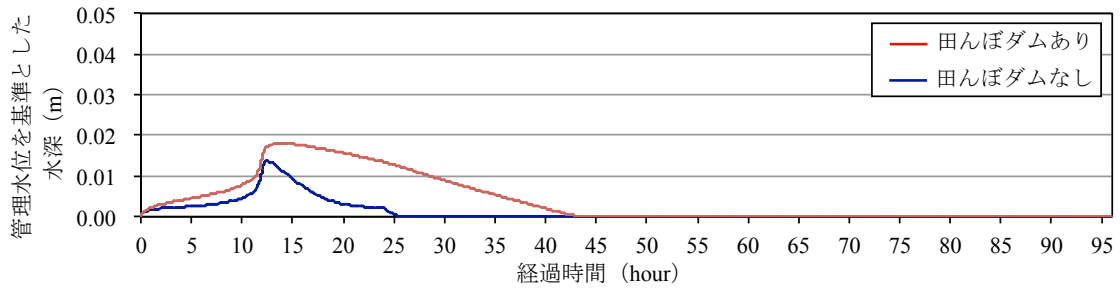
単位：cm

(a) 管理水位を基準とした最大水深

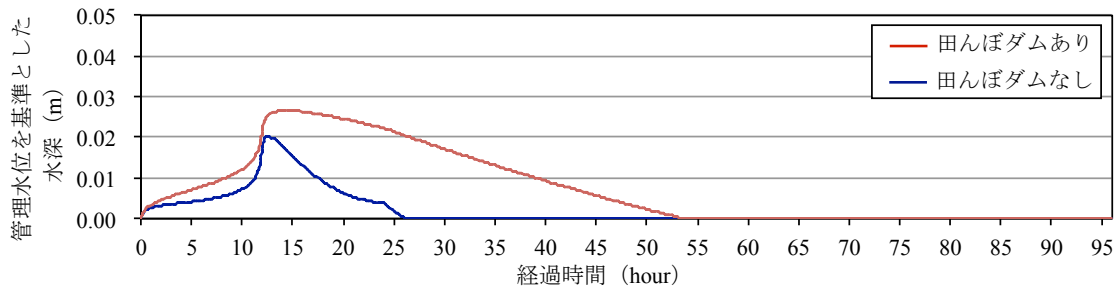
日降水量	田んぼダムあり	田んぼダムなし	差
10mm	43.2	25.6	17.6
20mm	53.6	26.4	27.2
30mm	61.3	27.1	34.2
40mm	68.3	27.8	40.5
50mm	74.2	28.4	45.8

単位：時間

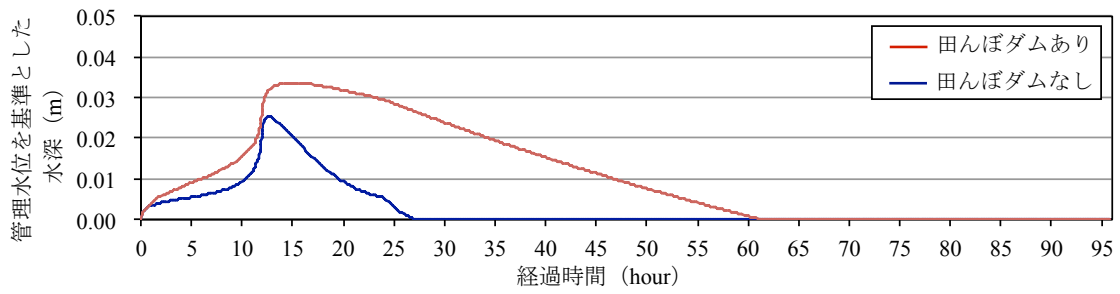
(b) 管理水位に戻るまでの時間



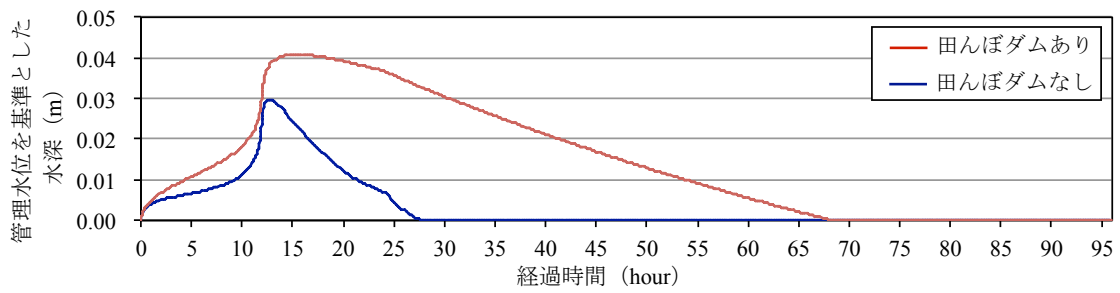
(a) 10mm/day



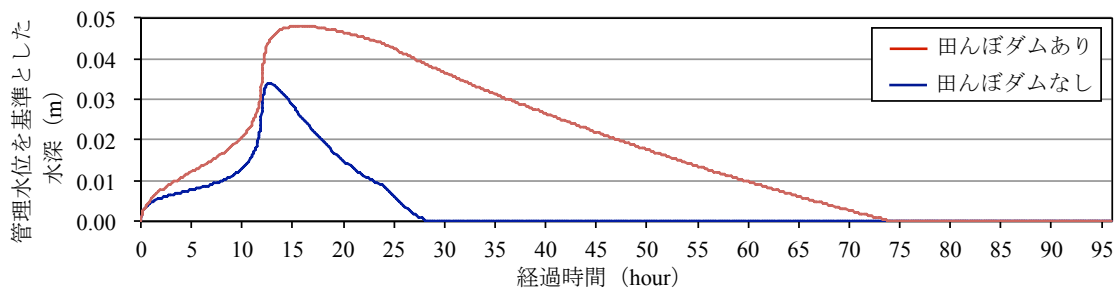
(b) 20mm/day



(c) 30mm/day



(d) 40mm/day



(e) 50mm/day

図 2.7 小規模降雨時の田面水深変化 (フリードレーン調整管)

2.2.2 農家の田面水管理操作に伴う落水量調整機能の不安定化

農家にとって田面水位の管理が最もこだわりをもつ営農作業であり、田面水位は頻繁に調整される。機能分離型調整装置、例えば深沢地区の場合、セキ板の高さ変更によって田面水位を管理するが、田面水位管理機能と落水量調整機能が分離しているため、農家の水位管理操作は落水量調整機能に影響を与えない（図2.8）。

一方、機能一体型のフリードレーン調整管では、落水量調整機能が田面水管理機能と一体化しているため、落水量調整は田面水位管理操作に従属的に影響を受ける。中干し期およびそれに続く間断灌漑期に、田面水排除のためにフリードレーン管を田面位まで下げる操作を行った場合、流出孔が田面下に埋没するため落水量調整機能は失われる（図2.9）。

平成23年7月新潟・福島豪雨は間断灌漑期と重なったため、流出孔が田面下に埋没していた水田耕区が多く見られた。調整装置が設置されていても田んぼダムの効果が発揮されていなかったのである。本豪雨イベント当日の実施率を調査した結果、フリードレーン管が適切に設置されていたのは事業区域内で約39%にとどまった原因はこれにある。一方、分離型調整装置を採用している深沢地区の豪雨当日の実施率は約93%であった。こうしたことから、落水量調整機能が取組農家の水位管理操作に依存する一体型調整装置を用いる場合、水管理操作に伴って実施率が変動し、設計上の落水量調整機能の安定的な発揮が困難になることが明らかになった。

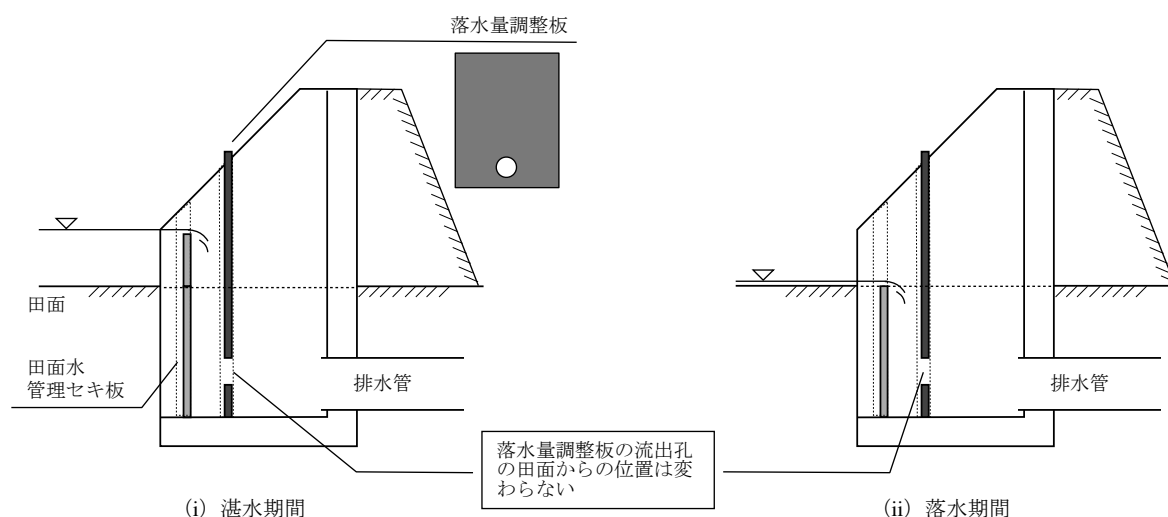


図 2.8 田面水管理と調整装置の維持管理（分離型調整装置）

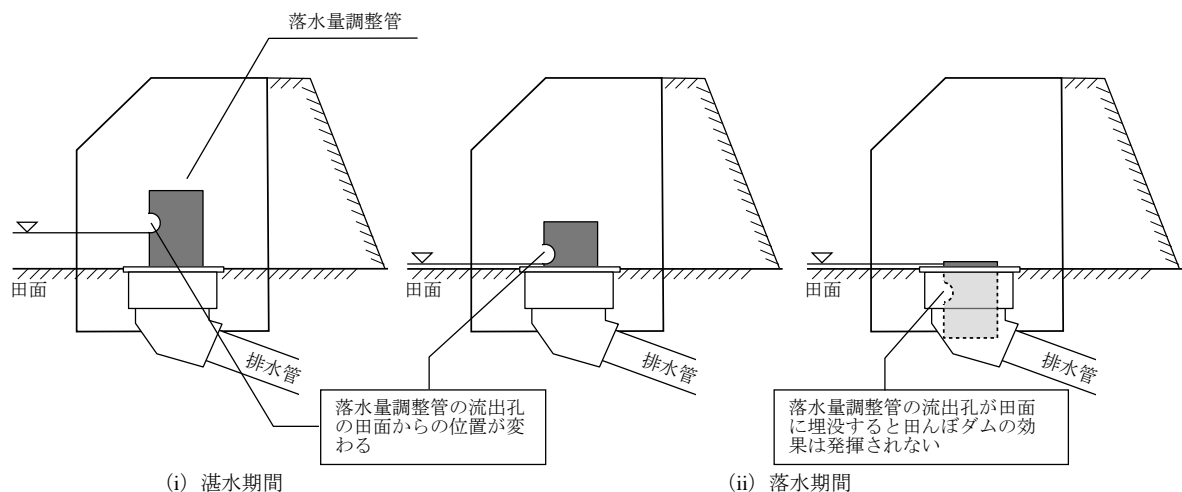


図 2.9 田面水管理と調整装置の維持管理（フリードレーン調整管）

3. 機能一体型落水量調整装置の課題解消のための方策

一体型調整装置であるフリードレーン調整管は農家の営農に影響を与えるため、普及性に問題があったことに加え、農家の田面水位管理によって設計上の落水量調整機能が発揮されない場合が散見された。これら問題の解決には、落水量調整機能と田面水位管理機能の分離が有効であると考え、新たなフリードレーン方式の落水量調整装置（以下、機能分離型フリードレーン調整管）を開発した。ここでは、開発した調整装置の特徴を示すとともに、室内・現地観測および数値実験によって、解決策の有効性を効果する。

3.1 機能分離型フリードレーン調整管の特徴

フリードレーン管の内部に孔を設けたバケツ（図2.10）もしくは円錐型のコーン（図2.11）を設置することで機能の分離を実現した。この方法では、管内部のバケツもしくはコーンに設けた孔が落水量調整機能を、フリードレーン管の縁部が田面水位管理機能をそれぞれ担う。その結果、以下の効果が期待できる。①管内部の孔と管の縁部の相対的位置関係は農家の操作によって変化しないため、農家の操作は落水量調整機能に影響を与えず、安定的な効果が発揮される。②フリードレーン管への田面水の流入が孔からの流出量を上回らない限り、落水量調整機能は働かないため、洪水を引き起こすような大きな降雨時のみ効果が発揮される。こうした特徴によって、取組農家の日常営農作業に支障をきたすことなく安定的な洪水緩和効果の発揮が期待できる。

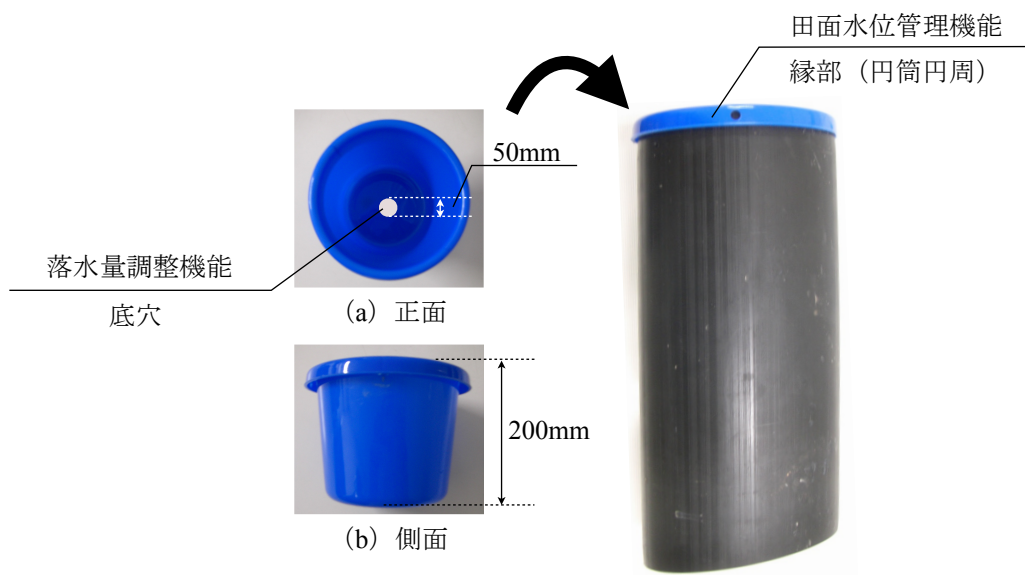


図 2.10 機能分離型フリードレーン調整管（バケツ式）

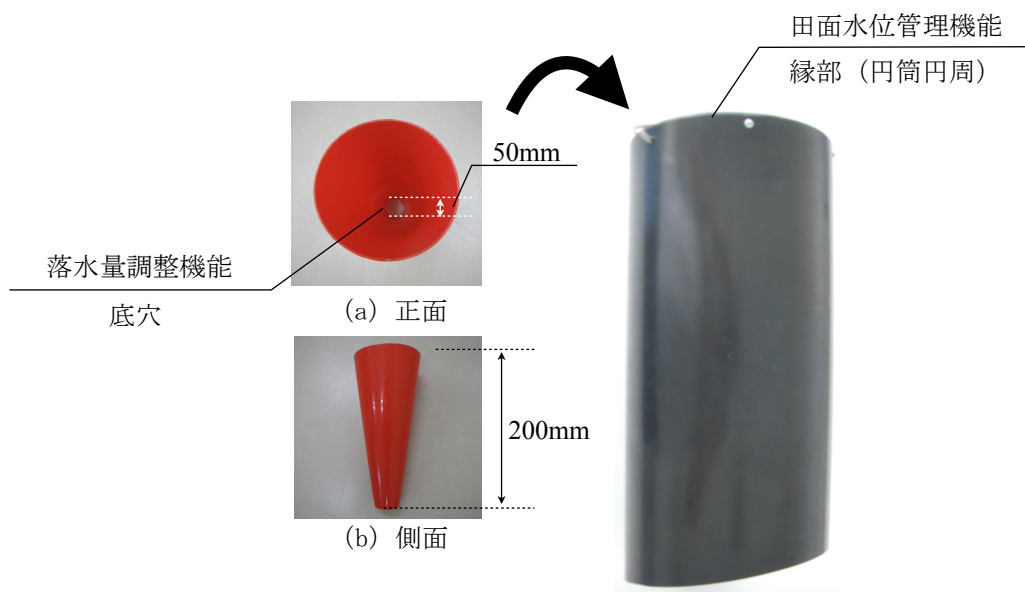


図 2.11 機能分離型フリードレーン調整管（コーン式）

3.2 効果検証試験

開発した機能分離型フリードレーン調整管（バケツ式，コーン式）の効果検証のため，現地試験および数値計算を実施した．これらによって，①流出抑制効果，②ゴミ詰まりの2つの観点から適用性を評価した．

3.2.1 流出抑制効果の検証

(1) 現地試験概要

開発した機能分離型フリードレーン調整管の流出特性を把握するため、水田湛水排除試験を行った（写真2.6，写真2.7）。湛水排除試験は、人為的に大雨時の湛水状態を創出することで、落水量調整の有無による水田からの流出特性を把握するものである。試験では、用水をできるだけ湛水させた後、一斉放流した。坂井町地区に5区画の試験水田（図2.12）を設けて、機能分離型フリードレーン調整管（バケツ式，コーン式）設置条件・通常水田条件でそれぞれ1回行った。水位低下の過程は設置した水位センサーで測定した。

(2) 数値計算概要

上記の試験結果を踏まえて、機能分離型フリードレーン調整管（バケツ式，コーン式）の流出量を再現する数値モデル（以下，水田流出量算定モデル）を構築して，機能分離型フリードレーン調整管の流出抑制効果を評価した。計算アルゴリズムは第3章に示す。



写真 2.6 現地試験（田んぼダムなし）



写真 2.7 現地試験（バケツ式）

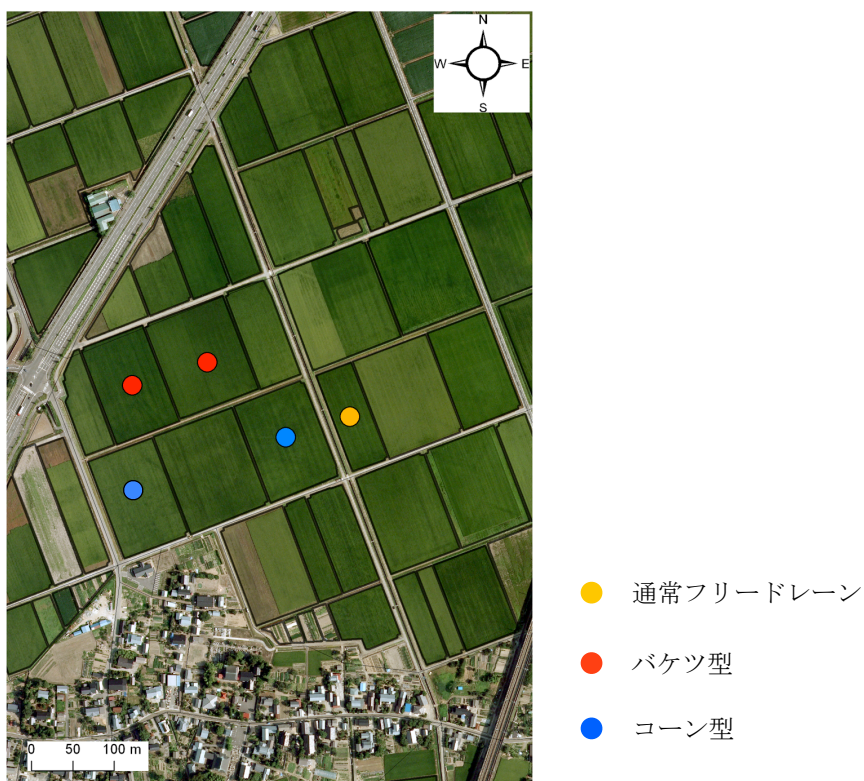


図 2.12 試験水田位置

3.2.2 ゴミ詰まりの検証

開発した機能分離型フリードレーン調整管には、現在供用中のフリードレーン調整管と異なり余水吐けが付随されていない。そのため、ゴミ詰まりによる流出孔の閉塞が懸念事項として残った。そこで、室内・現地試験を実施してゴミ詰まりについて検証した。

(1) 室内試験概要

機能分離型フリードレーン調整管の直上にゴミに見立てた稲藁を100g散布して室内湛水排除試験を実施し、流出孔の閉塞の有無を検証した（図2.13）。稲藁は乾燥状態とし、長さは、灌漑期中の小さなゴミを想定した5cm、刈取り後の稲藁を想定した15cmの2種類を使用した。バケツ式およびコーン式で、それぞれ3回、計6回試験を実施した。



図 2.13 室内ゴミ詰まり検証試験の様子

(2) 現地試験概要

坂井町地区の試験水田（図2.12）に機能分離型フリードレーン調整管（バケツ式，コーン式）を，田植え終了後（6月10日）から刈取り終了後（11月30日）まで設置してゴミ詰まりの有無を検証した（図2.14）．試験田の耕作者に聞き取り調査を実施し，設置期間中の流出孔閉塞の確認，および閉塞時の対処方法を把握した．



(a) バケツ式



(b) コーン式

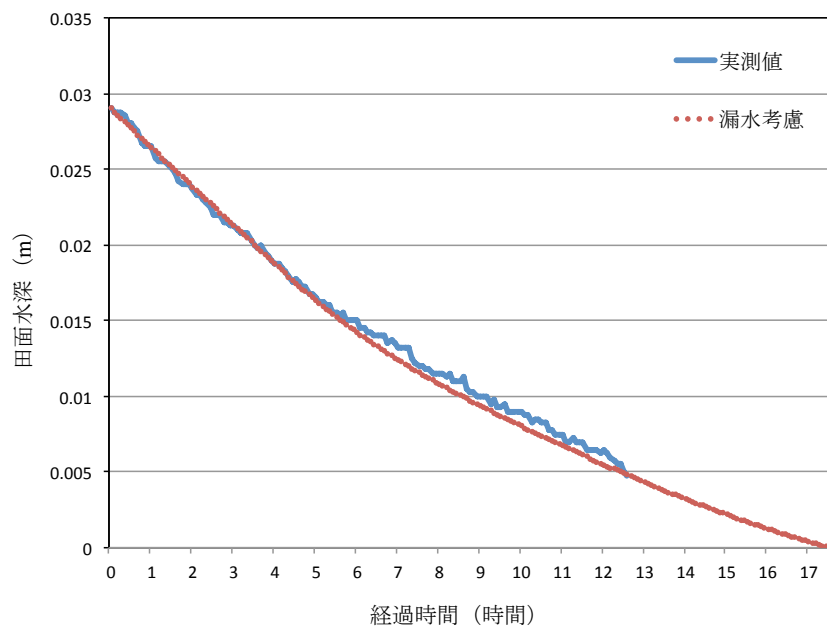
図 2.14 現地ゴミ詰まり検証試験の様子

3.3 効果検証試験結果

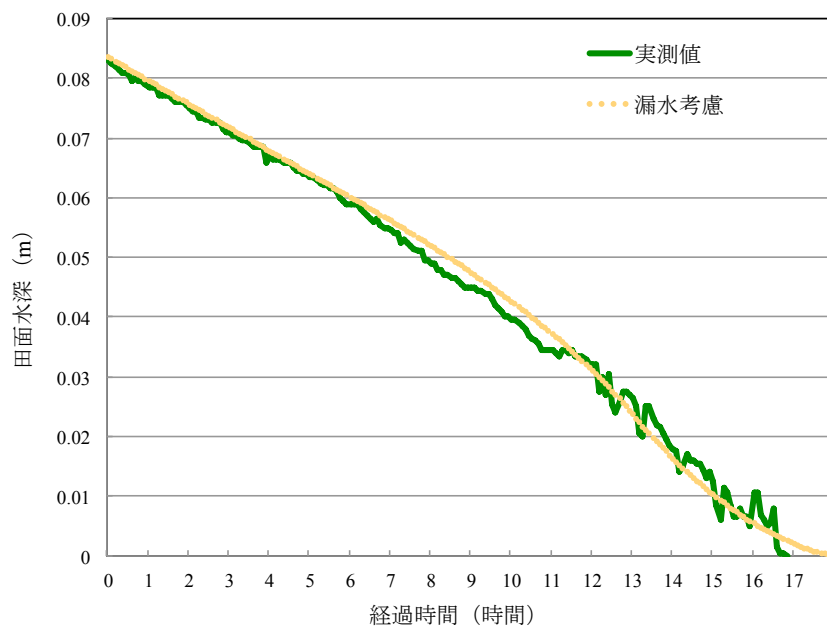
3.3.1 流出抑制効果の検証結果

(1) 現地試験

構築したモデルの計算結果と現地湛水排除試験結果との比較を図2.15示す。計算値は実測値を良好に再現し、モデルの妥当性が確認できた。



(a) バケツ式



(b) コーン式

図 2.15 現地湛水排除試験結果とモデルによる計算値の比較

(2) 数値計算

(I) 小規模降雨イベント時の田面水位への影響

構築した水田流出量算定モデルを用いて小規模降雨時の田面水位への影響を評価した。5つのシミュレーションシナリオ（①10mm/day, ②20mm/day, ③30mm/day, ④40mm/day, ⑤50mm/day）を設定し、管理水位を基準とした最大田面水深および管理水位への影響時間を算定した。検証で考慮した水田の諸元は、面積：50a, 減水深：15mm/day, 畦畔高：20cm, 水口と水尻の高低差：3cmとした。

コーン式の各シナリオの管理水位を基準とした田面水位変化を図2.16, 管理水位を基準とした最大田面水深および管理水位への影響時間をそれぞれ表2.2(a), 表2.2(b)に示す。

機能分離型フリードレーン調整管を用いて田んぼダムを実施した場合、バケツ式、コーン式ともに日降水量30mm以下の降雨イベントでは、田んぼダムを実施しない場合と比べて、田面水深はほとんど変わらないことが示された。すなわちこの程度の降雨イベントでは、落水量調整機能は発揮されない。また、通常排水時からの遅延時間は、機能分離型フリードレーン調整管の場合、日降水量40mmでは約0.4h, 日降水量50mmでは約1.4hになることが示された。機能分離型フリードレーン調整管調整管を用いることで、小規模降雨時の田面水位に与える影響は、フリードレーン調整管に比べて大幅な軽減が期待できることが明らかになった。

表 2.2 小規模降雨時の田面水位への影響評価

日降水量	バケツ式	コーン式	田んぼダムなし	田んぼダムなしとの差	
				バケツ式	コーン式
10mm	1.4	1.4	1.4	0.0	0.0
20mm	2.0	2.0	2.0	0.0	0.0
30mm	2.6	2.6	2.5	0.1	0.1
40mm	3.1	3.1	3.0	0.1	0.1
50mm	3.7	3.6	3.4	0.3	0.2

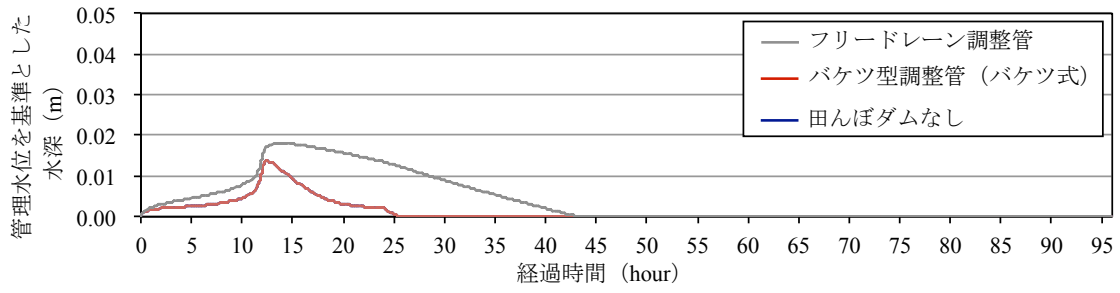
単位：cm

(a) 管理水位を基準とした最大水深

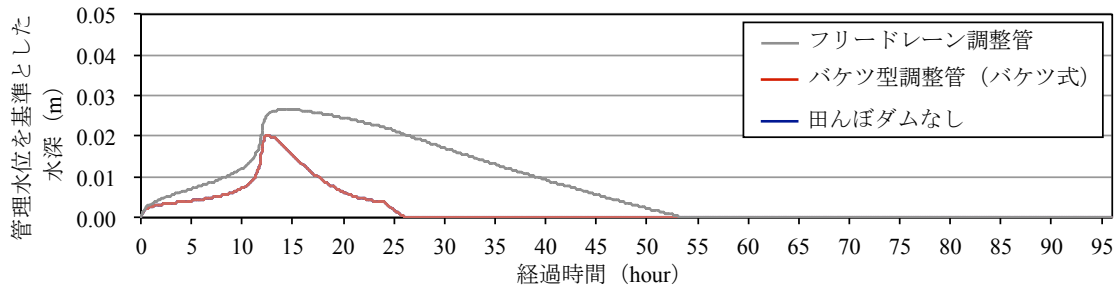
日降水量	バケツ式	コーン式	田んぼダムなし	田んぼダムなしとの差	
				バケツ式	コーン式
10mm	25.6	25.6	25.6	0.0	0.0
20mm	26.4	26.4	26.4	0.0	0.0
30mm	27.2	27.2	27.1	0.1	0.1
40mm	28.2	28.1	27.8	0.4	0.3
50mm	29.8	29.5	28.4	1.4	1.1

単位：時間

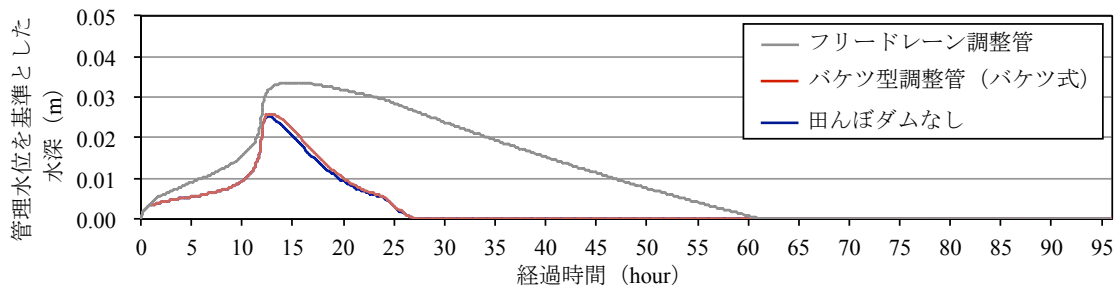
(b) 管理水位に戻るまでの時間



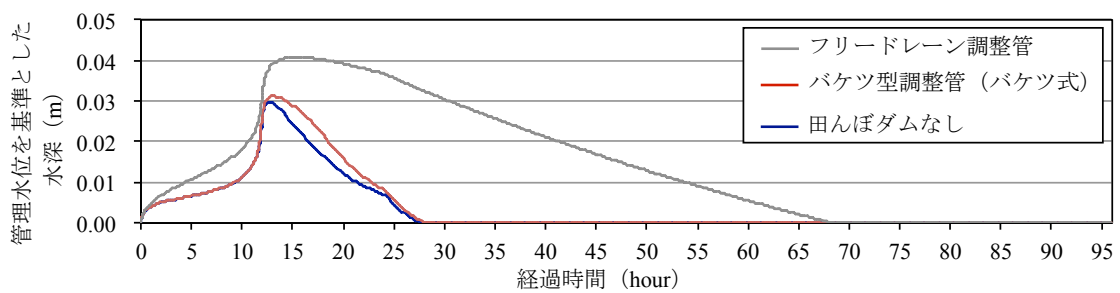
(a) 10mm/day



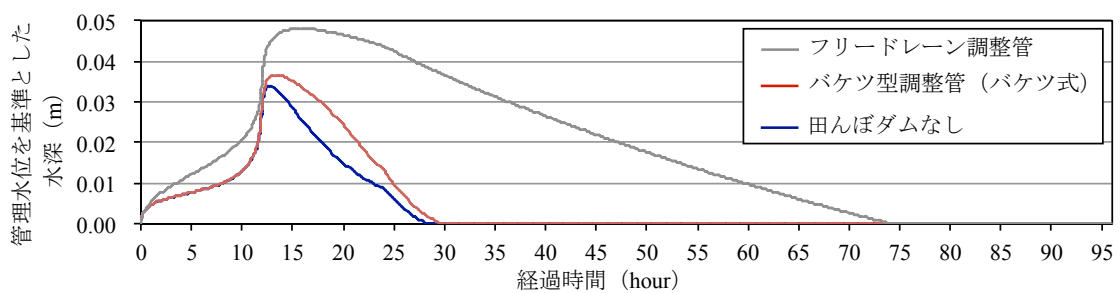
(b) 20mm/day



(c) 30mm/day



(d) 40mm/day



(e) 50mm/day

図 2.16 小規模降雨時の田面水深変化 (バケツ式)

(II) 大規模降雨イベント時の流出抑制効果への影響

構築した水田流出量算定モデルを用いて大規模降雨時の流出抑制効果への影響を評価した。長岡市30年確率降雨（日降水量226mm，ピーク位置 $r=0.8$ ）（図2.17）を想定して，①田んぼダムなし，②バケツ式，③コーン式，④フリードレーン調整管の流出量を算定した。検証で考慮した水田の諸元は，（I）と同様とした。

田んぼダムなしのピーク流出量を基準とした流出抑制率は，バケツ式，コーン式，フリードレーン調整管でそれぞれ，約77%，約75%，約43%となり，フリードレーン調整管に比べて，機能分離型フリードレーン調整管は高い流出抑制効果が得られることが示された（図2.18）。

フリードレーン調整管のピーク流出量が多い原因は，田面水位が上昇して余水吐けからの流出が生じたためである。機能分離型調整管には余水吐けがないが，ピーク田面水位は，バケツ式，コーン式とも約16.7cmとなり，畦畔高20cmを越える過剰湛水は認められなかった（図2.19）。このことから，機能分離型フリードレーン調整管は，過剰湛水を招くことなく，より高いピーク流出抑制効果が得られることが明らかになった。

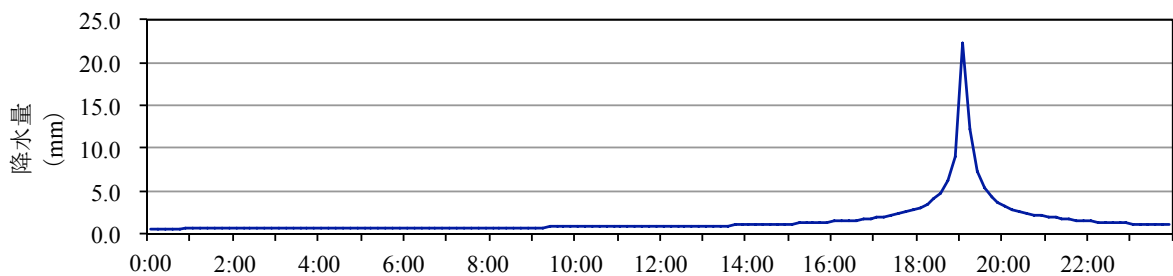


図 2.17 ハイエットグラフ（30年確率降雨）

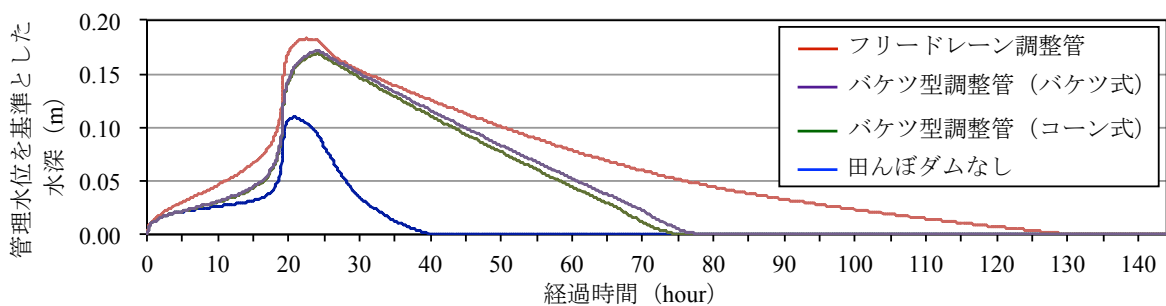


図 2.18 30年確率降雨時の田面水深変化

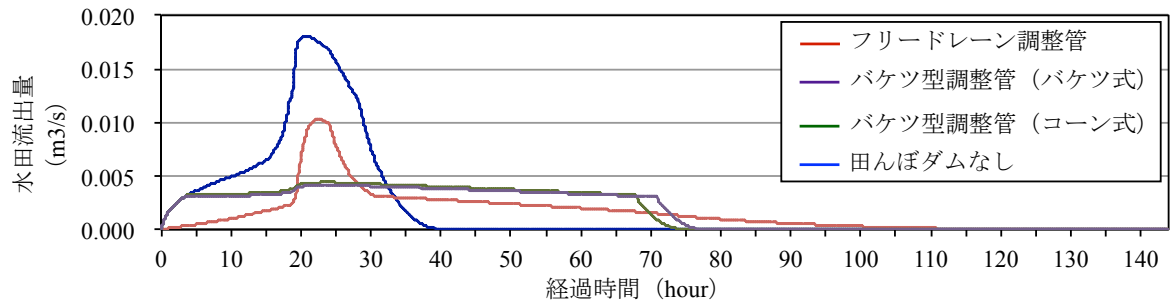
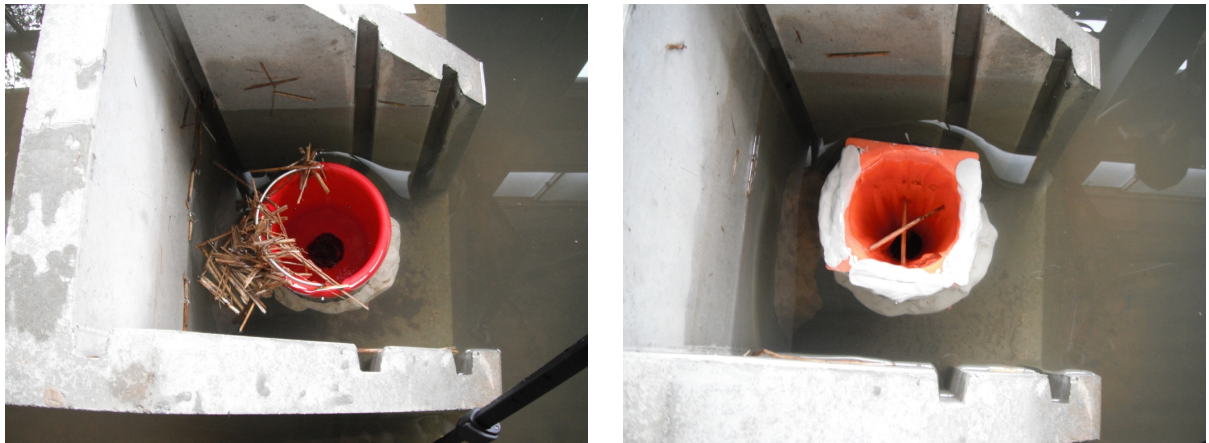


図 2.19 30 年確率降雨時の水田流出量

3.3.2 ゴミ詰まりの検証結果

(1) 室内試験

5cmの稲藁を用いた場合ではバケツ式，コーン式ともに流出孔は閉塞しなかった（図 2.20）．15cmの稲藁を用いた場合では，バケツ式，コーン式ともに3回の試験すべてで流出孔が閉塞した（図2.21）．このことから，圃場に比較的小さなゴミしかない灌漑期間中であれば流出孔閉塞の可能性は低い，圃場にコンバインによって稲藁が散らされた刈取り後には流出孔閉塞の可能性が高いことが示された．



(a) バケツ式

(b) コーン式

図 2.20 室内ゴミ詰まり検証試験結果（稲藁：5cm）



(a) バケツ式

(b) コーン式

図 2.21 室内ゴミ詰まり検証試験結果（稲藁：15cm）

(2) 現地試験

試験田の耕作者への聞き取りの結果、灌漑期間中には、機能分離型フリードレーン調整管（バケツ式，コーン式）の流出孔の閉塞はなかった。また，稲刈り後にコンバインで圃場に散布された稲藁（長さ：15cm程度）が，降雨によって排水口まで運ばれて流出孔が閉塞することが懸念されたが，今年度稲刈り後に発生した13降雨イベント（図 2.22）において，流出孔の閉塞は見られなかった（図 2.23）。ただし，バケツ式では，バケツ底面部に稲藁が溜っていた（図 2.23(a)）。バケツ底面部に溜った稲藁によって流出孔の閉塞が生じる可能性もあるため，流出孔閉塞の危険性がより小さいコーン式の適用が望ましいことが明らかになった。

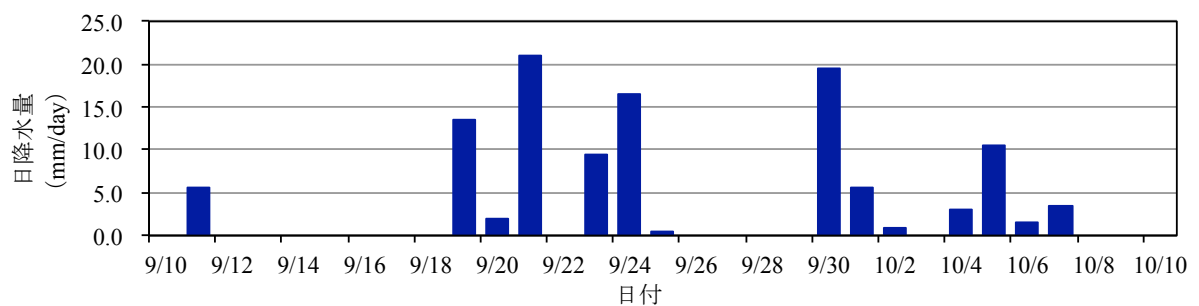
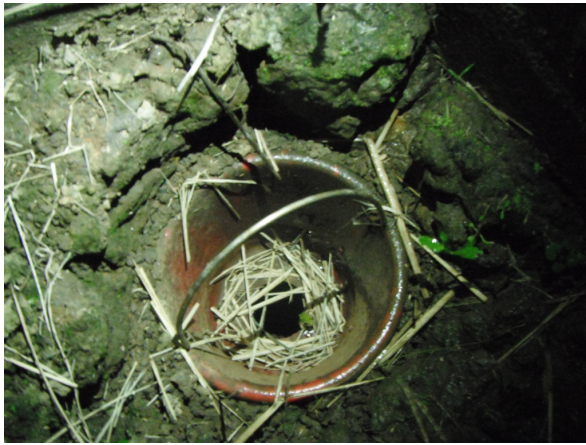


図 2.22 平成 24 年の稲刈り以降の降雨イベント



(a) バケツ式



(b) コーン式

図 2.23 降雨後の現地の機能分離型調整管の様子（撮影日：9月30日）

3.4 機能分離型フリードレーン調整管の開発

筆者らは、今後の普及を見据えて、本調整管の製品化に着手した。製品化に際して、取組農家、地元土地改良区および見附市産業振興課との意見交換会を開催した。この中で以下の要望が挙げられた。

- (1) バケツ式はバケツ底面部にゴミが溜ることが確認されたため、コーン式の製品化を推奨。
- (2) 流出孔が閉塞した際にゴミ詰まりを手作業で容易に解消できようように、フリードレーン管天端-流出孔間を250mm以内に調整。

これら要望を踏まえて機能分離型フリードレーン調整管（図2.24、写真2.8）を開発した。

3.5 機能分離型フリードレーン調整管の実施率向上効果

開発した機能分離型フリードレーン調整管を、見附市内の新規田んぼダム実施地区350haには設置し、実施率の動向を把握した。平成25年7月31日-8月1日にかけて、24時間最大降水量：171.5mmの降雨が発生したため、実施率把握調査は8月1日に実施した。調査の結果、従来のフリードレーン調整管の実施率は約29%に留まる一方で、機能分離型フリードレーン調整管の実施率は約95%だった。機能分離型フリードレーン調整管を用いることで実施率が向上すると示された。

以上のことから、機能一体型落水量調整装置の課題解消のための方策として、落水量調整機能と田面水位管理機能の分離が有効であることが明らかになった。

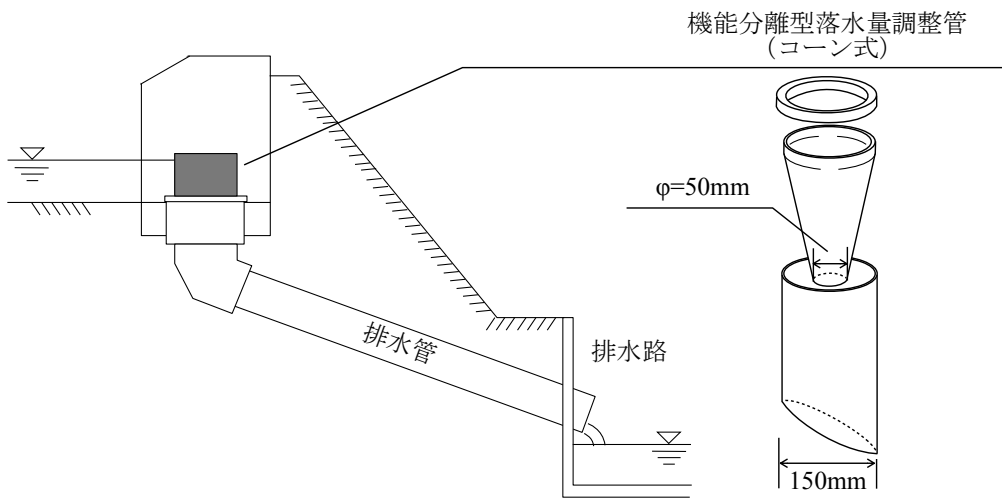


図 2.24 機能分離型フリードレン調整管（見附市貝喰川地区）



写真 2.8 機能一体型フリードレン調整管（見附市貝喰川地区）

4. 落水量調整装置の具備要件

以上の検証結果に基づき、筆者が考える最も重要な落水量調整の具備要件は、以下に集約される。

- (1) 大きなピーク流出抑制効果
- (2) 過剰な田面湛水の回避
- (3) ゴミ詰まりによる流出孔閉塞の回避
- (4) 日常水位管理への影響の軽減
- (5) 落水量調整機能と田面水管理機能の分離

