

氾濫原管理と環境保全のあり方に関する研究

研究予算： 運営費交付金(一般勘定)
 研究期間： 平 21～平 23
 担当チーム： 寒地河川チーム，道央支所，道北支所，道東支所
 研究担当者： 平井康幸，大串弘哉，柿沼孝治，村上泰啓，唐澤圭，
 村瀬竜也，桃枝英幸，渋谷直生，矢野雅昭

【要旨】

近年、地球規模気候変動等に起因する台風や集中豪雨による洪水が頻発し、治水安全性の確保に関し、河道及び治水施設のみによる対策から氾濫原をどのように管理していくかが求められている。このためには、治水投資の効率的な使用、氾濫原の土地利用、氾濫原が有する環境価値の総合的な評価が必要である。本研究では、氾濫原管理の問題点の抽出を行うため、日本及び国外より事例を収集した。結果、危機的状況を回避するための施設整備・非構造物対策及びシミュレーションの精度向上が重要課題であると再認識された。また、氾濫原の適切な利用と管理に活用するため比較的大規模なインフラ事業の評価手法の事例収集を行った。結果、河川事業の性格上、経年的効果の計測とストック分析が可能なモデルが適切であることが判明した。また、経済発展を説明するための氾濫原管理指標を検討するため、土地利用ポテンシャルモデル・経済効果計測モデルからなる2段階モデルを石狩川流域に適用し、同モデルの有効性を確認した。また、検討結果を石狩川流域の自治体毎に分析したところ、経済発展を説明する指標として「土地利用タイプ」と「治水事業効果」が重要であることがわかり、これら2つの指標が氾濫原管理の指標としても重要であることが推測された。また、これまでに得られた知見から、土地利用形態によって治水安全度のグレード化を図ることにより、効率的な治水投資という観点から見た、最適な氾濫原管理が可能であると推察できた。また、石狩川流域をモデル地区とした治水投資と土地利用の関係、土地利用の変遷を整理した結果、都市部・農地とも治水投資が被害軽減に寄与していることが推察され、これから得られた知見として、日本及び国外それぞれにおける、今後の持続可能な氾濫原管理と環境保全の計画策定の方針について整理した。

キーワード：氾濫原管理，指標，土地利用タイプ，治水事業効果，石狩川流域，事業評価分析

1. はじめに

近年、地球規模気候変動に起因する台風や集中豪雨などによる豪雨災害が増加・頻発しており、河川の洪水氾濫による大規模な水害の発生が懸念されている。これまでの治水の概念は、降雨量に対して流出した流量を河道及び治水施設により処理すること及び流出自体を調節削減することが中心であった。しかしながら、洪水の氾濫による大規模災害が懸念される中、治水施設だけでは洪水災害リスクを全て取り除くことは不可能なため、氾濫した場合でも被害を最小限に抑える対策、すなわち氾濫原マネジメントの概念が徐々に浸透し始めている。また、これまでの治水整備及び国土開発により喪失された氾濫原が有していた環境生態系の回復に対する要望も高まっており、現状の氾濫原の保全並びに喪失された氾濫原環境の復元も重要な課題となっている。

本研究の目的は、以下の通りである。

- ・国内外における氾濫原管理の事例収集と問題点の抽出整理を行うとともに、氾濫原への治水投資にかかる評価指標開発のため、大規模インフラ整備の評価手法・指標の事例収集と氾濫原管理への適用可能について検討する。
- ・石狩川流域をモデル地区として、明治の北海道開拓以後同地域における治水事業について氾濫原管理という観点から効果の分析を行い、氾濫原管理の実施手法とその評価方法及び指標の開発に向けて検討する。
- ・石狩川流域をモデル地区として、氾濫原を土地利用状況等について詳細に分類し、より指標の効果が明確になるようなモデル化を行い、土地利用と氾濫原管理の最適化の関係を検討し、今後の氾濫原管理や環境保全の計画策定への提案を行う。

2. 日本及び国外における氾濫原管理の事例

2.1 氾濫原の定義

本研究において対象とする氾濫原は、地形学的に明確な定義を取り入れ、「河川が溢水・破堤氾濫した場合に、その氾濫水により浸水する区域を包絡する区域」、すなわち沖積平野の想定氾濫区域そのものと定義する。沖積河川の氾濫原は、河川流水が洪水時に河道からの溢流水および河道内部における堆積作用によって形成されたもので、想定氾濫区域とほぼ同義である。

また、同様に「氾濫原管理」とは河川近傍の浸水を受ける区域を管理することではなく、ここでは河川が氾濫した場合に浸水する区域を包絡する区域（想定氾濫区域とほぼ同義）を管理することと定義する。

2.2 日本における氾濫原管理の事例

2.2.1 総合治水対策

総合治水対策とは、1979年（昭和54年）に始まった制度であり、急速な都市化の発展に伴い治水安全度が低下している都市河川流域において、河川改修を重点的に実施するとともに、都市計画や下水道等の関係機関と連携し、総合的に治水安全度を確保する施策である。

図-1に総合治水対策による事業効果の事例を示す（参考1）。もし、都市の発展に総合治水対策が追いついていなければ、都市圏は洪水に対する脆弱化に悩まされ続けていたと考えられる。適切な氾濫原管理を考える上で、本対策は、災害が多く国土面積が狭い日本ならではの秀逸なシステム・ツールであると評価できる。

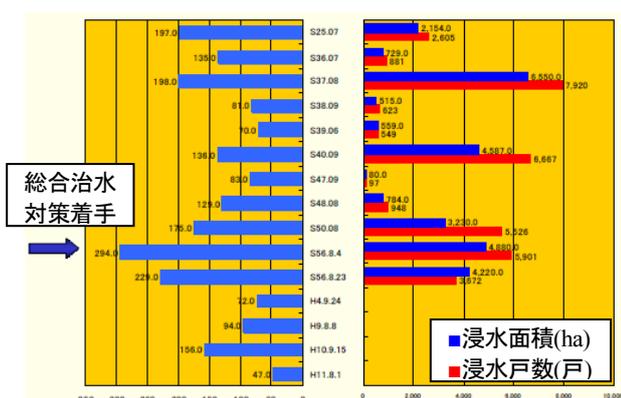


図-1 総合治水の事業効果（伏籠川）

2.3 国外における氾濫原管理の事例

2.3.1 様々な施策による氾濫原管理の事例

国外では、国ごとの施策内容は千差万別であるが、主に災害軽減を主眼としたものと、環境生態系との調

和を主眼とした、2パターンに大別できる。

前者については、治水対策を踏まえたうえで、氾濫原内の土地利用に制限を加えるなどの施策をとる等、後者については、生態系へ配慮したうえで、氾濫原回復・湿地復元などの施策等がとられている。