想定する最大降雨イベントに対して、水田内にできるだけ多くの降雨を貯留することは、ピーク流出抑制の観点からは望ましい。畦畔高に対してピーク湛水深が小さい場合は、流出抑制効果を更に高めることができるといえる。しかし、過剰な湛水は畦畔越流を引き起こし、水田畦畔の決壊を招きかねないため、これら2つの要件をバランスよく満たす孔形状および断面積の設計が求められる。また、流出孔が小さすぎると、ゴミ詰まりの原因となって、想定を超える湛水を引き起こす可能性がある。ゴミ詰まりが発生しない程度の孔の鉛直高を確保する必要がある。

一方で、洪水を伴わないような小さな降雨イベントに対しても湛水が生じるようでは日常の水管理に支障がある。特に、中干し期において、長時間の田面水の停滞は栽培管理の面からも問題がある。田んぼダムは、取組農家の協力・同意が得られて初めて成立する取組であるため、日常水管理への影響を軽減、すなわち落水量調整機能と田面水管理機能の分離が不可欠である。

5. 落水量調整装置の流出孔径の設計方法

流出孔径の設計手順は以下のとおりである。

- (1) 水田流出量算定モデルの構築。
- (2) ゴミ詰まり回避のための流出孔径下限値の設定。
- (3) 想定する最大降雨イベントの適用。

以下に詳細を記す。

5.1 水田流出量算定モデルの構築

水田の流出量は、田区排水施設（排水マス、フリードレーン管、塩ビ管）によって異なるため、田んぼダム実施地区の田区排水施設ごとの「水田流出量算定モデル」を

構築する。新潟大学ティーム田んぼダムでは、田んぼダムの取組の普及の用に供することを目的に、本モデルを新潟大学農学部農業水利学研究室のホームページに公開している。想定降雨イベントと水田および排水マスの諸元を入力値とすることで、水田の湛水深および水田からの流出量を経時的に出力するものである。今後、フリードレーン管、塩ビ管などの田区排水施設に対応したモデルを公開する予定である。



5.2 ゴミ詰まり回避のための流出孔径下限値の設定

室内・現地観測の結果、流出孔径が30mm未満の場合、ゴミ詰まりによる流出孔の閉塞が確認された。そこで、流出孔径の下限値を40mmに設定することとした。

5.3 想定する最大降雨イベントの適用

筆者らは、農地湛水防除事業の設計基準雨量である1/30確率雨量を最大降雨イベントに想定し、流出孔径を設計している。ただし、想定する降雨イベントは、ピーク流出抑制効果と安全性のどちらを重視するかによって異なるため、取組主体の農家や地元土地改良区の意向を踏まえて決定されるべきである。

6. 落水量調整装置の流出孔の設計結果

長岡市深沢地区を事例に、落水量調整装置（垂直設置型落水量調整板）の流出孔の設計結果（, )を示す。本地区では、長岡市1/30確率雨量（226mm/day）を適用し、水田面積、排水マスの深さに応じて流出孔を設計した。

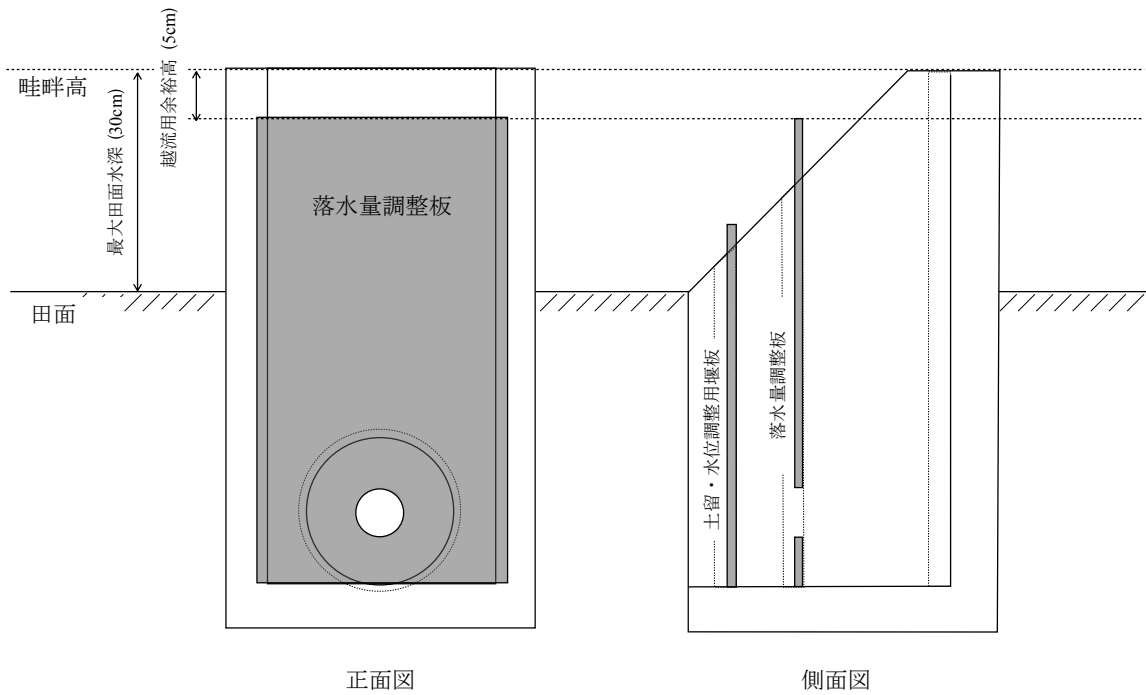


図 2.25 落水量調整方法模式図（長岡市深沢地区）

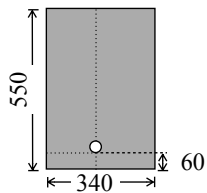
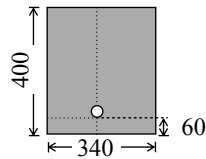
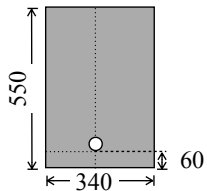
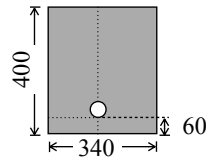
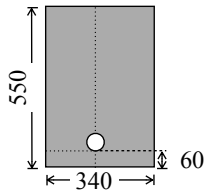
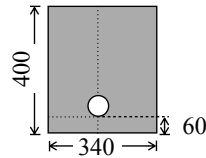
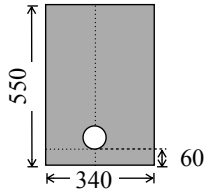
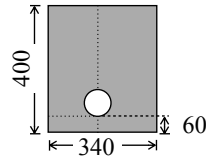
圃場面積	深いマス	浅いマス
10a	孔直径： 40mm 	孔直径： 40mm 
20a	孔直径： 45mm 	孔直径： 50mm 
30a	孔直径： 55mm 	孔直径： 60mm 
40a	孔直径： 65mm 	孔直径： 70mm 

図 2.26 水田面積ごとの落水量調整板の流出孔径

第3章 落水量調整装置ごとの耕区スケールでの田んぼダムの効果検証

本章では、水田耕区スケールの流出抑制効果を、水田流出量算定モデルを用いて落水量調整装置ごとに評価する。

1. 検討する落水量調整装置

効果検証には、①垂直設置型落水量調整板（流出孔径：55mm）（図3.1）、②水平設置型落水量調整板（流出孔径：50mm）（図3.2）、③機能分離型フリードレーン調整管（流出孔径：50mm）（図3.3）、④落水量調整キャップ（流出孔径：50mm）（図3.4）を想定した。流出孔径は、それぞれの調整装置の適用地区の標準水田区画面積に応じて設定した（表3.1）。

表 3.1 標準区画面積と流出孔径

	標準区画面積 (a)	流出孔径 (mm)
垂直設置型落水量調整板	50	55
水平設置型落水量調整板	50	50
機能分離型フリードレーン調整管	50	50
落水量調整キャップ	30	50

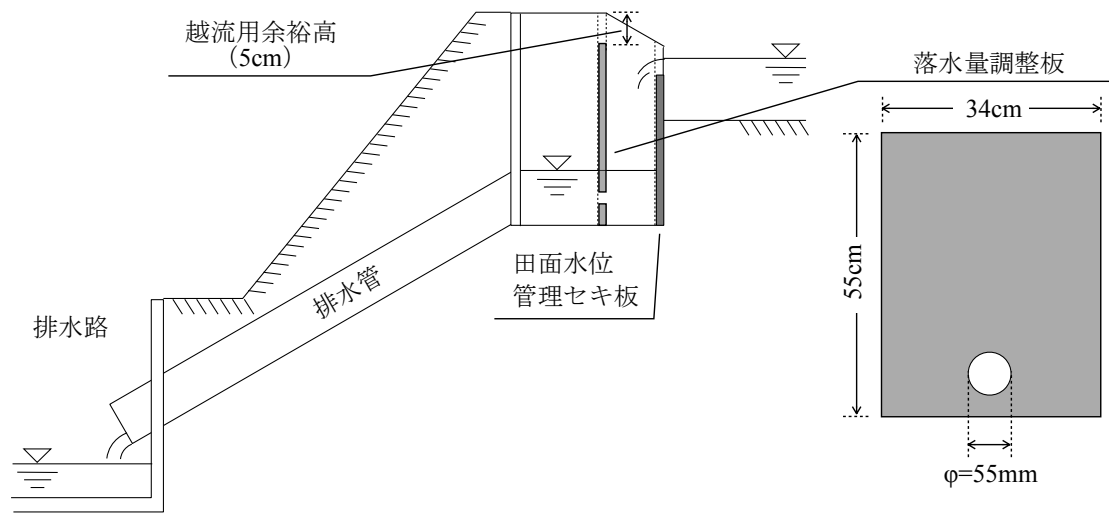


図 3.1 垂直設置型落水量調整板

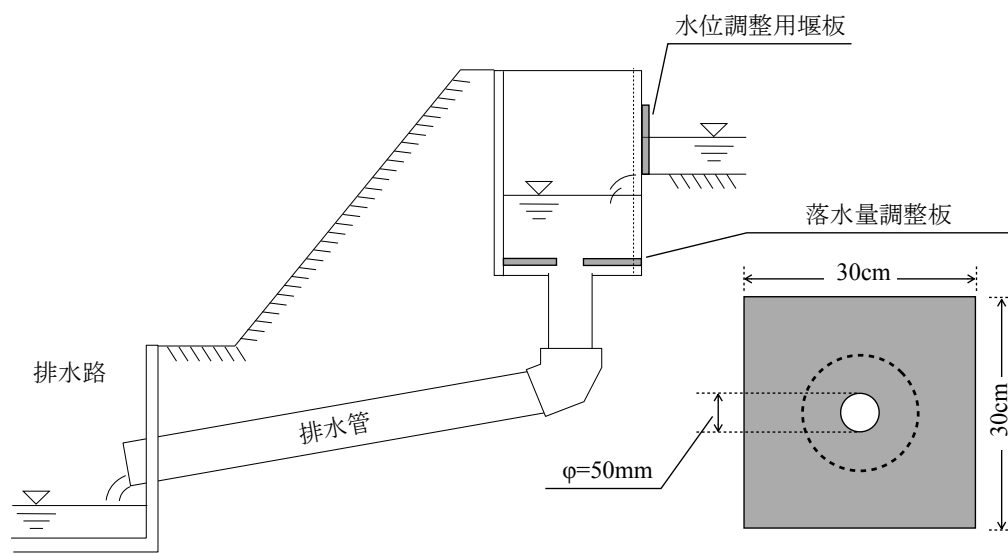


図 3.2 水平設置型落水量調整板

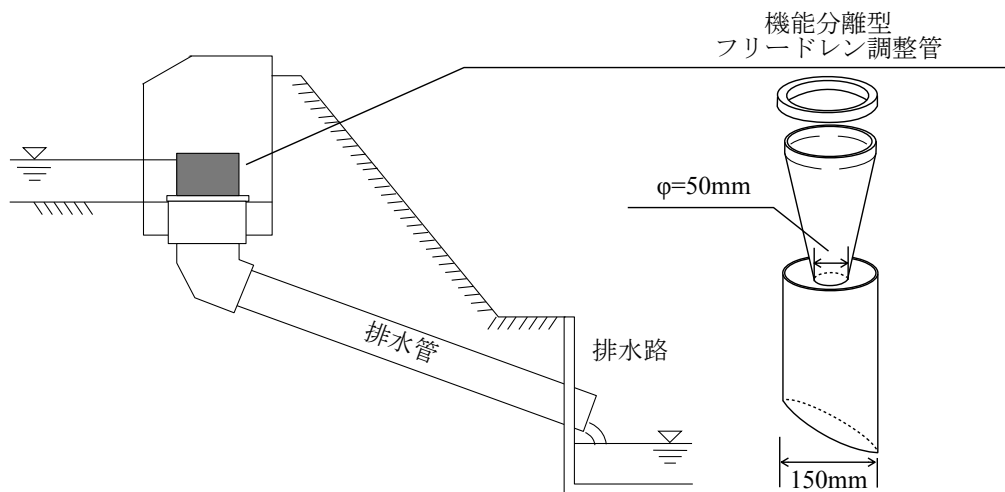


図 3.3 機能分離型フリードレン調整管

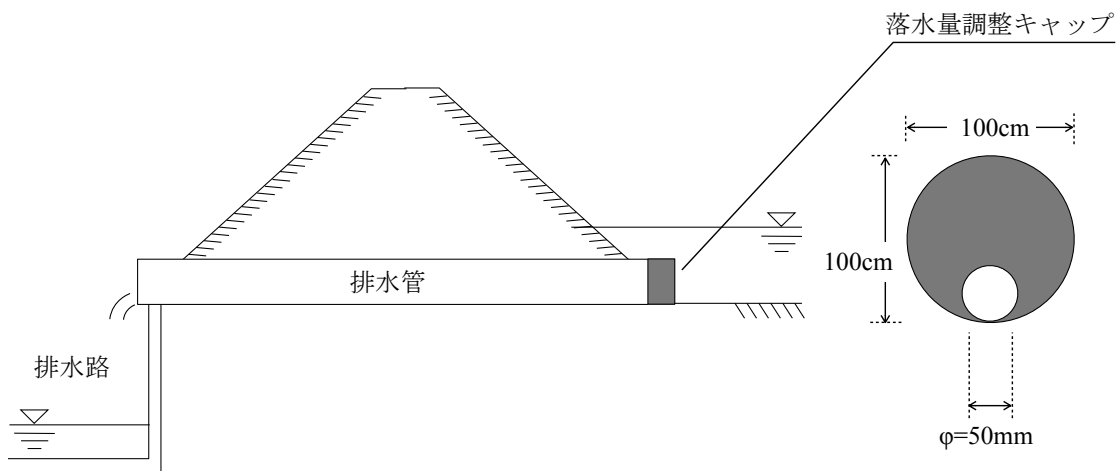


図 3.4 落水量調整キャップ

2. 水田流出量算定モデルの構築

2.1 水田流出量算定モデルの概要

水田流出量算定モデルは、流出モジュールと田面水位モジュールで構成され、水田耕区からの流出量および田面水位の経時変化を算定する（図 3.5）。

流出モジュールでは、流出孔スペック（流出孔の面積、形状）と初期田面水位を入力値として水田から排水路への流出量を算定する。田面水位モジュールでは、降水量、減水深および流出孔モジュールで算定され流出量を流出入量として水収支の計算を行い、流出入後の田面水位を算出する。以下に各モジュールの詳細を示す。

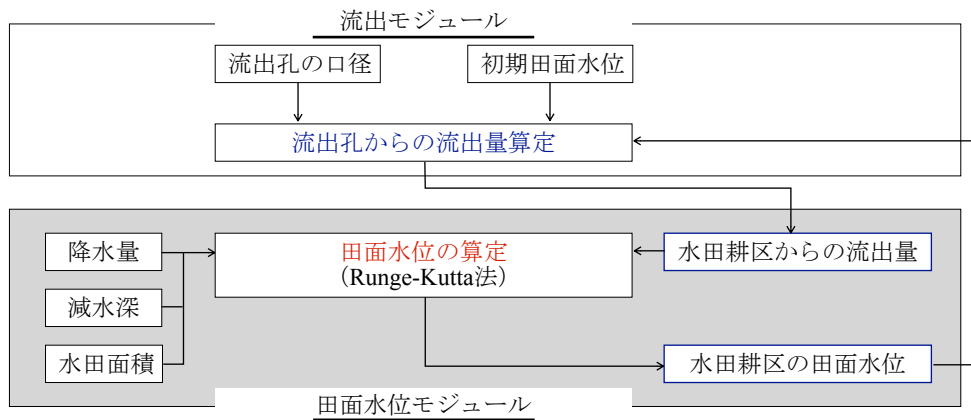


図 3.5 水田流出量算定モデルの概念図

2.2 流出モジュール

水田耕区の田区排水施設は多様であるため、流出量の計算には、田区排水施設ごとに計算アルゴリズムを変更することが不可欠となる。ここでは、排水施設として、上記 4 つの落水量調整装置の検証に必要な以下 3 つの排水施設の計算アルゴリズムを示す。

- ① 排水マス：垂直設置型落水量調整板，水平設置型落水量調整板
- ② フリードレーン管：機能分離型フリードレーン調整管
- ③ 塩ビ管：落水量調整キャップ

2.2.1 排水マス

排水マスからの流出の規定要因は、田面水位によってオリフィスからセキに替わる。すなわち、排水マス底に設けられた排水口（オリフィス）からの流出可能量を超えない限りは、オリフィスが流出の規定要因となる。そこで、オリフィス（式（1））およびセキの公式（式（2））を用いて、両者の流出入量を逐次計算し、計算結果を比較した上で、値の小さい方を水田流出入量（ q_p ）とする。

$$|q_{PO}| = C_P A \sqrt{2gh_p} \quad (|q_{PO}| < |q_{DO}|) \quad (1)$$

$$|q_{DO}| = C_D B h_p^{3/2} \quad (|q_{PO}| > |q_{DO}|) \quad (2)$$

ここに、 $|q_{PO}|$ ：オリフィス式で計算した流出入量， C_P ：オリフィスの流量係数， A ：

断面積， $|q_{DO}|$ ：セキの公式で計算した流出入量， C_D ：セキの流量係数， B ：セキ幅， h_P ：排水マス下縁を基準とした田面水位である。

流量係数は，現地水田耕区で取得した実測水位データと一致するように試行錯誤法によって同定し， C_P ：0.68， C_D ：3.4 となった。

2.2.2 フリードレーン管

フリードレーン管からの流出の規定要因は，田面水位によってオリフィスから円筒セキに替わる。すなわち，フリードレーン管内部に設けられた流出孔（オリフィス）からの流出可能量を超えない限りは，オリフィスが流出の規定要因となる。そこで，オリフィス（式（3））および円筒セキの公式（式（4））を用いて，両者の流出量を逐次計算し，計算結果を比較した上で値の小さい方を水田流出量（ q_P ）とする。

$$q_{PO} = C_{PO} A \sqrt{2g(h_{CW} + h_D)} \quad q_{PO} < q_{PCW} \quad (3)$$

$$q_{PCW} = \sqrt{C_{PCW} g d^5 (h_{CW}/d)^3} \quad q_{PO} > q_{PCW} \quad (4)$$

ここに， q_{PO} ：オリフィス式で計算した流出量， C_{PO} ：オリフィスの流量係数， A ：孔断面積， g ：重力加速度， q_{PCW} ：円筒セキの公式で計算した流出量， C_{PCW} ：円筒セキの流量係数， d ：フリードレーンの管径， h_{CW} ：フリードレーン管天端を基準とした田面水位， h_D ：フリードレーン管天端-流出孔間距離である（図 3.6）。

流量係数は，現地水田耕区で取得した実測水位データと一致するように試行錯誤法によって同定し， C_{PO} ：0.9， C_{PCW} ：7.0 となった。

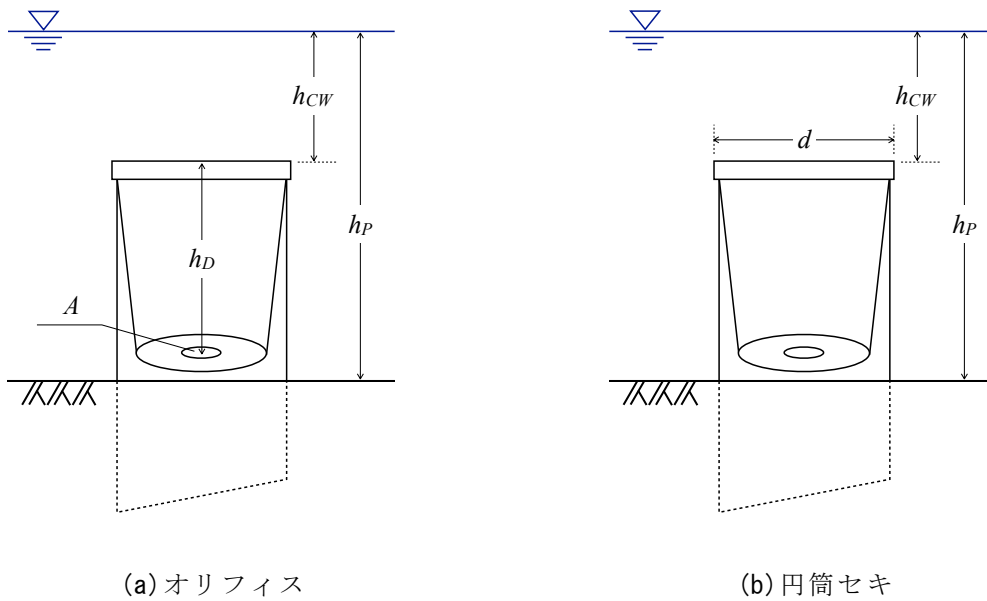


図 3.6 流出量計算の変数定義

2.2.3 塩ビ管

塩ビ管からの流出の規定要因は，田面水位が高い状態では，流出孔が完全に水面下となりオリフィスとなる．一方で低湛水位には，孔の一部が水面上に露出し，セキ状態になる．セキとオリフィスの移行部の流出量は，田面水位がオリフィス上縁と一致した場合と考えられるため，オリフィスおよびセキの公式の導出過程に着目し，任意の田面水位が与えられた時の二つの状態の流出量を以下の式で連続的に計算する（図 3.7）．

$$q_{PO} = C_P \int b \sqrt{2g|h_p - y|} dy \quad (5)$$

$$b = 2r \sin \theta, \quad y = r - r \cos \theta, \quad dy = r \sin \theta d\theta$$

ここに， $|q_{PO}|$ ：水田耕区からのオリフィスを通じた流出量， C_P ：オリフィスの流量係数， h_p ：オリフィス下縁を基準とした田面水位である．

流量係数は，現地水田耕区で取得した実測水位データと一致するように試行錯誤法によって同定し， C_P ：0.63 となった．

式（5）は解析的に解くことが困難であるため，数値積分法（Simpson 法）によって解いた．

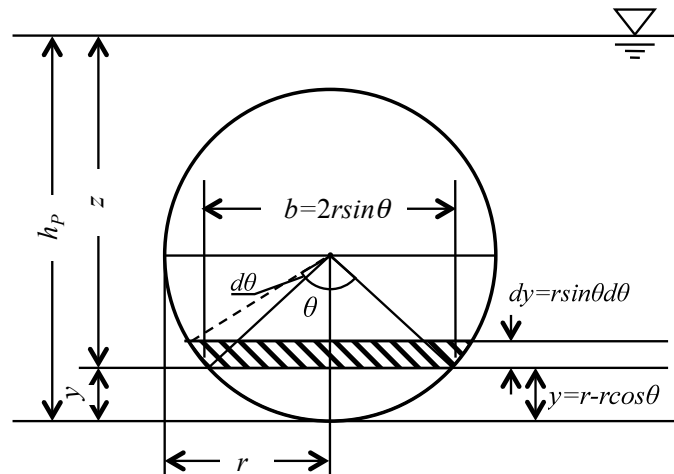


図 3.7 オリフィス公式の水力緒元

2.3 田面水位モジュール

田面水位 (h_p) は, 流出モジュールで算出された流出量 (q_p) を与え, 次式を Runge-Kutta 法で逐次計算する.

$$\frac{dh_p}{dt} = -\frac{q_p}{A_p} + R - L \quad (6)$$

ここに, t : 時間, A_p : 水田面積, R : 降雨量, L : 減水深を含む漏水量である.

3. 水田の諸元

検証で考慮する水田の諸元は, 減水深: 15mm/day, 畦畔高: 20cm, 水口と水尻の高低差: 3cmとした. 区画面積は, それぞれの調整装置の適用地区の標準水田区画面積 (表 3.1) とした. 通常排水時の流出孔径は, 適用地区の標準水田区画を参考に設定し, 排水マス (垂直設置型落水量調整板, 水平設置型落水量調整板) およびフリードレーン管 (機能分離型フリードレーン調整管) の場合150mm, 塩ビ管 (落水量調整キャップ) の場合100mmとした.

4. 想定降雨イベント

以下の4つの降雨イベントを設定した.

- (1) 長岡市1/10確率降雨 (155mm/day)
- (2) 長岡市1/20確率降雨 (207mm/day)

(3) 長岡市1/30確率降雨 (226mm/day)

(4) 平成23年7月新潟・福島豪雨 (258mm/3day : 長岡地方台観測値)

なお、(1) - (3) の降雨波形は、より大きな被害を招く後方集中型 (ピーク位置 $r=0.8$) とした。これらのハイエトグラフを図3.8-3.11に示す。

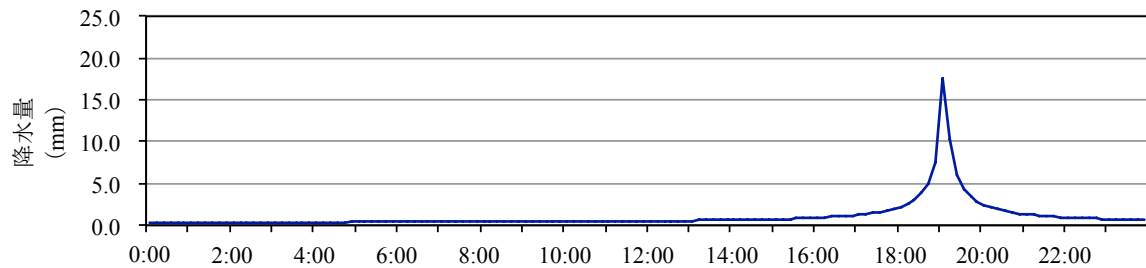


図 3.8 ハイエトグラフ (10 年確率降雨)

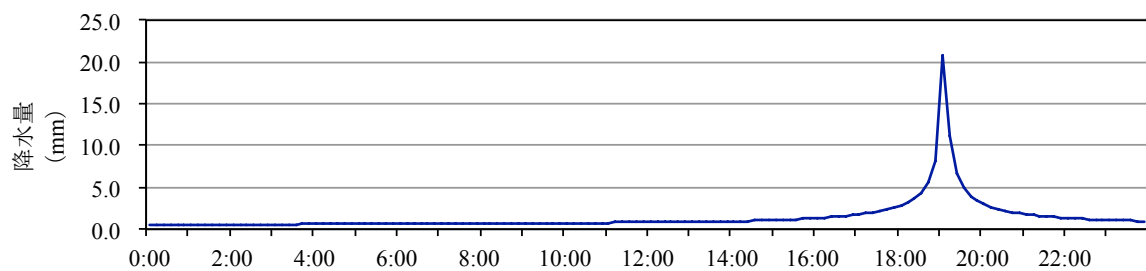


図 3.9 ハイエトグラフ (20 年確率降雨)

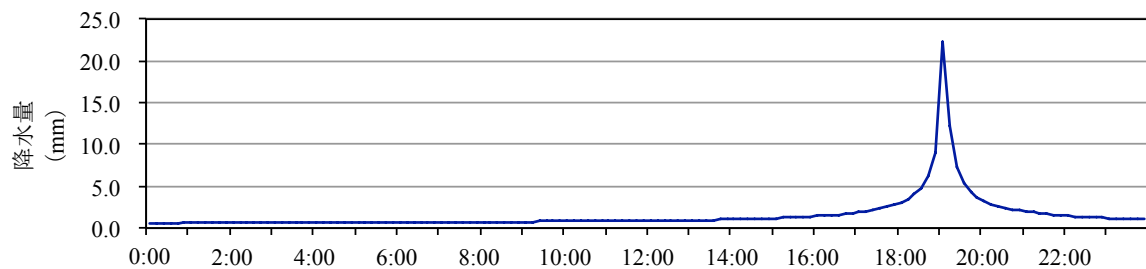


図 3.10 ハイエトグラフ (30 年確率降雨)

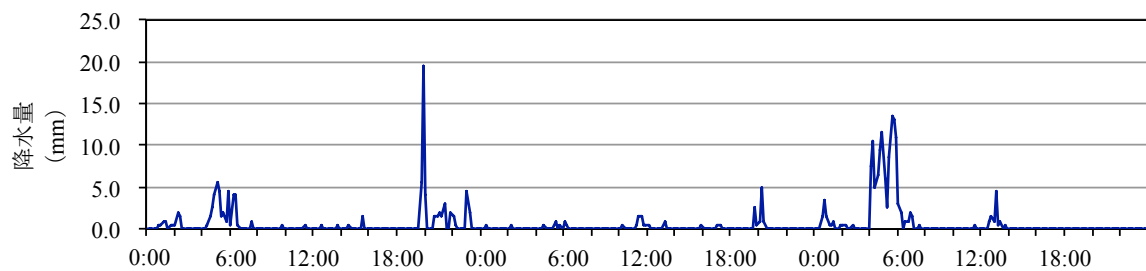


図 3.11 ハイエトグラフ (平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨)

5. 検証結果

直設置型落水量調整板の結果を図3.12および図3.13，水平設置型落水量調整板の結果を図3.14および図3.15，機能分離型フリードレーン調整管の結果を図3.16および図3.17，落水量調整キャップの結果を図3.18および図3.19に示す。

田んぼダム非実施時のピーク流出量を基準とした流出抑制率は，1/30年確率では，垂直設置型落水量調整板，水平設置型落水量調整板，機能分離型フリードレーン調整管，落水量調整キャップでそれぞれ，約76%，約83%，約76%，約66%と示された（表3.2）。

1/30年確率降雨時のピーク田面水位は，垂直設置型落水量調整板：13.4cm，水平設置型落水量調整板：14.6cm，機能分離型フリードレーン調整管：16.9cm，落水量調整キャップ：18.7cmとなり，畦畔高20cmを越える過剰湛水は認められなかった（表3.3）。また，平成23年7月新潟・福島豪雨においても，ピーク田面水位は，すべての調整装置で畦畔高を越えないことが示された。

畦畔高20cmを越える湛水深を生じさせる降雨イベントを算定した結果，垂直設置型落水量調整板：340mm/day，水平設置型落水量調整板：285mm/day，機能分離型フリードレーン調整管：255mm/day，落水量調整キャップ：244mm/dayであった（図3.20）。

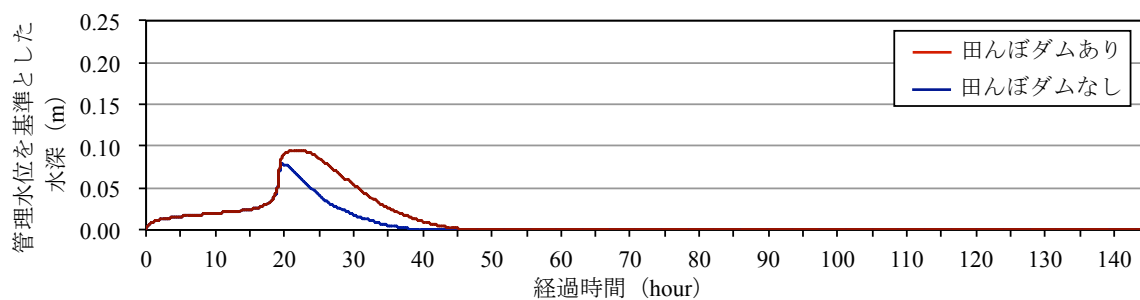
以上のことから，いずれの落水量調整装置を用いた場合でも，畦畔高を越えるような過剰湛水を引き起こすこと無く，水田耕区からのピーク流出量を抑制することが可能であると明らかになった。

表 3.2 落水量調整装置ごとの流出抑制率

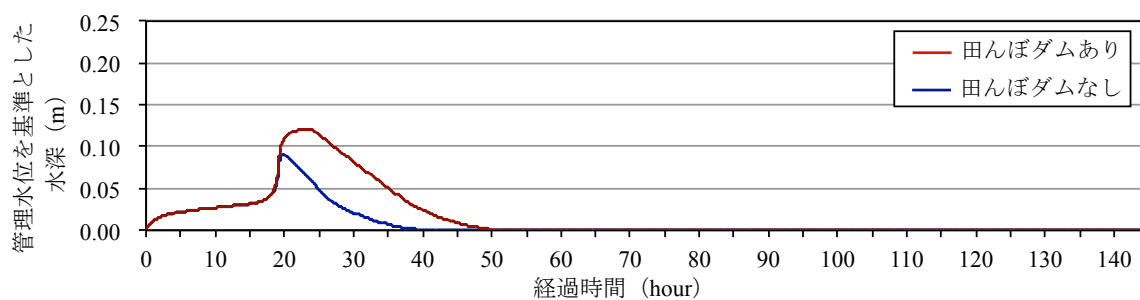
降雨イベント	流出抑制率 (%)			
	垂直設置型 落水量調整板	水平設置型 落水量調整板	機能分離型 フリードレーン調整管	落水量調整キャップ
1/10年確率	68.0	77.2	74.6	64.5
1/20年確率	73.5	81.6	75.1	66.0
1/30年確率	75.7	83.2	75.7	66.4
平成23年7月 新潟・福島豪雨	76.8	83.4	76.9	69.3

表 3.3 落水量調整装置ごとの最大湛水深

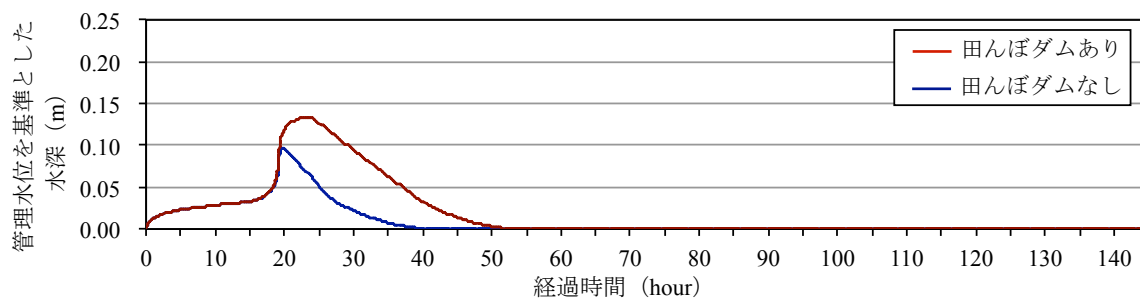
降雨イベント	最大湛水深 (cm)			
	垂直設置型 落水量調整板	水平設置型 落水量調整板	機能分離型 フリードレーン調整管	落水量調整キャップ
1/10年確率	9.5	9.7	11.1	12.6
1/20年確率	12.1	13.1	15.3	17.0
1/30年確率	13.4	14.6	16.9	18.7
平成23年7月 新潟・福島豪雨	11.6	11.3	12.3	16.0



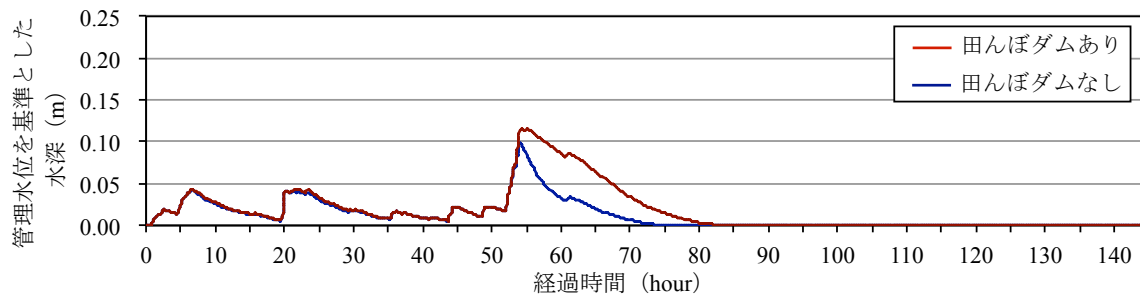
(a) 1/10 確率降雨



(b) 1/20 確率降雨

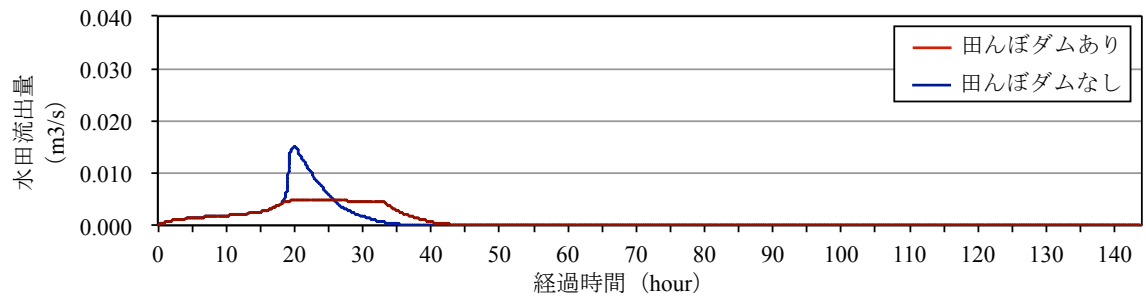


(c) 1/30 確率降雨

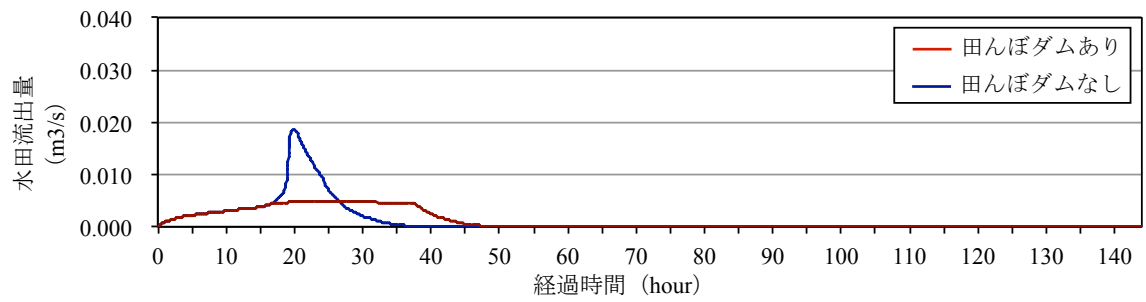


(d) 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨

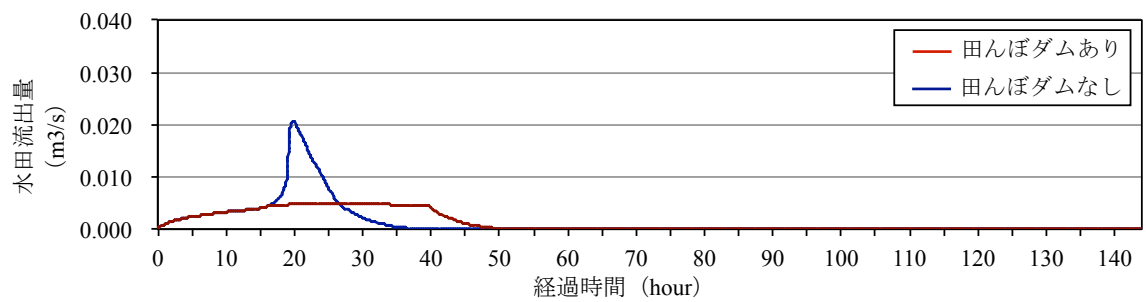
図 3.12 垂直設置型落水量調整板の田面水深変化



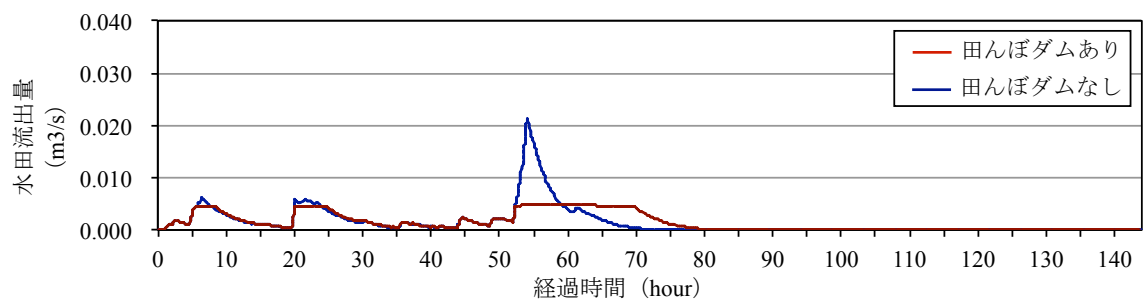
(a) 1/10 確率降雨



(b) 1/20 確率降雨

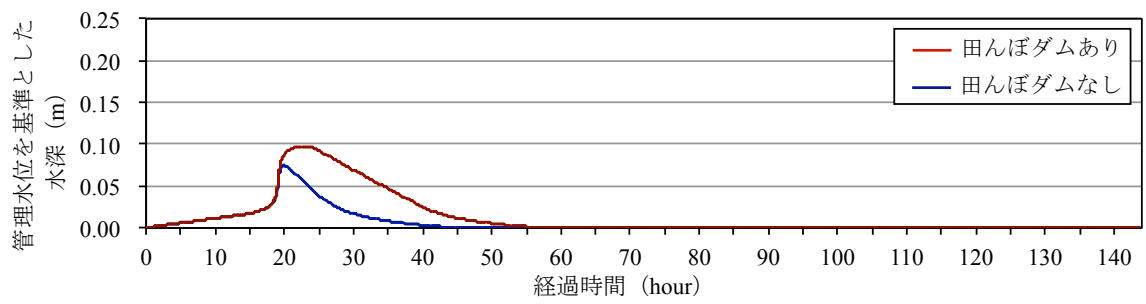


(c) 1/30 確率降雨

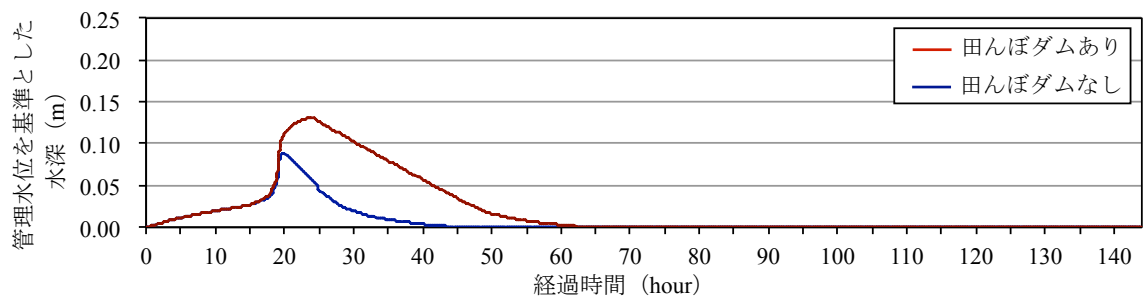


(d) 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨

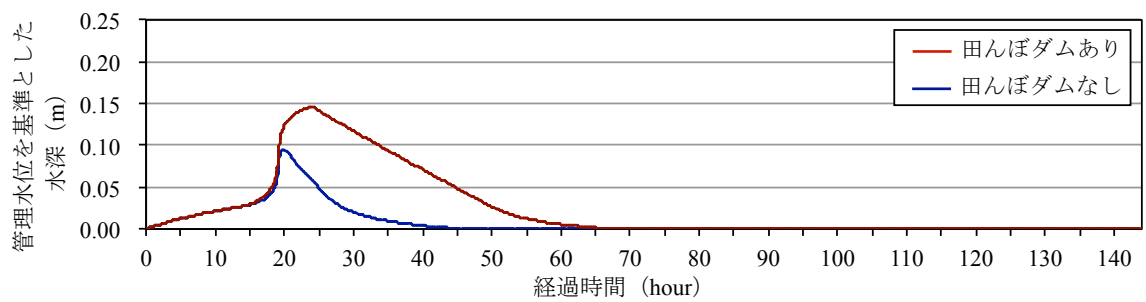
図 3.13 垂直設置型落水量調整板の水田流出量



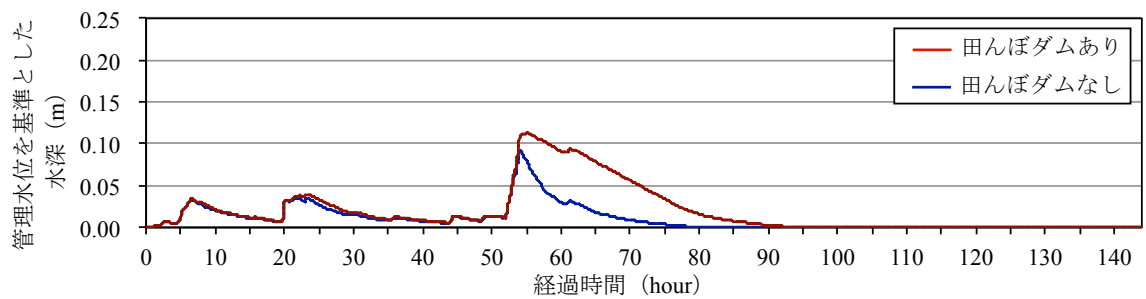
(a) 1/10 確率降雨



(b) 1/20 確率降雨

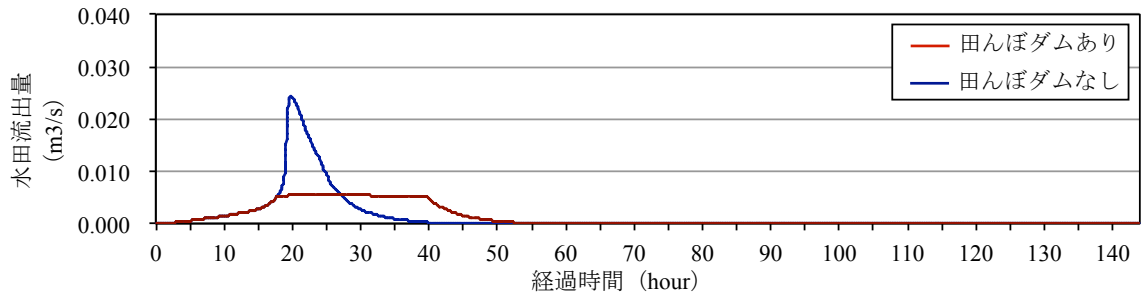


(c) 1/30 確率降雨

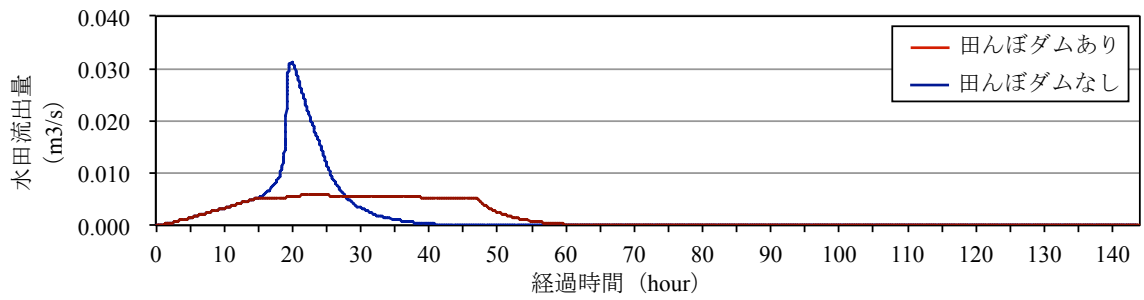


(d) 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨

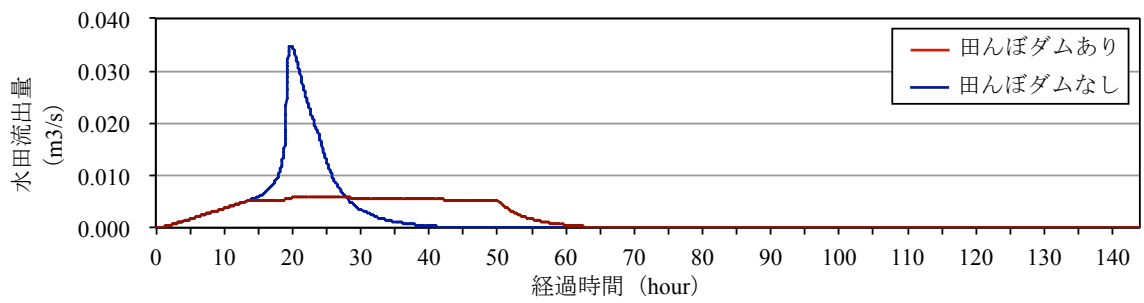
図 3.14 水平設置型落水量調整板の田面水深変化



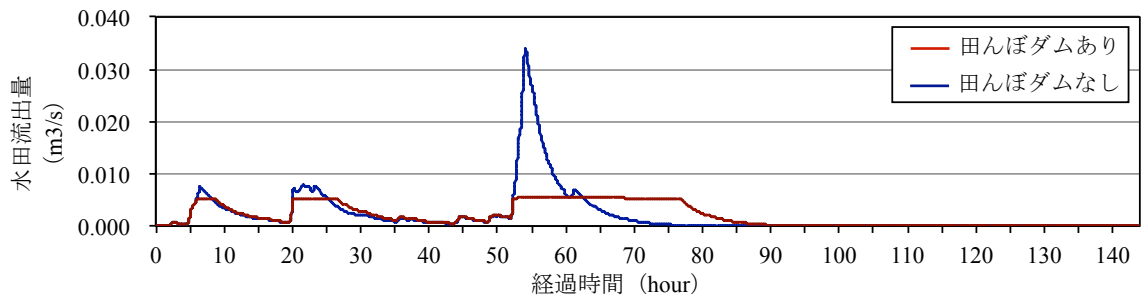
(a) 1/10 確率降雨



(b) 1/20 確率降雨

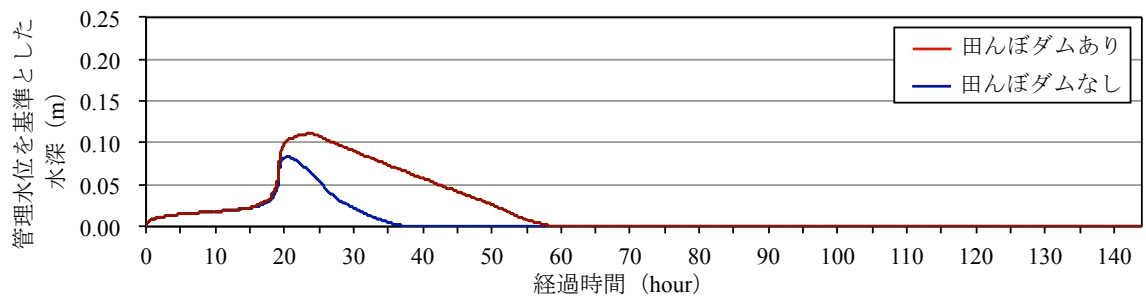


(c) 1/30 確率降雨

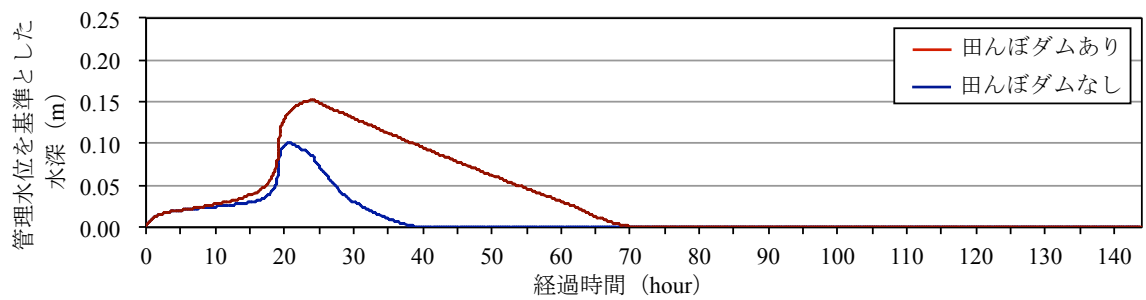


(d) 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨

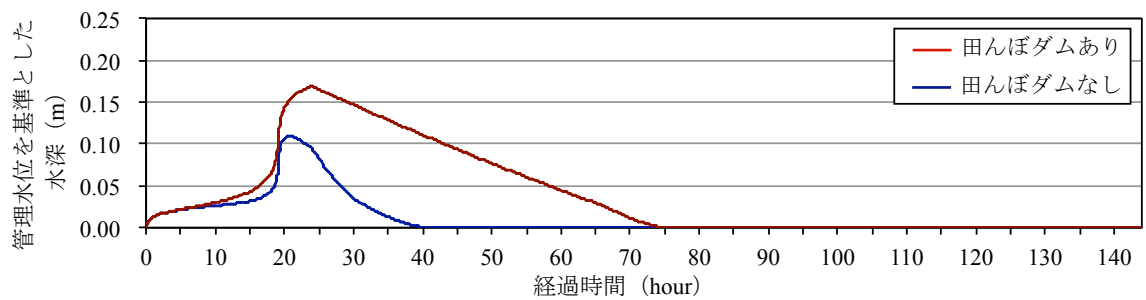
図 3.15 水平設置型落水量調整板の水田流出量



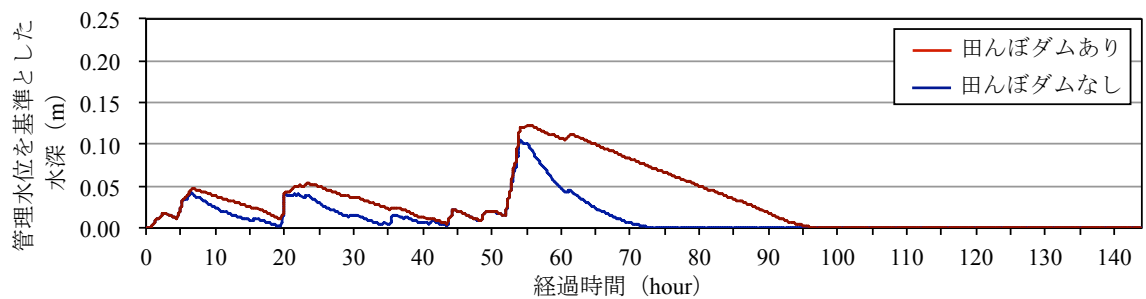
(a) 1/10 確率降雨



(b) 1/20 確率降雨

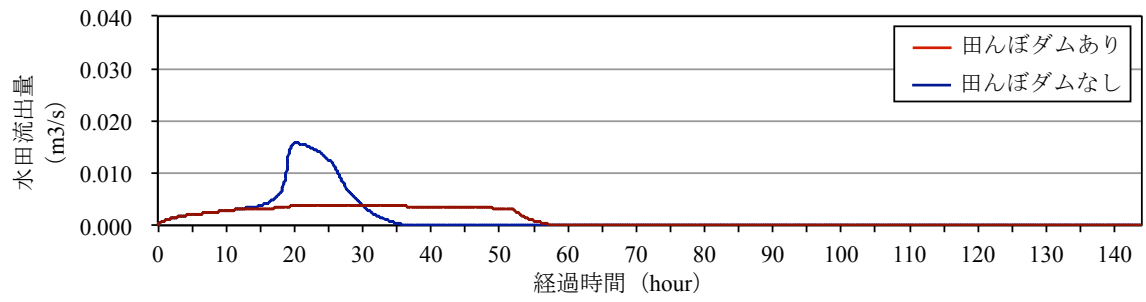


(c) 1/30 確率降雨

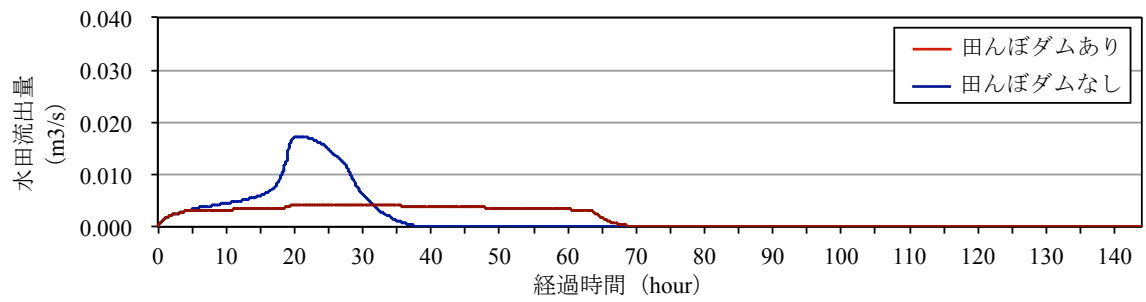


(d) 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨

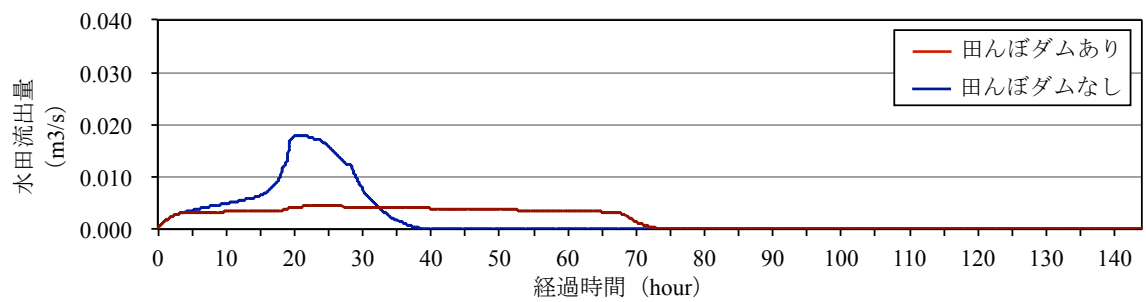
図 3.16 機能分離フリードレーン調整管の田面水深変化



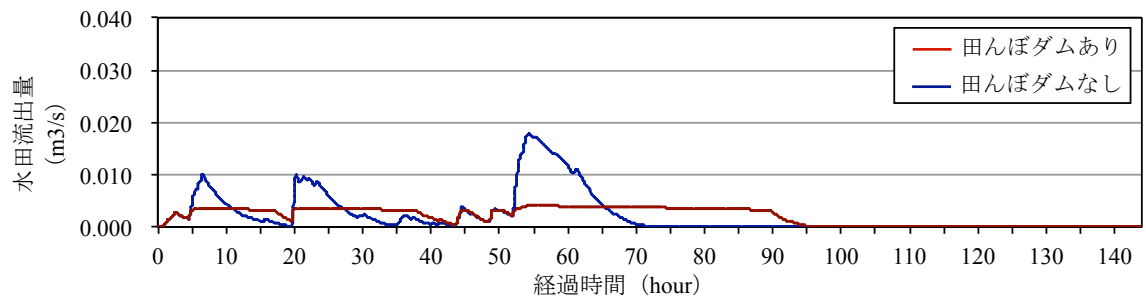
(a) 1/10 確率降雨



(b) 1/20 確率降雨

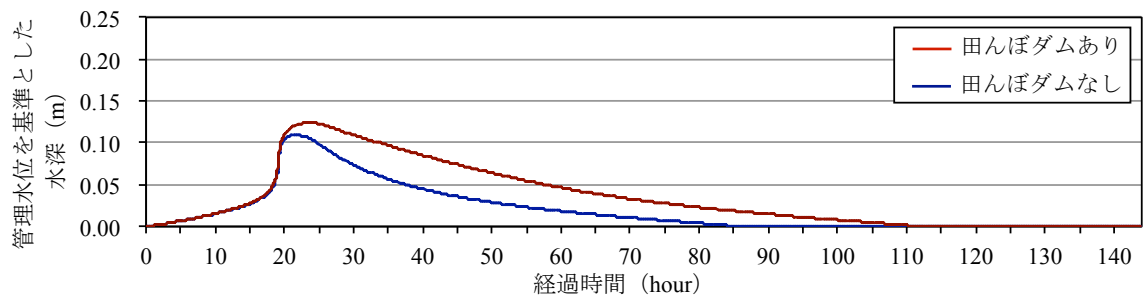


(c) 1/30 確率降雨

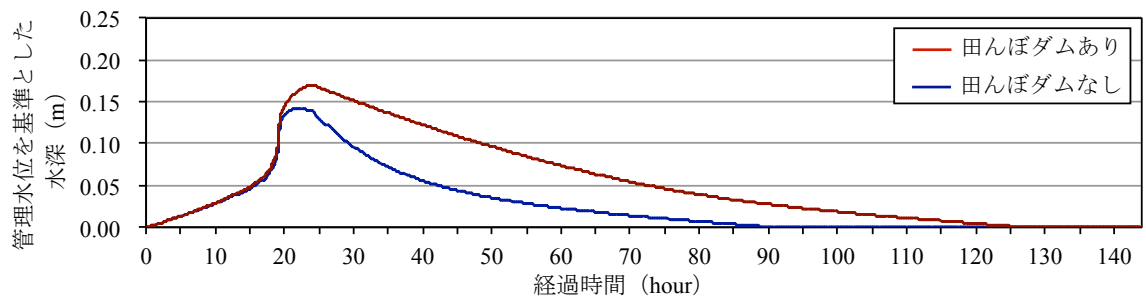


(d) 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨

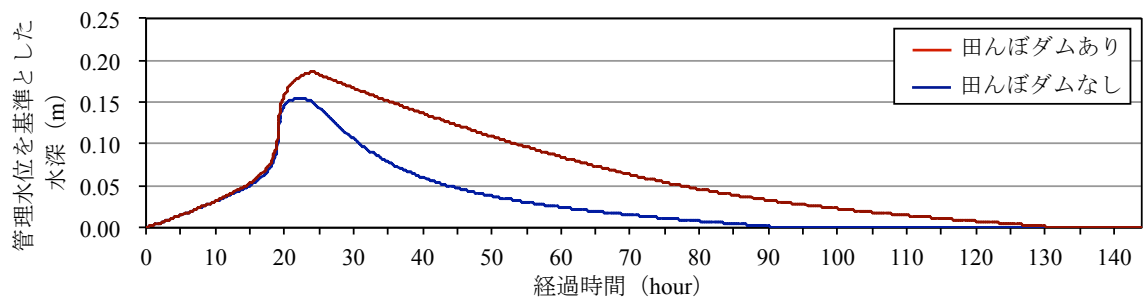
図 3.17 機能分離型フリードレーン調整管の水田流出量



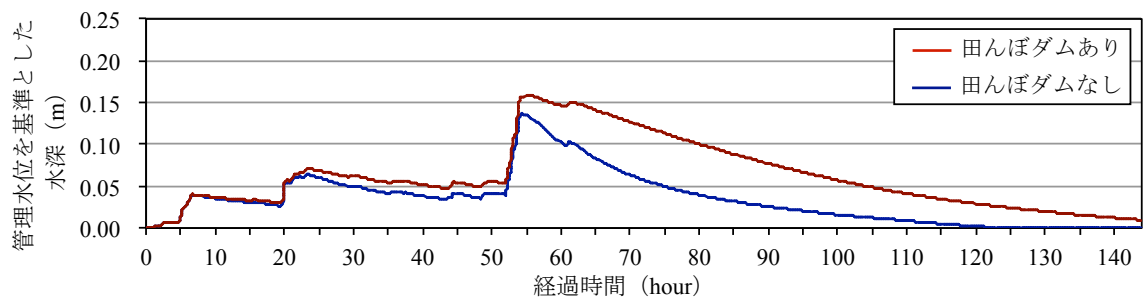
(a) 1/10 確率降雨



(b) 1/20 確率降雨

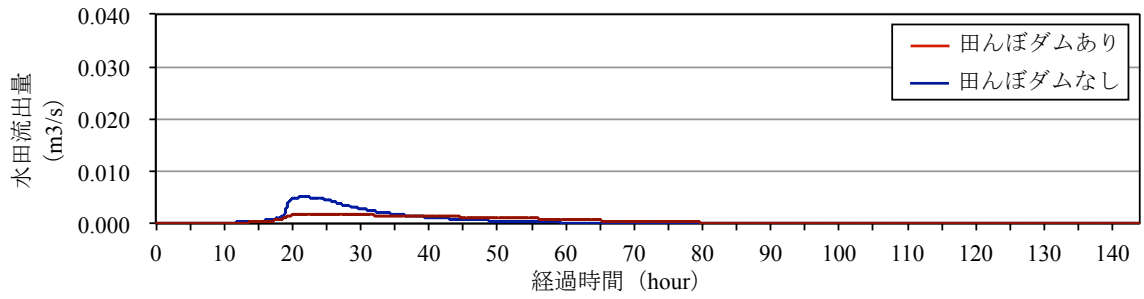


(c) 1/30 確率降雨

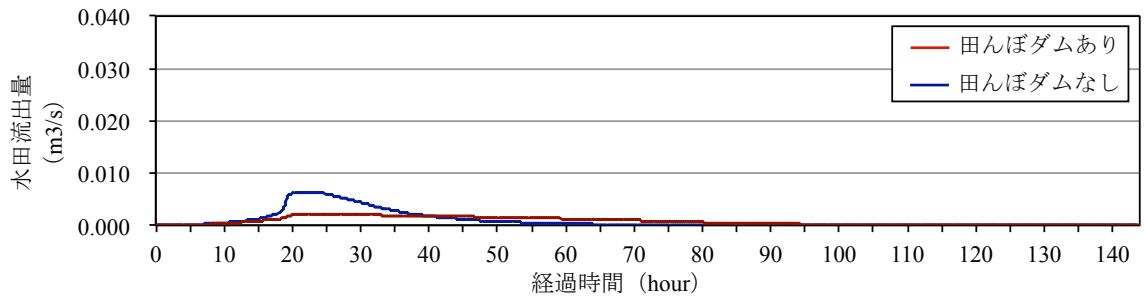


(d) 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨

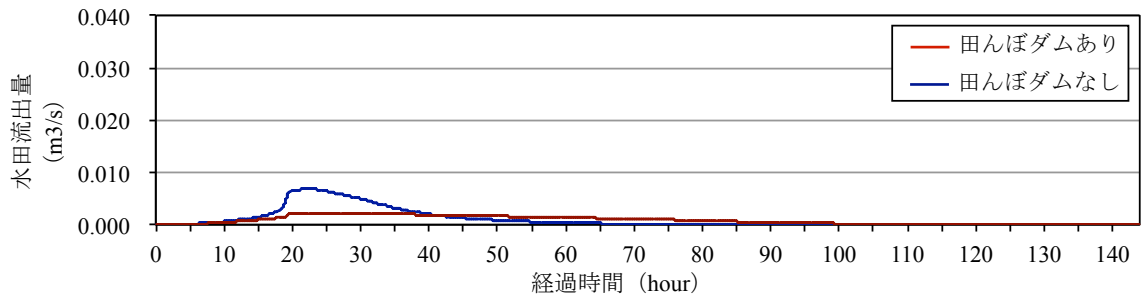
図 3.18 落水量調整キャップの田面水深変化



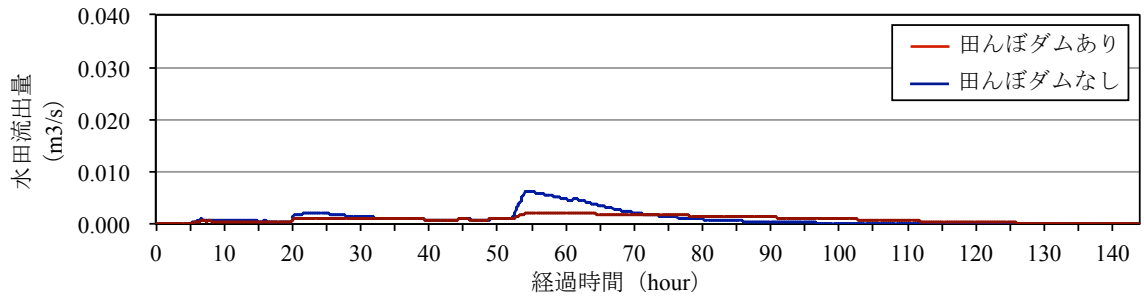
(a) 1/10 確率降雨



(b) 1/20 確率降雨

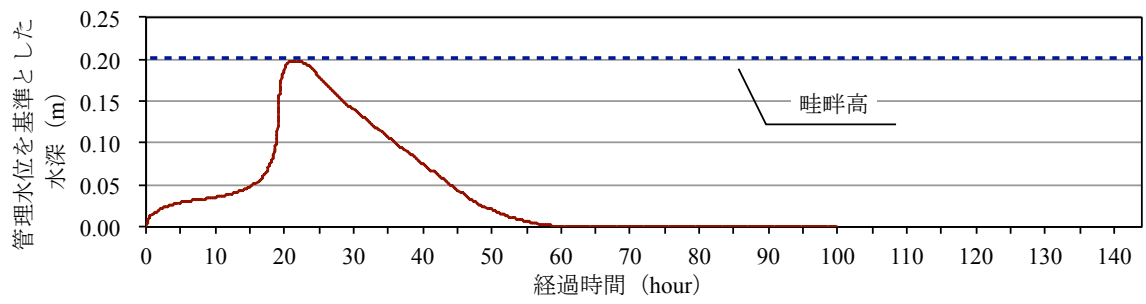


(c) 1/30 確率降雨

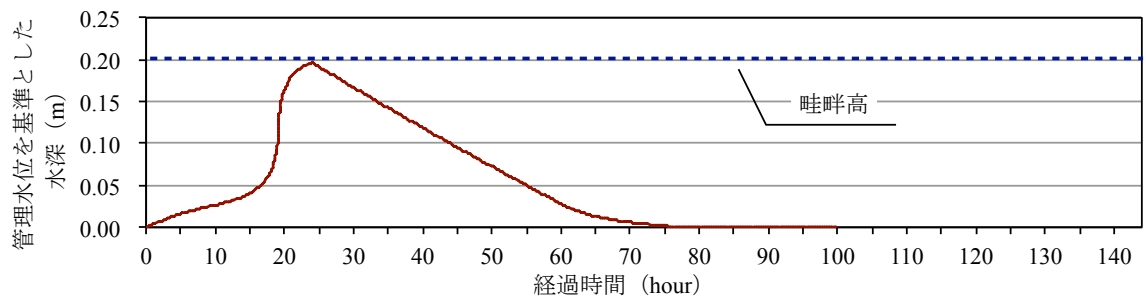


(d) 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨

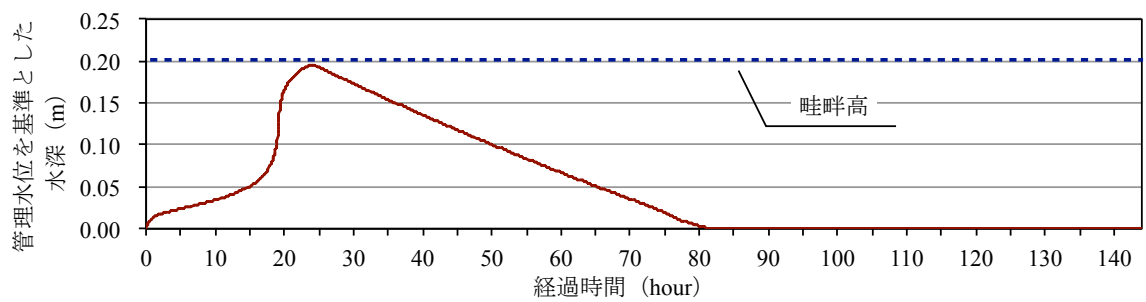
図 3.19 落水量調整キャップの水田流出量



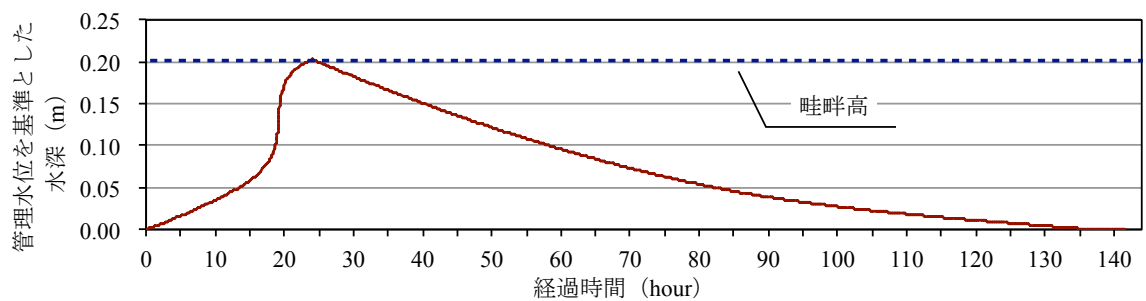
(a) 垂直設置型落水量調整板 (340mm/day)



(b) 水平設置型落水量調整板 (285mm/day)



(c) 機能分離型フリードレーン調整管 (255mm/day)



(d) 落水量調整キャップ (244mm/day)

図 3.20 落水量調整装置ごとの最大適用可能降雨イベント時の田面水位変化

第4章 内水氾濫解析モデルの概要

本章では、流域スケールでの田んぼダムの効果を検証するために開発した内水氾濫解析モデルの概要を示す。

1. 内水氾濫解析モデル開発の意義

洪水氾濫は、その氾濫をもたらした外力によって外水氾濫と内水氾濫に大別される。外水氾濫とは、河川そのものの水位が上昇して引き起こされる水害のことである。これに対し内水氾濫とは、市街地に降った雨水をスムーズに河川に放出できないことで起こる水害のことを示す。田んぼダムの洪水緩和機能を正確に評価するためには、農業主体流域における内水氾濫過程を的確に表現できる氾濫解析モデルを用いることが不可欠となる。とりわけ氾濫によって大きな経済的被害が想定される市街地・樹園地・畑地においては、浸水域のほか、浸水継続時間の短縮による効果の把握が重要である。

外水氾濫解析の中心モジュールのひとつとなる平面的な流況の解析は、平面2次元の浅水流問題として扱うのがもっとも合理的である。岩佐ら(1980)によりはじめて氾濫流況の平面2次元的な数値解析が行われた。その後、市街地などの複雑な形状の境界適合の必要性が指摘されるようになり、福岡ら(1994, 1998)は一般座標に基づく解析方法を提案した。構造格子型の一般座標では境界適合の自由度は必ずしも高くない。格子構成の負担は複雑になるほど大きくなる。この問題の解消とさらに自由度の高い境界適合のために川池ら(2002)や秋山ら(2002)は非構造型格子を導入した解析方法を提案している。安田ら(2003)は格子分割の基本的な考え方を非構造型としながら、土地利用や地形形状に合わせて能動的な格子分割を行う地形適合セルを提案し、計算の効率化と精度維持の両立に成功している。

このように、外水氾濫を対象とした解析モデルについての既往研究は数多く存在するものの、本研究が解析対象とする内水氾濫を対象とした研究事例は非常に限られている。これまで内水氾濫現象を扱った研究の多く(例えば、戸田ら 2000, 川池ら 2003, 相良ら 2004)は、都市域を解析対象の氾濫原としており、氾濫水は下水道と通じて系外へと排出されることを想定している。一方、農業主体流域においては、下水道が整備されていない場合が多く、氾濫原を構成する農地や市街地からの流出水は、末端排水路を経由して支線・幹線排水路に流入する。この場合、排水路の溢水およびそれに伴う浸水現象の表現には、流出特性の異なる土地利用属性毎の横流入量の把握が重要となる。

農業主体領域を対象とした内水氾濫現象を解析できるモデルとして、低平地タンクモデル(早瀬・角屋, 1993)がある。しかし、低平地タンクモデルは、(1)流域の地形形状を忠実に再現しない、(2)各水田タンク間の水移動を考慮しないといった課題

があるため、厳密な浸水継続時間および浸水域の算定には不十分である。

そこで、本研究では、田んぼダムの洪水緩和機能を評価するための浸水域および浸水継続時間を共に算定できる内水氾濫解析モデルを開発した。本モデルは、(1) 各土地利用属性からの流出量を計算する地目別流出モデル、(2) 排水路網の流れを計算する河川・排水路網モデル、(3) 氾濫水の伝播を計算する氾濫流モデルの3つのサブモデルが、それぞれの計算結果である水位で連動する点に特徴がある。以下に開発したモデルの詳細を示す。

2. 内水氾濫解析モデルの全体構成

解析モデルは、各土地利用からの流出量を計算する「地目別流出モデル」、排水路の流れを計算する「河川・排水路網モデル」および氾濫水の伝播を計算する「氾濫流モデル」の3つから構成される（図4.1）。

計算の便宜上、平面的に広がる解析領域を排水区域およびセルの2段階で表現し、河川・排水路を任意区間 (dx) のメッシュで分割する。排水区域とは、「河川・排水路網モデル」の各計算メッシュに横流入量として流入する区域である。排水区域を圃区あるいは耕区で分割したものをセルと呼ぶ。これは、流出特性の異なる土地利用地目からの流出量の計算を担う「地目別流出モデル」および溢水後の氾濫水の空間的な伝播の計算を担う「氾濫流モデル」の計算点を配置したものである。

各サブモデルは相互に連動しており、それぞれの計算結果が互いの境界条件もしくは計算条件となる。すなわち、「地目別流出モデル」は「河川・排水路網モデル」の計算結果である河川・排水路水位に応じて流出量（負の場合は流入量）(q_P, q_E, q_C) を算定し、溢水後は、「地目別流出モデル」で計算する各セルの水位と隣接セルの水位を比較して、「氾濫流モデル」で氾濫水の移動量 (q_{Adj}) を決定する。任意時間ステップにおけるセル水位は隣接セルからの氾濫水移動量によって最終的に決定される。次の時間ステップでは、この水位を用いてセルからの流出量が算出され、時々刻々の浸水規模を計算する。

各サブモデルの計算方法を以下に示す。

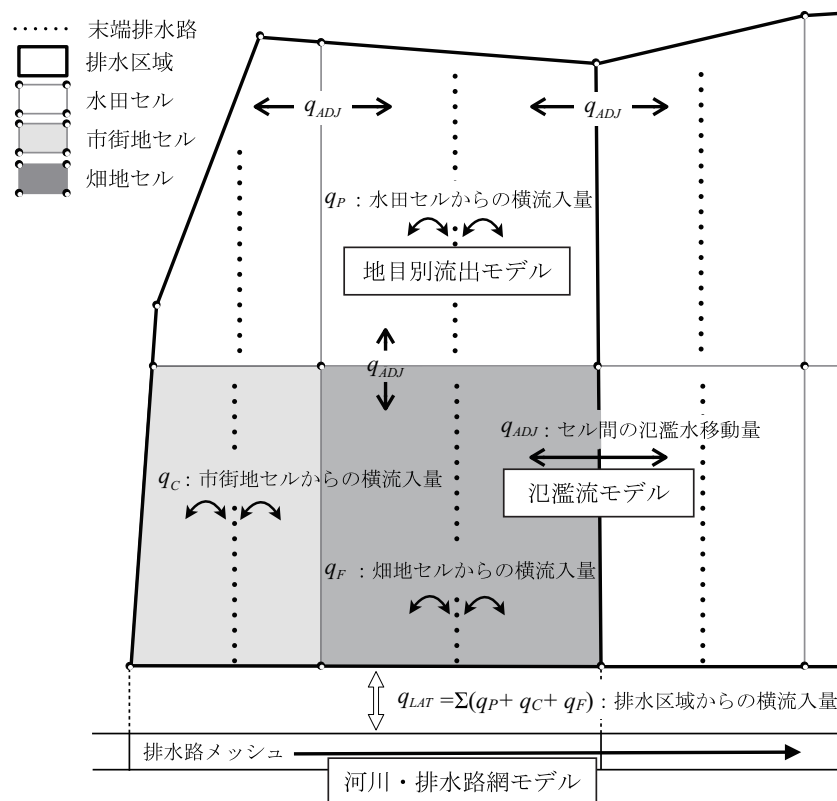


図 4.1 モデルのフレーム

3. 地目別流出モデル

3.1 末端排水路の概念

セルは土地利用属性ごとに設定し、水田、畑地（転作田を含む）、市街地（集落等の住区を含む）、山地の4分類とする。各セルからの流出は、セル内に仮定した末端排水路を経て排水路メッシュに流入する。末端排水路とは、農地や市街地の最末端の小排水路をモデル化したものである。複数セルで構成される各排水区域からの流出は、末端排水路を経由して、接続先の支線もしくは幹線排水路に流入する。ただし、末端排水路の水位は、接続先の排水路の水位と一致するものと仮定した。解析領域の規模によって各排水区域の面積を設定するが、最大でも10ha程度であり、末端排水路の延長は、平均150m程度となるため、水位の伝播に長時間を要さないと考えたからである。

末端排水路は、一定横断幅（60cm）以上の小排水路を空中写真および現地踏査によって判別した結果、土地利用地目ごとに水路存在密度に規則性があることが明らかになった（表 4.1）。したがって、本モデルでは解析領域の同一土地利用地目のセル内の水路存在密度は同程度であると仮定し、各セル面積に水路存在密度の平均値を乗じることで末端排水路延長を決定する。

セルからの流出量は末端排水路水位の影響を受け, 図 4.2 に示すように①自由流出, ②潜り流出, ③逆流といった形態を取る. 末端排水路は土地-排水路間の雨水のインターフェイスとしての機能を果たし, セルから排水路への横流入量は正の値も負の値も取り得る. 負の値は, 排水路から末端排水路を経てセルへ流入することを意味する. 流出入量は土地利用地目ごとに以下のように計算する.

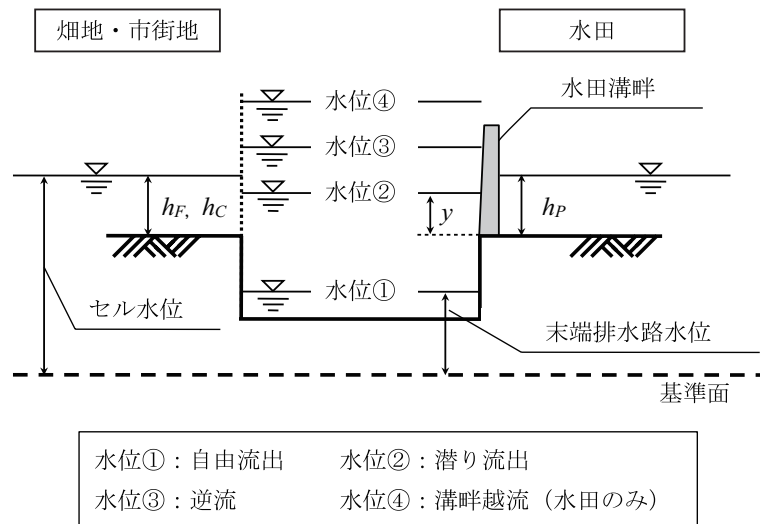


図 4.2 各土地利用地目からの流出形態

表 4.1 末端排水路の存在密度

	水路存在密度 (m ha ⁻¹)
水田・畑地	70-80
市街地	110-130

3.2 水田

水田区画の水の流出入は, 田面水位・末端排水路水位に応じて形態が異なる. 田面水位・末端排水路水位がともに区画畦畔高未満の場合, 区画-排水路間の田区排水施設を通して雨水が流出入するが, 水位によって自由流出あるいは潜り流出となる. 一方, 排水路水位が区画溝畔高を超えると, これを越流する.

以下にそれぞれの計算アルゴリズムを示す.

3.2.1 田面・末端排水路水位がともに区画畦畔高未満の場合

雨水は区画-排水路間の田区排水施設を通して流出入するため, 第 3 章 2 に示した「水田流出量算定モデル」の計算アルゴリズムによって計算する.

3.2.2 田面・末端排水路水位が区画畦畔高を越えた場合

区画畦畔高は解析領域ごとに平均的な値とし、田面水位・末端排水路水位が上回った場合には、溝畔からの越流量 (q_p) を以下のセキの公式によって計算する (図 4.2)。

$$|q_p| = E_p B_p (h_p - y)^{3/2} \quad (1)$$

ここに、 E_p ：流量係数、 B_p ：末端排水路延長、 h_p ：越流水深である。

流量係数 (E_p) は、土地利用地目ごとの排水遅延を表す係数と定義し、実測流出量と適合するよう決定する。なお、末端排水路水位が田面水位以上に上昇した場合 ($y > h_p$) は、 $|q_p|$ の符号を負とし、排水路から水田区画への流入を表現する。

セル水位 (h_p) は、算出された流出入量 (q_p) を与え、次式を Runge-Kutta 法で逐次計算する。

$$\frac{dh_p}{dt} = -\frac{q_p}{A_p} + R - L \quad (2)$$

ここに、 t ：時間、 A_p ：水田面積、 R ：降雨量、 L ：減水深である。

3.3 畑地および市街地

畑地・市街地の各セル水位に応じた流出入量 (q_F, q_C) は、溝畔を越流した場合の水田と同様に以下のセキの公式によって計算する。

$$\text{畑地} \quad : \quad |q_F| = E_F B_F (h_F - y)^{3/2} \quad (3)$$

$$\text{市街地} \quad : \quad |q_C| = E_C B_C (h_C - y)^{3/2} \quad (4)$$

ここに、 E ：流量係数、 B ：末端排水路延長、 h ：越流水深であり、添字 F, C はそれぞれ畑地、市街地を示す。

流量係数 (E_F, E_C) は、水田と同様の方法で決定する。セル水位 (h_F, h_C) は、流出入量 (q_F, q_C) を既知として、次式を Runge-Kutta 法で逐次計算する。

$$\frac{dh_F}{dt} = -\frac{q_F}{A_F} + ER, \quad \frac{dh_C}{dt} = -\frac{q_C}{A_C} + ER \quad (5)$$

ここに、 t ：時間、 A ：セル面積、 ER ：有効降雨量、添字 F, C はそれぞれ畑地、市街地を示す。

3.4 山地

山地は標高の高いため，低平領域の河川水位上昇の背水の影響を受けないと考え，常に自由流出のみが発生すると仮定した．流出量は，Kinematic Waveモデルによって算出する．

3.4.1 Kinematic Waveモデルの概要

Kinematic Waveモデルは，流域を仮定の斜面と河道によって表現し，両斜面に降った降雨が斜面を流下して下流部の河道に流入し，河道を流下するという物理モデルである（図4.3）．斜面を流れる雨水を斜面流，斜面から流れ込み河道を流れる雨水を河道流とする．

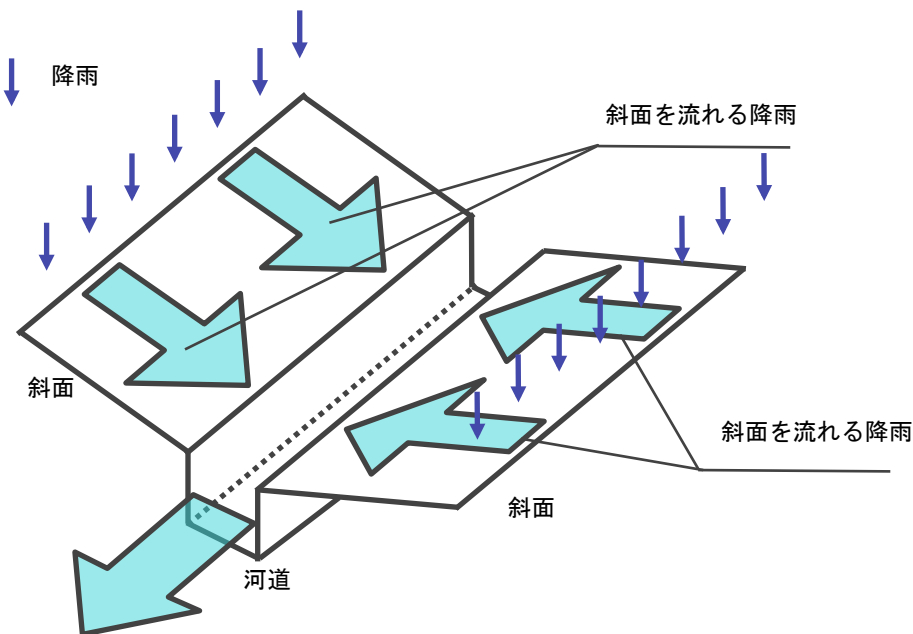


図 4.3 Kinematic Wave モデルの概念

3.4.2 Kinematic Waveモデルの基礎式

斜面流に関するKinematic Wave法の基礎式を以下に示す．

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r_e \quad (0 \leq x \leq L) \quad (6)$$

$$q = \alpha h^m \quad (7)$$

ここに， h ：水深， q ：斜面単位幅当たりの流量， t ：時間， x ：斜面上流端からの距離， r_e ：有効雨量， L ：斜面長， α ， m ：斜面流定数である．

洪水流出計算では，マンニングの抵抗則を適用したものが多く用いられる．この場合，

斜面流定数は以下のようになる。

$$\alpha = \frac{\sqrt{i}}{n}, \quad m = \frac{5}{3} \quad (8)$$

ここに、 i ：斜面勾配、 n ：斜面の等価粗度である。

次に、河道流の基礎式を以下に示す。斜面流の基礎式の h を W 、 re を q 、 α を G 、 m を M にそれぞれ置き換えると、河道流の基礎式になる。

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (9)$$

$$Q = GW^M \quad (10)$$

ここに、 W ：河道流断面積、 Q ：河道流量、 G, M ：河道流定数である。

河道流定数の推定法として、次のような方法を用いた。まず、河道流の流速がマンニング式で表されると仮定すると、河道の流量は以下の式で求められる。

$$Q = \frac{1}{N} WR^{2/3} I^{1/2} \quad (11)$$

ここに、 N ：河道の粗度係数、 R ：径深、 I ：河道勾配である。

径深について、定数 K および Z を用いて以下のように定義した。

$$R = KW^Z \quad (12)$$

これを式(11)に代入して整理すると、式(10)における河道定数 G 、 M は以下のようになる。

$$G = \frac{K^{2/3} I^{1/2}}{N}, \quad M = 1 + \frac{2}{3} Z \quad (13)$$

すなわち、河道断面から式(12)の定数 K と Z を推定し、河道勾配 I と河道粗度係数 N がわかれば、河道定数 G 、 M を算定することができる。以上の基本理論をもとに、斜面流、河道流の計算を行うモデルを作成し、山地からの流出量を求めた。

4. 河川・排水路網モデル

解析領域内の河川および幹線・支線レベルの全排水路網を、水路メッシュに分割する。以下の運動量式(式(14))、連続式(式(15))を基礎式として、一次元不定流計算を行う。

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{2g} \frac{\partial v^2}{\partial x} + \frac{\partial \eta_D}{\partial x} + \frac{n^2 v |v|}{R^{4/3}} = 0 \quad (14)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{LAT} \quad (15)$$

ここに、 v ：流速， t ：時間， g ：重力加速度， η_D ：排水路水位， x ：距離， n ：粗度係数， R ：径深， A ：流積， Q ：流量， q_{LAT} ：横流入量である。

排水路メッシュ m の横流入量 (q_{LAT}^m) は、排水区域内に含まれる全セルの流出入量 (q_P, q_F, q_C) の合計値である。

$$q_{LAT}^m = \sum_{i=1}^n q_{P_i^m} + \sum_{i=1}^p q_{F_i^m} + \sum_{i=1}^r q_{C_i^m} \quad (16)$$

ここで、 n, p, r ：排水路メッシュ m に含まれる水田，畑地，市街地セルの数， q_P, q_F, q_C ：水田，畑地，市街地セルの流出入量である。

5. 氾濫流モデル

低平地の内水氾濫の流動は、僅かな地形起伏，特に道路・畦畔等の線状構造物や農地の区画間段差に大きく制限される。このため、直交座標系に基づく2次元不定流氾濫解析手法（以下、従来手法）では、忠実な流動の再現に高密度な計算点配置が必要であった。その結果、水田区画などの均平が保障されている土地利用地目に対しても、多数の不要な計算点が生成されていた。一方、解析対象領域が大きい場合は計算負荷が非常に大きくなるため、空間解像度を低下させざるを得ず、結果として再現性の低下に繋がった。

本モデルでは、土地利用地目や地形形状に合わせた自由度の高い計算点配置が可能な地形適合セル（安田ら，2003）を導入した。本手法は、以下に示すように、計算負荷軽減および忠実な氾濫流挙動の再現という2点で従来手法と比較して高い優位性がある。

5.1 地形適合セルの特徴

5.1.1 計算負荷軽減

地形適合セル（以下、セル）は、従来手法の矩形格子とは異なり、地形形状を任意多角形で表現する（図 4.4）。市街地などの氾濫水伝播に影響を与える構造物が密集する箇所や地形勾配の急な箇所において計算点配置密度を高く、均平が保障されている水田区画などで低く設定できる。計算点であるセルは、道路・畦畔等の線状構造物と標

高値変化に基づいて作成するため，連続した同標高の平面に計算点を多数配置する従来手法と比較して，計算点数が大幅に減少し，計算効率の向上に繋がる．

5.1.2 線分境界による忠実な氾濫流挙動の再現

各セルの標高情報は，セル内の平均標高に加えて，セルを構成する線分に個別に与える（図 4.4）．このため，従来手法では考慮しづらかった線状構造物による流動への影響を線分境界によって反映させることができる．道路面が地盤標高より高いという特徴をもつ低平水田地帯の氾濫解析に特に有効な手法である．