2.4 氾濫原管理の問題点の抽出

氾濫原管理の事例収集の結果、日本・国外の両方を通じて、施設のみによって完全に洪水を防御することは不可能であることが認識された。また、災害発生時に住民が迅速に避難できるよう、予・警報システム整備と安全な避難経路確保も重視されるが、これら施策の実施に投資できる費用は限られており、どのように配分するかについての明確な基準は見受けられないようである。また、氾濫原内の土地利用については、危険区域の建築物・居住を制限する動きは共通しているものの、どこまで制限が必要なのか、定量的な根拠は乏しいものと考えられる。また、避難計画等の施策に関しては、避難施設・経路の確保に際し、実際の避難速度や人口分布まで考慮されているかどうかは差異がある。確実な避難計画とするためには、想定される浸水深、浸水までの時間、避難に要する時間、人工等の要素を勘案して慎重に検討する必要がある。

環境生態系との調和に関しては、氾濫原を復元する目標年または目標面積を定めている事例が主流である。

これは達成するための目標としては分かり易いものの、環境生態系を明確な科学技術的根拠を持って評価したものではない。

以下に整理した課題を示す。

- ・重要工作物である河川堤防の強化技術の確立
- ・氾濫原の治水投資と効果を評価する手法の確立
- ・投資の配分（施設、非構造体対策）を評価する手法の確立
- ・治水投資と氾濫原の利用・管理のバランスを経済財の観点等から評価する手法の確立
- ・非難速度、人口分布、浸水深・時間等を考慮した、より実現性の高い避難計画の策定
- ・上記全ての基盤となる精度の高い降雨・流出・河床変動・氾濫・水質等のシミュレーションモデルの開発

2.5 氾濫原管理に関する評価指標

2.5.1 石狩川の事例

北海道の石狩川は日本を代表する大河川であり、明治以降の開拓により、自然氾濫原であった湿地帯は農地となり、僅か100数十年の間にその姿を大きく変えて

きた。図-2に石狩川流域の土地利用の変遷、図-3に土地利用面積の変遷を示す（参考2）。

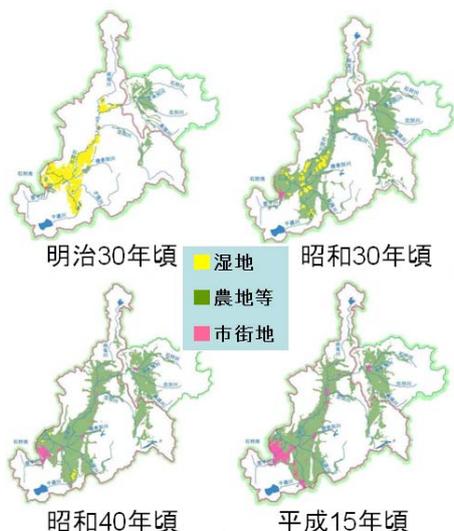


図-2 石狩川流域の土地利用の変遷

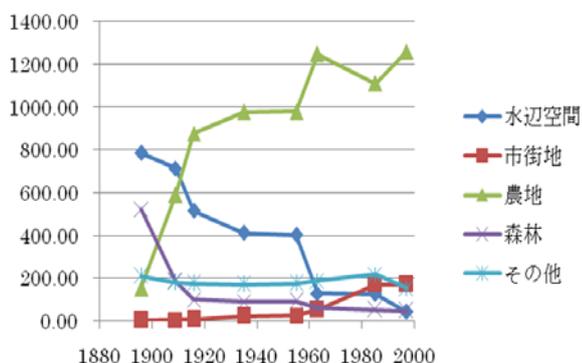


図-3 石狩川流域の土地利用面積の変遷

水辺空間及び森林面積の減少とトレードオフの関係で農地面積が増加していることが分かる。このような氾濫原の開発に関しては、図-3に示すような直接的な面積（変遷）がひとつの指標になるものの、面積は河川流域規模の大小や地形資質で異なり、比較対象になるような一般性は薄い。このため、石狩川の河川近傍の氾濫原を回復し洪水バッファゾーンとして活用することにより、流量規模に対して浸水区域がどのように変化するかを図-4に示した（参考3）。バッファゾーンの増加 δB に対する浸水区域の変化は流量規模により異なるが、 δB の6.5—8倍程度と言う結果が得られた。

氾濫原の適切な利用と管理のためには、いくつかの評価手法や指標の開発が必要である。このうち、治水事業及び河川環境整備事業の評価については「治水経済調査マニュアル」（国土交通省河川局）が整備されており、事業レベルにおける評価が可能となっている。

本研究では、氾濫原の利用と管理を対象としたアプローチによる評価手法及び指標を開発することを目標としていることから、間接波及効果を取り入れている規模が大きめのインフラ整備の評価手法及び指標について事例を収集し検討した。なお、評価手法及び指標の選択に当たっては、100数十年で流域（氾濫原）形態が大きく変わり効果が分かりやすいことから、石狩川流域を用いることを想定した。

大規模インフラ整備の評価として、「河川」「空港」「交通」「港湾」「新幹線」「鉄道」「都市」「農業」を対象とした。評価事例は大別して以下の5種類の計測手法に分類される。（参考4）

- 1) ミクロ経済モデル分析
- 2) マクロ計量モデル
- 3) 産業連関分析
- 4) 統計的分析
- 5) 費用便益分析, CVM

統計モデルの事例としては、国土交通省国土交通政策研究所が行なった都市圏分類に関する研究がある

（参考5）。この研究では公共投資の一時的なフロー効果では無く、社会資本本来の効果であるストック効果についてクロスセクション分析を行なっている。持続可能な氾濫原の利用と管理に基づく流域の発展のためには、このような時間要素の入ったストック効果が考慮される分析が望ましい。

マクロ計量モデルの事例としては、（独）農業工学研究所が行った共分散構造分析による社会資本整備と地域経済に関する効果計測がある（参考6）。一般に都市地域の社会資本整備は、直接効果よりも民間投資の誘発を通じた間接効果が大きく、農業地域では直接効果が都市部より大きく、社会資本整備の恩恵をより大きく受けるとされている。本研究の評価手法開発に当たっての検証地域は石狩川流域を考慮しており、このような効果計測手法もひとつの手掛かりになると考えられる。

河川分野で実績の多い費用便益分析、CVMについては、とくにCVMは環境事業評価に使用されることが多い。これは、環境を市場財として価値測定すること自体が困難であるため、便宜上支払意思額WTPを用いて市場財価値に置き換えているとも言える。物理や市場メカニズムでは無く、個人の意思に大きく依存するため、対象物への知識度の大小で結果にバイアスが生じやすいなどの問題を抱えているものの、有効な代替手法が余りないのが実状である。河川環境分野でのCVM研究に関しては、（独）北海道開発土木研究所（現：寒地土木研