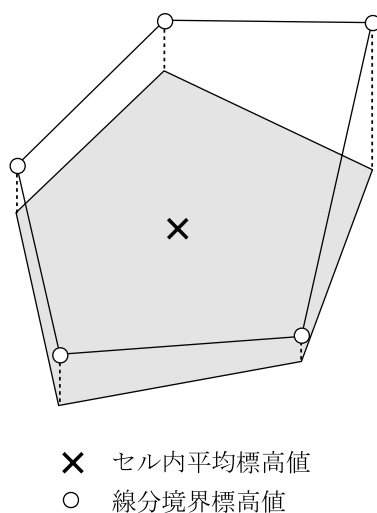


図 4.4 地形適合セルのデータ構造

5.2 地形適合セルの作成方法

セルは，土地利用地目，道路や堤防等の線状構造物および標高値を境界として形状を決定する．セルは，市街地に関しては道路・幹線排水路を基準として作成するが，農地に関しては解析領域の規模によって圃区レベルまたは耕区レベルと作成基準を変更する．また，通常，一般道はセルの線分境界として表現するが，幅員が大きい道路（高速道路・バイパス）や鉄道は土地利用地目を市街地としたセルとして表現する．

5.3 氾濫流の計算

氾濫水の流動が緩慢である低平地における内水氾濫流の計算には，非線形項である移流項を除外した以下の運動量式（式（17））および連続式（式（18））を基礎式として用いる．

$$\frac{\partial q_{ADJ}}{\partial t} + ghl \frac{\partial \eta}{\partial s} = \frac{gn_K^2 |q_{ADJ}| q_{ADJ}}{h^{7/3}} \quad (17)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{1}{A_K} \left(\sum_{i=1}^n q_{ADJ_i} \right) \quad (18)$$

ここに、 q_{ADJ} ：隣接セルからの流入量、 η ：氾濫セル水位、 n_K ：セルの粗度係数、 h ：線分境界の越流水深、 A_K ：セル面積、 l ：セル辺長、 s ：隣接セルとの重心間距離である（図 4.5）。

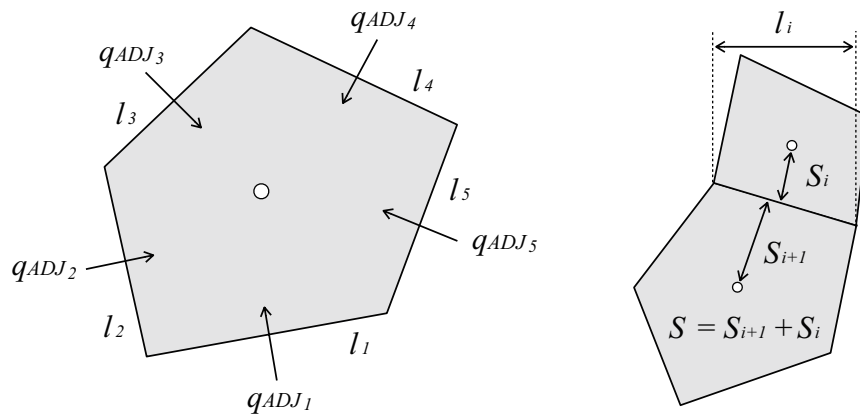


図 4.5 連続式（左）と運動式（右）の変数定義

第5章 流域スケールでの田んぼダムの効果検証

本章では、第4章に示した内水氾濫解析モデルを評価対象流域ごとに構築し、流域スケールでの田んぼダムの効果を評価する。

1. 評価対象流域

評価対象流域は、田んぼダムを実施あるいは導入を検討している新潟県内の18流域とした(図5.1, 表5.1)。評価対象流域はいずれも水田面積割合が40%以上の水田主体流域である。また、対象地の多くは低平地であり、機械排水を行っている。田んぼダムの取組方法は、地区の排水形態に適した方法を地元普及主体と共同開発して採用した。

以降では、評価対象流域の中で最大の流域面積をもつ西蒲原地区を事例に、流域スケールでの田んぼダムの効果の評価方法を示す。

表 5.1 評価対象流域一覧

対象地区	流域	流域面積 (ha)	土地利用割合(%)				排水形態	田んぼダムの 方法
			水田	畑地	市街	山地・その他		
神林	笛吹川	2,040	65	4	12	19	自然排水	水平型調整版
白根	白根郷	7,680	60	10	30	0	機械排水	金具
見附三条	貝喰川	8,435	50	5	22	23	機械排水	フリードレーン
長岡	深才	198	73	10	3	14	機械排水	垂直型調整版
上越	錦川	760	53	19	10	18	自然排水	垂直型調整版
西蒲原	大通川上流	7,098	63	2	33	2	自然排水	
	広通江	1,502	49	23	22	6	自然排水	
	旧広通江	1,879	65	10	20	5	機械排水	
	新川右岸	1,444	73	8	14	5	機械排水	
	田潟	1,169	76	7	14	3	機械排水	
	升潟	817	81	3	15	1	機械排水	
	旧木山川	1,984	74	5	17	4	機械排水	
	飛落川	2,597	74	2	20	4	機械排水	
	大通川下流	2,166	77	5	16	2	機械排水	
	新木山川	746	66	14	20	0	自然排水	
	横江	1,520	40	19	36	5	機械排水	キャップ
	七穂	3,090	79	7	12	2	機械排水	垂直型調整版
	月潟	1,016	68	14	17	1	機械排水	

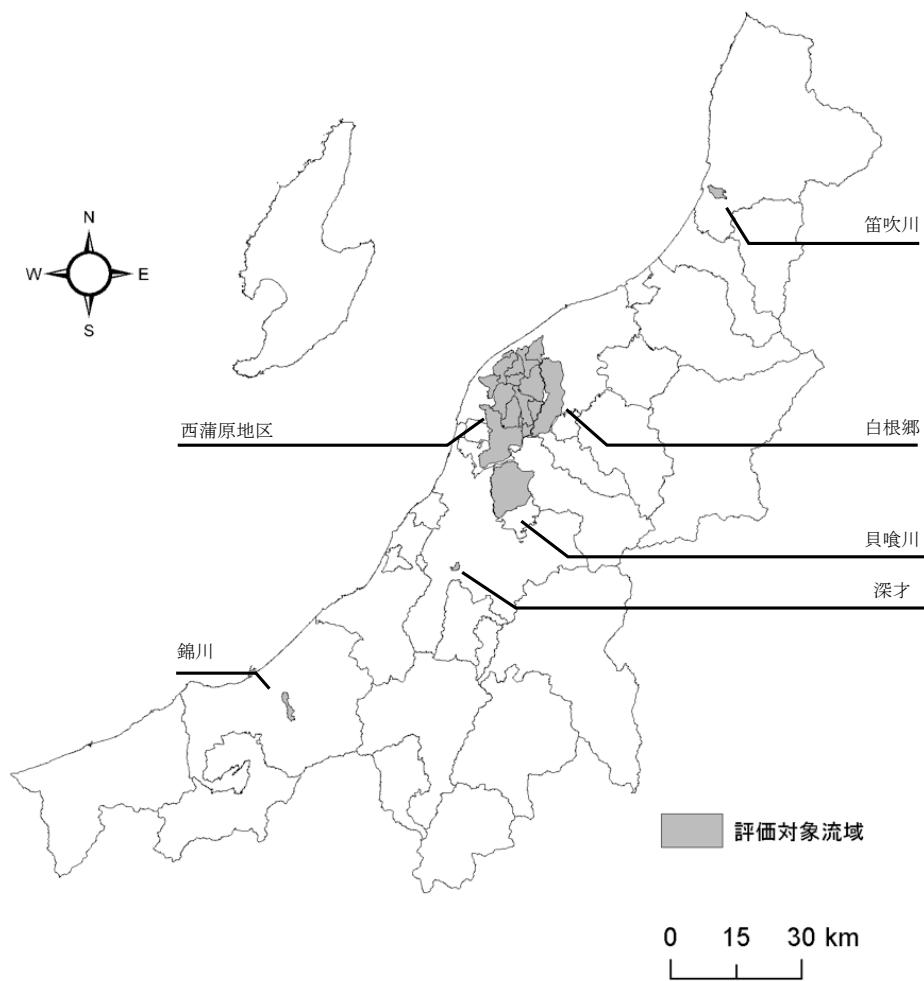


図 5.1 評価対象流域の位置

2. 西蒲原地区概要

西蒲原地区は、新潟平野の中央に位置し、東南方の中ノ口川、大河津分水および信濃川、北西は新潟砂丘、弥彦・角田の山脈で囲まれた約35,000ha（農地面積20,000 ha）の低平地帯である（図5.2）。地形は南部から中央部の鎧漕干拓地まで約1/2,000の勾配で傾斜し、以北は標高ゼロメートルの平坦地となっている（図5.3）。

本地区では、近年の降雨パターンの変化に加え、宅地開発等に伴う土地利用の変化および排水系統が新川に集中し、地区の排水の多くを機械排水に頼らざるを得ないという特徴から、計画以上の降雨があるたびに地域の農用地、農作物が多大な湛水被害に見舞われている。本地区は、平成13年から平成22年までの10年間に4回の水害を経験

しており、水害常襲地帯である。さらに「平成23年7月新潟・福島豪雨」時には、地区の主要排水河川である新川と一部排水区域の排水を担う中ノ口川の水位上昇に伴い、排水規制が敷かれ、地区内に湛水被害が発生した。こうした背景から、内水氾濫の被害軽減を目的として、平成24年より地区内の七穂流域において田んぼダム事業（事業主体：新潟市農村整備課）が始まった。

なお本解析では、西蒲原地区のうち、山側で比較的標高が高く、浸水実績が非常に少ない矢川地区と御新田地区を除いた計13地区（図5.4）を解析対象地区とした。

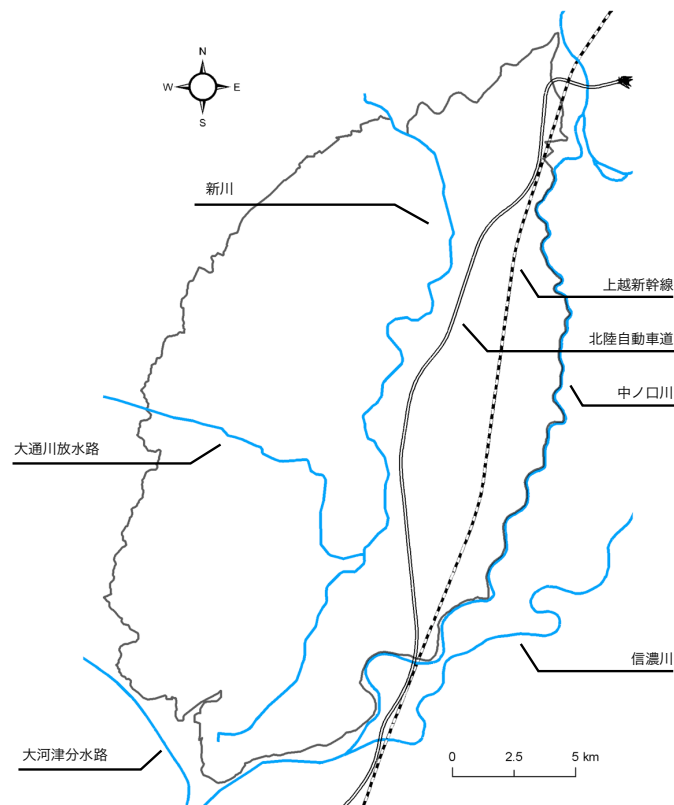


図 5.2 西蒲原地区概要

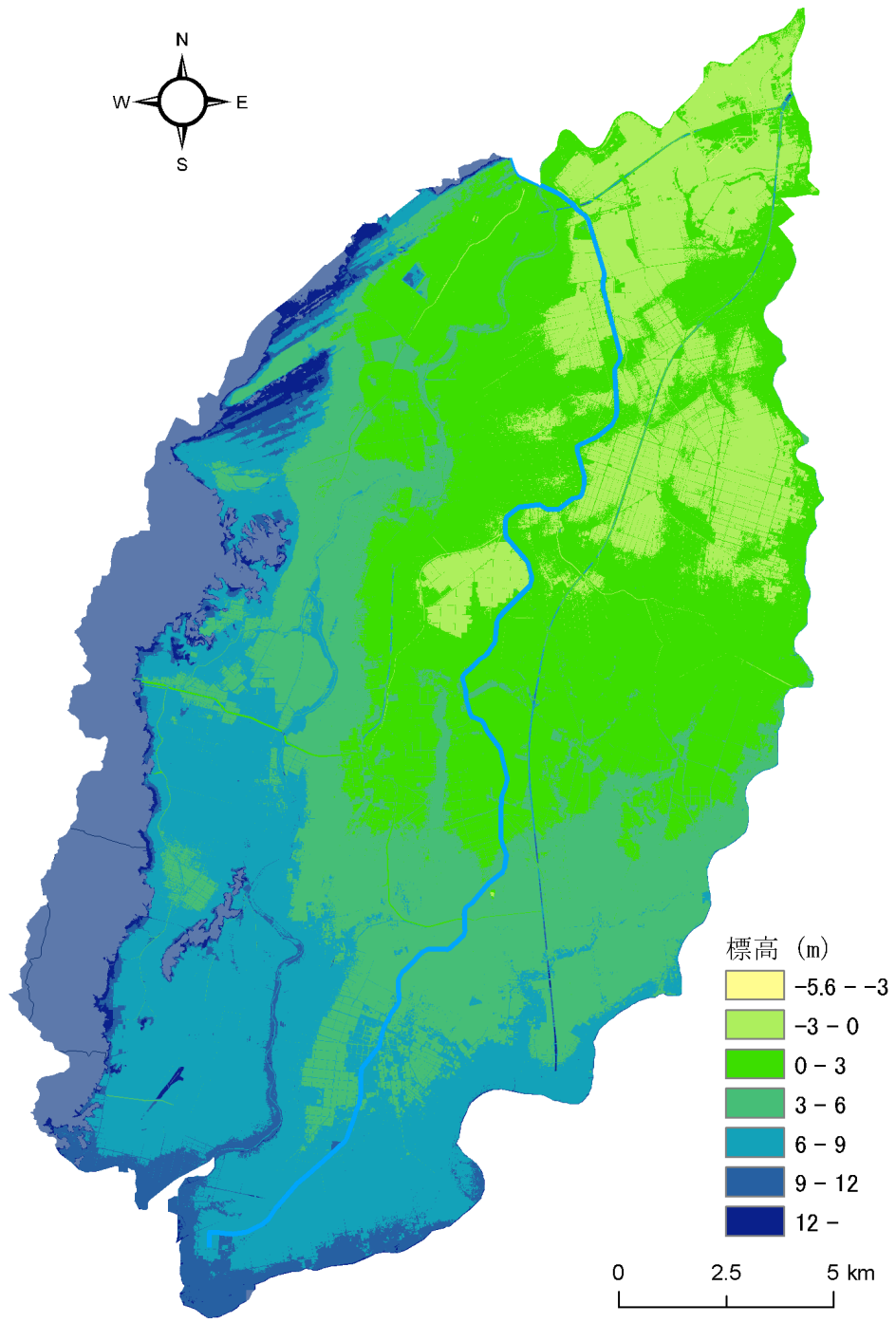


図 5.3 西蒲原地区の標高

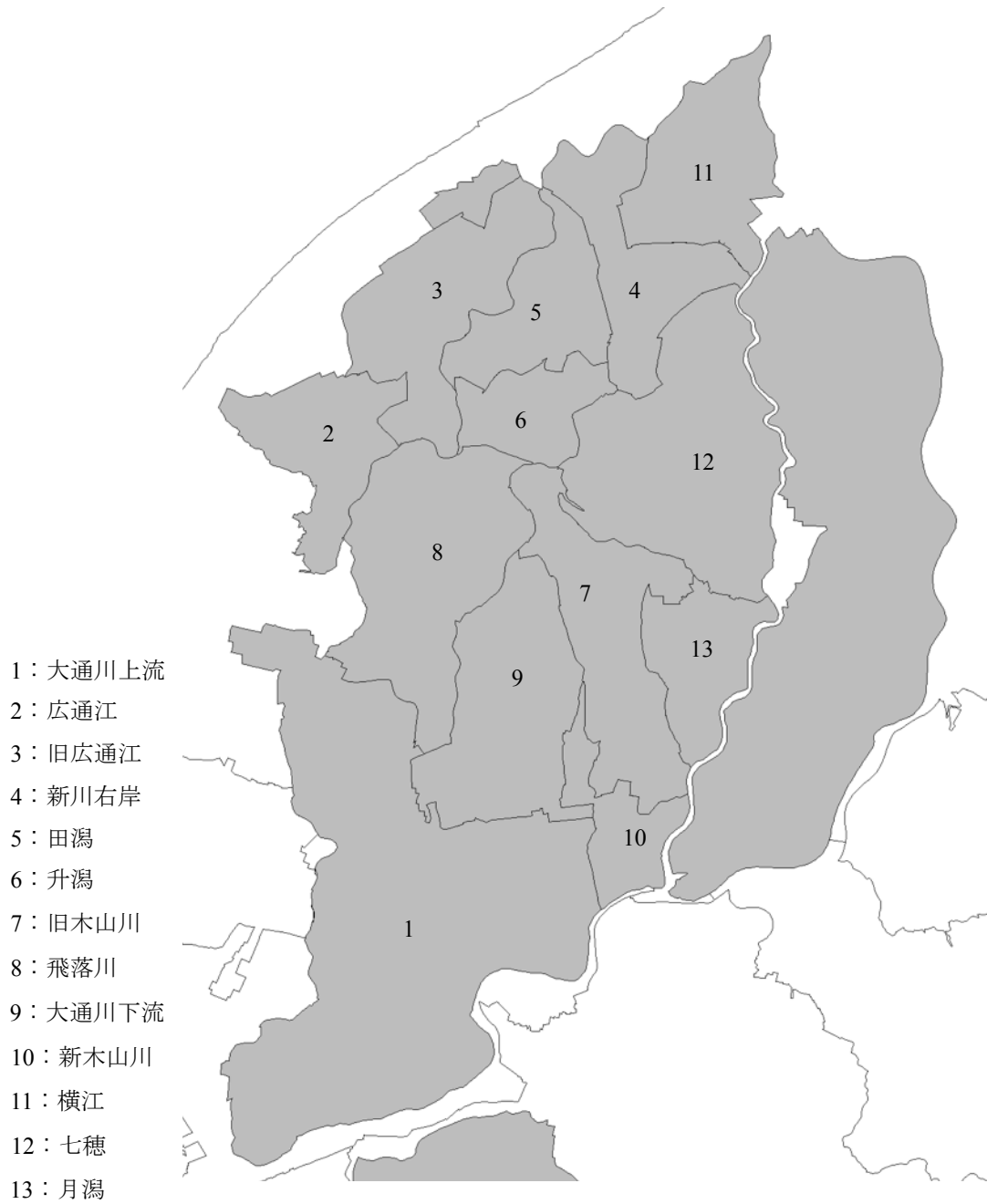


图 5.4 解析对象地区

3. 内水氾濫解析モデルの構築

3.1 河川・排水路網モデル

3.1.1 排水路網および排水区域の作成

NTC コンサルタンツが構築した一次元不定流モデル「雨法師」（図 5.5）を参考に排水路網を整備した（図 5.6）．水路網を水路長 400m の計算メッシュに分割した結果，水路メッシュ数は 2,257 個となった．次に，排水系統図を参考にして，各水路メッシュに排水が流入する区域を決定した（図 5.7）．排水路メッシュ数からダミーメッシュ数および土地からの流入がないメッシュを差し引いた数である排水区域数は，1409 個となった．この排水流入区域内の土地利用からの流出量を横流入量として，対応する各排水路メッシュに入力した．

3.1.2 排水路標高データおよび排水路断面データの作成

「雨法師」の水路標高データおよび水路断面データを参考にして，水路標高データおよび水路断面データを整備した．ただし，一部データに不備が確認された箇所については，現地測量調査によってデータを取得した．

3.1.3 排水機場のモデル化

西蒲原地区には排水機場が合計54箇所存在する．これらをモデルに反映させるため，図5.6に示した水路メッシュ54箇所に排水機場の吐出量を流量境界条件として与えた．排水機場のポンプ運転は，実際の排水規則に基づき，運転・停止水位および吐出流量を設定した（表5.2-表5.5）．

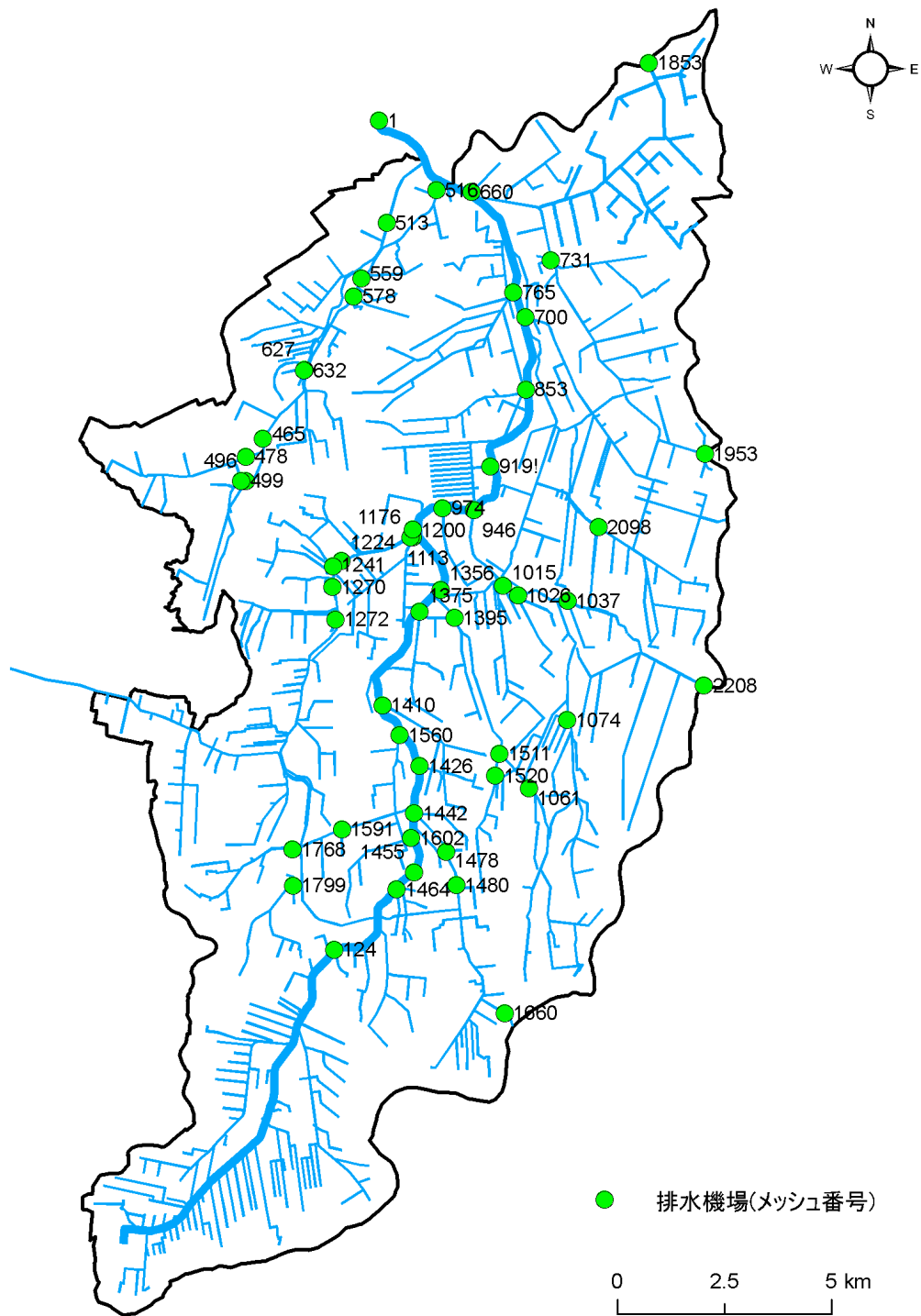


図 5.6 作成した排水路網

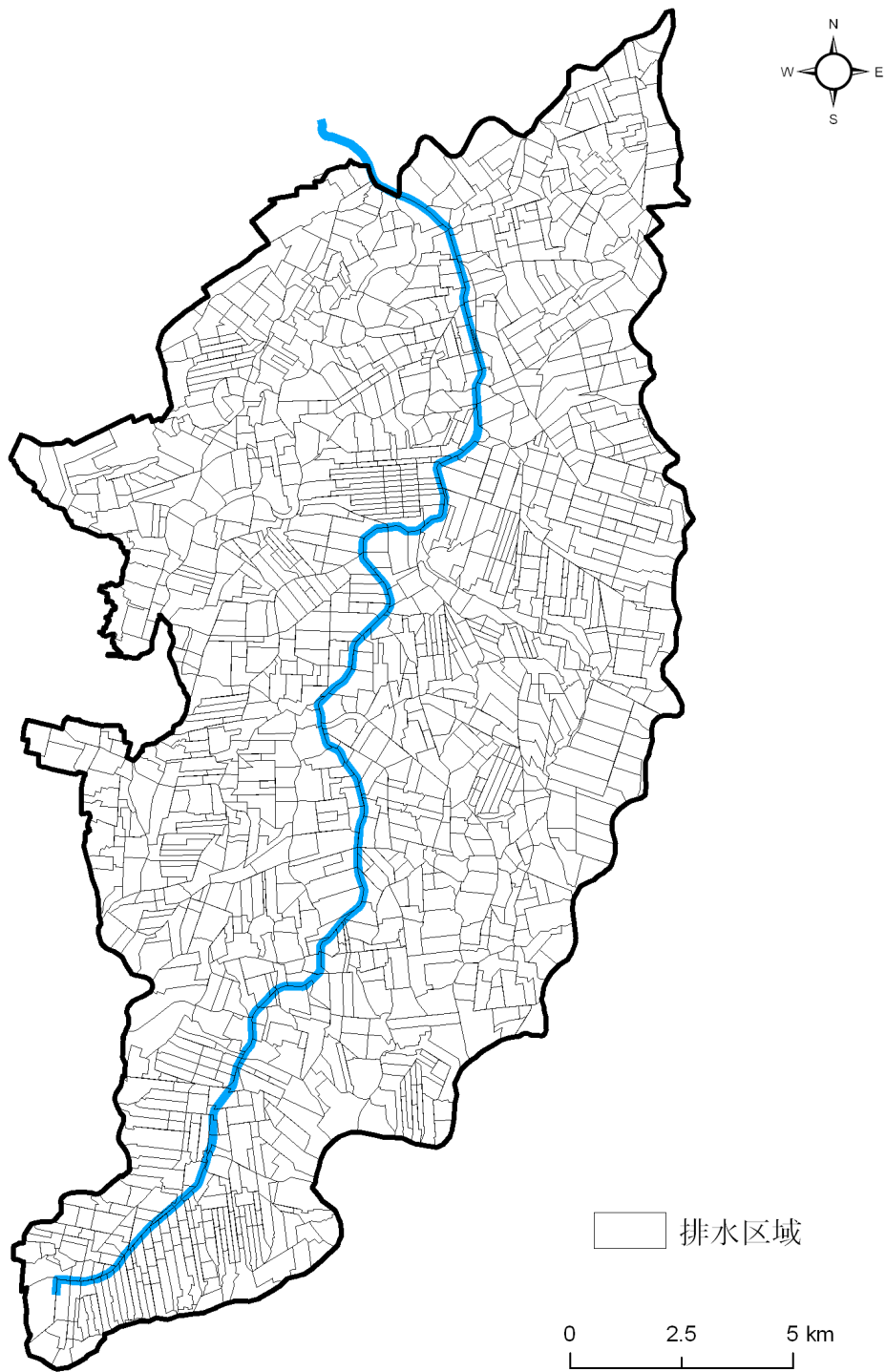


図 5.7 作成した排水区域

表 5.2 排水機場の操作規則（大通川上流-新川右岸）

流域	排水機場	メ ッ シ ユ 番 号	台数	吐出流量 (m ³ /s)	起動水位(m)	停止水位 (m)
西蒲原	新川河口	1	1台目	40	-0.40	-0.60
			2台目	80	-0.20	-0.40
			3台目	120	0.00	-0.20
			4台目	160	0.20	0.00
			5台目	200	0.40	0.20
			6台目	240	0.60	0.40
大通川上流	道満堂	124	1台目	0.43	4.14	3.84
			2台目	1.00	4.24	3.94
			3台目	1.58	4.34	4.04
広通江	中島下	465	1台目	0.30	2.30	2.00
広通江	松野尾	478	1台目	0.30	2.80	2.30
広通江	西汰上	496	1台目	0.43	2.54	1.49
広通江	松野尾谷地	499	1台目	0.40	2.80	2.30
広通江	上新田	513	1台目	0.28	1.00	0.00
旧広通江	旧広通江	517	1台目	3.00	-1.30	-1.35
			2台目	7.77	-1.20	-1.25
			3台目	11.00	-1.15	-1.20
			4台目	15.00	-1.10	-1.15
			5台目	23.00	-1.05	-1.10
			6台目	30.00	-1.00	-1.05
			7台目	37.00	-0.90	-0.95
旧広通江	新荒江	559	1台目	6.02	-0.36	-0.86
旧広通江	早潟	578	1台目	0.95	-0.30	-0.60
			2台目	1.64	-0.25	-0.55
旧広通江	赤塚第二	627	1台目	0.19	1.80	1.30
旧広通江	赤塚第一	632	1台目	0.19	1.30	1.00
新川右岸	新川右岸	660	1台目	5.00	-2.30	-2.50
			2台目	10.46	-2.10	-2.15
			3台目	16.00	-1.85	-1.95
			4台目	21.00	-1.80	-1.85
			5台目	26.00	-1.50	-1.70
			6台目	32.00	-1.30	-1.43
新川右岸	貝柄	700	1台目	3.40	-1.65	-1.75
			2台目	7.30	-1.60	-1.65
			3台目	10.80	-1.25	-1.50
新川右岸	木場	731	1台目	1.33	-1.00	-1.30

表 5.3 排水機場の操作規則（田潟-飛落川）

流域	排水機場	メッシュ 番号	台数	吐出流量 (m ³ /s)	起動水位(m)	停止水位 (m)
田潟	田潟	765	1台目	3.85	-2.10	-2.30
			2台目	5.55	-1.85	-1.95
			3台目	9.16	-1.78	-1.87
			4台目	11.50	-1.65	-1.75
			5台目	14.90	-1.40	-1.65
			6台目	20.00	-1.25	-1.55
升潟	升潟	853	1台目	3.00	-1.05	-1.10
			2台目	5.00	-0.95	-1.05
			3台目	7.50	-0.85	-0.90
			4台目	9.00	-0.80	-0.85
			5台目	11.50	-0.75	-0.80
升潟	曾根	919	1台目	0.66	-0.60	-0.80
			2台目	2.50	-0.50	-0.60
旧木山川	旧木山川	946	1台目	10.15	-1.30	-1.40
			2台目	15.00	-0.85	-1.10
			3台目	21.50	-0.75	-0.90
			4台目	28.50	-0.50	-0.55
旧木山川	遠藤	974	1台目	0.80	-0.75	-0.85
			2台目	1.40	-0.65	-0.75
			3台目	2.60	-0.55	-0.65
旧木山川	茨島	1015	1台目	0.30	-0.60	-1.68
			2台目	0.45	-0.50	-1.58
旧木山川	番屋	1026	1台目	0.57	-0.70	-1.18
旧木山川	大原	1037	1台目	1.02	0.00	-1.00
			2台目	1.45	0.10	-0.90
旧木山川	大荒江	1061	1台目	2.86	2.89	2.39
旧木山川	河間	1074	1台目	0.38	1.60	1.20
			2台目	2.73	1.80	1.35
飛落川	鎧潟1号 排水路	1113	1台目	2.00	-2.80	-3.35
			2台目	3.50	-2.65	-3.25
			3台目	6.50	-2.55	-2.94
			4台目	12.00	-2.15	-2.30
飛落川	飛落川	1176	1台目	5.78	-0.50	-0.80
			2台目	11.90	-0.40	-0.60
			3台目	18.50	-0.35	-0.55
			4台目	25.80	-0.30	-0.45
			5台目	32.70	-0.25	-0.35

表 5.4 排水機場の操作規則（飛落川-大通川下流）

流域	排水機場	メッシュ番号	台数	吐出流量 (m ³ /s)	起動水位(m)	停止水位 (m)
飛落川	矢島下江・ 押付下江	1200	1台目	0.78	-0.60	-0.65
			2台目	2.75	-0.45	-0.60
			3台目	5.50	-0.37	-0.40
飛落川	天竺堂	1224	1台目	0.72	0.00	-0.30
飛落川	真田	1241	1台目	0.84	0.70	0.57
飛落川	船場	1270	1台目	1.23	-0.70	-0.80
			2台目	3.65	-0.45	-0.15
飛落川	巻	1272	1台目	1.57	-0.14	-0.70
			2台目	2.50	-0.04	-0.60
旧木山川	今井	1356	1台目	0.46	-0.65	-0.75
			2台目	0.90	-0.58	-0.65
			3台目	1.80	-0.50	-0.55
大通川下流	漆山	1375	1台目	2.10	-0.50	-1.14
			2台目	4.20	-0.20	-0.25
			3台目	5.60	-0.05	-0.15
			4台目	7.00	0.20	-0.05
			5台目	8.20	0.25	0.05
			6台目	9.10	0.30	0.20
大通川下流	東町	1395	1台目	0.68	0.00	-0.30
大通川下流	打越	1410	1台目	2.00	0.90	0.83
			2台目	4.20	1.15	0.90
			3台目	6.30	1.25	1.00
大通川下流	打越沼	1426	1台目	0.71	1.70	0.78
			2台目	1.02	1.80	0.88
大通川下流	長所 長所第二	1442	1台目	0.84	2.40	2.10
			2台目	1.64	2.54	2.24
			3台目	1.94	2.59	2.29
			4台目	2.24	2.64	2.34
大通川下流	館野第一	1455	1台目	0.31	3.35	2.85
大通川下流	平岡	1464	1台目	0.33	3.57	3.02
大通川下流	長所第三	1478	1台目	1.40	3.20	2.03
大通川下流	館野第二	1480	1台目	0.20	3.60	3.10
新木山川	真木	1511	1台目	3.12	1.99	1.37
新木山川	北野地	1520	1台目	0.20	2.30	2.00
大通川下流	佐渡山	1560	1台目	3.72	1.80	1.30
			2台目	6.94	2.00	1.60

表 5.5 排水機場の操作規則（大通川下流-月潟）

流域	排水機場	メッシュ 番号	台数	吐出流量 (m ³ /s)	起動水位(m)	停止水位 (m)
大通川下流	米納津第 2	1591	1台目	1.73	2.70	2.14
			2台目	2.34	2.80	2.24
大通川下流	米納津	1602	1台目	3.13	2.00	1.80
大通川上流	荒井	1660	1台目	3.80	6.00	5.80
大通川上流	鴻巣	1768	1台目	0.30	3.25	2.75
			2台目	0.49	3.35	2.85
大通川上流	新保	1799	1台目	0.35	3.70	2.90
横江	小新	1853	1台目	5.57	-3.30	-3.45
			2台目	7.82	-3.00	-3.15
			3台目	13.38	-2.95	-3.05
			4台目	18.95	-2.85	-3.00
			5台目	21.20	-2.75	-2.90
			6台目	24.50	-2.65	-2.75
七穂	七穂	1953	1台目	13.38	-2.00	-2.50
			2台目	30.00	-1.65	-1.85
			3台目	43.00	-1.55	-1.80
			4台目	55.00	-1.45	-1.75
七穂	井随	2098	1台目	1.00	-1.30	-1.50
			2台目	2.71	-1.20	-1.40
月潟	曲通	2208	1台目	2.37	-0.20	-0.40
			2台目	5.00	0.10	-0.10
			3台目	8.50	0.20	0.10
			4台目	10.93	0.30	0.20
			5台目	12.84	0.45	0.35
			6台目	15.00	0.60	0.50

3.2 氾濫流モデル

3.2.1 地形適合セルの作成

排水区域を基準として、道路や河川などの線状構造物に沿って地形適合セルを作成した。次に、標高データおよび空中写真から現況地形に合わせて再分割した。農地については計算負荷を考慮し、圃区を基準にセルを作成した。総セル数は 16,087 個となった（図 5.8）。

3.2.2 土地利用地目の判別

各セルの土地利用属性は、新潟県土地改良事業団体連合会提供のオルソ化空中写真および新潟市農村整備課提供の転作田位置図によって把握した（図 5.9）。

3.2.3 圃場整備水田の位置把握

圃場整備の有無によって水田からの流出量の計算アルゴリズムが異なるため、西蒲原土地改良区提供の圃場整備状況図から圃場整備水田の位置を把握した（図 5.10）。

3.3 地目別流出モデル

水田の田区排水施設は、圃場整備水田：排水マス，未圃場整備水田：塩ビ管を想定して、第 3 章 2 に示した計算アルゴリズムを適用した。

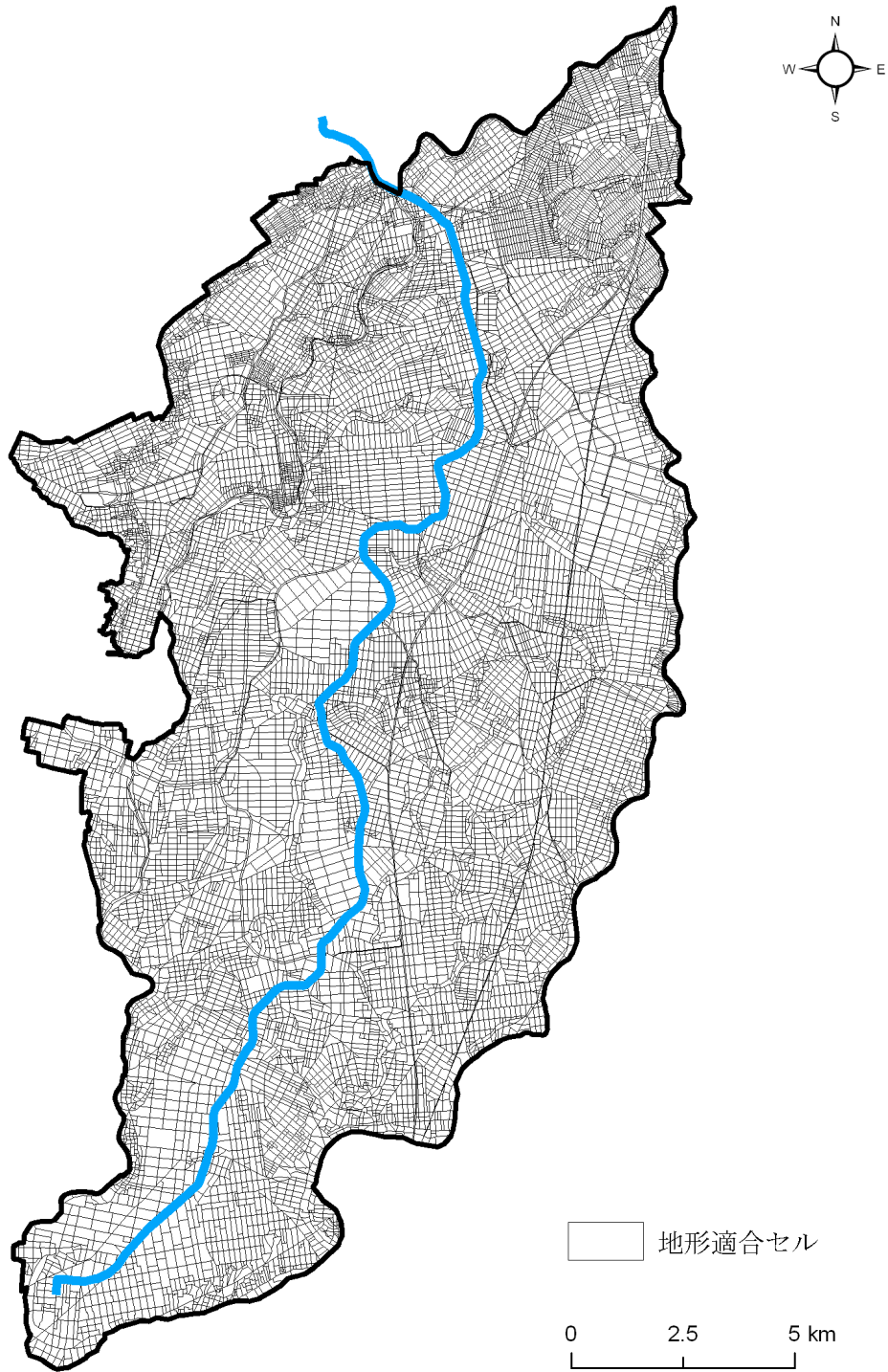


図 5.8 地形適合セル

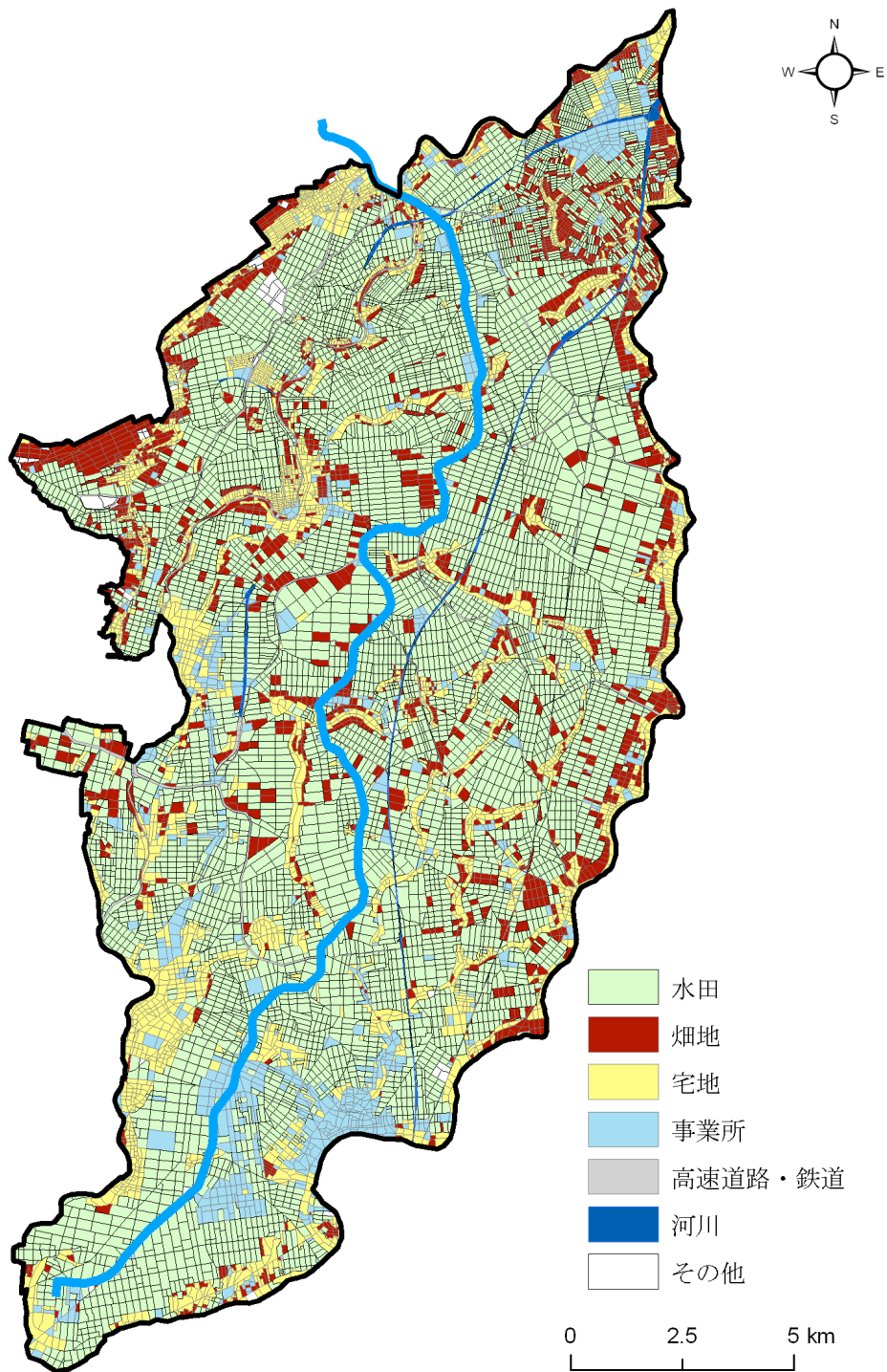


図 5.9 土地利用地目

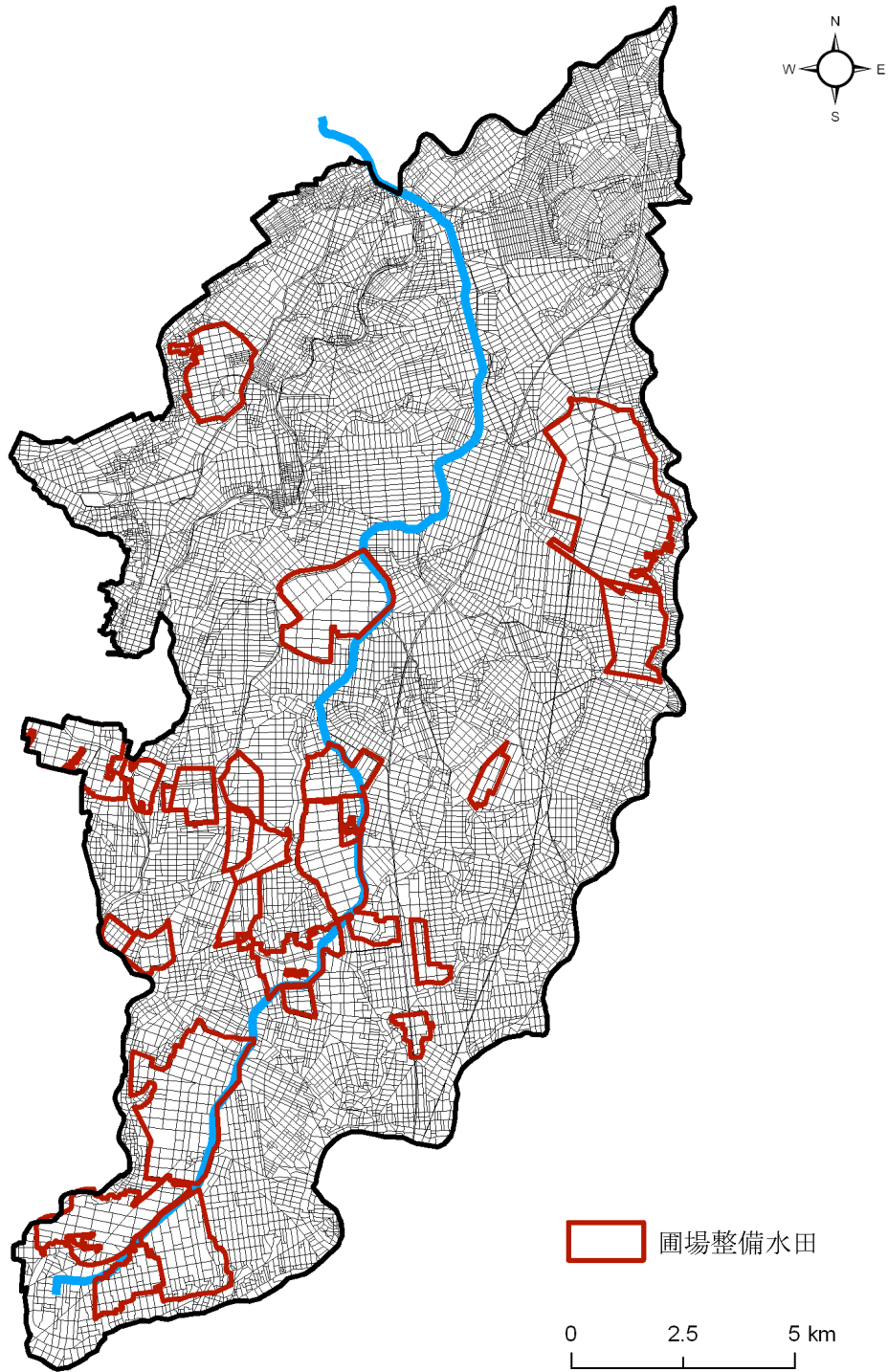


图 5.10 圃場整備状況

3.4 内水氾濫解析モデルの再現性検証

3.4.1 対象降雨

2011年7月28日から7月30日にかけて発生した「平成23年7月新潟・福島豪雨」を対象に、構築した氾濫流モデルの再現性を検証した。西蒲原地区における降水量は、地区内に6地点ある気象観測所の雨量データ（図5.12–図5.17）を用いた。

一般的に、適用雨量はティーセン法等で求めた平均面積雨量をモデル適用地区全域に一律に与えるが、観測地点ごとの降雨波形に大きな差異があったため、再現性の確保が困難であった。そこで、各観測地点の座標を元にティーセン法ポリゴンを作成し、観測雨量を各ティーセンポリゴンの範囲に適用した。具体的には、排水区域毎に適用降水量を設定するが、排水区域が2つ以上のティーセンポリゴンにまたがる場合は、面積が最も大きいティーセンポリゴンの降水量を適用した（図5.11，表5.6）。地区内最大総雨量315mm，最大24時間雨量152mm，最大時間雨量45mmを記録し、西蒲原地区内の農地・宅地に浸水被害をもたらした（写真5.1）。

3.4.2 再現計算シナリオ

本豪雨では、中ノ口川が計画高水位を超過したため、排水規制が敷かれた（表5.7）。さらに地区内を流れる新川も警戒水位に達したため、各排水機場で制限運転が行われた。そこで、再現計算では、運転規則に基づく排水機場の稼働ではなく、実際の排水機場の運転状況を反映させた。

表 5.6 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨時の総降水量と時間最大降水量

雨量観測所	総降水量 (mm/3day)	時間最大降水量 (mm/hr)
木場	315	45
茨島	245	44
桜町	280	35
曾根	192	23
巻	218	43
下和納	254	37

表 5.7 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨時の洪水対策

日時	降水量・河川水位記録	洪水対策
7月28日1:55	大雨・洪水警報の発令	全揚水機場の運転停止
7月29日21:36	白根橋水位が5.69mを超過	中ノ口川水系の排水機場（七穂・曲通排水機場）の 全台運転停止
7月30日3:40	新川橋水位が警戒水位を超過	新川水系の全排水機場の 全台制限運転

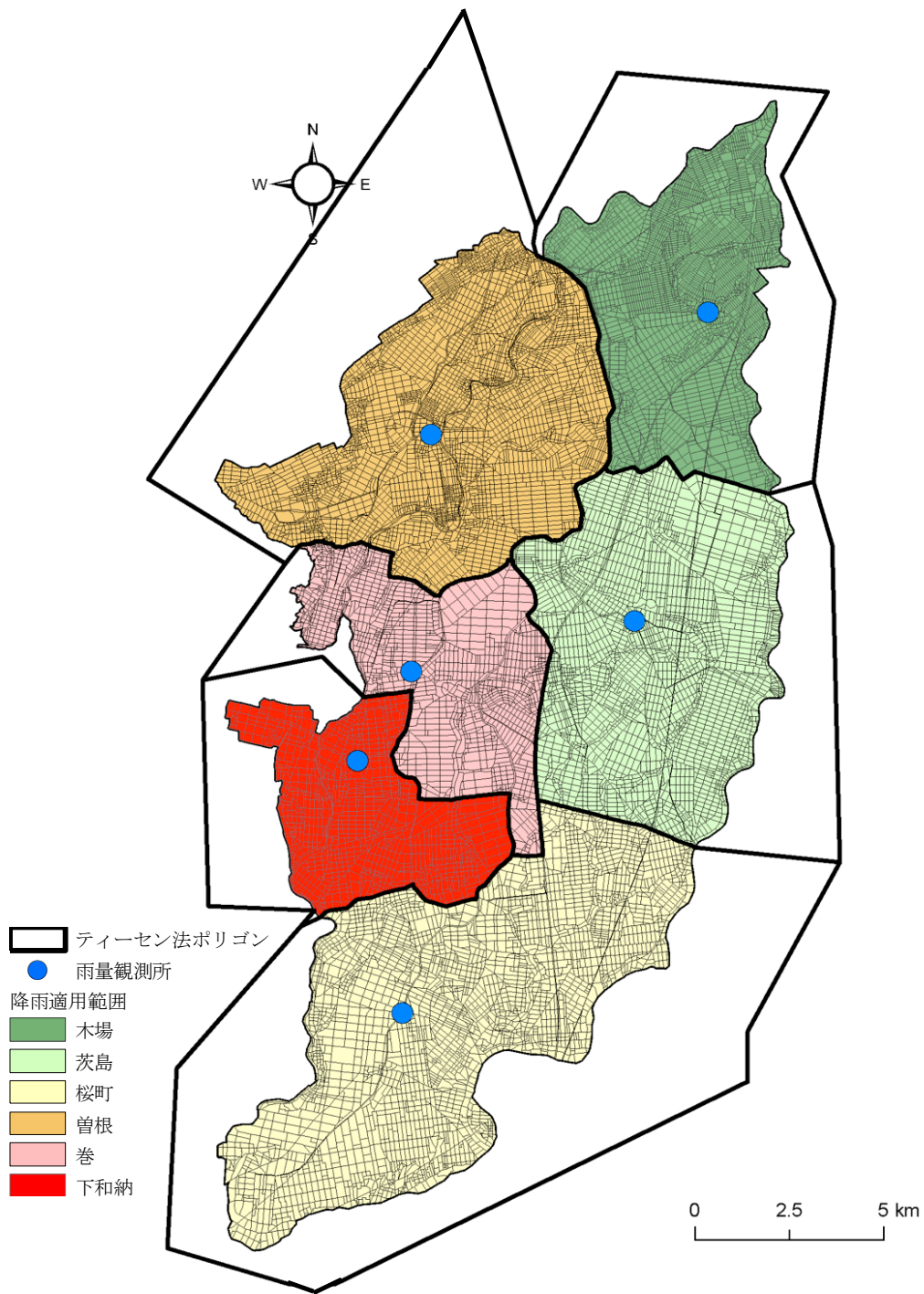


図 5.11 降雨適用範囲

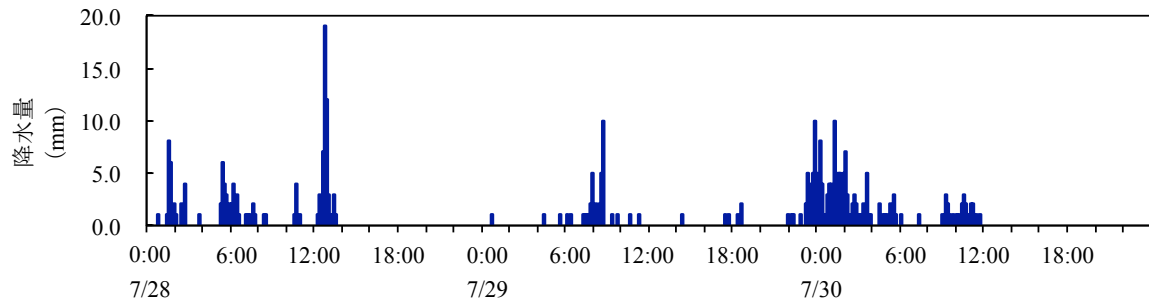


図 5.12 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨時の降水量（木場雨量観測所）

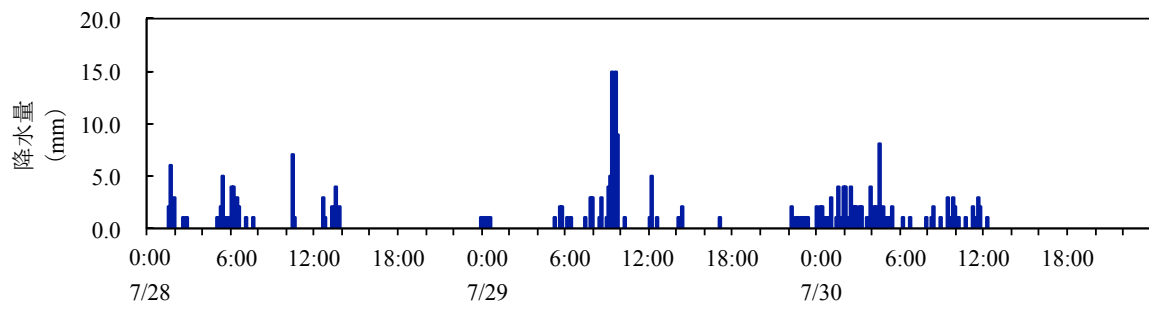


図 5.13 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨時の降水量（茨島雨量観測所）

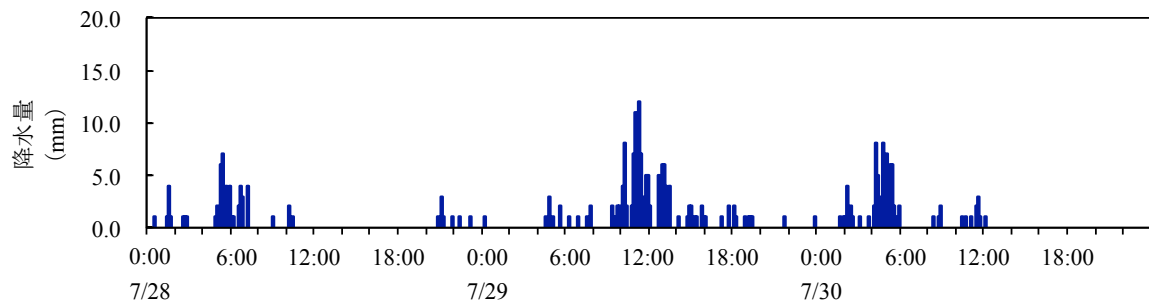


図 5.14 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨時の降水量（桜町雨量観測所）

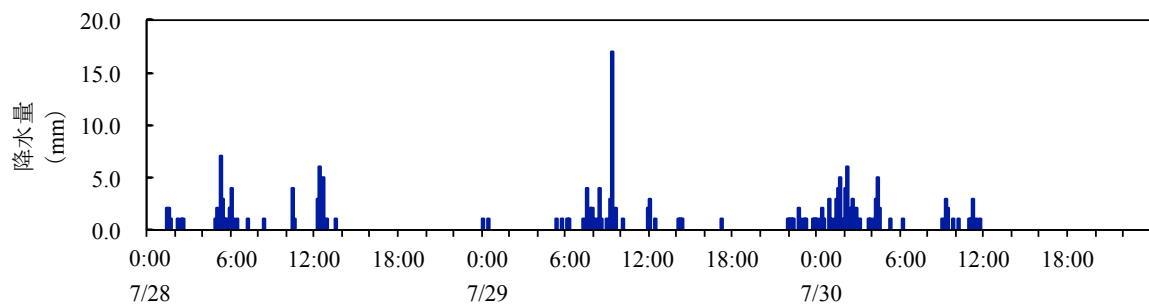


図 5.15 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨時の降水量（曽根雨量観測所）

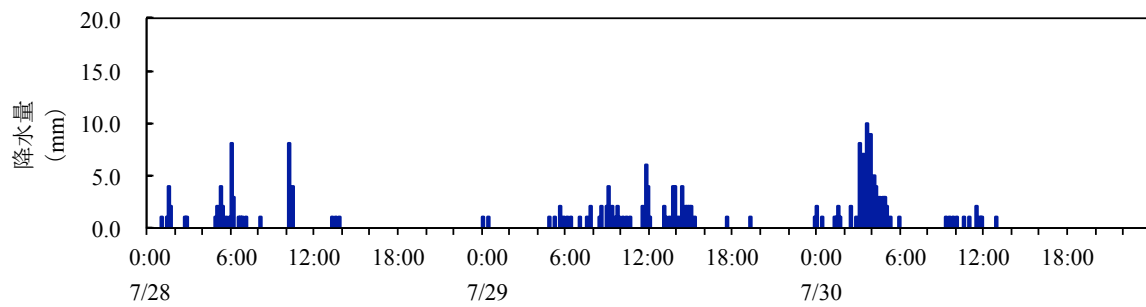


図 5.16 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨時の降水量（巻町雨量観測所）

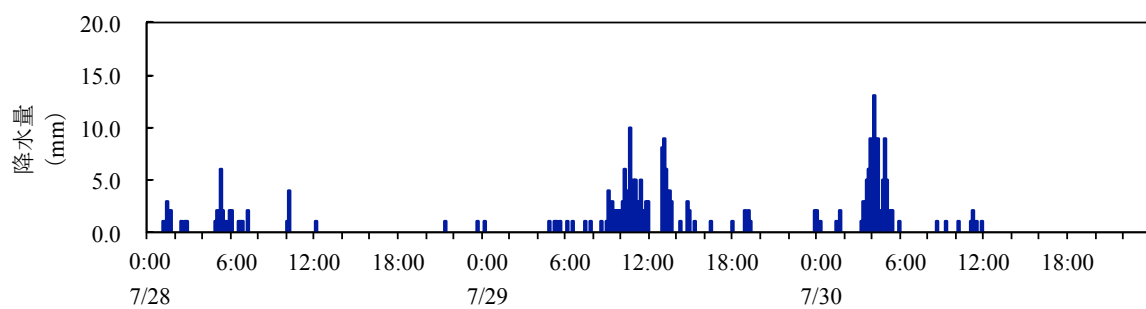


図 5.17 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨時の降水量（下和納雨量観測所）



写真 5.1 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨時の被害状況

3.4.3 河川水位の再現性

実測河川水位とモデルによる計算値を比較した（図5.18-図5.23）。解析対象期間の河川・排水路水位の実測データは西蒲原土地改良区から入手した。両者を比較した結果、全体的に3日目の計算値の水位低下が早く、計算値の水位が低い地点もあるが、ピーク時の水位については概ね再現した。

3.4.4 浸水範囲の再現性

実績浸水範囲と計算による浸水範囲を比較した（図5.24）。豪雨当時の浸水範囲は、西蒲原土地改良区が整備した浸水範囲図によって把握した。ただし、その浸水範囲図で黒崎町と燕市の一部の範囲が明らかに過剰に浸水していたため、その範囲に関しては国土交通省「平成23年7月新潟・福島豪雨水害現地検証チーム」が整備した浸水範囲図の範囲に修正した。両者を比較した結果、計算値が実測値を過大に評価した箇所が見られるが、概ね計算浸水範囲が実測浸水範囲を再現した。

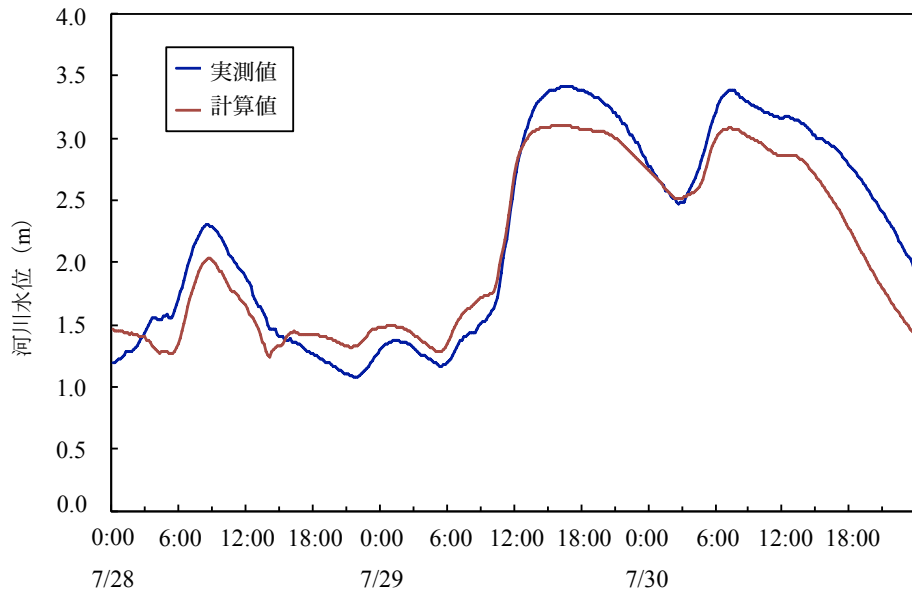


図 5.18 実測水位と計算水位の比較
(西槇水位観測所)

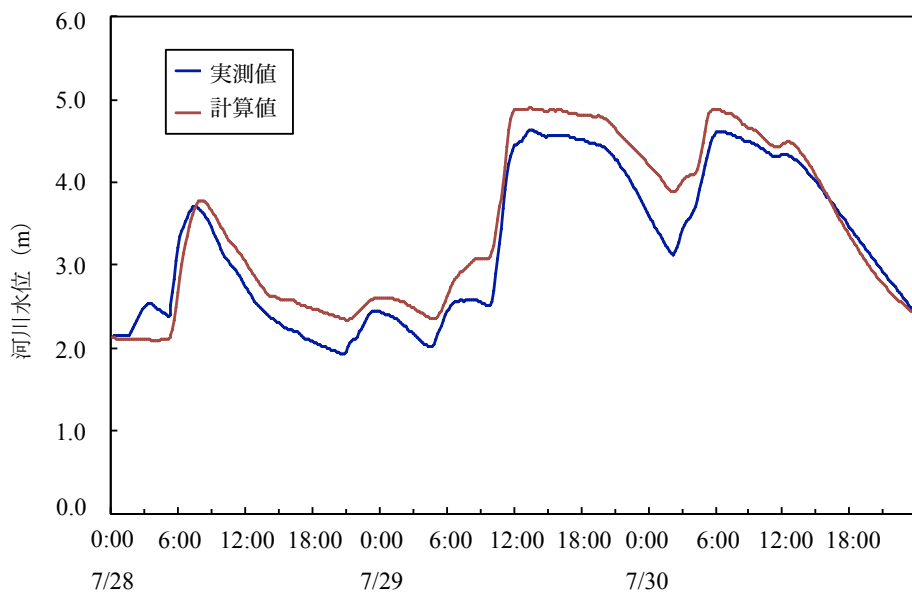


図 5.19 実測水位と計算水位の比較
(桜町水位観測所)

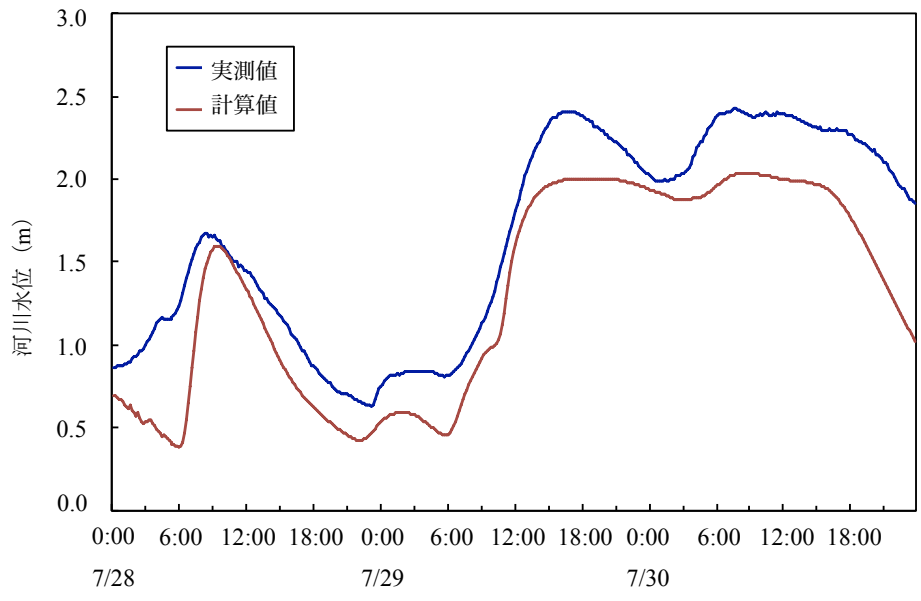


図 5.20 実測水位と計算水位の比較
(今井水位観測所)

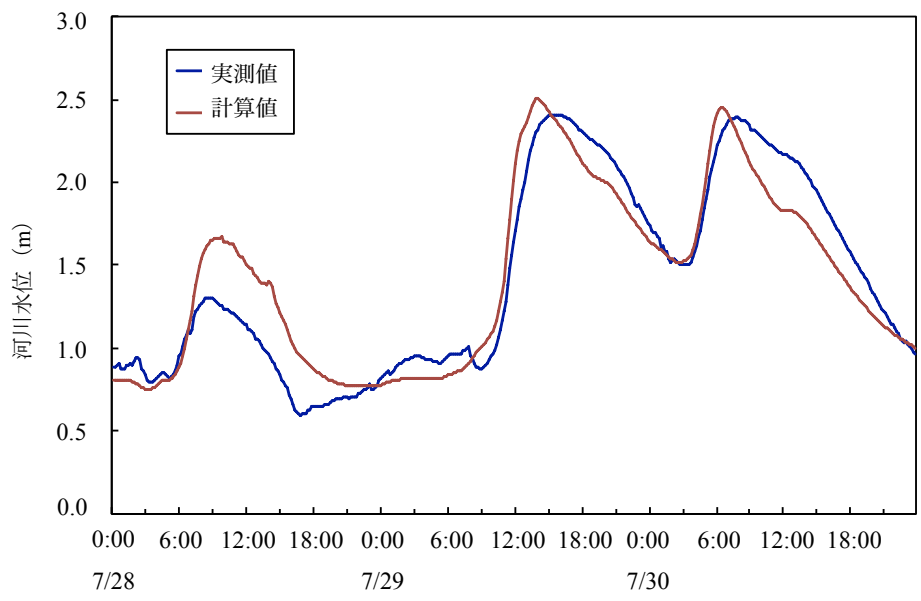


図 5.21 実測水位と計算水位の比較
(下和納水位観測所)

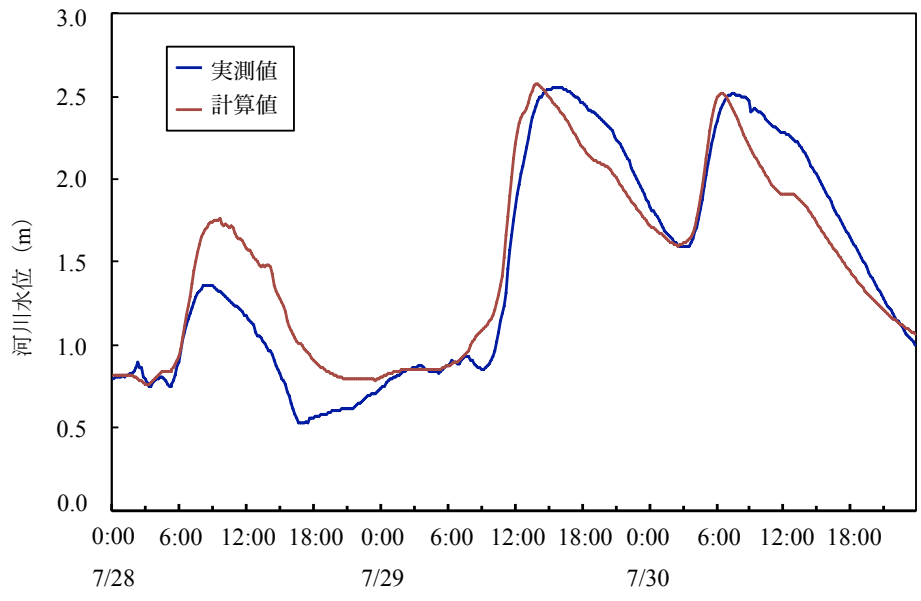


図 5.22 実測水位と計算水位の比較
(桜林水位観測所)

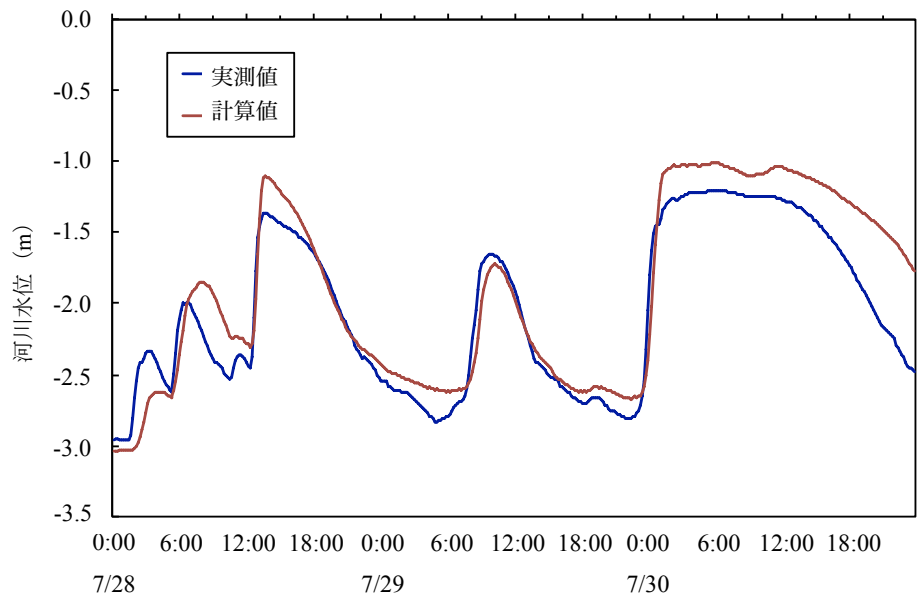


図 5.23 実測水位と計算水位の比較
(黒鳥水位観測所)

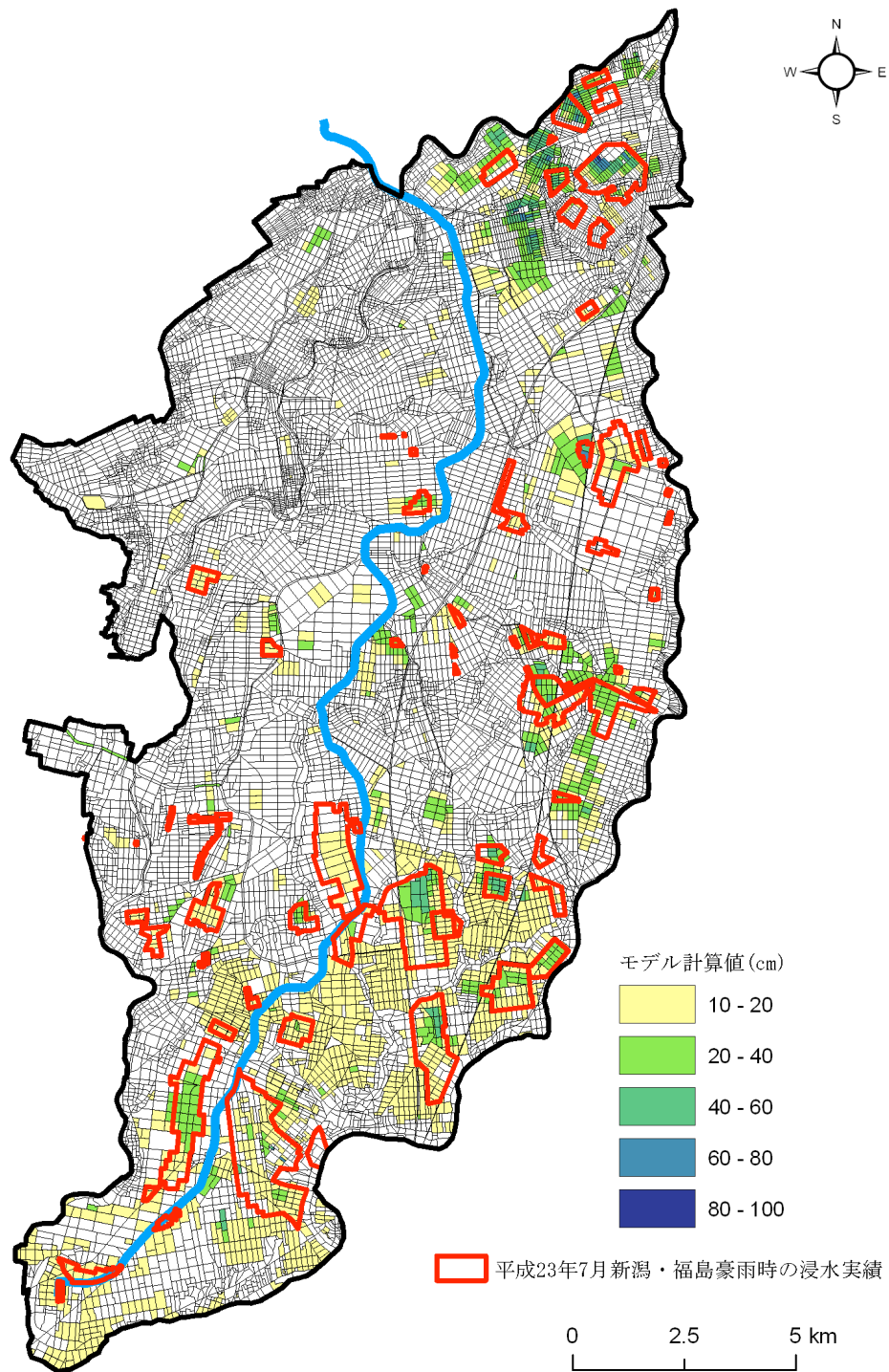


図 5.24 実績浸水範囲と計算浸水範囲の比較

4. 流域スケールでの田んぼダムの効果の定量評価

構築した内水氾濫解析モデルを用いて、①田んぼダム非実施条件（実施率0%）、②実施条件（実施率100%）での浸水面積を算定し、両者の差をとることで田んぼダムの効果を定量評価した。

4.1 シミュレーションシナリオ

シミュレーション対象降雨は、新潟市測候所の降雨強度式から算出した10年確率（日雨量138mm，最大10分降水量16.8mm）（図5.25）、30年確率（日雨量162mm，最大10分間雨量20.8mm）（図5.26）、50年確率（日雨量176mm，最大10分間雨量22.6mm）（図5.27）、100年確率（日雨量185mm，最大10分間雨量24.5mm）（図5.28）のモデルハイトグラフである。なお、降雨波形は、被害が拡大しやすい後方集中型（ピーク位置 $r=0.8$ ）とした。

4.2 シミュレーション結果

シミュレーションによって得られた最大浸水域における浸水面積の比較を表5.8-表5.20に示す。また、各シナリオにおける浸水範囲を図5.29-図5.32に示す。

評価地区の内、例えば大通上流地区において、10年確率降雨を与えた場合の浸水面積を比較すると、実施率0%、100%はそれぞれ、177ha、113haという結果が得られた。田んぼダムを実施することで浸水が軽減された面積を被害軽減率とすると、10年確率では被害軽減率は36%であった。同様に30年、50年、100年確率降雨を与えた場合はそれぞれ25%、31%、31%であった。

西蒲原地区内の13地区において、流域の水田面積割合と4つの降雨シナリオの浸水軽減効果を比較した（表5.21）。その結果、いずれの降雨シナリオにおいても流域の水田面積割合が高いほど田んぼダムの浸水軽減効果が高くなる傾向があることが示された（図5.33-図5.36）。

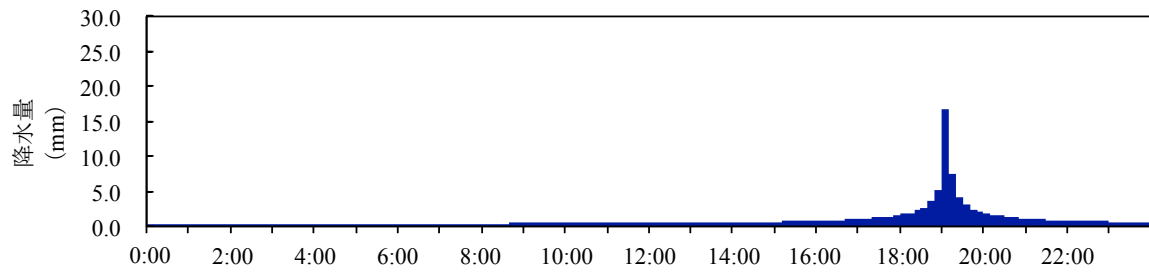


图 5.25 10年確率雨量（新潟市測候所）

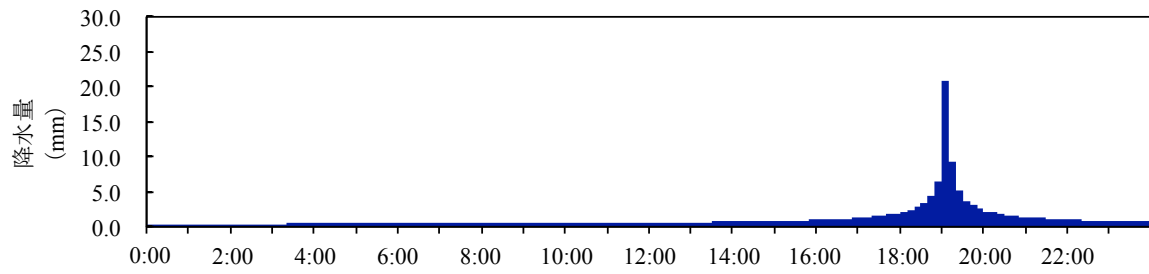


图 5.26 30年確率雨量（新潟市測候所）

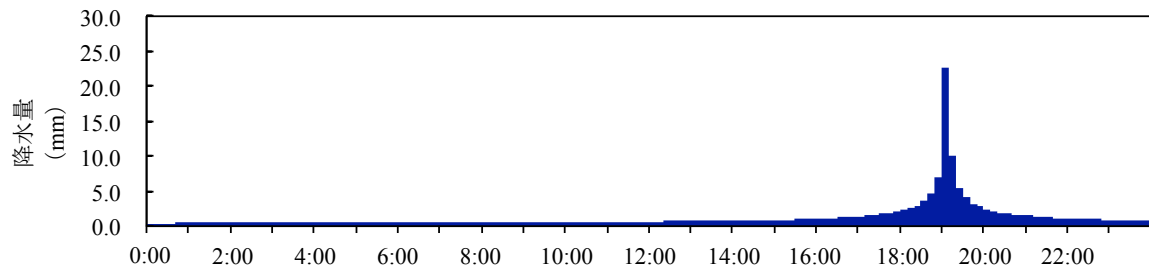


图 5.27 50年確率雨量（新潟市測候所）

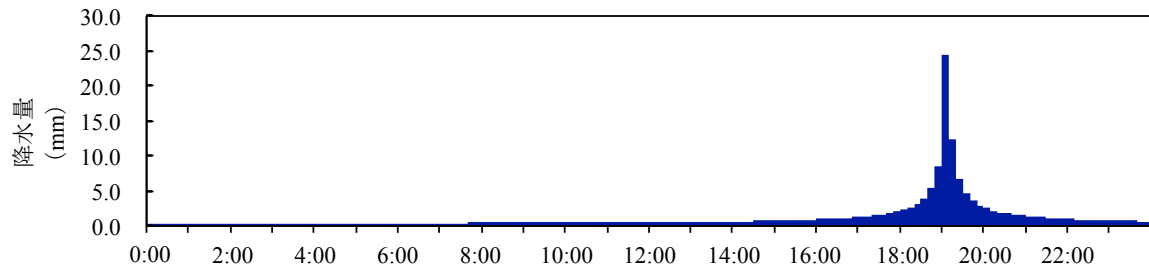
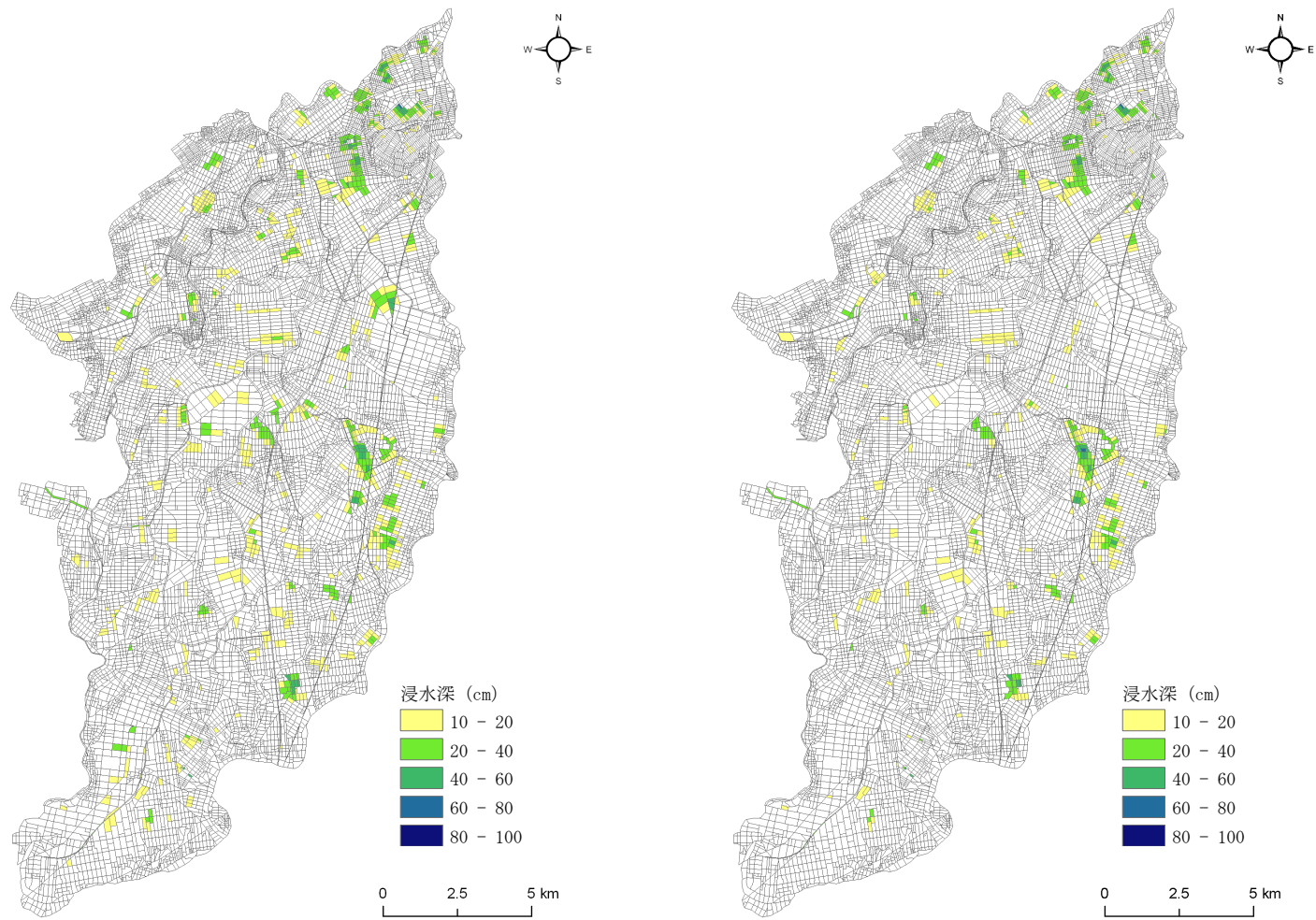


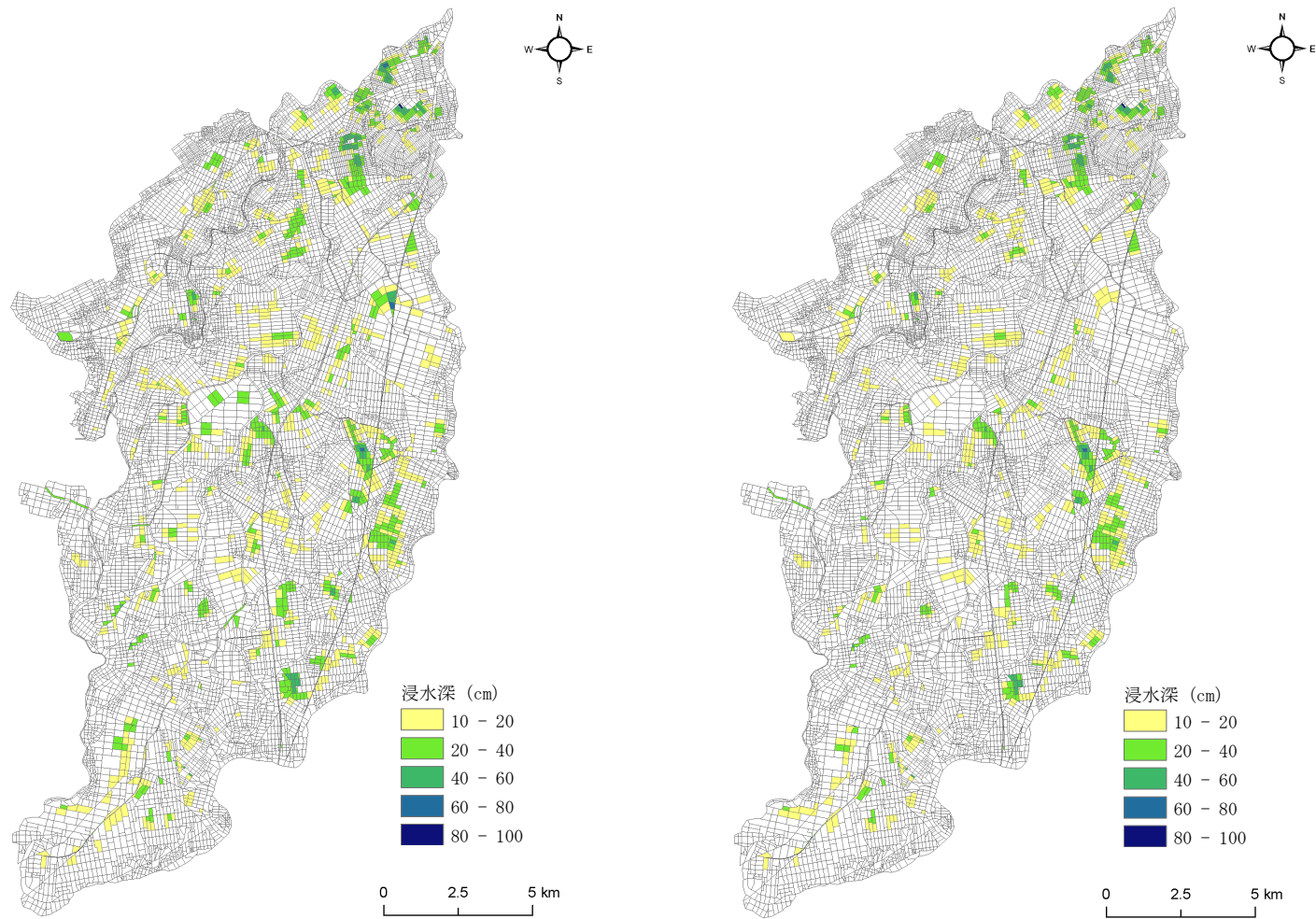
图 5.28 100年確率雨量（新潟市測候所）



(a) 田んぼダム非実施条件

(b) 田んぼダム実施条件

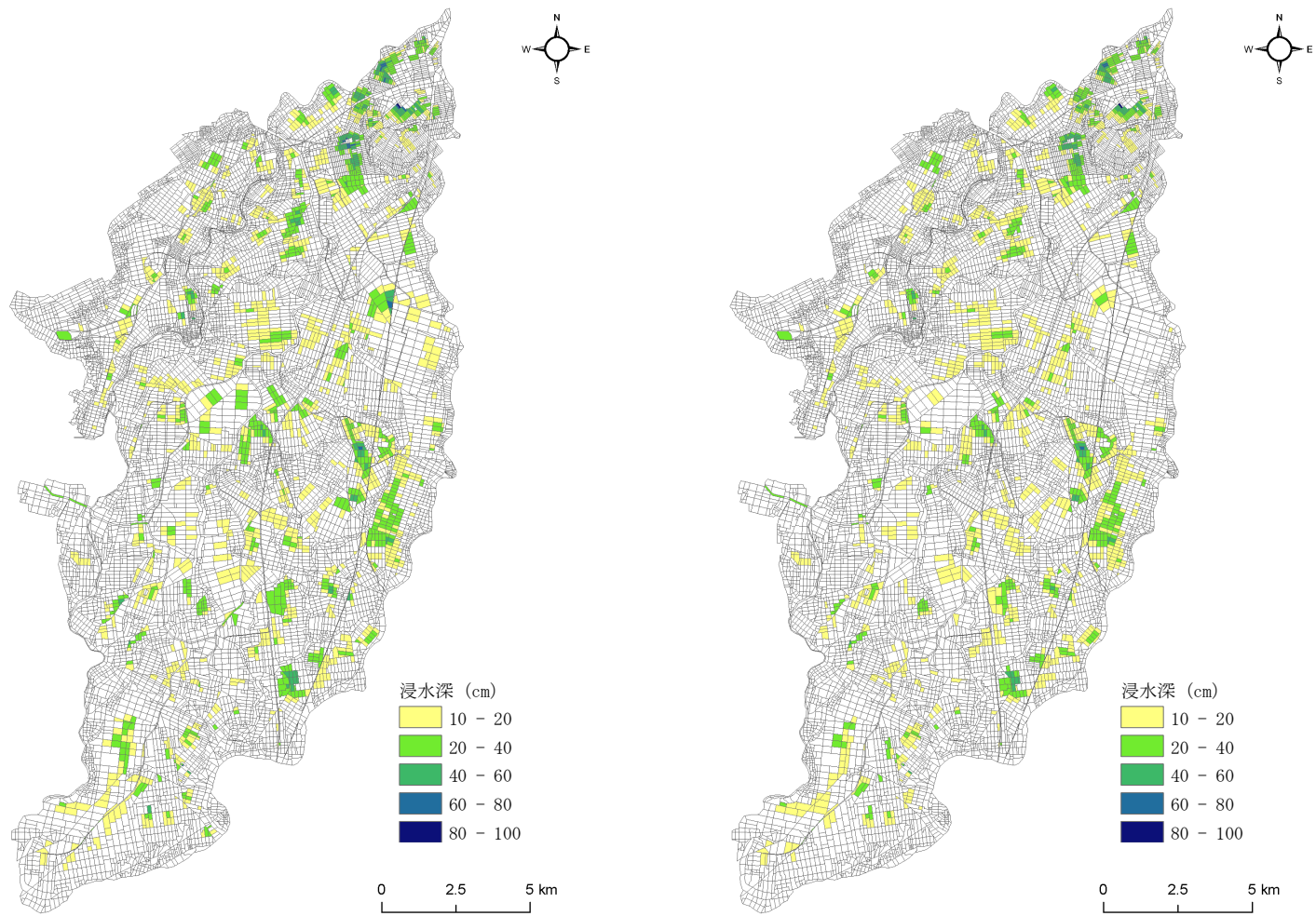
図 5.29 浸水範囲シミュレーション結果 (10年確率雨量)