究所)の網走湖浄化についての研究がある(参考7)。この中で、達成環境目標レベルが異なる場合、対象地域・調査方法が異なる場合のWTPへの要因分析が行なわれている。WTPは、実際の事業が関与する流域住民とそれ以外の住民(札幌市、北見市)では有意な差が見られ、流域外同士では有意な差が無いとされている(図-5)。つまり、対象とする河川や環境に対する知識の有無で数値が異なることが証明されている。河川環境の評価手法や指標はあまり目立ったものは見受けられないが、より適切な氾濫原の利用管理のため、検討を続けていきたい。

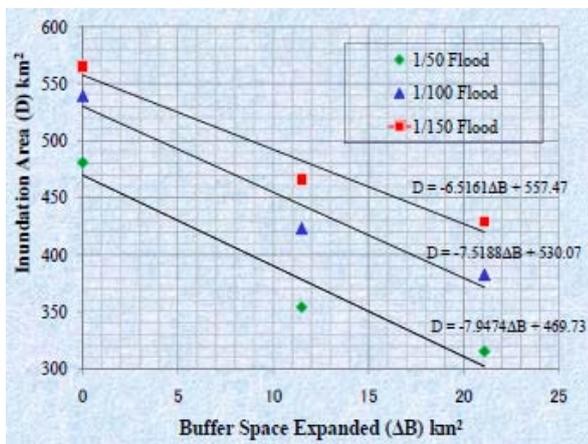


図-4 石狩川におけるバッファゾーンと氾濫面積の関係

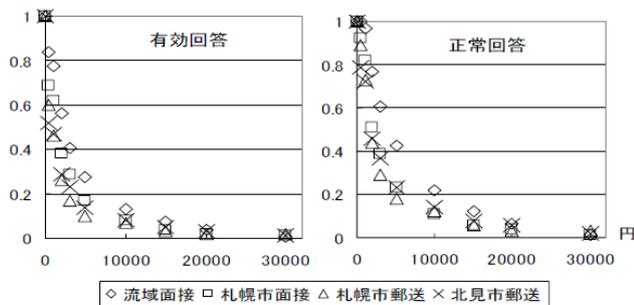


図-5 網走湖浄化事業(環境整備事業)に関する流域外住民の支払意志額の受諾率

3. 石狩川流域発展と治水事業

3.1 北海道開発の変遷

石狩川の治水事業について述べる前に、その背景となる北海道開発について概観する。北海道は、明治2年の開拓使の設置以降、明治19年の北海道庁の開庁、昭和25年の北海道開発庁の設置を経て、戦後の国民経済の復興と発展に大きな役割を果たし、今日まで120年余を経過した。この間の開発により、約85,000k m²の国土を開発し、明治2年にわずか5万人余であった

人口は現在約550万人と約100倍に達している。

北海道開発の重点からみると、大きく2つの時代に区分される。すなわち昭和30年くらいまでは食糧増産、農業開発に重点を置いた時代、その後は製造業を含めた産業開発や都市整備などに重点が置かれた時代である。

この間治水事業の役割も、時代の要請に応じて変化してきている。氾濫原の未墾地の開発を促進し新規農地の拡大に貢献する役割から始まり、次第に既墾地における農地改良の支援、水田の拡大など農業生産力の増大や既墾地の防護の役割が比重を増した。

また、都市の発達により氾濫原における資産が増大し、治水事業の役割も市街地の防護の役割が大きな比重を占めるようになり、さらに進行した都市への人口等の急速な集中のもと増大する都市用水や電力需要に対応した安定的水資源の確保が重要な役割となっていた。

3.2 石狩川の治水事業

石狩川流域には開拓史が置かれた道都札幌があり、中流域には開拓ポテンシャルをもった広大な氾濫原を抱えていた。このことから、北海道における計画的な大規模治水事業は石狩川から開始された。

図-6に石狩川治水事業の経緯を示す。

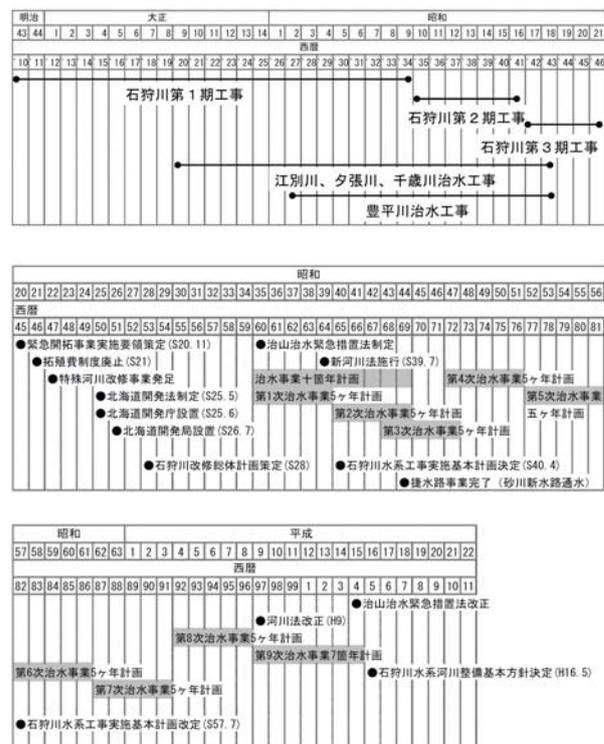


図-6 石狩川治水事業の経緯

まず明治43年からの第1期工事として、河口～江別間の捷水路工事で札幌市、滝川市等の堤防工事を実施し、夕張川、豊平川の新水路への切替を完成した。

次いで昭和9年からの第2期工事では、江別～月形間の捷水路工事で美唄川の新水路工事に着手し、捷水路工事は昭和17年に通水をみた。

昭和27年から第1次治水5箇年計画において、石狩川本川の捷水路、浚渫工事を進めるとともに、中流部から築堤工事を進め、一方支川でも豊平川の築堤、雨竜川の新水路掘削等が進められた。ダム事業としては、桂沢ダム（昭和32年竣工）、金山ダム（昭和42年竣工）を行い、主要工事では篠津地域開発のための石狩川頭首工が昭和38年竣工した。

昭和36年7月、昭和37年8月と2年連続の大洪水の生起をみたので、昭和39年に新河川法が制定されるに伴って、昭和40年には石狩川水系工事実施基本計画を策定し、これに基づいて改修工事を進めた。

本川では最後の捷水路（砂川）が昭和44年通水し、本支川の築堤も暫定的ながら連続したが、昭和50年8月、続いて昭和56年8月に大洪水が発生した。この洪水は降雨量、流出量とも計画を大きく超え、治水安全度の一層の向上を促すとともに、内水対策の必要性を認識させるものとなった。

このため、昭和54年に札幌市北部において総合治水事業に着手し、昭和57年には石狩川水系工事実施基本計画を改定し計画高水流量を大きくした。また、平成9年の河川法改正に伴って、環境が目的として位置づけられ、多自然川づくり等の環境に配慮した事業も行われ現在に至っている（参考1）。