(a) 田んぼダム非実施条件

(b) 田んぼダム実施条件

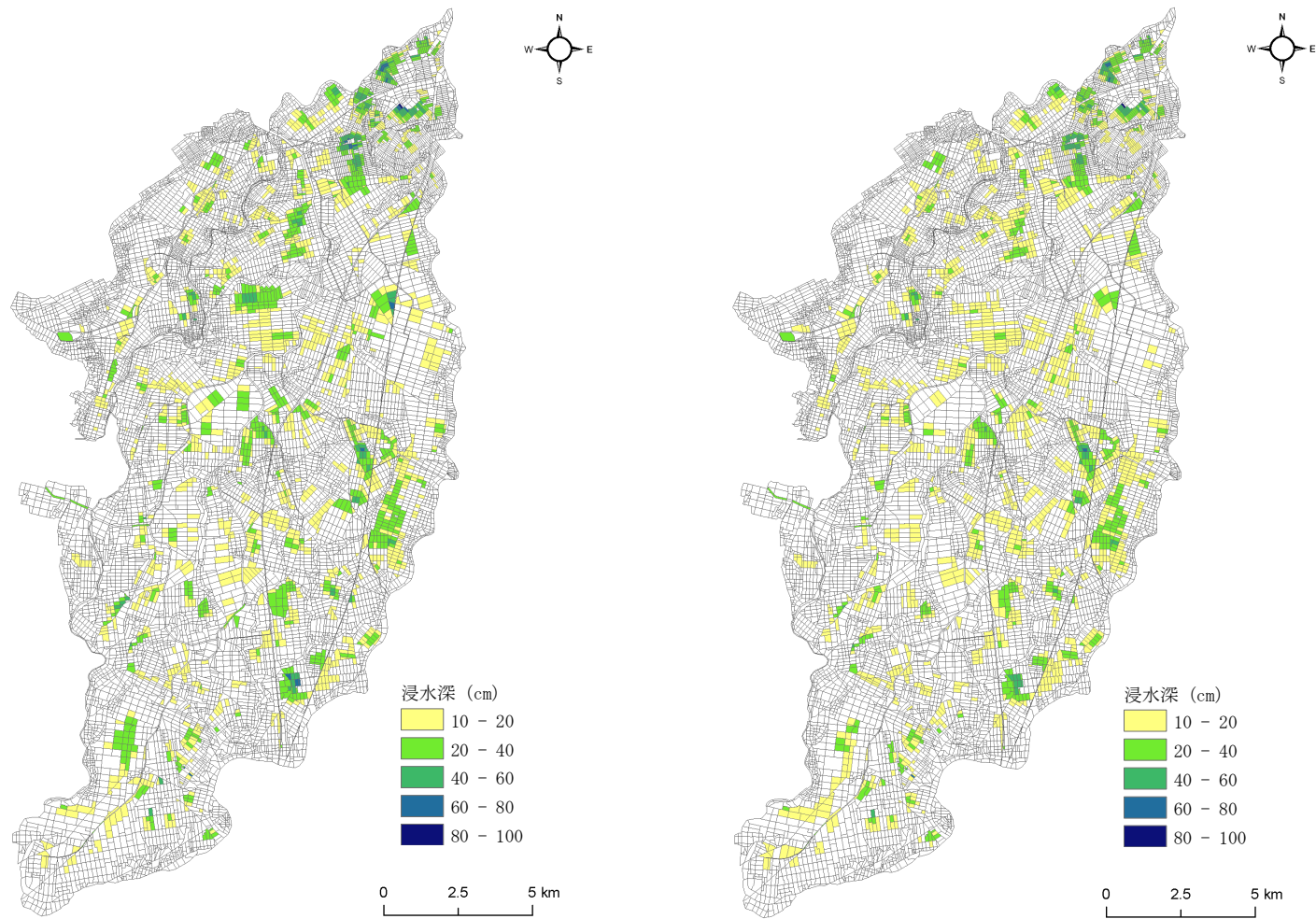
図 5.30 浸水範囲シミュレーション結果 (30年確率雨量)



(a) 田んぼダム非実施条件

(b) 田んぼダム実施条件

図 5.31 浸水範囲シミュレーション結果 (50 年確率雨量)



(a) 田んぼダム非実施条件

(b) 田んぼダム実施条件

図 5.32 浸水範囲シミュレーション結果 (100年確率雨量)

表 5.8 大通川上流地区の浸水面積と減少率

降雨イベント	浸水被害面積 (ha)		浸水被害軽減面積 (ha)	田んぼダムによる浸水被害軽減率 (%)
	田んぼダム非実施条件	田んぼダム実施条件		
1/10年確率降雨	177	133	44	25
1/30年確率降雨	334	250	84	25
1/50年確率降雨	455	314	141	31
1/100年確率降雨	518	358	160	31

表 5.9 広通江地区の浸水面積と減少率

降雨イベント	浸水被害面積 (ha)		浸水被害軽減面積 (ha)	田んぼダムによる浸水被害軽減率 (%)
	田んぼダム非実施条件	田んぼダム実施条件		
1/10年確率降雨	84	82	2	2
1/30年確率降雨	90	88	2	2
1/50年確率降雨	100	98	2	2
1/100年確率降雨	111	100	11	10

表 5.10 旧広通江地区の浸水面積と減少率

降雨イベント	浸水被害面積 (ha)		浸水被害軽減面積 (ha)	田んぼダムによる浸水被害軽減率 (%)
	田んぼダム非実施条件	田んぼダム実施条件		
1/10年確率降雨	109	99	10	9
1/30年確率降雨	163	125	38	23
1/50年確率降雨	188	145	43	23
1/100年確率降雨	192	147	45	23

表 5.11 新川右岸地区の浸水面積と減少率

降雨イベント	浸水被害面積 (ha)		浸水被害軽減面積 (ha)	田んぼダムによる浸水被害軽減率 (%)
	田んぼダム非実施条件	田んぼダム実施条件		
1/10年確率降雨	109	80	29	27
1/30年確率降雨	149	114	35	23
1/50年確率降雨	196	147	49	25
1/100年確率降雨	200	156	44	22

表 5.12 田潟地区の浸水面積と減少率

降雨イベント	浸水被害面積 (ha)		浸水被害軽減面積 (ha)	田んぼダムによる浸水被害軽減率 (%)
	田んぼダム非実施条件	田んぼダム実施条件		
1/10年確率降雨	55	39	16	30
1/30年確率降雨	143	76	67	47
1/50年確率降雨	175	128	47	27
1/100年確率降雨	196	141	55	28

表 5.13 升潟地区の浸水面積と減少率

降雨イベント	浸水被害面積 (ha)		浸水被害軽減面積 (ha)	田んぼダムによる浸水被害軽減率 (%)
	田んぼダム非実施条件	田んぼダム実施条件		
1/10年確率降雨	34	28	6	18
1/30年確率降雨	71	58	13	18
1/50年確率降雨	120	65	55	46
1/100年確率降雨	185	72	113	61

表 5.14 旧木山川地区の浸水面積と減少率

降雨イベント	浸水被害面積 (ha)		浸水被害軽減面積 (ha)	田んぼダムによる浸水被害軽減率 (%)
	田んぼダム非実施条件	田んぼダム実施条件		
1/10年確率降雨	155	106	49	32
1/30年確率降雨	206	155	51	25
1/50年確率降雨	246	193	53	22
1/100年確率降雨	258	195	63	24

表 5.15 飛落川地区の浸水面積と減少率

降雨イベント	浸水被害面積 (ha)		浸水被害軽減面積 (ha)	田んぼダムによる浸水被害軽減率 (%)
	田んぼダム非実施条件	田んぼダム実施条件		
1/10年確率降雨	73	28	45	62
1/30年確率降雨	181	56	125	69
1/50年確率降雨	230	81	149	65
1/100年確率降雨	240	106	134	56

表 5.16 大通川下流地区の浸水面積と減少率

降雨イベント	浸水被害面積 (ha)		浸水被害軽減面積 (ha)	田んぼダムによる浸水被害軽減率 (%)
	田んぼダム非実施条件	田んぼダム実施条件		
1/10年確率降雨	91	54	37	41
1/30年確率降雨	219	119	100	46
1/50年確率降雨	282	170	112	40
1/100年確率降雨	298	190	108	36

表 5.17 新木山川地区の浸水面積と減少率

降雨イベント	浸水被害面積 (ha)		浸水被害軽減面積 (ha)	田んぼダムによる浸水被害軽減率 (%)
	田んぼダム非実施条件	田んぼダム実施条件		
1/10年確率降雨	34	19	15	44
1/30年確率降雨	84	62	22	26
1/50年確率降雨	114	85	29	26
1/100年確率降雨	124	104	20	16

表 5.18 横江地区の浸水面積と減少率

降雨イベント	浸水被害面積 (ha)		浸水被害軽減面積 (ha)	田んぼダムによる浸水被害軽減率 (%)
	田んぼダム非実施条件	田んぼダム実施条件		
1/10年確率降雨	181	157	24	13
1/30年確率降雨	271	225	46	17
1/50年確率降雨	335	290	45	13
1/100年確率降雨	355	304	51	15

表 5.19 七穂地区の浸水面積と減少率

降雨イベント	浸水被害面積 (ha)		浸水被害軽減面積 (ha)	田んぼダムによる浸水被害軽減率 (%)
	田んぼダム非実施条件	田んぼダム実施条件		
1/10年確率降雨	113	31	82	73
1/30年確率降雨	157	73	84	53
1/50年確率降雨	180	113	67	37
1/100年確率降雨	192	140	52	27

表 5.20 月潟地区の浸水面積と減少率

降雨イベント	浸水被害面積 (ha)		浸水被害軽減面積 (ha)	田んぼダムによる浸水被害軽減率 (%)
	田んぼダム非実施条件	田んぼダム実施条件		
1/10年確率降雨	172	131	41	24
1/30年確率降雨	261	240	21	8
1/50年確率降雨	308	277	31	10
1/100年確率降雨	320	284	36	11

表 5.21 西蒲原地区の浸水面積と減少率一覧

	水田面積割合	浸水軽減率 (%)			
		1/10年確率	1/30年確率	1/50年確率	1/100年確率
大通川上流	63	25	25	31	31
広通江	49	2	2	2	10
旧広通江	65	9	23	23	23
新川右岸	73	27	23	25	22
田潟	76	30	47	27	28
升潟	81	18	18	46	61
旧木山川	74	32	25	22	24
飛落川	74	62	69	65	56
大通川下流	77	41	46	40	36
新木山川	66	44	26	26	16
横江	40	13	17	13	15
七穂	79	73	53	37	27
月潟	68	24	8	10	11

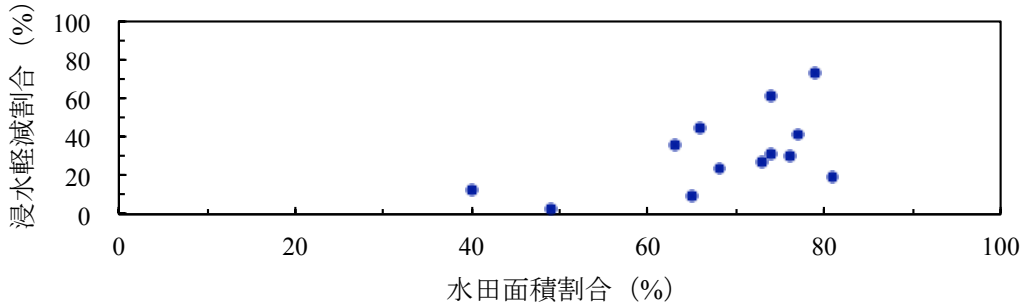


図 5.33 流域水田面積割合と浸水軽減効果の関係 (1/10 年確立降雨)

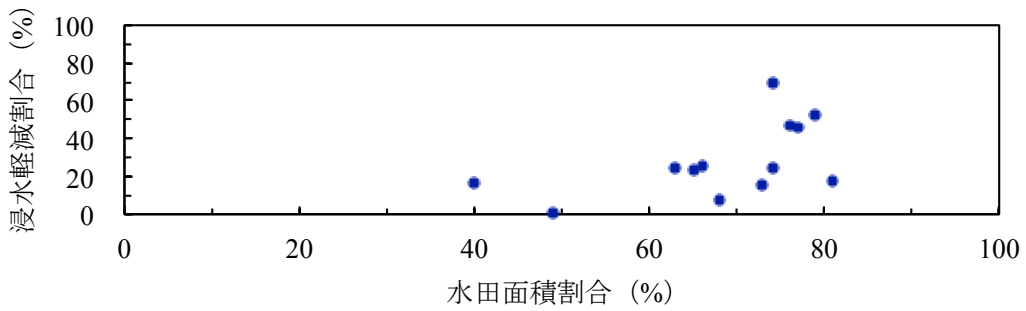


図 5.34 流域水田面積割合と浸水軽減効果の関係 (1/30 年確立降雨)

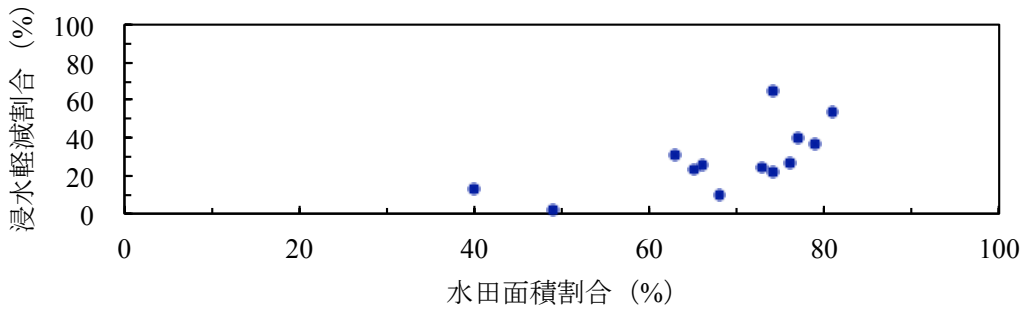


図 5.35 流域水田面積割合と浸水軽減効果の関係 (1/50 年確立降雨)

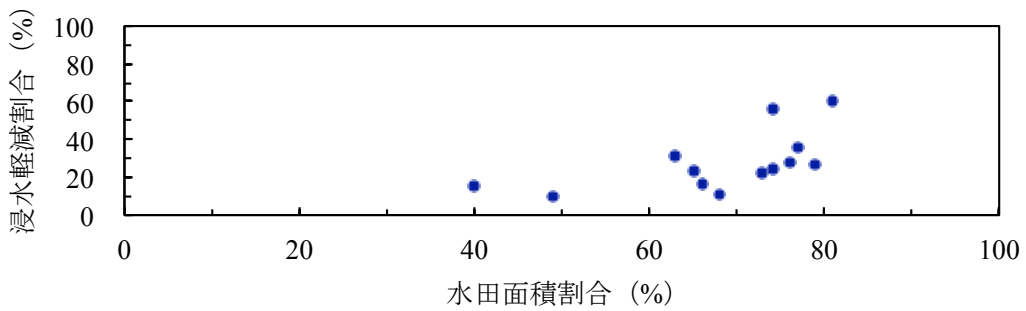


図 5.36 流域水田面積割合と浸水軽減効果の関係 (1/100 年確立降雨)

第6章 直接積算法による田んぼダムの経済価値の算定

本章では、第5章で評価した流域スケールでの田んぼダムの効果に基づき、経済価値を算定する。以下に、直接積算法による経済価値の評価方法を順を追って示す。

1. 直接積算法による田んぼダムの経済価値の算定手順

田んぼダムの経済価値評価額は、①田んぼダム実施条件（実施率100%）での浸水被害額と②田んぼダム非実施条件（実施率0%）での浸水被害額の差額と定義した。浸水被害額は、「治水経済調査マニュアル（案）」（国土交通省，2005）および「新たな土地改良の効果算定マニュアル」（農林水産省，2007）の算定手法（以下、本手法）に則って算定した（図6.1）。被害額は直接被害額と間接被害額から構成される。直接被害とは浸水によって直接的に生じる被害を指し、間接被害とは直接的被害から波及的に生じる被害を指す。

本手法では、まず、直接被害額および間接被害額の算出対象資産（表6.1，表6.2）の基礎数量を空間的に把握した。これと前章の氾濫シミュレーションの結果に基づき、直接的被害額および間接的被害額を算出し、項目毎に直接積算法に基づいて集計し、田んぼダムの経済価値を評価した。

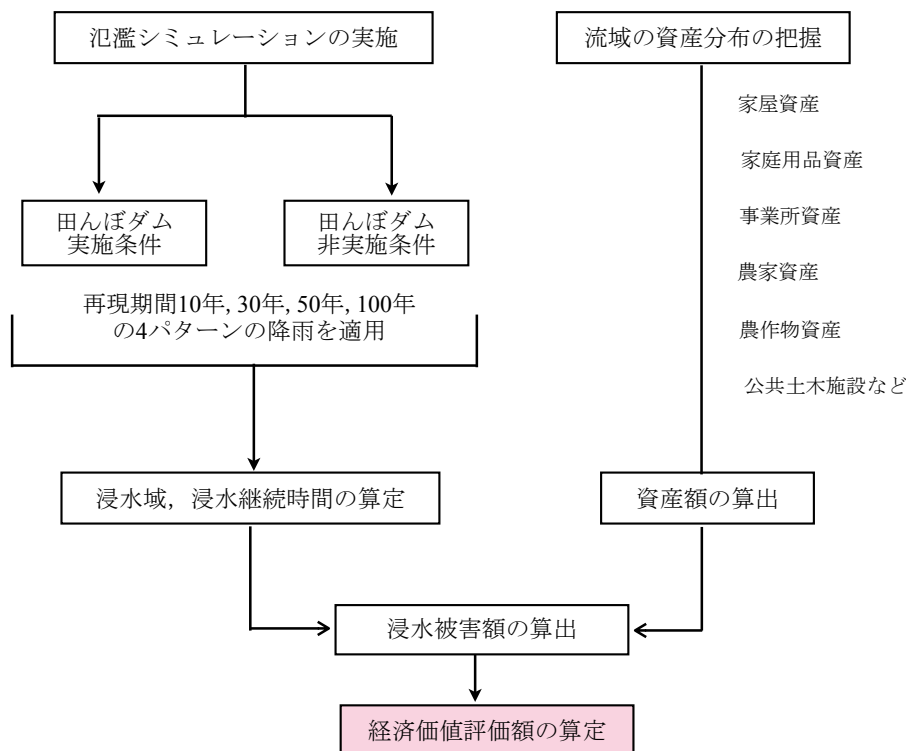


図 6.1 直接積算法による経済価値評価フロー

表 6.1 直接被害額の算出対象項目

直接被害額の算出対象	該当項目
家屋	居住用および事業所用の建物
家庭用品	家具・家電製品・衣類・自動車等
事業所償却・在庫資産	工作機械・事務用機器等の償却資産及び在庫資産
農家償却・在庫資産	農機具等の生産設備及び在庫資産
農作物	水稻及び洪水期における畑作物
公共土木施設等	道路・橋・下水道等の都市施設, 電力・ガス・水道・鉄道等の公益事業施設, 農地及び水路等の農業用施設

表 6.2 間接被害額の算出対象項目

間接被害額の算出対象	該当項目
営業停止損失	産業ごとの営業停止損失額の総和
家庭における応急対策費用	(1) 清掃労働対価 (2) 代替活動等に伴う支出額
事業所における応急対策費用	代替活動等に伴う支出額

2. 基本数量の集計および資産額の算定

氾濫区域の資産額は、直接被害の算出対象項目の基礎数量を氾濫シミュレーションのセルを単位として集計し、これに単価・評価額を乗じて算定した。ここでは、前章と同様に西蒲原地区を例に算定結果を示す。

2.1 家屋

家屋資産算定の基礎数量には、延床面積を用いた。延床面積のデータは、(財)日本建設情報総合センター発行の「100mメッシュ延床面積データ」を用いた(図6.2)。

資産額は集計した延床面積に都道府県別家屋1m²当たり評価額を乗じて算定した(表6.3)。ここでは新潟県の平成16年評価額(143.1千円/m²) (治水経済調査マニュアル(案))を用いた。

$$\text{家屋資産額} = \text{延床面積} \times \text{都道府県別家屋 } 1\text{m}^2\text{ 当たり評価額} \quad (1)$$

表 6.3 都道府県別家屋 1m² 当たり評価額—新潟県 (千円/m²)

都道府県名	15年評価額	16年評価額
新潟	144.7	143.1

2.2 家庭用品

家庭用品資産額の基礎数量には、世帯数を用いた。世帯数のデータは、総務省統計局発行の「平成22年国勢調査統計（小地域）」の一般世帯数を用いた（図6.3）。

資産額は世帯数に1世帯当たり家庭用品評価額を乗じて算定した（表6.4）。ここでは、平成16年評価額（14,927千円/世帯）（治水経済調査マニュアル（案））を用いた。

$$\text{家庭用品資産額} = \text{世帯数} \times 1 \text{世帯当たり家庭用品評価額} \quad (2)$$

表 6.4 1世帯当たり家庭用品評価額 (千円/世帯)

15年評価額	16年評価額
15,020	14,927

2.3 事業所償却・在庫資産

事業所償却・在庫資産の基礎数量には、産業分類ごとの従業者数を用いた。産業分類ごとの従業者数のデータは総務省統計局発行の「平成21年度経済センサス」の従業員数を用いた（図6.4）。

資産額は従業者数に産業分類別事業所従業員1人当たり償却資産評価額及び在庫資産評価額を乗じて算定した（表6.5）。ここでは、各産業とも平成16年評価額（治水経済調査マニュアル（案））を用いた。

$$\text{事業所償却・在庫資産額} = \text{従業者数} \times \text{従業員1人当たり償却資産評価額及び在庫資産評価額} \quad (3)$$

表 6.5 産業分類別事業所従業員 1 人当たり償却及び在庫資産評価額（千円/人）

産業分類 符号	産業名	償却資産		在庫資産	
		15年評価額	16年評価額	15年評価額	16年評価額
D	鉱業	9,457	9,248	1,906	2,415
E	建設業	1,422	1,390	3,290	4,169
F	製造業	4,479	4,350	4,629	5,071
G	電気・ガス・熱供給・水道業	128,052	125,211	1,826	2,314
H	運輸・通信業	7,800	7,627	519	658
I	卸売業・小売業	2,225	2,176	2,623	2,727
K	不動産業	20,344	19,893	9,544	12,093
L	サービス業	3,751	3,667	367	465
M	公務	3,751	3,667	367	465

2.4 農家償却・在庫資産

農家償却・在庫資産の基礎数量には、農家世帯数を用いた。農家世帯数のデータは、農林水産省発行の「農林センサスメッシュデータ」を用い、計算セルごとに集計した（図6.5）。

資産額は農家世帯数に農漁家1戸当たりの償却資産評価額及び在庫資産評価額を乗じて算定した（表6.6）。ここでは、平成16年評価額（治水経済調査マニュアル（案））を用いた。

$$\text{農家償却・在庫資産額} = \text{農家世帯数} \times \text{農家1戸当たり償却資産評価額及び在庫資産評価額} \quad (4)$$

表 6.6 農漁家 1 戸当たり償却資産及び在庫資産評価額（千円/戸）

	15年評価額	16年評価額
償却資産	2,920	2,905
在庫資産	192	188

2.5 農作物

農作物資産額の基礎数量には、水田及び畑地の作付面積を用いた。作付面積は、空中写真および新潟県土地改良事業団体連合会提供の水土里情報農地筆ポリゴンデータから判別し、計算セルごとに集計した（図6.6）。なお、畑作物については、評価流域ごとに作付品目が異なり多岐に亘るため、評価流域ごとに代表作付け品目を設定する必要がある。ここでは転作田は大豆、転作田以外の畑地は一般野菜が作付けされているとした。

農作物資産額は、水田・畑地作付面積に単位面積あたりの平年収量及び単位収量当たりの農作物価格を乗じて算定した（表6.7，表6.8）。水稲の単位面積当たりの平年収量は作物統計（農林水産省）の値を、野菜の単位面積当たりの平年収量は農林水産統計調査資料（農林水産省，2010）の値を使用した。単位収量当たりの農作物価格は農業物価指数（農林水産省）の値を使用した。なお、野菜に関しては田んぼダム実施が想定される4月から9月までに一般的に作付けされる野菜に分類される品目の平年収量，物価価格を平均したもの（収量：6,361kg/10a，価格：221千円/t）を用いた。

表 6.7 水稲 10a 当たりの平年収量－新潟（kg）

	15年	16年
新潟	559	564

表 6.8 単位収量当たりの農作物価格（千円/t）

農作物名	15年	16年	農作物名	15年	16年		
米	288	289	野豆菜科	さやえんどう	816	796	
麦	156	154		さやいんげん	557	555	
大豆	207	200	根菜	大根	60	55	
豆小豆	428	449		人参	85	77	
落花生	444	450		ごぼう	193	184	
いも	甘藷	131		133	里芋	197	205
	馬鈴薯	77	77	りんご	180	177	
果菜	きゅうり	118	107	みかん	121	111	
	なす	133	122	夏みかん	103	106	
	トマト	90	77	果実	なし	270	269
	かぼちゃ	110	117		かき	189	186
	すいか	134	140		ぶどう	595	589
	いちご	847	824		もも	159	138
	ピーマン	275	282	茶	853	887	
	メロン	398	407	てんさい	19	19	
葉	白菜	37	33	工芸農作物	こんにゃく	157	177
	キャベツ	64	60		葉たばこ	1,816	1,798
	レタス	128	119		藺草	661	835
茎菜	ほうれん草	320	296	花卉	菊	54	43
	ねぎ	138	118		バラ	81	76
	たまねぎ	77	78		カーネーション	35	34
繭	1,761	1,808					

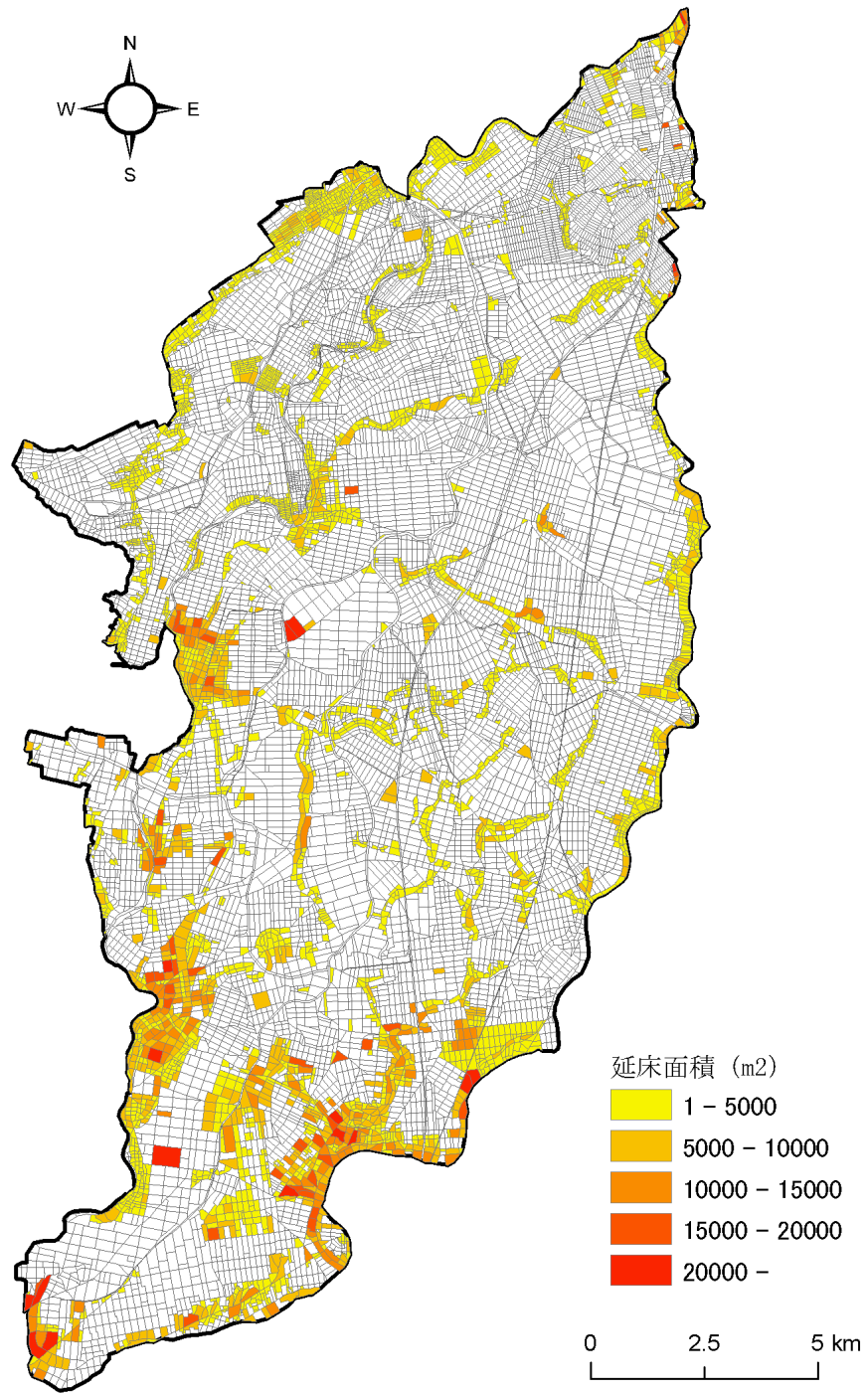


图 6.2 延床面積分布

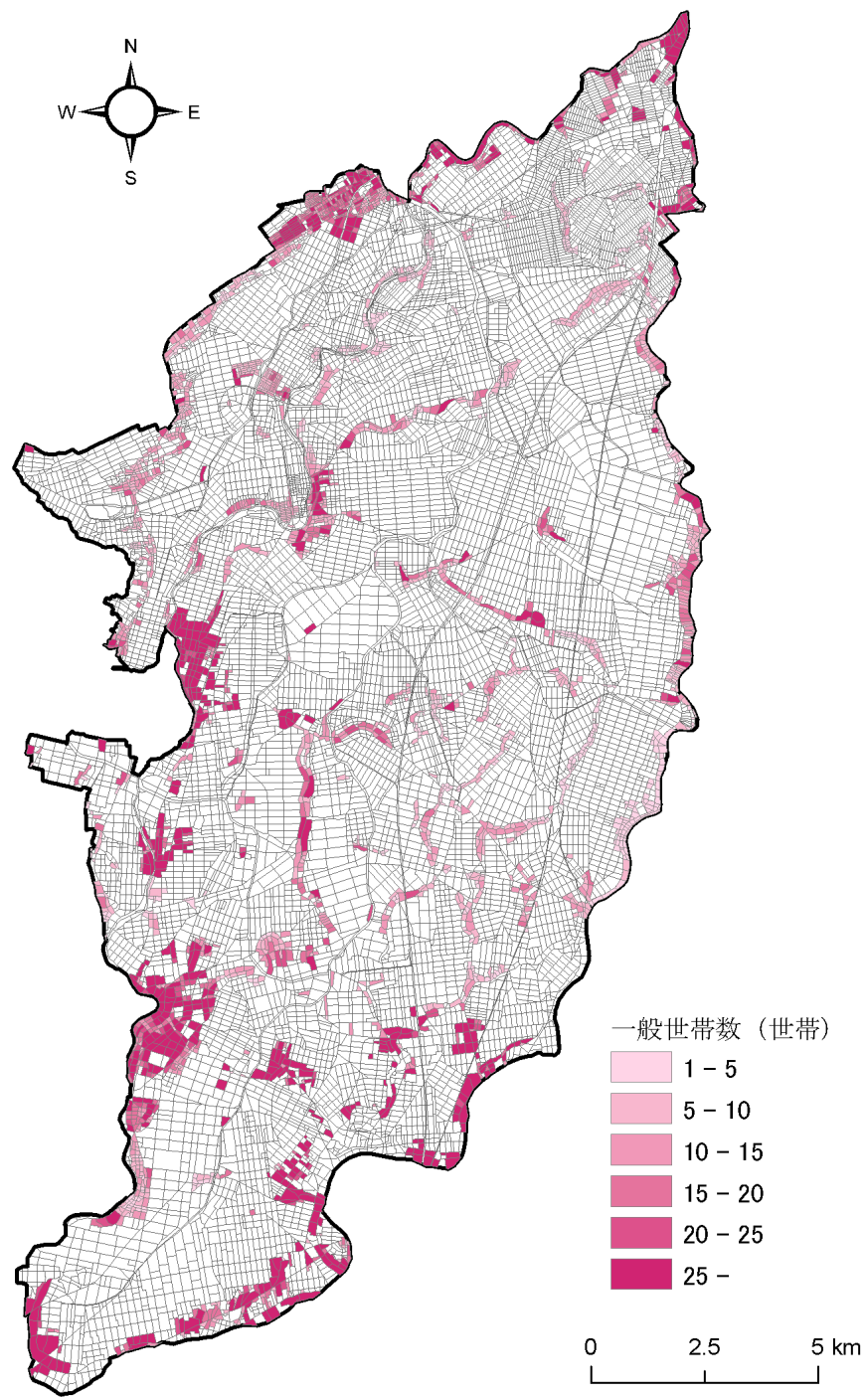


图 6.3 一般世帯数分布

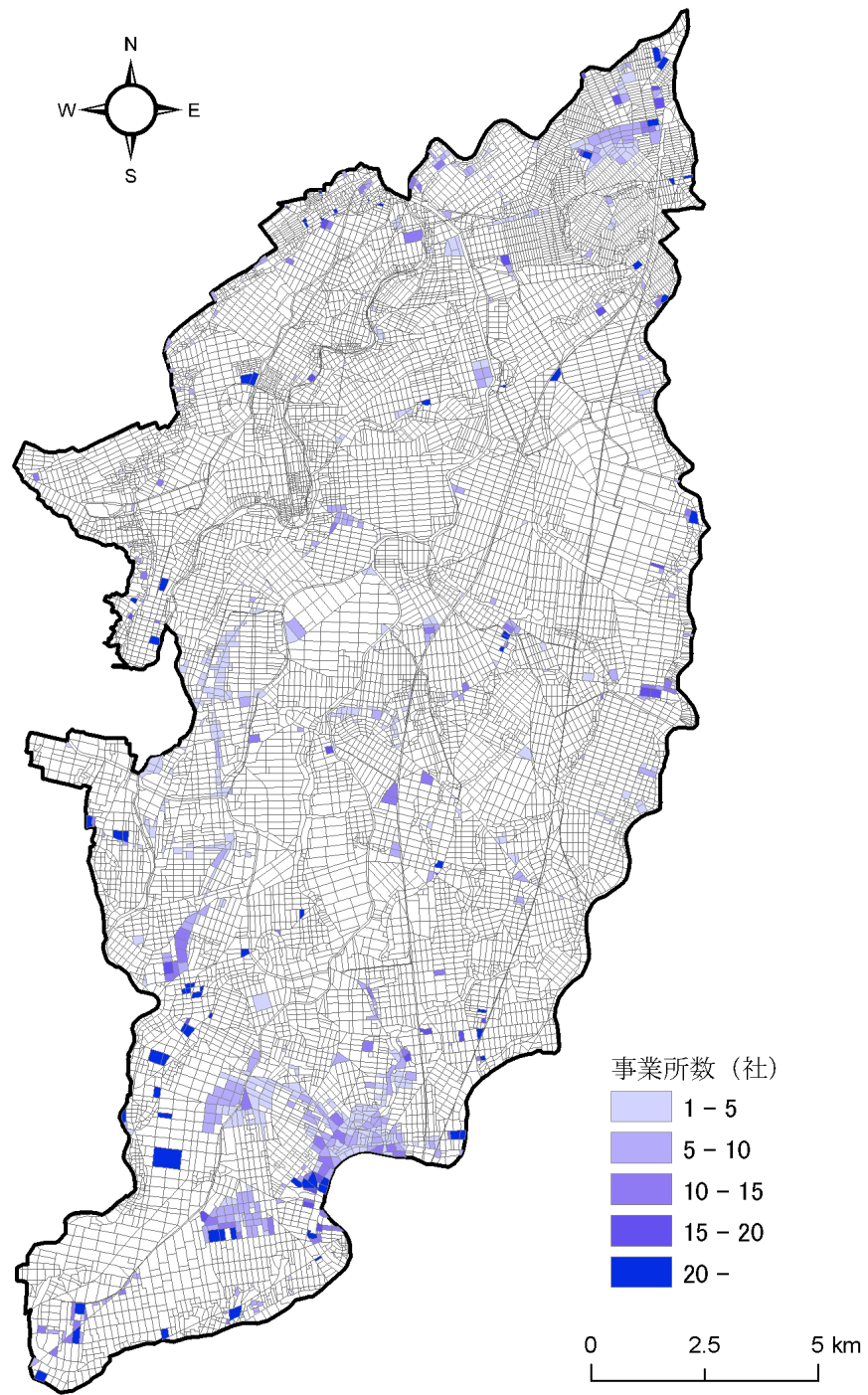


図 6.4 事業所分布

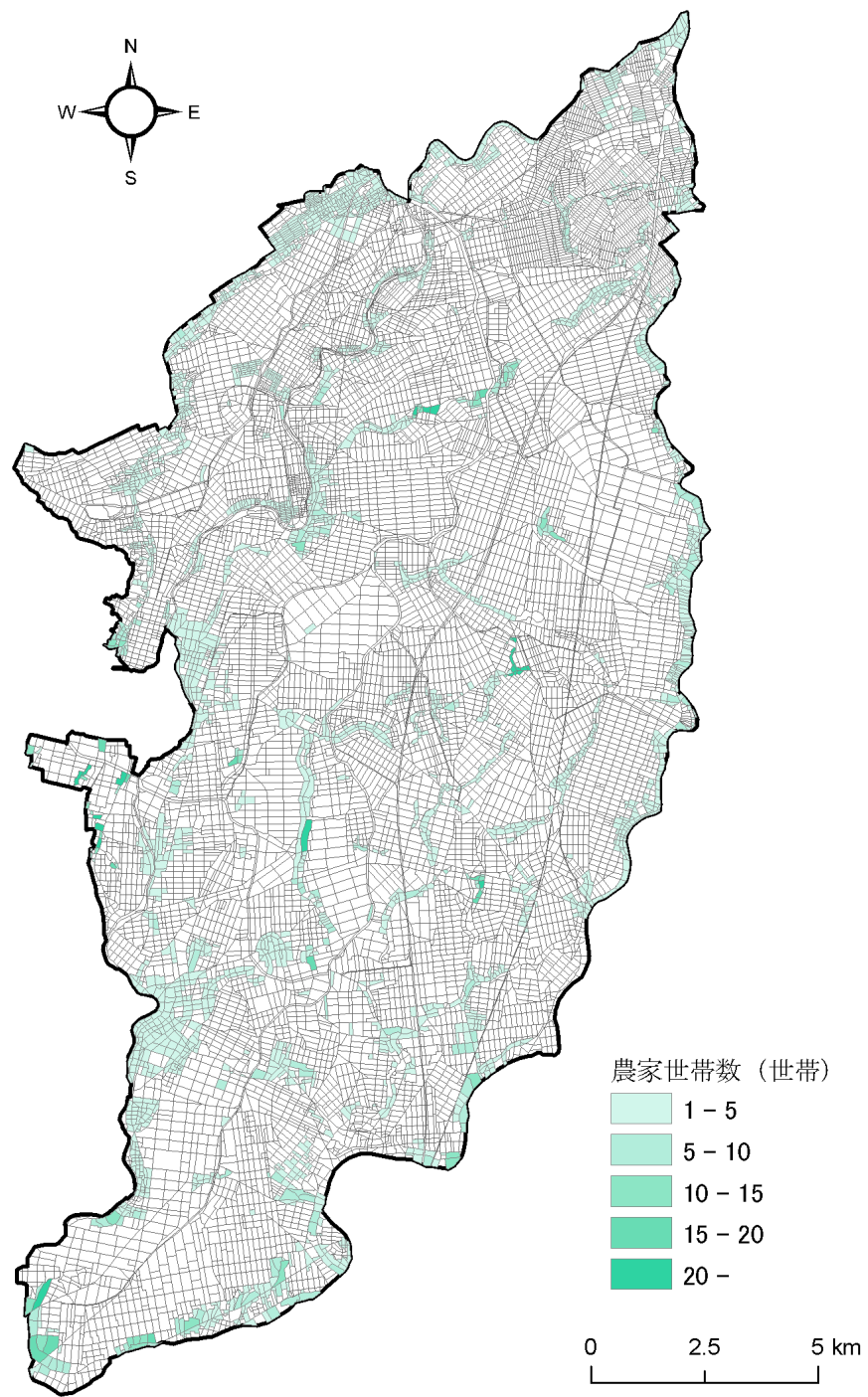


图 6.5 農家世帯数分布

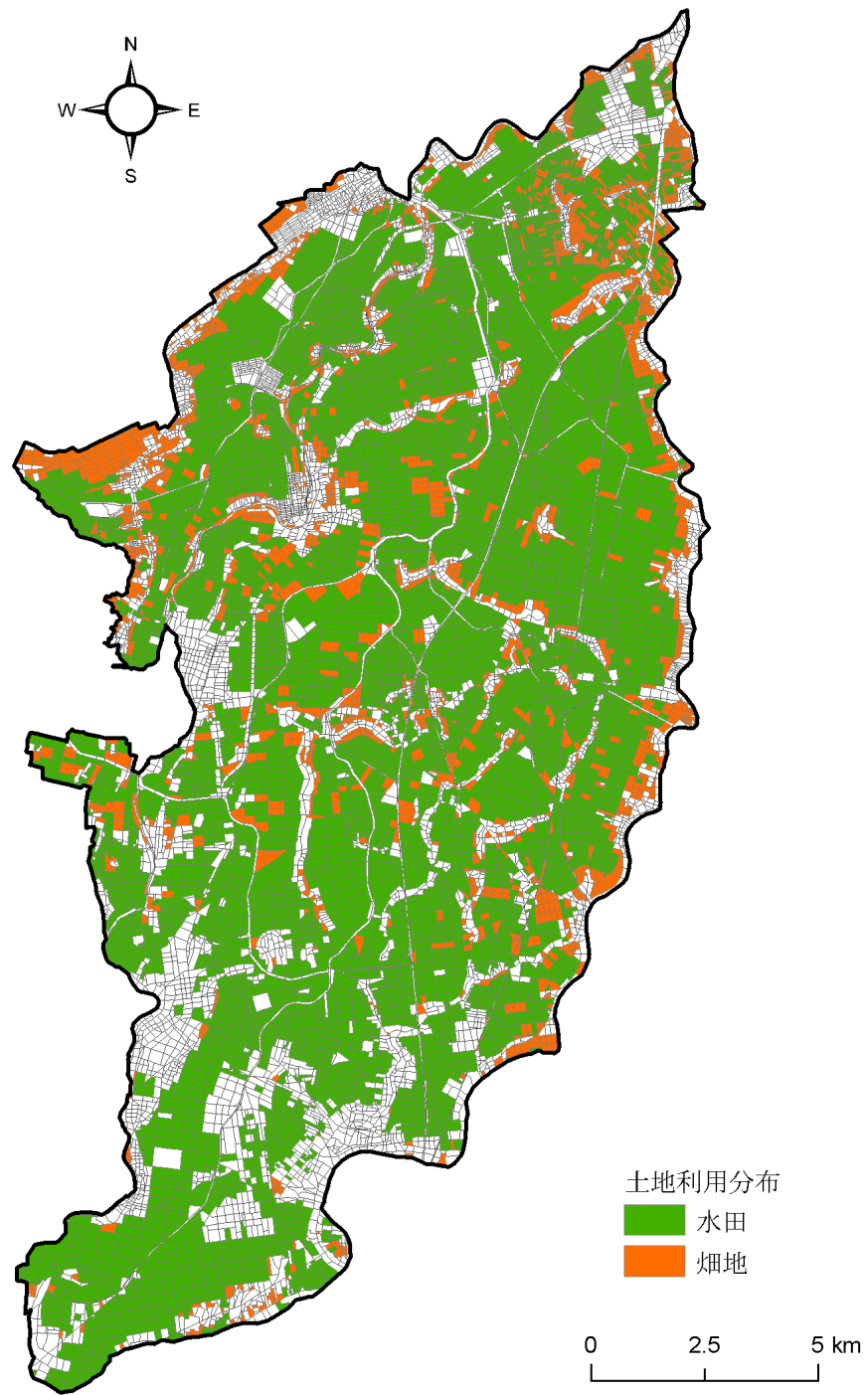


图 6.6 农作物作付け分布

3. 浸水被害額の算定方法

計算セルごとの最大浸水深に応じた浸水被害率を資産額に乗じて算定した。

3.1 家屋

家屋被害は、2.1項で示した家屋資産額に解析対象地の平均地盤勾配に応じた被害率（表6.9）を乗じて算定した。

表 6.9 家屋被害率

浸水深	床下	床上					土砂体積（床上）	
		50cm未満	50～99	100～199	200～299	300cm以上	50cm未満	50cm以上
Aグループ	0.032	0.092	0.119	0.266	0.58	0.834		
Bグループ	0.044	0.126	0.176	0.343	0.647	0.87	0.43	0.785
Cグループ	0.05	0.144	0.205	0.382	0.681	0.888		

平均地盤勾配 A：1/1000 未満， B：1/1000～1/500， C：1/500 以上

3.2 家庭用品

家庭用品被害は、2.2項で示した家庭用品資産額に被害率（表6.10）を乗じて算定した。

表 6.10 家庭用品被害率

浸水深	床下	床上					土砂体積（床上）	
		50cm未満	50～99	100～199	200～299	300cm以上	50cm未満	50cm以上
被害率	0.021	0.145	0.326	0.508	0.928	0.991	0.5	0.845

3.3 事業所償却・在庫

事業所償却・在庫被害は、2.3項で示した事業所償却・在庫資産額に被害率（表6.11）を乗じて算定した。

表 6.11 事業所償却・在庫被害率

浸水深	床下	床上					土砂体積（床上）	
		50cm未満	50～99	100～199	200～299	300cm以上	50cm未満	50cm以上
償却	0.099	0.232	0.453	0.789	0.966	0.995	0.54	0.815
在庫	0.056	0.128	0.267	0.586	0.897	0.982	0.48	0.78