以上の石狩川治水事業の歴史的経緯から、治水事業の背景・目的を以下のように整理した。

- a 戦前・戦中（明治43年～昭和20年ごろ）
 - ・石狩平野の氾濫防止と水位低下による、未開の農耕地の開発
- b 戦後（昭和20年～40年代）
 - ・更なる農地の拡大
 - ・堤防による都市地域や農地の洪水防御
 - ・水需要に対応したダム等による水源開発
- c 近年（昭和50年代以降）
 - ・流域貯留や遊水地等による流出抑制対策
 - ・環境に配慮した取組の推進

3.3 石狩川治水事業の効果

3.3.1 効果の推測

社会資本整備効果の推測に関しては前段で、時間要素の入ったストック効果が考慮される分析が望ましいと述べたが、社会資本効果であるストック効果についてクロスセクション分析を行った都市圏分類に関する研究（参考5）や、マクロ計量モデルを用いた社会資本整備と地域経済に関する効果計測（参考6）がある。

これらを参考にして、北海道開発の歴史的背景や石狩川の治水事業史を踏まえ、石狩川治水事業の役割と効果について次の通り推測した。なお、定量的効果としては、治水と利水を考慮することとした。

石狩川の治水事業史を踏まえて、石狩川の治水事業を以下の3種に分類した。

- a 河道整備：洪水時の水位低下による氾濫防止と、平常時の河川水位の低下による排水促進が目的であり、石狩川においては捷水路、支川切替、河道掘削・浚渫に大別される。
- b 堤防整備：洪水時の氾濫防止が目的であり、昭和30年代の連続堤の整備とそれ以降の堤防の嵩上げが含まれる。
- c 洪水調節施設整備：洪水時の河川流量の低減による氾濫防止と水資源開発、電源開発が目的であり、多目的ダム、遊水地整備等が含まれる。

これらの治水事業とその直接効果・間接効果・波及効果の関係を図示すると概ね以下と考えられる（図-7、図-8）。

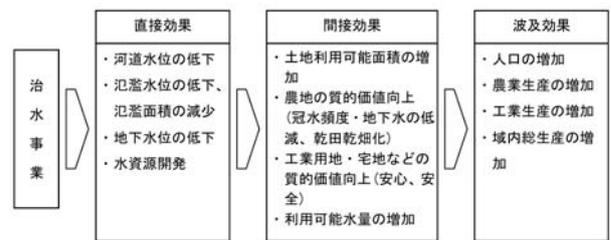


図-7 治水事業効果のプロセス

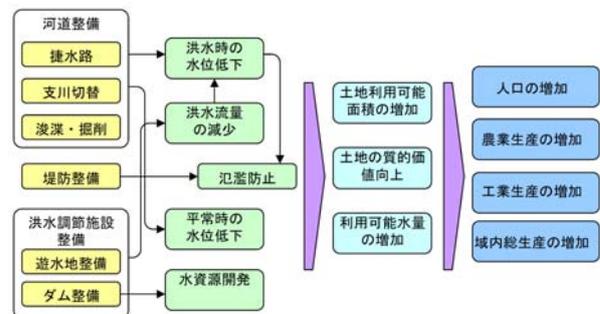


図-8 治水事業効果のフロー図

3.3.2 直接効果

石狩川治水事業による水位低下・洪水氾濫減少の効果を把握する。

石狩川中下流の各観測所において、流量は経年的な増加あるいは減少傾向は認められないが、水位は大きくは低下傾向にある。石狩大橋、岩見沢大橋、月形橋本町の各観測所では年最大水位が昭和20年代にくらべて概ね2～3m程度低下し、豊平低渇水位も1m以上低下している。代表として中流部の橋本町観測所（新十津川町）を図-9に示す。砂川捷水路が完成した昭和44年を境として、年最大水位、豊平低渇水位も大幅に低下しているのが確認できる。

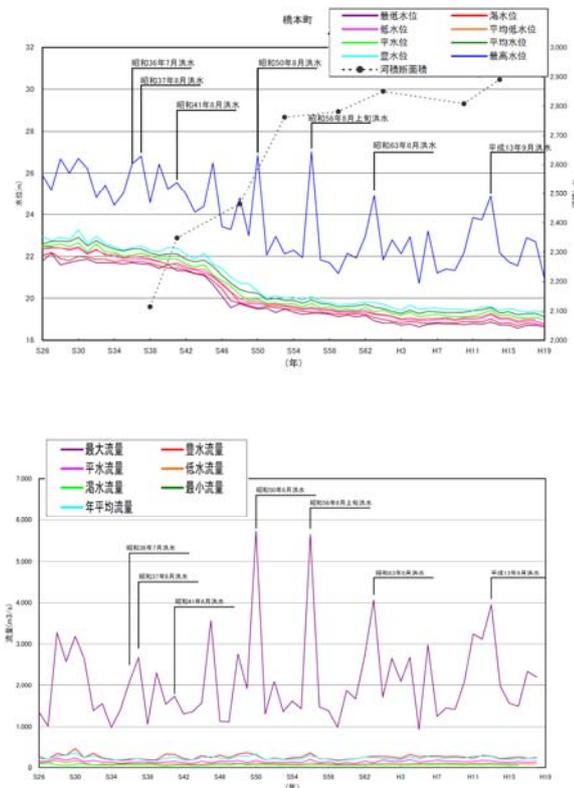


図-9 橋本町観測所水位と流量の経年変化

次に、石狩川水系の代表洪水における氾濫面積を内水氾濫、外水氾濫別に図-10に示す。明治37年7月洪水と平成13年9月洪水とでは降雨量は同程度であるが、氾濫面積は大きく減少していることがわかる（図-11）。

洪水	雨量 (mm/3日)	石狩大橋地点 観測流量 (m³/s)	氾濫面積 (km²)		
			内水氾濫	外水氾濫	合計
明治37年7月	177 (札幌)	不明	-	1,500	1,500
昭和37年8月	133 (流域平均)	4,410	224	437	661
昭和50年8月	173 (流域平均)	7,533	170	123	293
昭和56年8月上旬	282 (流域平均)	11,330	517	97	614
平成13年9月	171 (流域平均)	6,598	1	37	38

図-10 石狩川洪水の氾濫面積

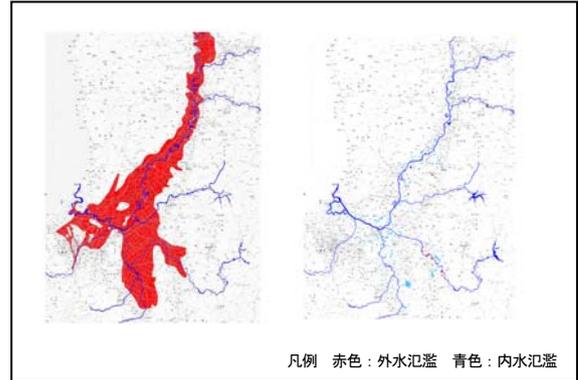


図-11 浸水実績図 (M37とH13)

3.3.3 間接効果

はじめに、農地開発への効果について述べる。石狩川の氾濫原野は、湿潤な泥炭地が広範に分布し、土地利用の阻害要因となっていた。捷水路事業などの治水事業により氾濫を防止し、河川水位を低下させたことで泥炭湿地の農耕地開発が進んだ（図-12）。

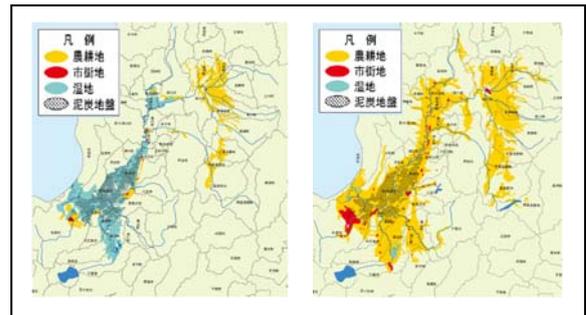


図-12 土地利用図の比較 (M30とS40)

また、戦後は灌漑排水整備、ダム、揚水機などの新しい水利技術の導入とともに、全国有数の水田地帯を形成するに至った。

石狩川流域の農業用ダム（がんがいを目的とする多目的ダムを含む）は64箇所（再整備され廃止されたものを含む）であり、有効貯水量は1,061百万m³である

流域農地面積は、明治43年の約2,045km²から10年後の大正9年には約3,063 km²に大きく拡大する。その後、農地面積は減少するが、水田面積は増加し、明治43年と昭和45年を比較すると農地面積約300km²増、田約700 km²増、畑約400km²減である。新規農地の開発と畑地からの転換で、北海道の水田面積の約6割を占める大水田地帯に変貌を遂げたことがわかる。

次に都市発展への寄与について述べる。治水事業は捷水路や堤防の整備、多目的ダム開発などによる治水安全度の向上の結果、水害の心配の少ない都市用地の

確保を容易にし、都市の発展に貢献した。

図-13 に、昭和 35～55 年までの DID 地区の変遷と昭和 56 年洪水の浸水区域図を示す。DID 地区は概ね浸水区域を避けて、治水安全度の高い場所に拡大していることがわかる。昭和 26 年以降の流域の宅地面積は一貫して増加し、昭和 26 年～平成 17 年までに、約 350 k m²増加、高度経済成長期にあたる昭和 40 年代の伸びが顕著あり、この 10 年間に約 170 k m²増加した。

また、都市用水については、北海道の中心都市札幌市において水道整備が始まるのは昭和 9 年のことであり、昭和 26 年の水道普及率は 10%程度であった。

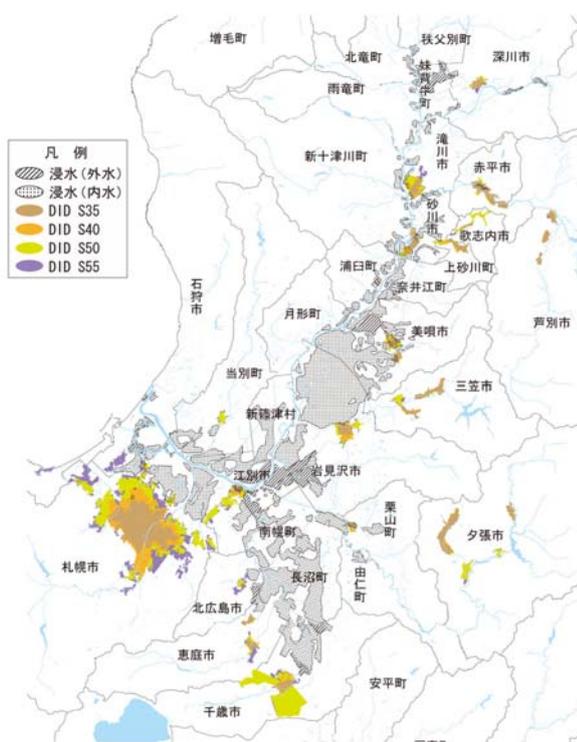


図-13 DID 地区の変遷と S56 年洪水浸水実績

その後、急速な都市化が進み、昭和 30 年代～40 年代にかけて給水人口は急速に拡大し昭和 50 年には普及率は約 80%に達し、昭和 60 年には 90%を超えている。

戦後の多目的ダム建設は、このような都市用水の急速な拡大に対応し、安定した都市用水の供給に大きく貢献した。

上水道の年間取水量は、ダム以外の水源からは、昭和 45 年以降概ね 100,000 千 m³の水準で推移しているのに対し、ダム水源からの取水量は年々増加し、平成 17 年には、昭和 40 年の約 12.5 倍の約 230,000 千 m³に達している。

ダム水源への依存率も昭和 40 年の約 20%程度から

昭和 50 年には、約 50%に達し平成 7 年以降は 70%前後で推移している。

以上のように、この間の都市用水需要の増加分は、ダムによる水源確保に大きく依存している。

3.3.4 波及効果

以上みてきたような直接効果及び間接効果により流域の社会基盤が発達したことで、社会経済的な様々な波及効果をもたらされたと考えられる。そのうち明確なものとしては、人口や就業者数の増加、産業生産額の増加などが挙げられる。

4. 治水事業の効果計測手法の検討

4.1 効果計測シナリオ

以上に述べた石狩川流域の歴史的経緯を踏まえ、治水・水資源開発及び土地改良等の事業実施が、洪水氾濫減少、農耕地面積増大、用水確保等に及ぼした効果を整理する。その上で、各事業の効果として、各種産業生産高増加、GDP増加などの経済効果について検討し、治水事業に着目した流域発展のシナリオを作成する。

【治水事業の実施とその直接的効果】

治水事業の直接的効果は、洪水時および平常時の河道水位の低下（洪水時および平常時の排水性の向上）と、それらを通じた氾濫防御（氾濫面積の減少）とする。

【治水事業の間接効果】

間接効果として、泥炭地の排水条件の改善や農業用水の確保と安定供給など農業開発ポテンシャルの向上、治水安全度の向上による被災リスクの少ない土地の拡大（土地の高度利用の基盤確保）、都市用水・電力用水の確保など都市開発ポテンシャルの向上である。

これらの間接効果は、治水事業だけではなく、交通基盤や農業基盤、都市基盤等の各種の基盤整備事業と相乗的に効果を発現したと考えられるが、治水事業による被災リスクの低減は、他事業実施の基盤を形成したと考えられる。

【治水事業の波及効果】

治水事業の間接効果としてもたらされた農地、市街地の拡大などは、流域内人口の増加、産業就業者数の増加、産業生産額の増加などの波及効果をもたらしたと考えられる。

4.2 評価計測モデルの構築

治水事業の直接効果及び間接効果に着眼し、治水安全度及び用水供給を説明変数とし、治水事業以外の要

因による土地利用条件等も説明変数に加え、人口、農業生産力、産業就業者数等の経済活動量を算出する土地利用ポテンシャルモデルを構築した。さらに、前述のモデルから導いた経済活動量から、GDP、産業別生産額を算出する経済効果計測モデルを構築した。各モデルの構造は、4.1 で検討したシナリオより、定量化かつ検証可能な効果プロセスを仮定して作成する。モデルの概念を図-14 に示す。