3.4 農家償却・在庫

農家所償却・在庫被害は、2.4項で示した農家償却・在庫資産額に被害率（表6.12）を乗じて算定した。

表 6.12 農家償却・在庫被害率

浸水深	床下	床上					土砂体積（床上）	
		50cm未満	50～99	100～199	200～299	300cm以上	50cm未満	50cm以上
償却	0	0.156	0.237	0.297	0.651	0.698	0.37	0.725
在庫	0	0.199	0.37	0.491	0.767	0.831	0.58	0.845

3.5 農作物

農作物被害は、2.5項で示した各農作物資産額に被害率（表6.13）を乗じて算定した。

表 6.13 農作物被害率

事項	冠浸水深 浸水日数	冠浸水								土砂埋没						
		0.5m未満				0.5～0.99m				1.0m以上			地表からの土砂堆積深			
		1～2	3～4	5～6	7以上	1～2	3～4	5～6	7以上	1～2	3～4	5～6	7以上	0.5m未満	0.5～0.99m	1m以上
田	水稲	21	30	36	50	24	44	50	71	37	54	64	74	70	100	100
畑	陸稲	20	34	47	60	31	40	50	60	44	60	72	82			
	甘しょ	11	30	50	50	27	40	75	88	38	63	95	100			
	白菜	42	50	70	83	58	70	83	97	47	75	100	100			
	蔬菜	19	33	46	59	20	44	48	75	44	38	71	84			
	根類	32	46	59	62	43	57	100	100	73	87	100	100			
	瓜類	22	30	42	56	31	38	51	100	40	50	63	100			
	豆類	23	41	54	67	30	44	60	73	40	50	68	81			
	畑平均	27	42	54	67	35	48	67	74	51	67	81	91	68	81	100

3.6 公共土木施設等

公共土木施設等被害額は、一般資産被害額とは算出方法が異なる。公共土木施設等被害額は、表6.14（治水経済調査マニュアル（案））に示す一般資産被害額に対する公共土木施設等被害比率（%）を一般資産被害額に乗じて求める。この比率は、昭和62～平成8年の10年間の「水害統計」の中から主要な水害について水害統計および農林水産省統計資料をもとに全国平均で求めた値から算出している。

表 6.14 一般資産被害額に対する公共土木施設等被害比率（%）

施設	道路	橋梁	下水道	都市施設	公益	農地	農業用施設	小計
被害率	61.6	3.7	0.4	0.2	8.6	29.1	65.8	169.4

3.7 間接被害額

3.7.1 営業停止損失

営業停止損失は、2.3項で示した産業分類ごとの従業者数に、浸水深に応じた営業停止・停滞日数（表6.15）および1人1日当たりの付加価値額（表6.16）を乗じ、産業ごとの営業停止損失額（ D_i ）を求め、その総和とした（式（5））。

$$D_i = M_i \times (n_0 + n_1/2) \times P_i \quad (5)$$

ここに、 i ：産業大分類， M ：従業者数， p ：付加価値額， n_0 ， n_1 ：それぞれの浸水深に応じた営業の停止日数・停滞日数である。

表 6.15 営業停止・停滞日数

浸水深	床下	床上				
		50cm未満	50～99	100～199	200～299	300cm以上
停止日数	3	4.4	6.3	10.3	16.8	22.6
停滞日数	6	8.8	12.6	20.6	33.6	45.2

表 6.16 産業分類ごとの1人1日当たりの付加価値額（円/人）

産業分類		付加価値額	
大分類符号	産業名	15年評価額	16年評価額
D	鉱業	40,468	42,328
E	建設業	19,834	20,830
F	製造業	29,011	28,917
G	電気・ガス・水道・熱供給業	136,274	136,000
H	運輸・通信業	28,122	27,503
I	卸・小売業	24,370	23,197
J～M	サービス業	23,867	23,540

3.7.2 家庭における応急対策費用

家庭における応急対策費は、（1）清掃労働対価および（2）代替活動に伴う支出増額によって算定した。

（1）清掃労働対価

清掃労働対価は、世帯数に①1日当たり一般世帯清掃労働対価評価額（表6.17）（治水経済調査マニュアル（案）），②浸水深に応じた清掃所要延べ日数（表6.18）を乗

じて算定した。

$$\text{清掃労働対価} = \text{世帯数} \times \text{労働対価評価額} \times \text{清掃延べ日数} \quad (6)$$

表 6.17 1日当たり一般世帯清掃労働対価評価額（円/日）

15年評価額	16年評価額
10,360	10,273

表 6.18 清掃所要延べ日数

浸水深	床下	床上				
		50cm未満	50～99	100～199	200～299	300cm以上
日数	4	7.5	13.3	26.1	42.4	50.1

(2) 代替活動に伴う支出増額

代替活動等に伴う支出増額は、世帯数に浸水深に応じた代替活動等に伴う支出負担単価（表6.19）（治水経済調査マニュアル（案））を乗じて算定した。

表 6.19 代替活動等に伴う支出負担単価—家庭（千円/世帯）

浸水深	床下	床上				
		50cm未満	50～99	100～199	200～299	300cm以上
単価	82.5	147.6	206.5	275.9	326.1	343.3

3.7.3 事業所における応急対策費用

事業所における応急対策費は、事業所数に浸水深に応じた代替活動等に伴う支出負担単価（表6.20）（治水経済調査マニュアル（案））を乗じて算定した。

表 6.20 代替活動等に伴う支出負担単価—事業所（千円/事業所）

浸水深	床下	床上				
		50cm未満	50～99	100～199	200～299	300cm以上
単価	470	925	1714	3726	6556	6619

4. 田んぼダムの浸水被害軽減額の算出

以上の浸水被害額の算定方法に従い、田んぼダムの浸水被害軽減額を算出する。ここでは、西蒲原地区のうち大通川上流地区を例として結果を述べる。

4.1 家屋・家庭用品、事業所償却・在庫および農家償却・在庫被害

4.1.1 家屋・家庭用品被害

10年確率降雨があった場合、家屋被害は、田んぼダム非実施条件で17.24億円、実施率100%で10.22億円となり、被害軽減額は7.02億円となった。また、家庭用品被害は田んぼダム非実施条件で4.52億円、実施率100%で3.11億円となり、被害軽減額は1.41億円となった。以下、30年確率、50年確率、100年確率の家屋および家庭用品被害額は、表6.21のとおりである。

表 6.21 家屋・家庭用品被害額集計結果（億円）

地区名	適用降雨	家屋			家庭用品		
		田んぼダム 非実施	田んぼダム 実施	被害軽減額	田んぼダム 非実施	田んぼダム 実施	被害軽減額
大通川 上流	10年確率	17.24	10.22	7.02	4.52	3.11	1.41
	30年確率	20.53	13.18	7.35	4.85	3.61	1.24
	50年確率	21.86	14.76	7.09	5.10	3.89	1.21
	100年確率	26.74	17.97	8.77	5.99	4.86	1.13

4.1.2 事業所償却・在庫被害

10年確率降雨があった場合、事業所償却被害は、田んぼダム非実施条件で4.48億円、実施率100%で2.36億円となり、被害軽減額は2.12億円となった。事業所在庫被害は田んぼダム非実施条件で1.69億円、実施率100%で0.81億円となり、被害軽減額は0.88億円となった。以下、30年確率、50年確率、100年確率の事業所償却および在庫被害額は表6.22のとおりである。

表 6.22 事業所償却・在庫被害額集計結果（億円）

地区名	適用降雨	事業所償却			在庫		
		田んぼダム非実施	田んぼダム実施	被害軽減額	田んぼダム非実施	田んぼダム実施	被害軽減額
大通川 上流	10年確率	4.48	2.36	2.12	1.69	0.81	0.88
	30年確率	6.16	2.60	3.57	2.45	0.92	1.52
	50年確率	7.53	2.95	4.58	2.87	1.08	1.79
	100年確率	8.15	4.73	3.41	3.17	1.81	1.36

4.1.3 農家償却・在庫被害

農家償却・在庫被害に関して、浸水による被害は無かった。

4.2 農作物被害

4.2.1 水稻

10年確率降雨があった場合、水稻被害は、田んぼダム非実施条件で0.39億円、実施率100%で0.30億円となり、被害軽減額は0.09億円となった。以下、30年確率、50年確率、100年確率の水稻被害額は表6.23のとおりである。

表 6.23 水稻被害集計結果（億円）

地区名	適用降雨	田んぼダム非実施	田んぼダム実施	被害軽減額
大通川 上流	10年確率	0.39	0.30	0.09
	30年確率	1.09	0.71	0.37
	50年確率	0.86	0.60	0.26
	100年確率	1.11	0.82	0.29

4.2.2 畑作物

10年確率降雨があった場合、畑作物被害は、田んぼダム非実施条件で0.59億円、実施率100%で0.58億円となり、被害軽減額は0.01億円となった。以下、30年確率、50年確率、100年確率の畑作物被害額は表6.24のとおりである。

表 6.24 畑作物被害集計結果（億円）

地区名	適用降雨	田んぼダム 非実施	田んぼダム 実施	被害軽減額
大通川 上流	10年確率	0.59	0.58	0.01
	30年確率	0.76	0.71	0.05
	50年確率	0.83	0.73	0.10
	100年確率	0.83	0.83	0.00

4.3 間接被害

間接被害のうち営業停止損失による被害は、10年確率降雨があった場合、田んぼダム非実施条件で1.39億円、実施率100%で0.73億円となり、被害軽減額は0.66億円となった。以下、30年確率、50年確率、100年確率の営業停止損失による被害額およびその他の間接被害額に関しては表6.25、表6.26、間接被害合計額は表6.27のとおりである。

表 6.25 営業停止損失による被害額の集計結果（億円）

地区名	適用降雨	営業停止損失額			清掃労働対価		
		田んぼダム 非実施	田んぼダム 実施	被害軽減額	田んぼダム 非実施	田んぼダム 実施	被害軽減額
大通川 上流	10年確率	1.39	0.73	0.66	0.59	0.41	0.19
	30年確率	1.93	0.81	1.12	0.64	0.47	0.16
	50年確率	2.35	0.92	1.43	0.67	0.51	0.16
	100年確率	2.53	1.47	1.06	0.79	0.64	0.15

表 6.26 その他の間接被害額の集計結果（億円）

地区名	適用降雨	代替活動等支出負担額（家庭）			代替活動等支出負担額（事業所）		
		田んぼダム 非実施	田んぼダム 実施	被害軽減額	田んぼダム 非実施	田んぼダム 実施	被害軽減額
大通川 上流	10年確率	1.19	0.82	0.37	1.04	0.53	0.51
	30年確率	1.28	0.95	0.33	1.50	0.61	0.90
	50年確率	1.34	1.02	0.32	1.85	0.71	1.13
	100年確率	1.58	1.28	0.30	1.99	1.10	0.89

表 6.27 間接被害合計額の集計結果（億円）

地区名	適用降雨	田んぼダム 非実施	田んぼダム 実施	被害軽減額
大通川 上流	10年確率	4.22	2.49	1.72
	30年確率	5.35	2.84	2.51
	50年確率	6.21	3.17	3.04
	100年確率	6.88	4.48	2.40

4.4 集計結果

以上の結果，直接被害額（家屋・家庭用品，事業所，農家），農作物被害額，公共土木施設被害額，間接被害額，合計被害額を集計した結果を表6.28-表6.30に示す．田んぼダムによる被害軽減額は，10年確率降雨で32.45億円，30年確率で39.81 億円，50年確率で42.96 億円，100年確率で42.22 億円となった．

表 6.28 田んぼダム非実施での被害額集計結果（億円）

地区名	適用降雨	一般資産被害額	農作物被害額	公共土木施設被害額	間接被害額	被害額合計
大通川 上流	10年確率	27.94	0.98	47.33	4.22	80.38
	30年確率	34.00	1.85	57.59	5.35	98.78
	50年確率	37.36	1.68	63.29	6.21	108.54
	100年確率	44.05	1.94	74.62	6.88	127.49

表 6.29 田んぼダム実施での被害額集計結果（億円）

地区名	適用降雨	一般資産被害額	農作物被害額	公共土木施設被害額	間接被害額	被害額合計
大通川 上流	10年確率	16.50	0.89	27.96	2.49	47.93
	30年確率	20.31	1.42	34.41	2.84	58.98
	50年確率	22.68	1.33	38.41	3.17	65.58
	100年確率	29.38	1.65	49.76	4.48	85.27

表 6.30 田んぼダムによる被害軽減額集計結果（億円）

地区名	適用降雨	一般資産 被害軽減額	農作物 被害軽減額	公共土木施設 被害軽減額	間接被害 軽減額	被害軽減額合計
大通川 上流	10年確率	11.44	0.09	19.38	1.72	32.45
	30年確率	13.69	0.43	23.18	2.51	39.81
	50年確率	14.68	0.36	24.88	3.04	42.96
	100年確率	14.67	0.29	24.85	2.40	42.22

4.5 田んぼダムの平均被害軽減期待額の算出

ここまでに得られた浸水軽減額を一般化し、田んぼダムを実施した水田10a当たりの経済評価額を算出した。算定手順に従って結果を以下に示す。

4.5.1 降雨規模-田んぼダム効果曲線の作成

降雨規模ごとの浸水軽減額をプロットしたグラフを図6.7に示す。降雨規模と田んぼダムによる浸水軽減額の関係は、図に示した近似曲線で表現できる。これを降雨規模-田んぼダム効果曲線と呼ぶことにする。西蒲原地区の大通川上流地区では、以下の近似式が得られた（式（7））。

$$T = 4.56 \ln K + 23.15 \quad (7)$$

ここに、 K ：浸水軽減額（億円）、 T ：降雨再現期間である。

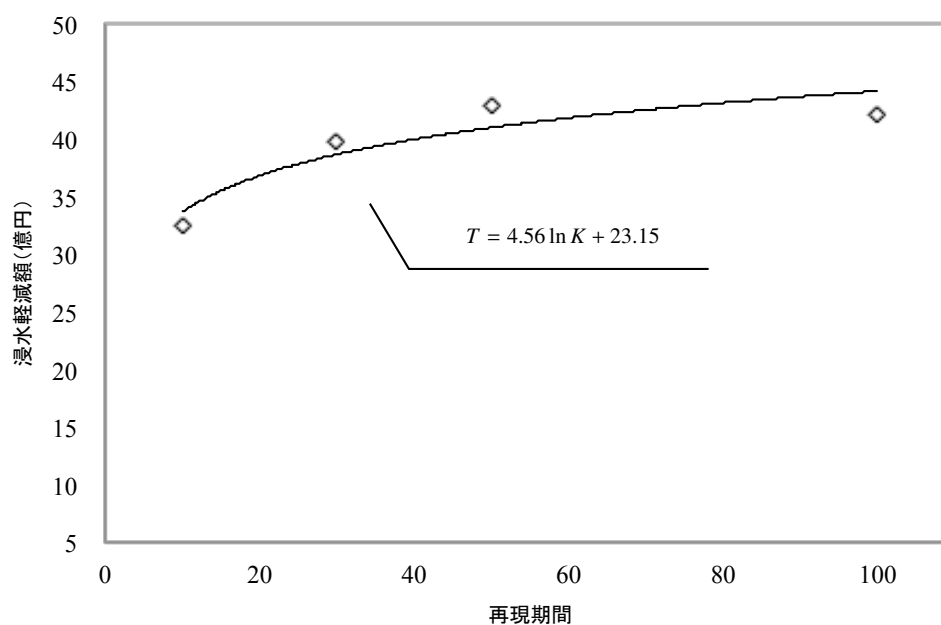


図 6.7 降雨規模-田んぼダム効果曲線

4.5.2 年平均被害軽減期待額への換算

表6.31に示すように推定した各再現期間の浸水軽減額を区間平均に直し、その区間生起確率を乗じて区間被害軽減期待額を算出した（図6.8）。これを積分することで年平均被害軽減期待額，すなわち，年間の田んぼダムの経済評価額が求まる。ここでは，積分区間は，再現期間10年から100年とした。通常，農地排水施設の整備基準は再現期間10年の降雨であるため，10年確率より小規模の降雨では浸水被害が発生しないと考え，積分区間の下端を10年確率降雨とした。また，再現期間100年降雨付近で被害軽減期待額が0に漸近しているため，再現期間100年以上の降雨イベントが結果に与える寄与度は非常に小さいと考え，積分区間の上端を100年とした。

表 6.31 年平均被害軽減期待額算定表

再現期間	生起確率	被害軽減額	区間平均被害軽減額	区間確率	区間被害軽減期待額	年平均被害軽減期待額
T_0	$N_0 (=1/T_0)$	D_0	$(D_0+D_1) / 2$	N_0-N_1	$d_1= (N_0-N_1) \times (D_0+D_1) / 2$	d_1
T_1	N_1	D_1	$(D_1+D_2) / 2$	N_1-N_2	$d_2= (N_1-N_2) \times (D_1+D_2) / 2$	d_1+d_2
T_2	N_2	D_2	$(D_2+D_3) / 2$	N_2-N_3	$d_3= (N_2-N_3) \times (D_2+D_3) / 2$	$d_1+d_2+d_3$
\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot
\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot
\cdot	\cdot	\cdot	$(D_{m-1}+D_m) / 2$	$N_{m-1}-N_m$	$d_m= (N_{m-1}-N_m) \times (D_{m-1}+D_m) / 2$	$d_1+d_2+\dots+d_m$
T_m	N_m	D_m				

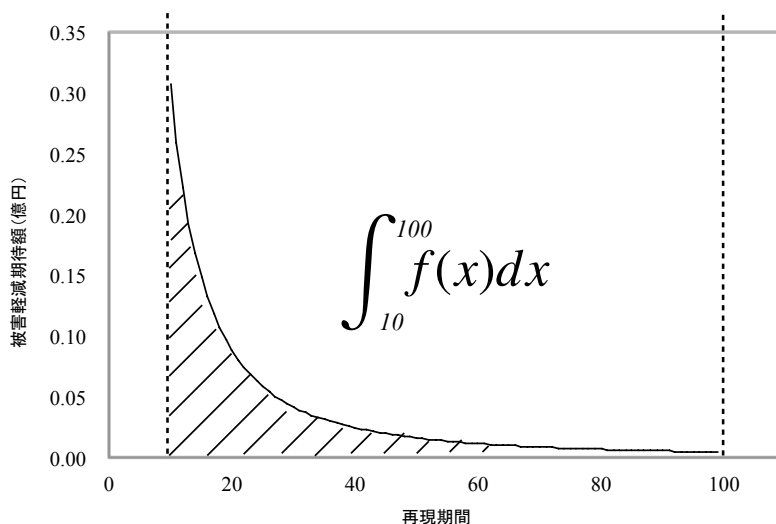


図 6.8 再現期間ごとの被害軽減期待額

4.5.3 年平均被害軽減期待額の算定結果

計算の結果，年平均被害軽減期待額は3.33億円となった．この値を大通川上流地区内の水田面積である4,463haで除し，10a当たりの田んぼダムの経済価値評価額に換算すると，7,470円/10a/年という結果が得られた（表6.32）．

表 6.32 大通川上流地区における田んぼダムの経済価値評価額

年平均被害軽減期待額 (億円)	水田面積 (ha)	経済価値 (円/10a/年)
3.33	4,460	7,470

5. 全解析対象流域での経済価値評価額の算定結果

以上の経済価値評価額の算定方法に従って，本研究の解析対象である計 18 流域で田んぼダムの経済価値評価額を算定した．その結果 18 流域において 100 円-17,000 円/10a/年という経済価値評価額を得た（表 6.33）．

表 6.33 全解析対象流域における田んぼダムの経済価値評価額

対象地区	流域	年平均被害軽減期待額 (億円)	水田面積 (ha)	経済価値 (円/10a/年)
神林	笛吹川	0.17	490	3,470
白根	白根郷	3.27	2,900	11,200
見附三条	貝喰川	2.2	4,000	5,500
長岡	深才	0.015	145	1,000
上越	錦川	0.19	280	6,800
西蒲原	大通川上流	3.33	4,460	7,470
	広通江	0.005	740	100
	旧広通江	1.38	1,220	11,300
	新川右岸	0.26	1,000	2,600
	田潟	0.10	890	1,250
	升潟	0.10	600	1,650
	旧木山川	0.33	1,500	2,200
	飛落川	1.01	1,900	5,300
	大通川下流	0.71	1,650	4,300
	新木山川	0.05	490	1,000
	横江	1.20	705	17,000
	七穂	0.19	2,000	1,000
	月潟	0.06	680	900

第7章 田んぼダムの経済価値の簡易評価手法の開発

1. 経済価値評価額の簡易評価モデルの開発意義

第6章に示した直接積算法による田んぼダムの経済価値評価は、高い精度で評価額の算定が可能である一方、(1) 現地調査による効果検証、(2) 解析モデルの構築、(3) 解析モデルによる浸水範囲および浸水継続時間の推定の手順を踏むため、多大なる時間と労力を要する。これまでに解析した18流域の経済価値評価額の算出には約4年を要した。新潟県内の多くの普及主体から、取組実施の事前評価として評価額算定の依頼が筆者らの研究グループに多数寄せられているが、直接積算法によって、これらすべての要望に対応するのは現実的に困難である。

本研究では、精度を犠牲にしても、より簡便に田んぼダムの経済価値評価額を評価できる手法を開発した。以下に詳細を示す。

2. 田んぼダムの経済価値評価額の簡易評価モデルの構築

田んぼダムの経済価値評価額を簡便に評価するために、第6章で算定した田んぼダムの経済価値評価額（円/10a/年）を再現する重回帰モデルを構築した（式(1)）。田んぼダムの経済価値評価額は、①田んぼダムの洪水緩和効果の規模、②浸水被害額の大きさ、③浸水のしやすさに規定されると考え、2つの説明変数を試行錯誤法によって選択した。その結果、①、③を表現する説明変数として、非浸水範囲の水田割合および圃場整備率（式(2)）、②、③を表現する説明変数として、浸水範囲の資産価値（式(3)）を選定した。

$$Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 \quad (1)$$

$$X_1 = (1 - x_{ip}) \cdot (0.6x_r + 0.4) \quad (2)$$

$$X_2 = (x_{ap} \cdot x_{ip} \cdot v_p) + (x_{af} \cdot x_{if} \cdot v_f) + (x_{au} \cdot x_{iu} \cdot v_u) / A_{ws} \quad (3)$$

ここに、 x_{ap} ：水田面積、 x_{af} ：畑地面積、 x_{au} ：市街地面積、 x_{ip} ：浸水水田割合、 $1-x_{ip}$ ：非浸水水田割合、 x_{if} ：浸水畑地割合、 x_{iu} ：浸水市街地割合、 v_p ：水田の単位面積当たりの資産額、 v_f ：畑地の単位面積当たりの資産額、 v_u ：市街地資産の単位数量当たりの資産額、 A_{ws} ：流域面積である。

以下に各説明変数ごとに詳細を示す。

3. 説明変数の選定根拠

3.1 田んぼダムの洪水緩和効果の規模および浸水のしやすさを表現する説明変数 (X_1)

3.1.1 非浸水範囲の水田割合と田んぼダムの洪水緩和効果の関係

田んぼダムの取組水田面積が大きいほど洪水緩和効果は高くなるため、洪水緩和効果の規模と流域の水田面積割合には正の相関がある。ただし、浸水した水田は田んぼダムとしての機能が失われるため、流域に占める「浸水しない水田面積割合」を洪水緩和効果の規模を規定する要因として選定した。

3.1.2 圃場整備率と田んぼダムの洪水緩和効果の関係

未圃場整備水田（以下、未整備水田）は、圃場整備水田（以下、整備水田）に比べて、畦畔高が低いうえ、畦畔が脆弱なために漏水量が多いことから、田んぼダムの洪水緩和効果は低下する。

第 3 章に示した「水田流出量算定モデル」を用いて、整備水田では排水マス、未整備水田では塩ビ管を想定し、両者のピーク流出抑制量を比較した。モデルパラメータとして圃場面積 3000m^2 、流出孔の孔径 6cm を与えた。対象降雨イベントは 30 年確率モデルハイエトグラフ（新潟市：総雨量 162mm ）を用いた。その結果、未整備水田のピーク流出抑制量は整備水田の 4 割程度であることが明らかになった（図 7.1）。

したがって、流域に占める「圃場整備率」を洪水緩和効果の規模を規定する要因として選定し、式（4）によって圃場整備率に応じた洪水緩和効果を定式化した。

$$\text{圃場整備率に応じた洪水緩和効果} = (1 - 0.4)x_r + 0.4 \quad (4)$$

ここに、 x_r ：圃場整備率である。

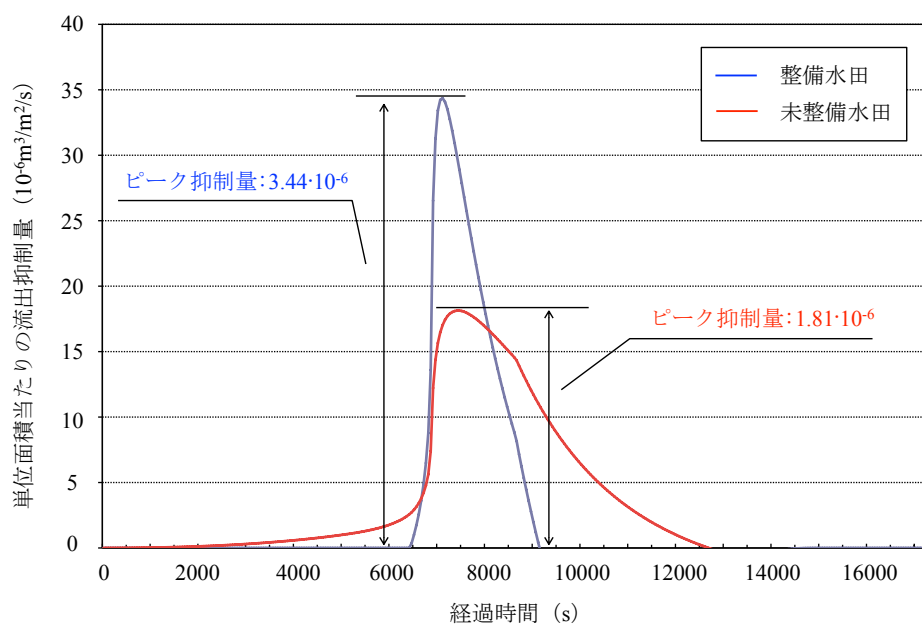


図 7.1 圃場整備の有無による田んぼダムの流出抑制量の比較

3.2 浸水被害額の大きさおよび浸水のしやすさを表現する説明変数 (X_2)

浸水範囲に存在する資産価値が高くなるほど浸水被害額は高くなるため、両者には正の相関がある。このことから、説明変数 X_2 には「浸水範囲の資産価値 (円/ m^2)」を選択した。

4. 説明変数のデータ整備

4.1 浸水範囲の推定

浸水が予測される範囲は過去の浸水実績から推定した。浸水実績は「水害区域図 (新潟県土木部, 1999-2011)」(図 7.2), および「農地湛水箇所位置図 (新潟県農地部, 1999-2011)」(図 7.3) から取得した。ただし、田んぼダムはとりわけ内水氾濫被害の軽減に有効であるため、内水氾濫によって発生した浸水実績のみを抽出した。

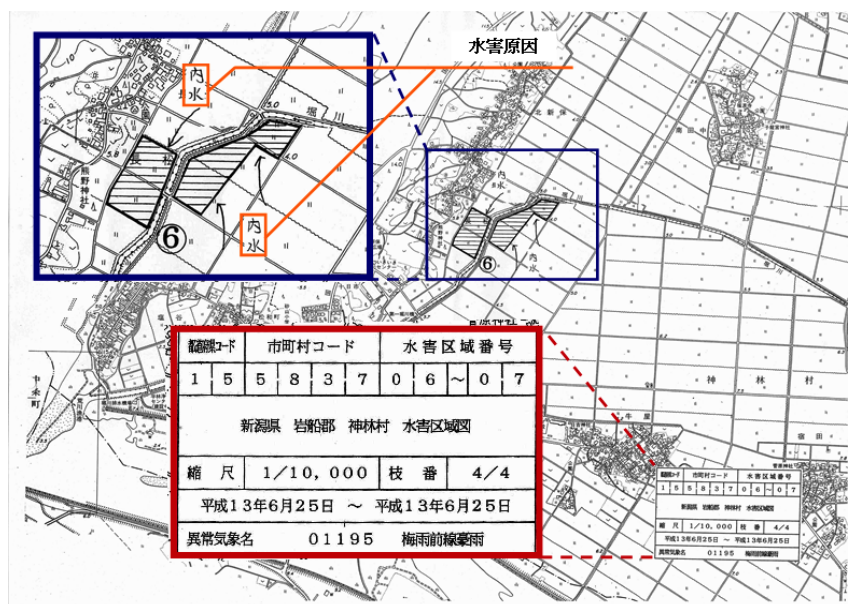


図 7.2 水害区域図の例

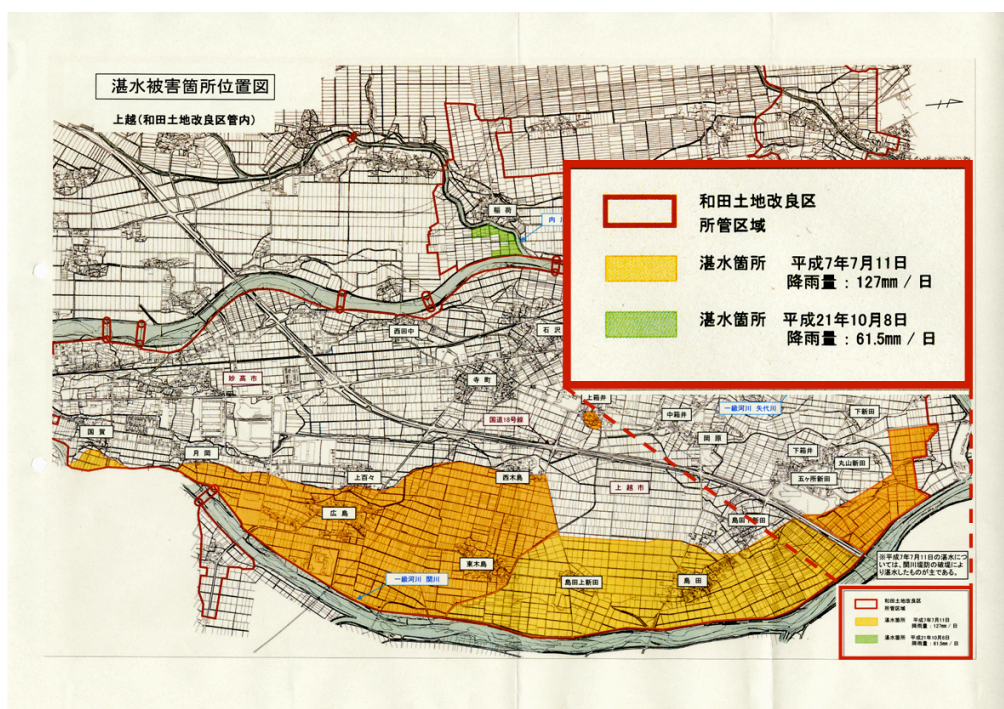


図 7.3 農地湛水被害箇所位置図の例

4.2 水田・畑地・市街地面積の集計

水田、畑地および市街地の面積集計には、国土数値情報土地利用細分メッシュデータ（国土交通省，2006）（以下，土地利用細分メッシュデータ）を使用した。土地利用細分メッシュデータとは、基準地域メッシュの1/10細分区画（100m四方メッシュ）ご

とに、各土地利用区分 11 項目を整理したものである。

土地利用細分メッシュデータと 4.1 で整備した浸水実績を用いて、浸水範囲の水田、畑地および市街地面積を集計した。また、非浸水範囲の水田割合も算出した。

4.3 水田・畑地・市街地の資産価値の集計

水田、畑地および市街地の資産価値は、第 6 章に示した算定方法に従って集計した。

4.1 で整備した浸水実績を用いて、浸水範囲のそれぞれの地目の資産価値（円/m²）を算出した。

4.4 圃場整備率の集計

新潟県土地改良事業団体連合会提供の圃場整備事業完了図（図 7.4）、および新潟県土地改良事業団体連合会提供の水田区画ポリゴンデータを用いて圃場整備率を集計した。圃場整備事業完了図を GIS 上で幾何補正して空間情報を与え、圃場整備範囲をポリゴン化した。両ポリゴンデータから、流域ごとの圃場整備率を算出した。

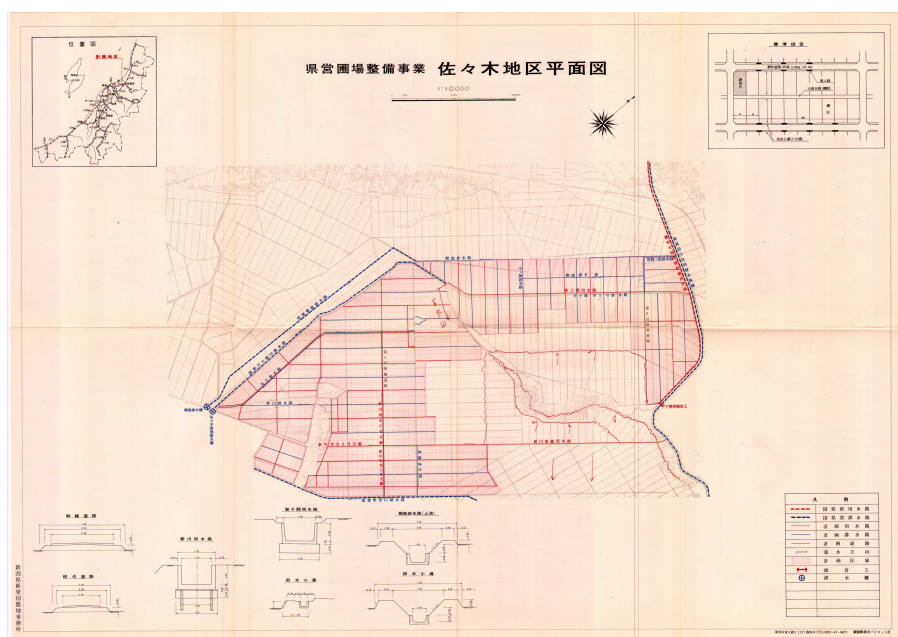


図 7.4 圃場整備事業完了図の例

5. 経済価値評価額の簡易評価モデルの検定

上記のデータ整備方法に従って、第6章で直接積算法によって経済価値を評価した流域の説明変数を算出した（表7.1）。これを標本値として重回帰分析を実施した結果、以下の結果を得た（式（5））。

$$Y = 5,494X_1 + 1.29X_2 \quad (5)$$

$$X_1 = (1 - x_{ip}) \cdot (0.6x_r + 0.4)$$

$$X_2 = (x_{ap} \cdot x_{ip} \cdot v_p) + (x_{af} \cdot x_{if} \cdot v_f) + (x_{au} \cdot x_{iu} \cdot v_u) / A_{ws}$$

ここに、 x_{ap} ：水田面積， x_{af} ：畑地面積， x_{au} ：市街地面積， x_{ip} ：浸水水田割合， $1-x_{ip}$ ：非浸水水田割合， x_{if} ：浸水畑地割合， x_{iu} ：浸水市街地割合， v_p ：水田の単位面積当たりの資産額， v_f ：畑地の単位面積当たりの資産額， v_u ：市街地資産の単位数量当たりの資産額， A_{ws} ：流域面積である。

モデルの偏回帰係数は、説明変数 X_1 が 5,494，説明変数 X_2 が 1.29 となり、ともに正の値をとった。説明変数 X_1 、 X_2 と被説明変数 Y は正の相関を持ち、水田面積と資産価値が高いほど経済価値評価額が高くなる。

分析結果よりモデルの決定係数は 0.7 であり、P 値は、説明変数 X_1 が 10% 有意水準、 X_2 が 1% 有意水準を満たした。

表 7.1 重回帰分析に使用した標本値

	田んぼダムの経済価値 (円/10a/年)	非浸水水田割合× 圃場整備率	浸水範囲の資産価値 (円/m ²)
	Y	X_1	X_2
横江	17,000	0.11	11,197
白根郷	11,000	0.43	1,970
大通川下上流	75,00	0.31	3,699
貝喰川	5,500	0.29	5,922
飛落川	5,300	0.32	3,359
大通川下流	4,300	0.26	2,019
笛吹川	3,400	0.16	122
新川右岸	2,600	0.27	444
旧木山川	2,200	0.27	2,602
升湯	1,600	0.28	528
田湯	1,200	0.31	64
深沢	1,000	0.23	104
七穂	1,000	0.33	1,994
広通江	100	0.14	223
平均	4,550	0.26	2,446
標準偏差	4,491	0.08	2,939

5.1 説明変数同士の多重共線性の検証

構築したモデルの説明変数 X_1 , X_2 の多重共線性を検証した。両説明変数の相関を確認した結果、決定係数 R^2 は 0.06 となり相関は低かった (図 7.5)。それに加え、多重共線性の危険度を示す尺度である VIF により検定を行った。検定の結果、説明変数 X_1 , X_2 の VIF は 1.21 となり、多重共線性の影響は小さいことが示された (表 7.2)。

表 7.2 VIF の検定結果

VIFの検定結果		
R^2	1/VIF	VIF
0.17	0.83	1.21

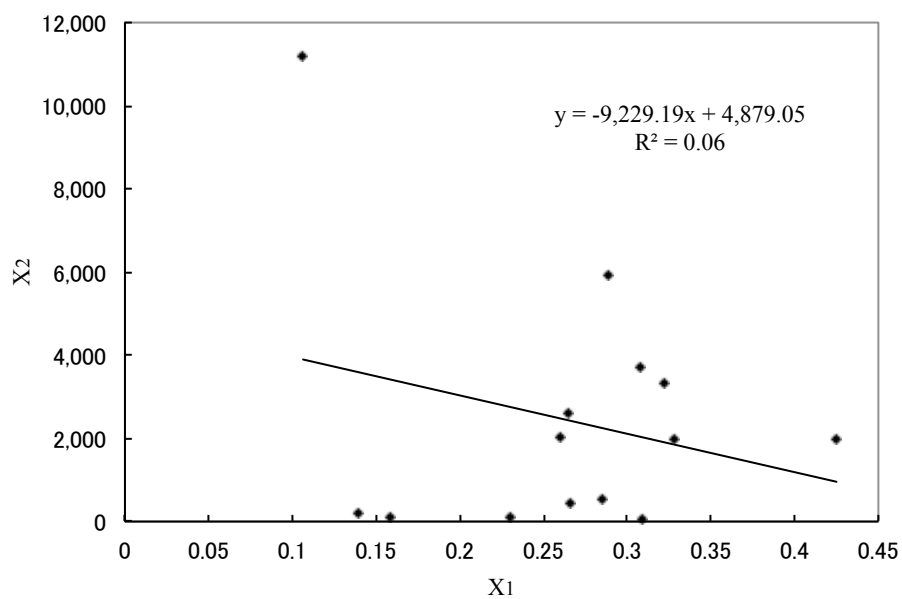


図 7.5 説明変数 X_1 と X_2 の相関

5.2 被説明変数 Y に対する説明変数 X の寄与度

被説明変数 Y に対する説明変数 X の寄与度の大きさを比較した。寄与度とは、単位の違う 2 つの説明変数 X を標準化することで、その偏回帰係数の値が被説明変数 Y へ与える影響を表すものである。

式 (6) によって標準化した標本値を表 7.3 に示す。

$$X = \frac{x - \bar{x}}{s_x} \quad (6)$$

ここに、 X : 標準化された説明変数、 \bar{x} : 平均値、 s_x : x の標準偏差である。

次に、寄与度を表す偏回帰係数を調べるため、表 7.3 に示した標準化した値を用いて、重回帰分析を行った。その結果、以下の回帰式が得られた。

$$Y = 0.144X_1 + 0.866X_2 \quad (7)$$

経済価値評価額 Y に対する説明変数 X_1 の寄与度は 0.144、説明変数 X_2 の寄与度は 0.866 となり、本モデルでは、田んぼダムの経済価値評価額 Y が浸水する資産価値 X_2 の大きさに強く影響を受けることが示された。

表 7.3 標準化した標本値

	田んぼダムの経済価値 (円/10a/年)	非浸水水田割合× 圃場整備率	浸水範囲の資産価値 (円/m ²)
	Y	X_1	X_2
横江	2.772	-1.949	2.978
白根郷	1.436	2.001	-0.162
大通川下上流	0.657	0.543	0.426
貝喰川	0.212	0.308	1.183
飛落川	0.167	0.724	0.311
大通川下流	-0.056	-0.037	-0.145
笛吹川	-0.256	-1.308	-0.791
新川右岸	-0.434	0.025	-0.681
旧木山川	-0.523	0.018	0.053
升潟	-0.657	0.263	-0.653
田潟	-0.746	0.570	-0.811
深沢	-0.790	-0.417	-0.797
七穂	-0.790	0.797	-0.154
広通江	-0.991	-1.538	-0.757

5.3 簡易評価モデルによる経済価値評価額の精度検証

簡易評価モデルから推定した田んぼダムの経済価値評価額と標本値を比較した（図7.6）。その結果，推定値と標本値に乖離が見られる流域もあったが，概ねの傾向は一致した。

乖離の原因としては，重回帰モデルに使用する標本数が少ないため，統計分析において変数データのばらつきが小さいと考えられる。今後はこの統計値のばらつきなども考慮して，さまざまな条件の地区で経済価値評価額を算定し，重回帰モデルの精度を上げていきたい。

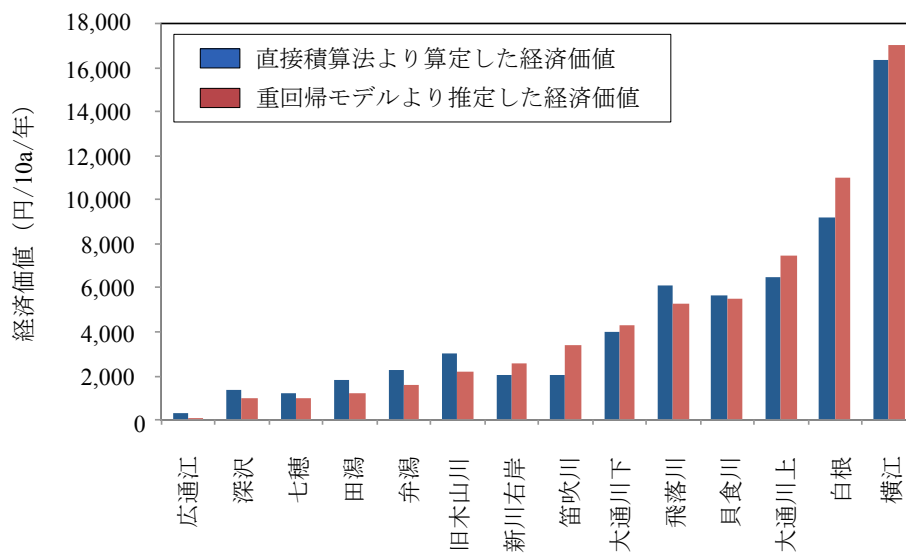


図 7.6 簡易評価モデルによる経済価値評価額と標本値の比較

第8章 田んぼダムの戦略的配置手法の開発

本章では、戦略的な田んぼダムの普及戦略を確立するために、第7章で開発した「田んぼダムの経済価値の簡易評価手法」を援用し、経済価値に基づく田んぼダムの取組適地の選定手法を示す。以下では、新潟県を事例として、取組適地の選定手順を示す。

1. 評価対象流域の作成

評価対象流域の作成には、①国土交通省国土政策局公開の国土数値情報流域メッシュデータ（平成21年度版）（以下、流域メッシュデータ）、②国土交通省国土政策局公開の国土数値情報行政区域データ（平成20年度版）（以下、行政区域データ）、③新潟県内土地改良区提供の農業用排水機場受益区域図、④国土交通省国土地理院公開の基盤地図情報数値標高モデル10mメッシュ（以下、DEM）を用いた。

①、②から自然排水流域、③、④から機械排水流域を作成し、両者を結合することで基礎流域を作成した。

1.1 自然排水流域の作成

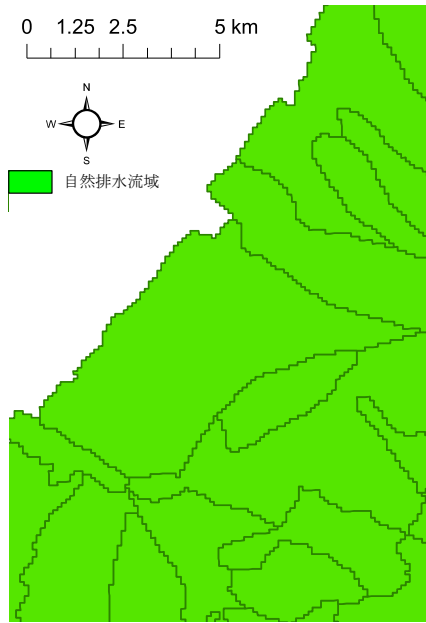
流域メッシュデータは、3次メッシュ1/10細分区画（100m四方グリッド）ごとに、どの河川の流域界に属するかについての情報を整備したものである。属性データに格納されている河川名ごとに結合（マージ）した（図8.1(a)）。ただし、海岸沿岸部のデータは欠けているため、行政区域データを用いて海岸沿岸部を補完した（図8.1(b)）。また、信濃川や阿賀野川といった大河川の県境部分は、行政区域データを用いて新潟県境で切断した。

1.2 機械排水流域の作成

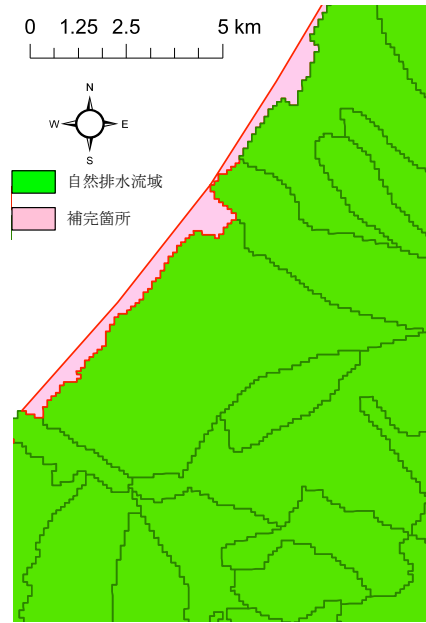
農業用排水機場の受益区域図は、排水機場を管轄する土地改良区を訪問して入手した。受益区域図をデジタル化し、GIS上で幾何補正し空間情報を与えた。これをポリゴン化し、機械排水流域を作成した（図8.1(c)）。ただし、受益区域図には山地部の集水域は含まれていないため、DEMを用いて集水域を推定した。