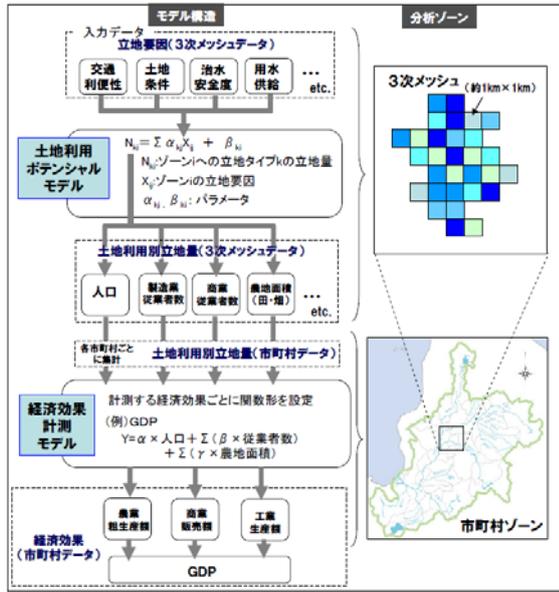


図-14 治水事業効果計測モデルの概念図

4.3 土地利用ポテンシャルモデル

ここでは、分析手法として重回帰モデルを採用したモデル構築を行う。

重回帰分析とは、以下の式に示すように、ひとつの結果を表す変数といくつかの要因を表す変数とを線形式で結び、この式を用いて要因から結果を予測、または結果から要因を制御する手法である。

$$\text{結果} = \text{要因1} + \text{要因2} + \dots + \text{原因p}$$

結果を表す変数を目的変数 y 、原因を表す変数を説明変数 x_1, x_2, \dots, x_p と呼ぶ。この関係を1次式で表すと、次のようになる。

$$y = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \dots + b_px_p + b_0$$

式中の b_1, b_2, \dots, b_p は、偏回帰係数(パラメータ)で、定数項 b_0 とともに、最小二乗法で求めることができる。土地利用、治水事業等に関する各種説明変数を重回