1.3 自然排水流域と機械排水流域の結合

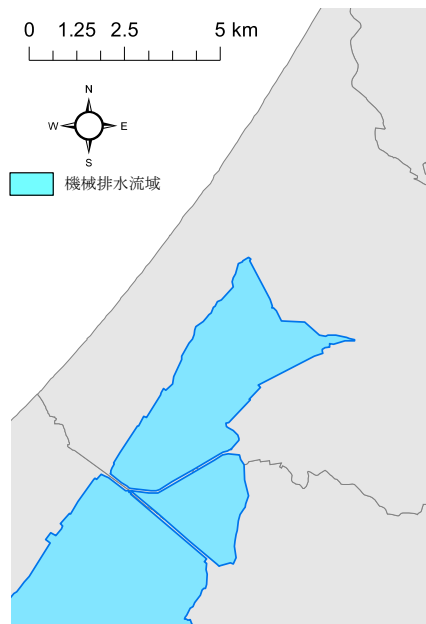
自然排水流域と機械排水流域を結合し（図8.1(d)）、基礎流域を作成した（図8.2）。基礎流域数は1,058となった。



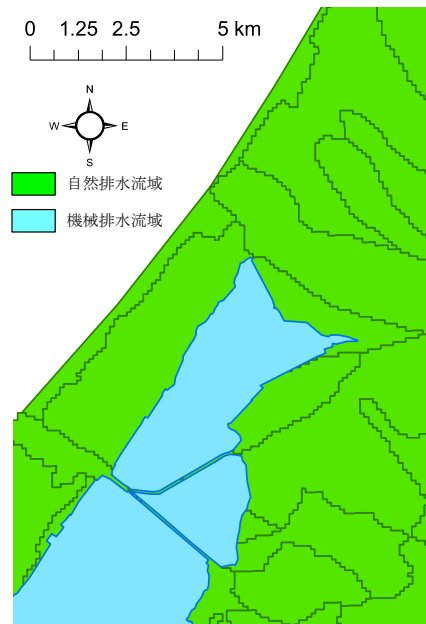
(a) 自然排水流域の作成



(b) 海岸沿岸の補完



(c) 機械排水流域の作成



(d) 自然・機械排水流域の結合

図 8.1 評価対象流域の作成方法

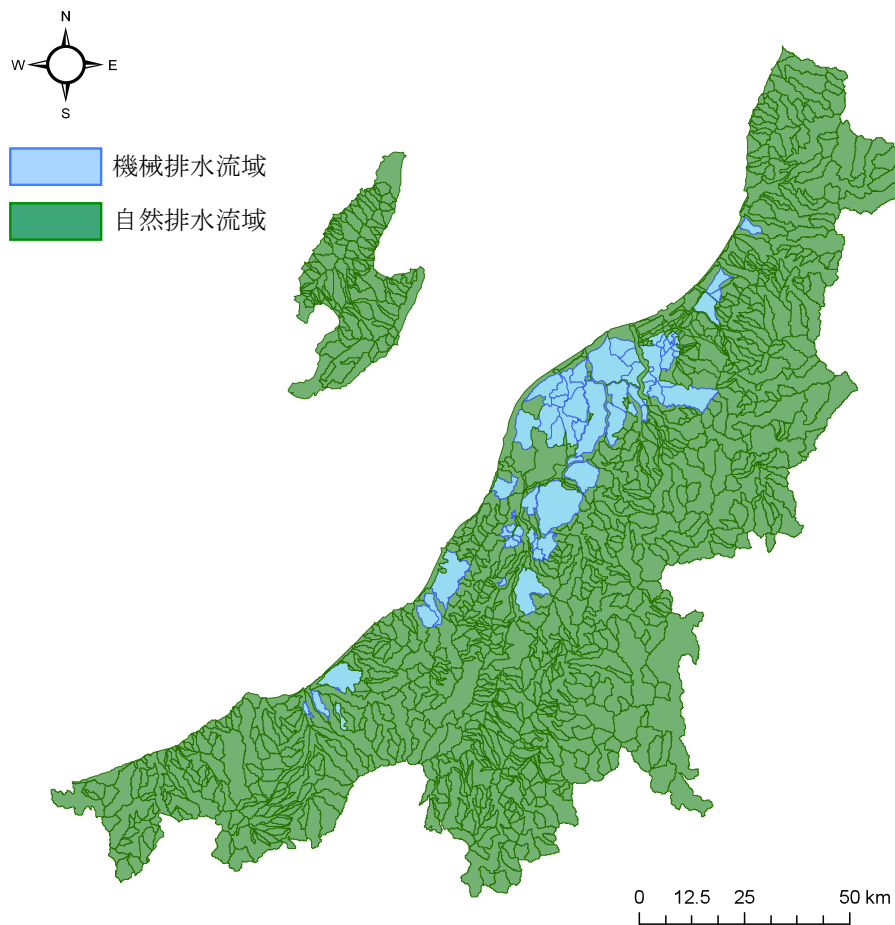


図 8.2 評価対象流域

2. 田んぼダムの経済価値の簡易評価モデルの適用

田んぼダムの経済価値の簡易評価モデルを用いて，作成した評価対象流域ごとの経済価値を算定する．簡易評価モデルの適用に必要な以下 4 つのデータを，第 7 章に示した方法に従って流域ごとに整備した．ここでは，整備した結果のみを示す．

- (1) 浸水実績データ (図 8.3)
- (2) 非浸水範囲の水田面積割合データ (図 8.4)
- (3) 浸水範囲の資産価値データ (図 8.5)
- (4) 圃場整備率データ (図 8.6)

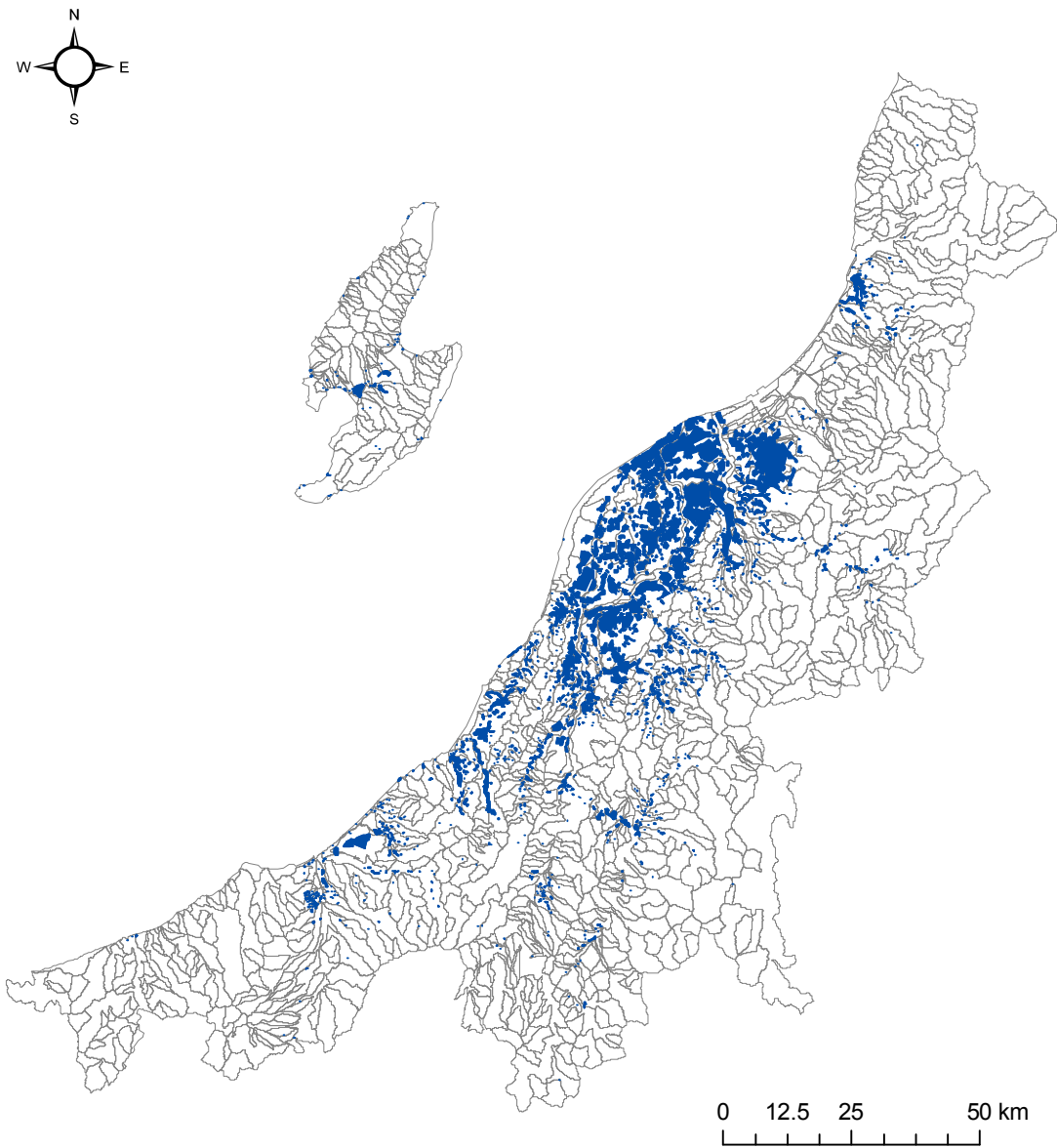


図 8.3 浸水実績データ

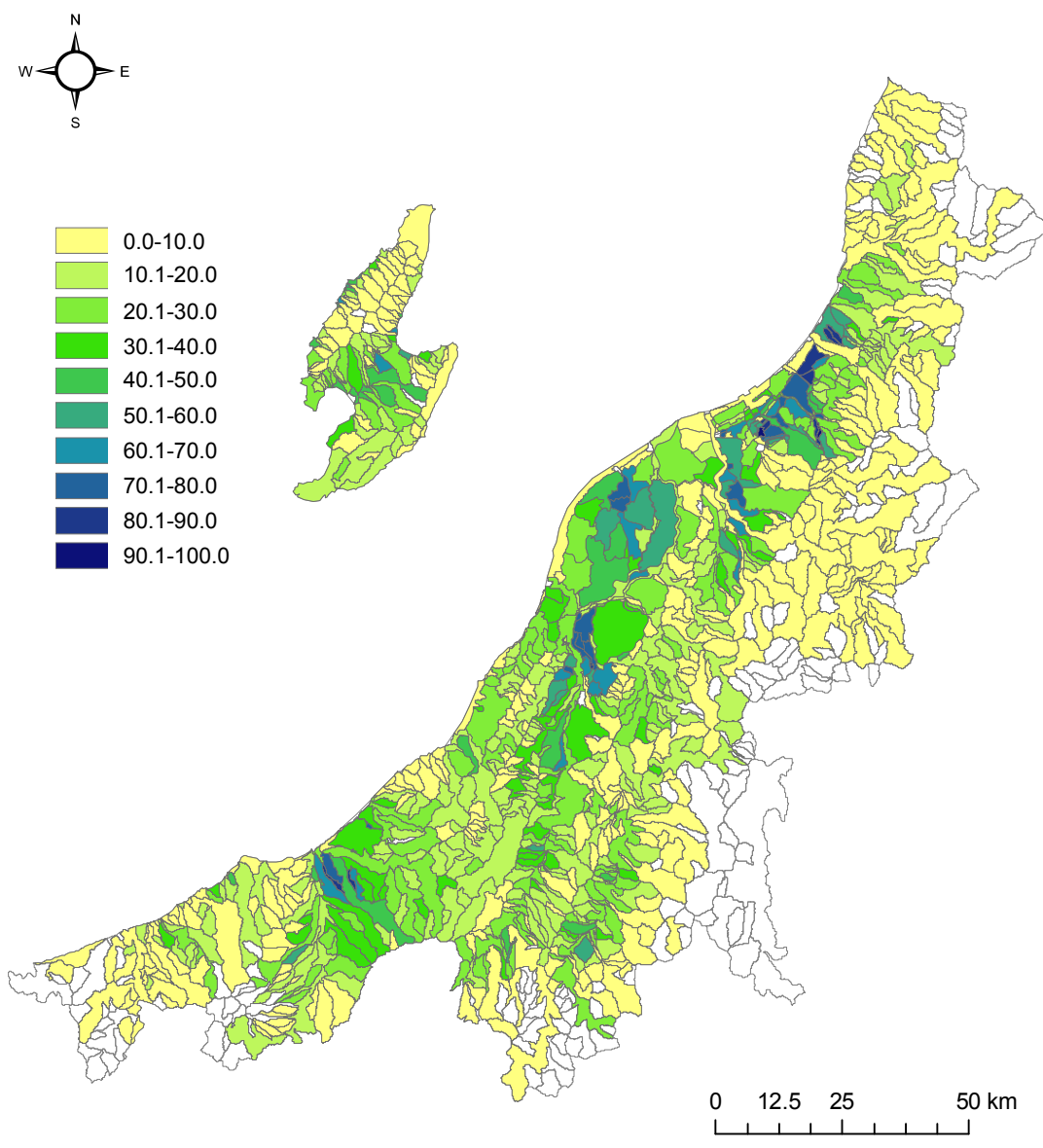


図 8.4 非浸水範囲の水田面積割合データ

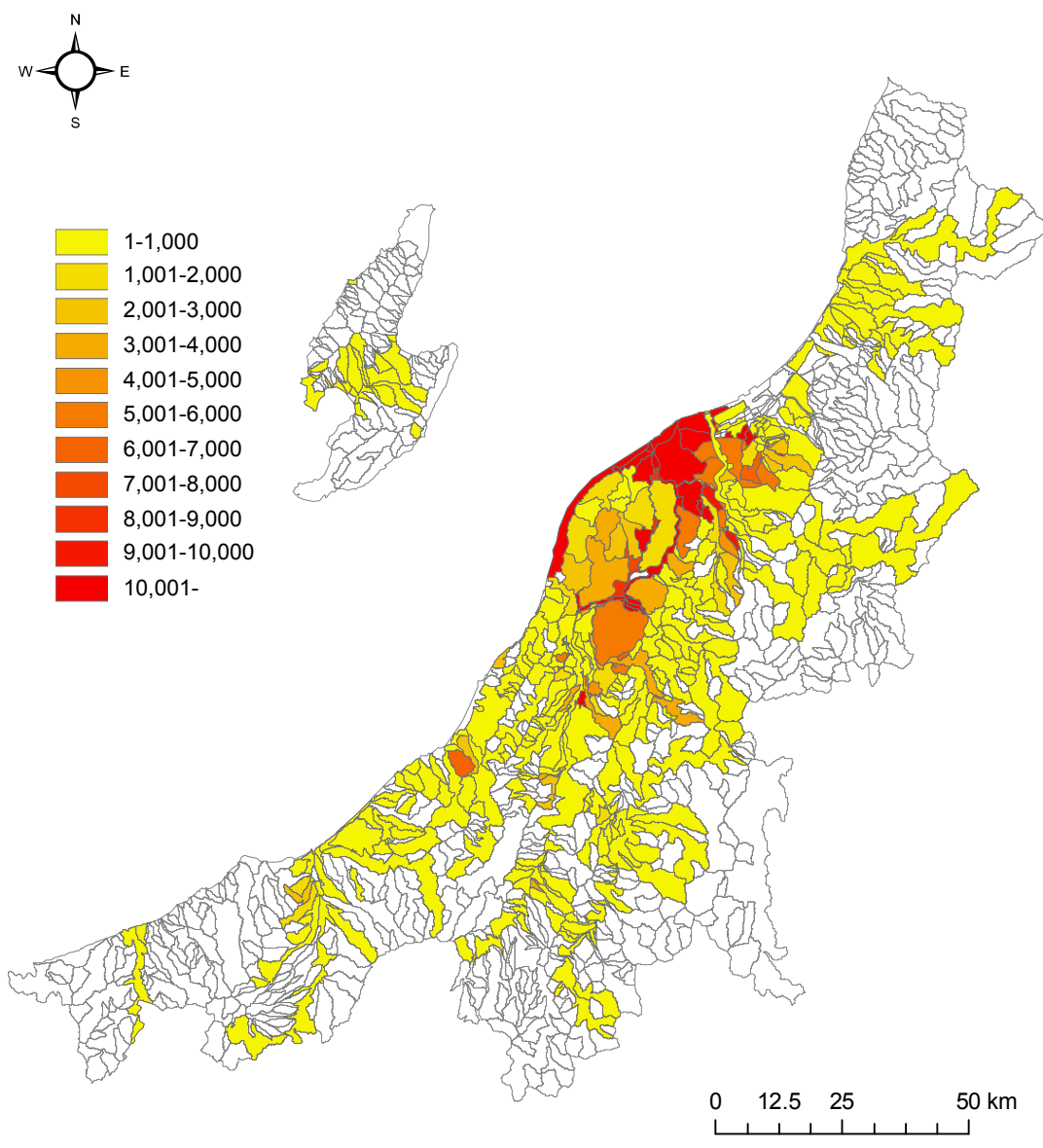


図 8.5 浸水範囲の資産価値データ

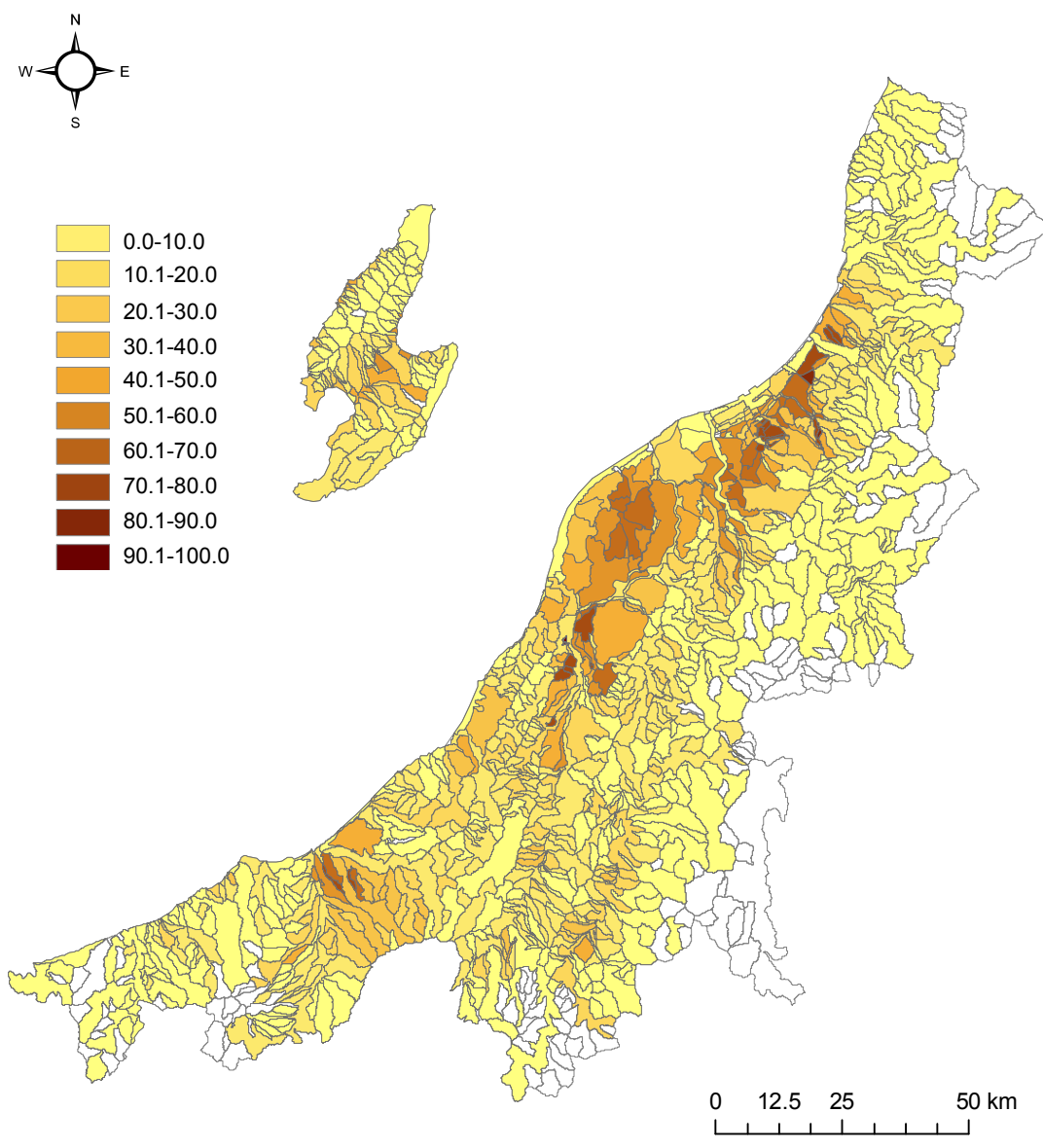


図 8.6 圍場整備率データ

3. 田んぼダムの取組適地選定結果

経済価値の簡易評価モデルを適用した結果、384-73,275 円/10a/年という評価額が得られた。本研究では、評価額が 1,000 円/10a/年以上の流域を田んぼダムの取組適地と定義した（図 8.7）。評価額の最大値は、近年都市化が急速に進行している新潟市の亀田郷流域となった。その他、新潟平野を中心に経済価値が高いことが示された。

現在田んぼダムを実施している地区の大部分は、取組適地と評価された流域に位置することが示された。一方で、取組適地ではない流域において実施している地区が 6 地区あることが明らかになった。

新潟県では、農業農村整備の施策の中に田んぼダムの取組の拡大が掲げられており、今後も取組地区数および取組面積が拡大していくことが予想される。また、北海道や山形県、富山県、福井県などで田んぼダムが取り組まれているのに加え、秋田県、兵庫県などで導入が検討されている。こうした中、本手法によって田んぼダムの取組適地の選定した上で、大きな効果が期待できる地区での戦略的・重点的な取組の普及体制を確立することが、ますます重要となると考えられる。

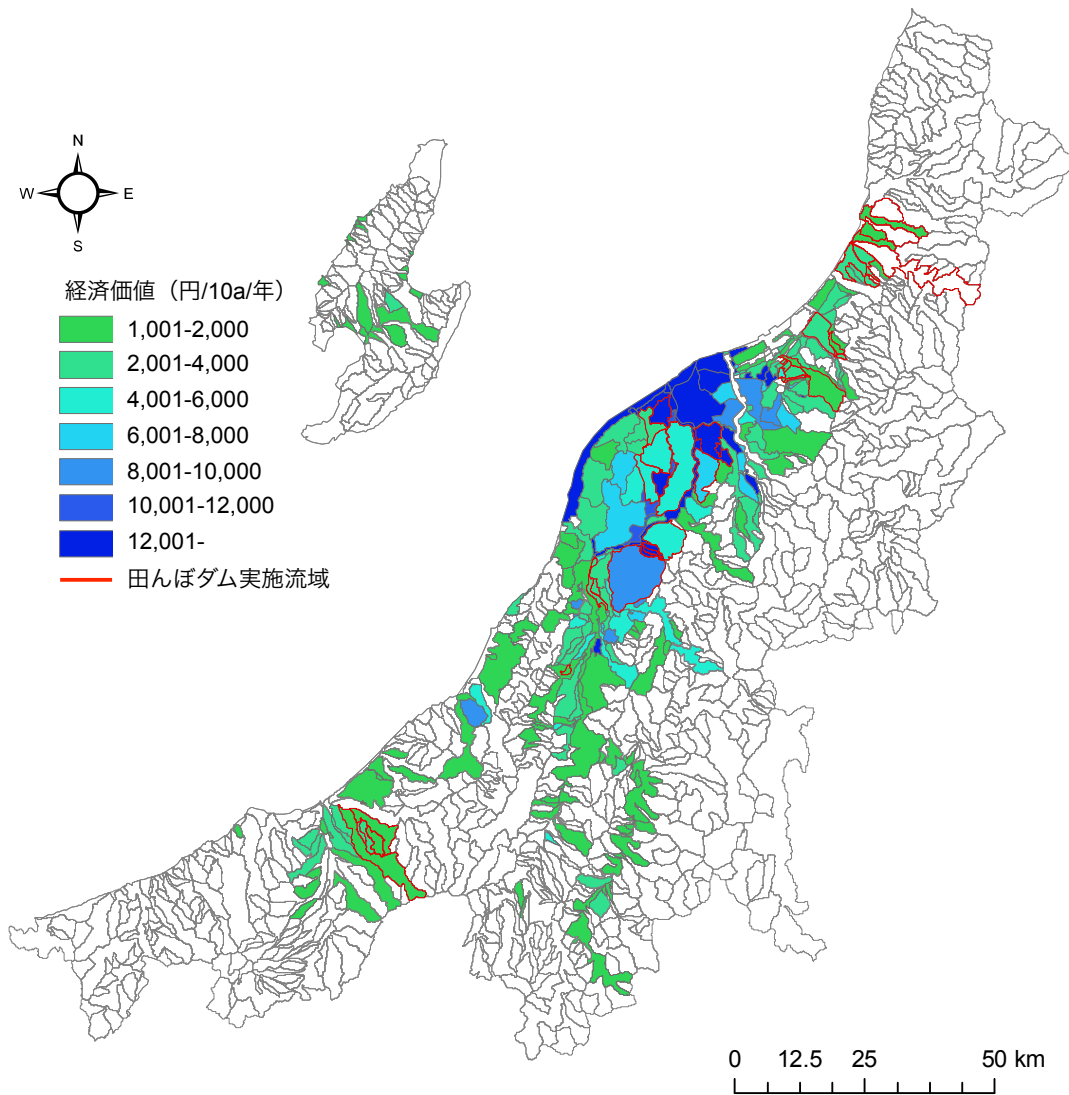


図 8.7 取組適地の選定結果

第9章 総論

世界的に問題となっている気候変動に起因した降雨パターンの変化に加え、国土の約7割が山地である我が国は、地形勾配が急であるため、雨水の流出時間が短く、水害に対して極めて脆弱である。こうした国土条件に加えて、近年の農業の効率化、農地の都市転用および荒廃化が洪水被害増加の大きな要因となっている。特に都市化は洪水時の河川水位より低い氾濫源への人口集中を誘発し、内水氾濫による被害を増大させている。国土交通省は「今後の治水に関する有識者会議」の中で、従来の「集めて流す」方式の洪水制御に加えて、(1) 農地・森林等の一次貯留機能を利用した「河道への流入量を減らす」方式の流域貯留対策、(2) 輪中堤・遊水地等に「氾濫流を制御・誘導する」方式の氾濫原減災対策を総合的に実施し、流域一体で洪水を制御する「流域治水対策」という新たな考え方を示している。

こうした中、我が国の農地の約3分の2を占める水田の洪水緩和機能を生かした「田んぼダム」による洪水対策が注目されている。田んぼダムは、水田地帯が本来有する洪水緩和機能を人為的に高める点に基本的特徴があり、とりわけ溢水による経済損失の軽減が求められる市街地、畑地、樹園地等の内水氾濫の軽減に有効であることが明らかになっている。

現在、新潟県内では既に約9,530haの水田に導入され(2011年現在)、取組が広がりつつある。しかし、本格的な普及には、なお解決すべき課題は多い。本研究では、解決すべき課題を以下の3つに整理し、今後の田んぼダムの全国展開、流域全体を俯瞰する治水対策としての展開を目指し、田んぼダムの洪水緩和機能を耕区および流域スケールで定量評価することに加え、普及に関する課題を解消する技術・手法を確立することを目的とした。

- (1) 高い普及性を備えた落水量調整技術が確立されていないこと。
- (2) 田んぼダムの洪水緩和機能の経済価値の評価手法が確立されていないこと。
- (3) 田んぼダムの取組の普及戦略が確立されていないこと。

1. 各章で得られた成果

本研究では、水位センサーによる現地試験・観測結果に基づいて構築した数値モデルを用いて、高い普及性を備えた落水量調整装置の設計指針を整理し、水田耕区および流域スケールでの田んぼダムの洪水緩和機能を評価した。洪水緩和機能の評価結果を受け、田んぼダムの経済価値を評価し、経済価値に基づく戦略的普及手法について検討した。ここでは、第2章-第3章および第5章-第8章で得られた結果を以下に要約する。

第2章では、高い普及性を備えた落水量調整装置の設計指針を示した。

落水量調整装置は、流出抑制効果が高ければ良いというものではない。畦畔越流の回避などの安全性の確保や通常の水管理への影響なども考慮する必要がある。現在供用中の落水量調整装置の課題を整理し、室内、現地および数値実験を実施して、以下の落水量調整装置の設計に関する具備要件を明らかにした。また、落水量調整装置の流出孔径の設計方法についても手順を示した。

- (1) 大きなピーク流出抑制効果
- (2) 過剰な田面湛水の回避
- (3) ゴミ詰まりによる流出孔閉塞の回避
- (4) 日常水位管理への影響の軽減
- (5) 落水量調整機能と田面水管理機能の分離

第3章では、現地試験・観測結果に基づいて構築した「水田流出量算定モデル」を用いてシミュレーションを実施し、水田耕区スケールでの田んぼダムの流出抑制効果を検証した。

現在、新潟県で供用中の4つの落水量調整装置（①垂直設置型落水量調整板，②水平設置型落水量調整板，③機能分離型フリードレーン調整管，④落水量調整キャップ）の流出抑制効果を，1/10年確率，1/20年確率，1/30年確率降雨，平成23年7月新潟・福島豪雨を想定して評価した。

その結果，田んぼダム非実施時のピーク流出量を基準とした流出抑制率は，1/30年確率では，垂直設置型落水量調整板，水平設置型落水量調整板，機能分離型フリードレーン調整管，落水量調整キャップでそれぞれ，約76%，約83%，約76%，約66%と示された。また，1/30年確率降雨時のピーク田面水位は，垂直設置型落水量調整板：13.4cm，水平設置型落水量調整板：14.6cm，機能分離型フリードレーン調整管：16.9cm，落水量調整キャップ：18.7cmとなり，畦畔高20cmを越える過剰湛水は認められなかった。また，平成23年7月新潟・福島豪雨においても，ピーク田面水位は，すべての調整装置で畦畔高を越えないことが示された。以上のことから，いずれの落水量調整装置を用いた場合でも，畦畔高を越えるような過剰湛水を引き起こすこと無く，水田耕区からのピーク流出量を抑制することが可能であると明らかになった。

第5章では，西蒲原地区を事例に流域モデルを構築し，流域スケールでの田んぼダムの洪水緩和機能を定量評価した。

平成23年7月新潟・福島豪雨を対象にモデルの再現性を検証した結果，排水路水位，浸水範囲ともに概ね再現した。構築したモデルを用いて，1/10年確率，1/30年確率，

1/50年確率、1/100年確率雨量を想定した氾濫シミュレーションを田んぼダム実施条件（実施率100%）と非実施条件（0%）で実施した。

田んぼダムによって浸水が軽減された面積を浸水軽減率と定義し、洪水緩和効果を評価した。その結果、1/30年確率雨量の場合、大通川上流地区で25%、広通江地区で2%、旧広通江地区で23%、新川右岸地区で23%、田潟地区で47%、升形地区で18%、旧木山地区で25%、飛落川地区で69%、大通川下流地区で46%、新木山川地区で26%、横江地区で17%、七穂地区で53%、月潟地区で8%という浸水軽減率が得られた。いずれの降雨シナリオにおいても、流域の水田面積割合が高いほど浸水軽減率が高くなる傾向があることが示された。

第6章では、第5章で評価した流域スケールでの田んぼダムの洪水緩和効果の経済価値を直接積算法によって評価した。

田んぼダムの経済価値評価額は、（1）田んぼダム実施条件（実施率100%）での浸水被害額と（2）田んぼダム非実施条件（実施率0%）での浸水被害額の差額と定義した。浸水被害額は、「治水経済調査マニュアル（案）」および「新たな土地改良の効果算定マニュアル」の算定手順に従って算定した。本研究では、第5章で評価した13地区に加え、5地区においても流域スケールでの田んぼダムの洪水緩和効果を評価し、計18地区の経済価値を算定した。

その結果、大通川上流地区で7,470円/10a/年、広通江地区で100円/10a/年、旧広通江地区で11,300円/10a/年、新川右岸地区で2,600円/10a/年、田潟地区で1,250円/10a/年、升形地区で1,650円/10a/年、旧木山地区で2,200円/10a/年、飛落川地区で5,300円/10a/年、大通川下流地区で4,300円/10a/年、新木山川地区で1,000円/10a/年、横江地区で17,000円/10a/年、七穂地区で1,000円/10a/年、月潟地区で900円/10a/年、神林地区で3,470円/10a/年、白根郷地区で11,200円/10a/年、貝喰川地区で5,500円/10a/年、深才地区で1,000円/10a/年、錦川地区で6,800円/10a/年という経済価値評価額が得られた。

第7章では、田んぼダムの経済価値評価額を簡便に評価するために、第6章で算定した田んぼダムの経済価値評価額を再現する重回帰モデル（式（1））を構築した。

田んぼダムの経済価値評価額は、①田んぼダムの洪水緩和効果の規模、②浸水被害額の大きさ、③浸水のしやすさに規定されると考え、2つの説明変数を試行錯誤法によって選択した。その結果、①、③を表現する説明変数として、非浸水範囲の水田割合および圃場整備率（式（2））、②、③を表現する説明変数として、浸水範囲の資産価値（式（3））を選定した。

$$Y = 5,494X_1 + 1.29X_2 \quad (1)$$

$$X_1 = (1 - x_{ip}) \cdot (0.6x_r + 0.4) \quad (2)$$

$$X_2 = (x_{ap} \cdot x_{ip} \cdot v_p) + (x_{af} \cdot x_{if} \cdot v_f) + (x_{au} \cdot x_{iu} \cdot v_u) / A_{ws} \quad (3)$$

ここに、 x_{ap} ：水田面積、 x_{af} ：畑地面積、 x_{au} ：市街地面積、 x_{ip} ：浸水水田割合、 $1-x_{ip}$ ：非浸水水田割合、 x_{if} ：浸水畑地割合、 x_{iu} ：浸水市街地割合、 v_p ：水田の単位面積当たりの資産額、 v_f ：畑地の単位面積当たりの資産額、 v_u ：市街地資産の単位数量当たりの資産額、 A_{ws} ：流域面積である。

説明変数 X_1 、 X_2 と被説明変数 Y は正の相関を持ち、水田面積と資産価値が高いほど経済価値評価額が高くなるモデルが構築された。モデルを検定した結果、決定係数は 0.7 であり、P 値は、説明変数 X_1 が 10% 有意水準、 X_2 が 1% 有意水準を満たした。また、説明変数同士の多重共線性を VIF で検定したところ 1.2 という値が得られ、この 2 変数は多重共線性の危険性が小さいことが明らかとなった。構築したモデルによる経済価値評価額の推定値と、第 6 章で直接積算法によって算定した評価額を比較した結果、乖離が見られる地区もあったが、概ねの傾向は一致した。

第 8 章では、田んぼダムの普及戦略を確立するために、第 7 章で開発した「田んぼダムの経済価値の簡易評価手法」を援用し、経済価値に基づく田んぼダムの取組適地の選定手法を開発した。

新潟県を事例に取組適地を選定した結果、384-73,275 円/10a/年という評価額が得られた。本研究では、評価額が 1,000 円/10a/年以上の流域を田んぼダムの取組適地と定義し、1058 流域中 357 流域が田んぼダムの取組適地であると評価された。評価額の最大値は、近年都市化が急速に進行している新潟市の亀田郷流域となった。その他、新潟平野を中心に経済価値が高いことが示された。現在田んぼダムを実施している地区の大部分は、取組適地と評価された流域に位置したが、取組適地ではない流域において実施している地区が 6 地区あることが明らかになった。

2. 今後の課題と展望

本研究の成果によって、田んぼダムの全国的普及に関する課題が解消され、普及に向けた技術基盤が確立されたと考えられる。しかし、普及に関して以下の事項についても早急の検討が必要と考える。

(1) 受益と負担

田んぼダムの効果は、構造上、落水量調整装置の設置と適切な維持管理によって発

現する。これらの機能発現のための費用・労力を負担しているのは、現段階では、取組を実施する地方公共団体あるいは農家である。一方、田んぼダムは、ダム建設の回避や災害復旧等に対する公共的投資の節減、大規模インフラ整備の縮小による環境保全的効果、すなわち公益的な効果を提供するが、農業生産にとっては外部経済効果である。しかも、農業生産に損失をもたらす可能性を有している。このため、農家は田んぼダムを実施する経済的インセンティブをもたない。

一方、田んぼダムによる洪水調節機能の受益者は主に取組地区の下流域住民である。このため、取組の負担者と受益者が必ずしも一致しない。洪水緩和という高い公益的機能をもつにもかかわらず、自発的な取組導入は期待できないのである。そこで、農家の積極的な参画を促すために、費用等の支援が可能な仕組みを早期に確立することが普及にとって重要な意味をもつ。

(2) 普及に対する支援

農家が田んぼダムに対する経済的インセンティブをもたないことは、普及にとって大きな障害となる。田んぼダムを実施し、機能を発現・持続するには農家の同意が不可欠であるが、農家にとって有利な条件、すなわち、外部経済効果の一部が農家に還元される仕組みを作るほか、想定以上の降雨で被害を生じた場合の復旧等に対する支援が必要である。費用は公的負担によるのが妥当と考えるが、これらによって、農家が田んぼダムに同意する条件が整うため、普及に繋がるだろう。農家への還元額は、社会・経済的条件を考慮する必要があるが、最大還元可能額は、効果の評価額から設置・維持管理に係る費用等を差し引いたものである。

筆者らは、本研究で得られた田んぼダムの経済価値を参考に、国および自治体に対して取組支援制度の構築を要請してきた。こうした中、平成 24 年度の「農地・水保全管理支払交付金」(農林水産省, 2012) の中の向上活動支援交付金の項目に、初めて田んぼダムが組み込まれた。これは普及に向けた支援制度の枠組みを構築する上で大きな一歩となった。しかし、現状の交付額は、田んぼダムが供与する洪水緩和効果の経済価値評価額と比べ非常に小額である。田んぼダムの全国的普及のためには、より良い普及に対する支援制度が求められる。

以上の課題を克服し、水田を利用した洪水対策である「田んぼダム」の取組が、全国的に展開することを強く望んでいる。本研究がその足がかりとなり、今後の普及に貢献できることを期待している。

参考文献

秋山壽一郎，重枝未玲，浦勝（2002）：非構造格子を用いた有限体積法に基づく1次および2次精度平面2次元洪水流数値モデル，土木学会論文集，No.705/II-59，pp.31-43.

福岡捷二，川島幹雄，松永宣夫，前内永敏（1994）：密集市街地の氾濫流に関する研究，土木学会論文集，No.491/II-27，pp.51-60.

福岡捷二，川島幹雄，横山洋，水口雅教（1998）：密集市街地の氾濫シミュレーションモデルの開発と洪水被害軽減対策の研究，土木学会論文集，No.600/II-44，pp.23-36.

長谷部正彦，鎌田清孝，葛生光晴（1998）：低平地における水田流出解析と圃場整備による流出変化の予測について，土木学会論文集，No.628/II-48，pp.41-54.

長谷部正彦，鎌田清孝（1998）：圃場整備対象流域の流出解析と整備後の流出予測について，水工学論文集，No.42，pp.187-192.

早瀬吉雄（1994a）：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.

早瀬吉雄（1994b）：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，No.62(4)，pp.1-6.

早瀬吉雄，角屋 陸（1993）：低平地タンクモデルによる流出解析法（1）（2）（3），農業土木学会論文集，No.165，pp.75-99.

早瀬吉雄，角屋陸（1988）：都市化に伴う流出の変化-巨椋低平流域における事例-，農業土木学会誌，No.56(11)，pp.1087-1093.

早瀬吉雄，角屋 陸（1977）：低平水田地帯の流出解析に関する研究-4-自然排水主体低平水田地帯の雨水流出モデル，農業土木学会論文集，No.70，pp.52-58.

平松和昭，四ヶ所四男美（2001）：筑後川下流低平農地域の洪水緩和機能の評価，九州大学大学院農学研究院学芸雑誌，No.56(1)，pp.1-7.

IPCC（2007）：Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report,

http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf

岩佐義朗, 井上和也, 水鳥雅文 (1980) : 氾濫水の水利の数値解析法, 京都大学防災研究所年報, 第 23 号 B-2, pp.305-317.

川池健司, 井上和也, 戸田圭一, 野口正人 (2003) : 寝屋川流域を対象とした氾濫解析モデルの高度化, 水工学論文集, No.47, pp.919-924.

川池健司, 井上和也, 林秀樹, 戸田圭一 (2002) : 都市域の洪水氾濫解析モデルの開発, 土木学会論文集, No.698/II-58, pp.1-10.

気象庁 (2011) : 異常気象レポート 2011

http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/monitor/2011/pdf/ccmr2011_all.pdf

気象庁 (2005) : 異常気象レポート 2005

http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/climate_change/2005/pdf/2005_all.pdf

小林慎太郎, 田中丸治哉, 丸山利輔 (1984) : 造成農地の流域および洪水流出特性-農地造成に伴う流出特性の変化 (I) -, 農業土木学会論文集, No.113, pp.8-16.

国土交通省河川局 (2010) : 今後の治水に関する有識者会議, 今後の治水対策について-中間とりまとめ

国土交通省河川局 (2005) : 治水経済調査マニュアル (案)

増本隆夫, 久保田富次郎, 松田 周 (2004) : 遊水池を代替とした水田域が持つ洪水緩和機能の経済評価, 農業土木学会大会講演要旨集, pp.882-883.

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(7), pp.711-722.

増本隆夫, 高木強治, 吉田修一郎, 足立一日出 (1997) : 中山間水田の耕作放棄が流出に与える影響とその評価, 農業土木学会論文集, No.65(3), pp.59-68.

三菱総合研究所 (2001) : 地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評

価に関する調査研究報告書.

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, No.62(10), pp.7-12.

中西憲雄, 加藤 敬, 小林 康, 中達 雄 (2002) : ため池の雨水貯留可能量の評価-香川県及び大阪府のため池の空き容量と水田の雨水貯留可能量との比較から-, 農業土木学会論文集, No.70(1), pp.101-107.

日本学術会議 (2001) : 地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について (答申), pp.1-75.

新潟県農地部 (2011) : 新潟県農業農村整備の展開方向
http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/915/289/2syoul-4.pdf

農業総合研究所 (1998) : 代替法による農業・農村の公益的機能の評価, 農業総合研究, No.52(4), pp.113-138.

農林水産省農村振興局 (2007) : 新たな土地改良の効果算定マニュアル

大西健夫, 堀野治彦, 三野 徹 (2004) : 傾斜地水田群における貯留特性の事例的評価, 農業土木学会論文集, No.72(2), pp.53-59.

相良亮輔, 錦織俊之, 井上和也, 戸田圭一 (2004) : 枝線下水道を考慮した市街地氾濫解析, 水工学論文集, No.48, pp.589-594.

千家正照, 小林慎太郎, 丸山利輔 (1981) : 都市化に伴う高水流出機構の変化-京都市竹田川流域の事例-, 農業土木学会誌, No.49(5), pp.381-387.

志村博康 (1982) : 水田・畑の治水機能評価, 農業土木学会誌, No.50(1), pp.25-29.

千葉克己, 古賀 潔, 馬場秀和 (1997) : 傾斜地半湿田地帯における耕作放棄水田の物理特性と豪雨への応答の検討, 農業土木学会論文集, No.65(4), pp.61-70.

戸田圭一，井上和也，村瀬賢，市川温，横尾英雄（2000）：豪雨による都市域の洪水氾濫解析，土木学会論文集，No.633/II-53，pp.1-10.

安田浩保，白土正美，後藤智明，山田正（2003）：水防活動の支援を目的とした高速演算が可能な浸水域予測モデルの開発，土木学会論文集，No.740/II-64，pp.1-17.

吉田武郎，増本隆夫，堀川直紀（2012）：中山間水田の管理状態に着目した小流域からの降雨流出特性，農業土木学会論文集，No.80(2)，pp.39-46.

吉川夏樹，宮津 進，三沢眞一，安田浩保（2011）：低平農業地帯を対象とした内水氾濫解析モデルの開発，水工学論文集，No.55，pp.991-996.

N.Yoshikawa, N.Nagao, S.Misawa（2010a）：Evaluation of the flood mitigation effect of a Paddy Field Dam project, Agricultural Water Management, No.97, pp.259-270.

吉川夏樹，小出英幸，三沢眞一（2010b）：田んぼダムの落水量調整に求められる要件と垂直設置型調整板の適切な流出孔形状，農業農村工学会論文集，No.268，pp.39-45.

吉川夏樹，宮津 進，安田浩保，三沢眞一（2010c）：未圃場整備地区における「田んぼダム」の洪水緩和機能の評価，土木学会河川技術論文集，No.16，pp.507-512.

吉川夏樹，長尾直樹，三沢眞一（2009a）：水田耕区における落水量調整板のピーク流出抑制機能の評価，農業土木学会論文集，No.77(3)，pp.263-271.

吉川夏樹，長尾直樹，三沢眞一（2009b）：田んぼダム実施流域における洪水緩和機能の評価，農業土木学会論文集，No.77(3)，pp.273-280.

吉村亜希子，石田憲治，渡嘉敷勝（2001）：中山間地における水田の耕作放棄が流出に及ぼす影響，農村計画論文集，No.3，pp.139-144.

謝辞

最後に、本研究にあたっては多くの方々にご協力、ご指導を頂きました。

新潟大学の吉川夏樹准教授には、調査をはじめ、解析や本論文の執筆において、数多くの助言や指導をしていただきました。吉川先生と研究するに従って、研究に対する姿勢、情熱、考え方に尊敬の念を抱き、熱心に「田んぼダム」の研究に打ち込むことができました。吉川先生と研究生活を共にした経験が、研究職に対する憧れをますます大きくさせてののだと思います。ここに心から感謝申し上げます。

研究を進めるにあたり、現地調査、資料提供とサポートしていただきました新潟県農地建設課の職員の方々、新潟市農村整備課および見附市産業振興課の職員の方々、西蒲原土地改良区、刈谷田土地改良区、亀田郷土地改良区および信濃川左岸土地改良区の職員の方々、田んぼダムの事業区域のすべての農家の方々、ここに心から感謝申し上げます。

博士後期課程の1年目の主指導教官である三沢眞一名誉教授には、研究の方法や分析、論文の執筆をはじめ、多大なご指導をいただきました。ここに心から感謝申し上げます。三沢先生、本当にありがとうございました。

新潟大学の森井俊広教授、権田豊准教授には、お忙しい中、研究面での指摘や有益な助言とご指導をいただきました。また、新潟大学災害・復興科学研究所の安田浩保准教授には、解析や論文の執筆において、数多くの助言や指導をしていただきました。水利研究室の劉海生さん、斉藤敬吾さん、星野剛さん、韓峰さん、小原ひとみさん、西家健宏さん、高橋玄さん、小笠真理恵さん、田巻翔平さん、そしてチーム田んぼダムの一員である阿部聡さん、吉田みなみさん、明田薫さん、細川陵人さん、廣島英さん、伊藤紗英美さんには、調査や作業で多大なご協力をいただきました。ここに心から感謝申し上げます。

皆さん本当にありがとうございました。

2014年2月7日

新潟大学 自然科学研究科
環境科学専攻 流域環境学コース
宮津 進