帰分析した結果、図-15~21のとおり結果を得た。なお、いずれも有意水準5%における回帰式の有意性は確認されている。

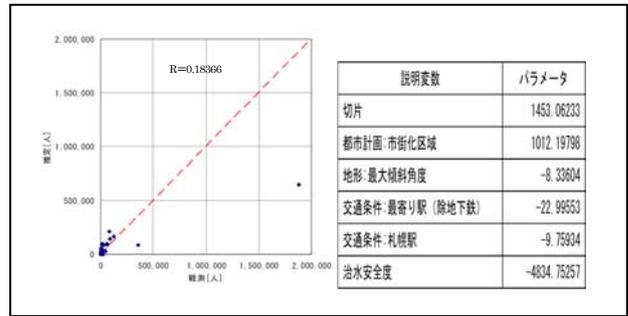


図-15 人口の推計

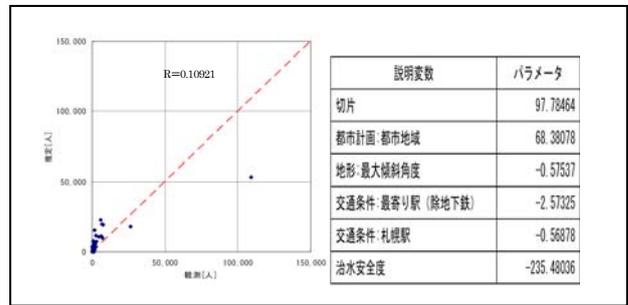


図-16 2次産業従業者数の推計

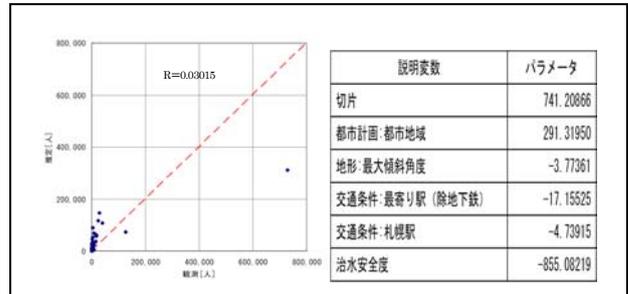


図-17 3次産業従業者数の推計

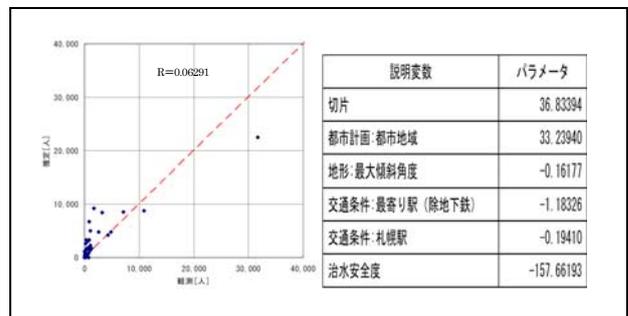


図-18 製造業従業者数の推計

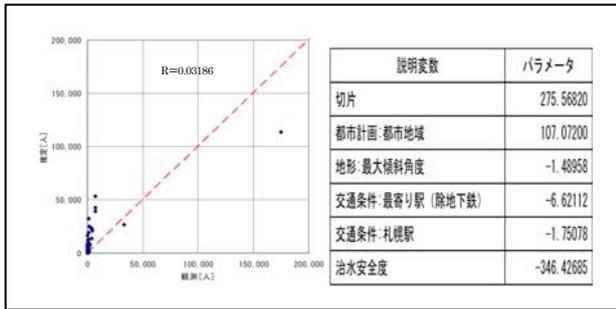


図-19 商業従業者数の推計

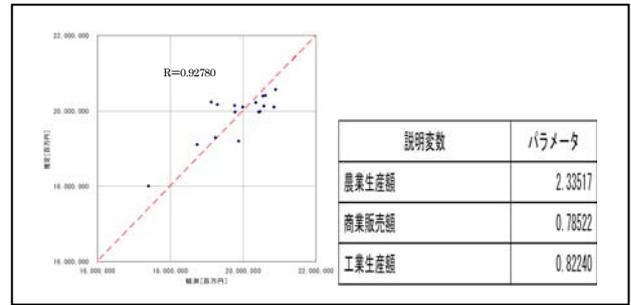


図-22 GDPの推計

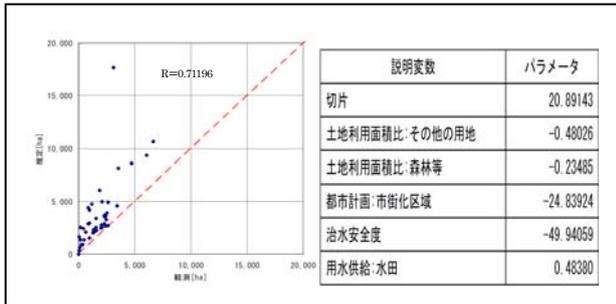


図-20 水田面積の推計

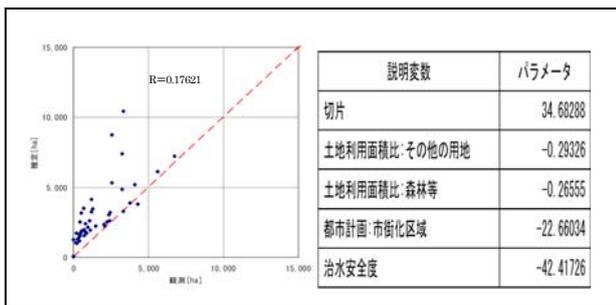


図-21 畑地面積の推計

4.4 経済効果計測モデル

土地利用ポテンシャルモデルで求めた各推計量から、同じく重回帰分析を用いて経済効果を算出するモデルを構築する。経済効果としては、4.1のシナリオを踏まえて、農業生産額、商業販売額、工業生産額を求めてからGDPを推計した。途中経過は省略するが、農業生産額については、水田及び畑地面積より求めた収穫額から算出し、商業販売額及び工業生産額はそれぞれの就業者数から算出した。

$$\text{【農業生産額(万円)】} = 0.09977 \times \text{【水田収穫額(千円)】} + 0.22048 \times \text{【畑地収穫額(千円)】}$$

$$\text{【商業販売額(万円)】} = 4968.40878 \times \text{【商業従業者数(人)】}$$

$$\text{【工業生産額(万円)】} = 1852.73831 \times \text{【製造業従業者数(人)】}$$

以上の説明変数を用いて重回帰分析を行い図-22の結果を得た。

5. 石狩川治水事業の効果計測

治水事業着手前後における経済効果を比較することで、治水事業の効果を実測する。

治水事業着手前は明治43年頃とし、治水安全度については当時の洪水記録から概ね治水安全度を5分の1と設定して、想定浸水域(150年確率規模)に一律に与えた。治水事業着手後は平成15年度とし、治水安全度については氾濫計算を行いメッシュ毎に治水安全度を設定した(図-23, 24)。

メッシュ毎に治水事業有無の2ケースについて土地利用ポテンシャルモデル・経済効果計測モデルを適用し治水事業の効果を実算した。このとき、治水事業以外の条件は両ケースとも平成15年度の値とした。

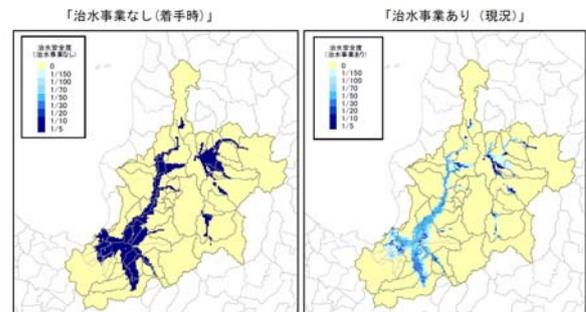


図-23 治水事業(治水安全度)のケース



図-24 治水事業(用水供給)のケース

治水事業有無の差分として算出されたGDP増加効果は、流域全体で2.1兆円/年であり、現状の流域総生産額11兆円の約19%である。また、図-25に示し

た市町村別の分布をみると、経済活動の中心である札幌市、旭川市を中心として、主に岩見沢市、江別市等で経済効果が発現しており、治水事業が経済活動に与える効果の計測として、概ね妥当な結果が得られていると考えられる。

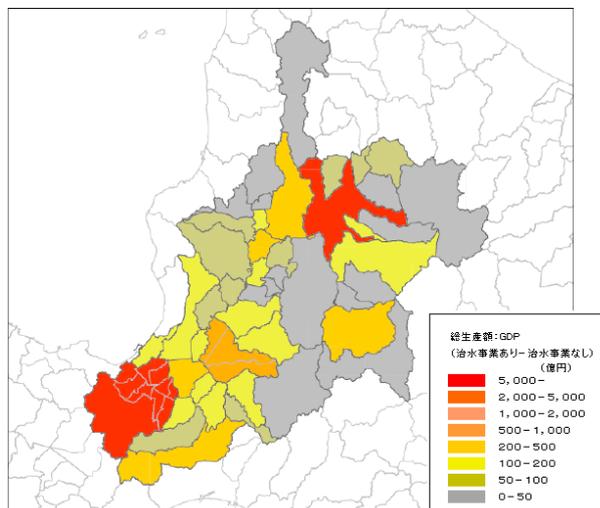


図-25 治水事業によるGDP増加効果

6. 氾濫原管理指標の検討

5. の結果を氾濫原地域ごとに考察する。なお、地域単位は自治体（市町村）とした。

まず、自治体を都市型と農業型に分類する（両方の特徴を有する自治体もある）。都市型の自治体はGDP値が大きいのが特徴であり、札幌市、旭川市、岩見沢市及び札幌圏の千歳市、恵庭市、江別市、石狩市、北広島市などである。これらの自治体のうち、治水事業によるGDP増加効果としては、札幌市及び旭川市が突出しており次に岩見沢市が高い。札幌市と旭川市はGDP増加に対して商業販売額と工業生産額による寄与が大きく、岩見沢市は農業生産額の寄与も比較的大きい。対照的に札幌圏の自治体については、GDP値は大きいものの治水事業による増加効果は大きくない。

次に、農業型の自治体を検証する。これら自治体は都市型の自治体に比べてGDP値や増加効果は小さいものの、農業生産額が増加効果に占める割合が大きいのが特徴である。これら自治体のうち、比較的治水事業が多く投入された本川及び主要支川中下流の自治体では概ね農業生産額の値に応じたGDP増加効果が見られ、特に深川市や長沼町では農業生産額の増加効果も大きく、DGP増加効果に大きく寄与している。

例外としては、富良野市、美瑛町などでは治水事業が比較的投入されているものの、農業生産額の増加効果は小さい。

その他、幌加内町、上川町、夕張市など治水事業の投入が少なかったと考えられる自治体では増加効果が小さいことがわかる。

以上の特徴的な自治体について、治水事業の投入有無もあわせて整理した（図-26）。

図-26 自治体別の治水事業効果

自治体名	型	GDP	治水事業の効果	治水事業の投入
札幌市、旭川市	都市	大	大	多
岩見沢市	都市+農業	中	中	多
千歳市、恵庭市など	都市	中	小	多
本川及び主要支川の中下流自治体	農業	小	小（農業生産高なり）	多
富良野市、美瑛町など	農業	小	極小	多
幌加内町、芦別市、夕張市など	農業	小（農業生産高も小）	極小	少

ほとんどの都市型自治体では治水事業による安全度向上が図られているが、千歳市、恵庭市などでは大きな効果が現れていない。これら自治体では、治水事業の投入が効率的に効果発現に繋がらなかった可能性がある。

農業型自治体では、本川及び主要支川の中下流沿川自治体は水田が主要農地あり、治水事業の効果が有効に現れたと考えられる。同じ農業型でも、富良野周辺や幌加内など畑作中心の地域や、幌加内、上川町など上流の自治体では効果が小さいことがわかる。

以上の考察から、経済発展の観点での氾濫原管理の指標として交通条件、土地利用条件、治水安全度が挙げられる（図-27）。そのとき、氾濫原を都市型と農業型、治水事業による効果発現の大小に分類することが必要と考えられる。

図-27 氾濫原管理に関する指標

指標分類	土地利用	交通条件	治水安全度
指標	市街化区域面積比 都市地域面積比 森林等面積比 その他用地面積比 最大傾斜角度	最寄り駅まで時間 札幌駅まで時間	治水安全度 用水供給面積比

また、治水事業による効果が小さいとされた石狩市については、本研究では取り上げなかったが総合治水事業による効果が大きいとされ（参考8）、また、同じく治水事業効果が小さいとされた千歳沿川自治体では現在遊水地事業を実施中である。このように、氾濫原の特徴に応じた有効な治水対策を実施してきていることは、今後の氾濫原管理を考えるうえで重要な示唆を与えるものである。これら実態を踏まえ今後は、強化対策を含んだ堤防整備等は効果が発現しやすい都市域

年に価値換算（現在価値化）した値とした。

累計年	事業費[百万円]
明治43年～昭和47年	193,960
明治43年～昭和62年	624,488
明治43年～平成18年	1,373,750

土地利用年次	面積[km ²]			
	畑等	水田	水田+畑等	市街地等
明治42年～明治43年	1,205.60	84.64	1,290.24	-
昭和42年～昭和47年	332.81	1,367.67	1,700.48	-
昭和62年	429.74	997.98	1,427.72	321.35
平成18年	545.03	872.01	1,417.05	426.25

図-29 明治からの事業費と農地面積（田畑）・市街地の関係

4) ブロック毎の土地利用状況の定量評価

ブロック毎の土地利用状況については、氾濫メッシュ試算数量データを基に整理し、ブロック毎の特性を把握した（図-28〔図中の距離については、JR札幌駅を起算点とした距離〕）。

7.3 投資効率からみた最適治水安全度の検討

治水投資効率定量化の検討結果を基に、ブロック毎に最適治水安全度を設定する。土地利用特性と最適治水安全度の関連性については、土地利用の厳密な区分ではなく、ブロック単位（農地主体、都市域主体）の区分で整理した。

あくまで整備計画の整備メニューの範囲でみると、各ブロックの最適治水安全度は次のとおりに考えられる（図-30～図-39）。

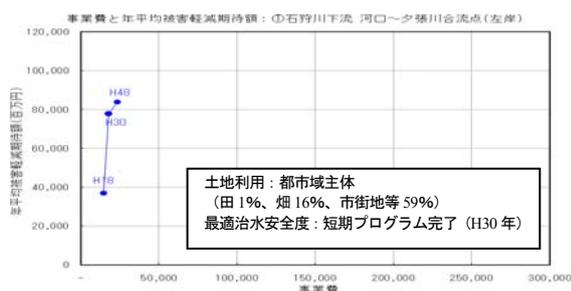


図-30 ①ブロック 最適治水安全度



図-31 ②ブロック 最適治水安全度

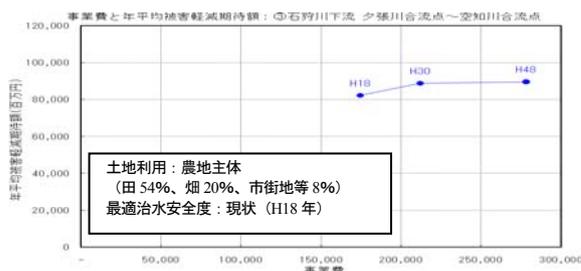


図-32 ③ブロック 最適治水安全度

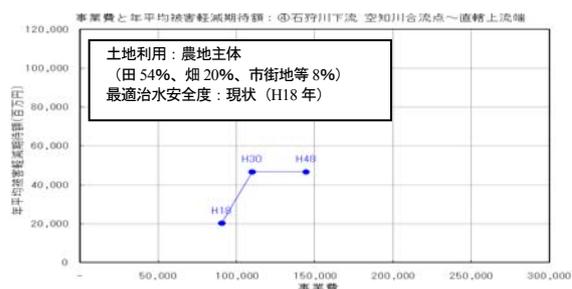


図-33 ④ブロック 最適治水安全度

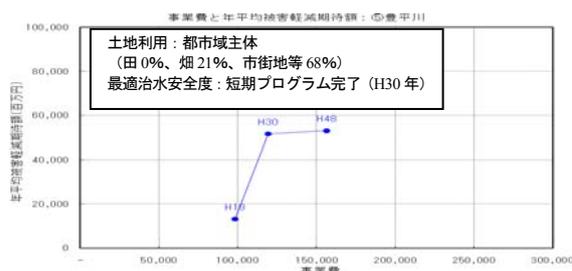


図-34 ⑤ブロック 最適治水安全度

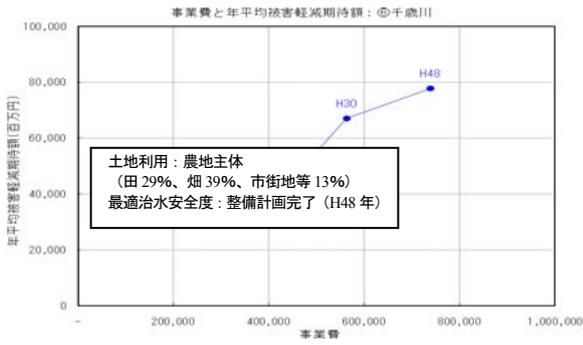


図-35 ⑥ブロック 最適治水安全度

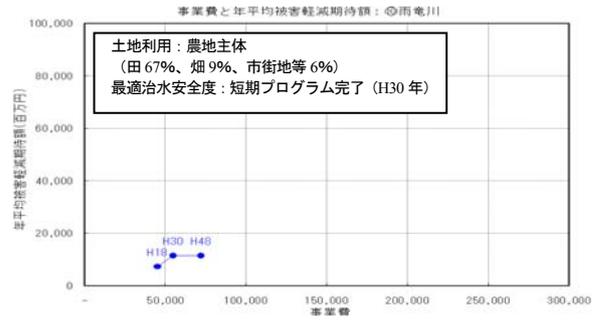


図-39 ⑩ブロック 最適治水安全度

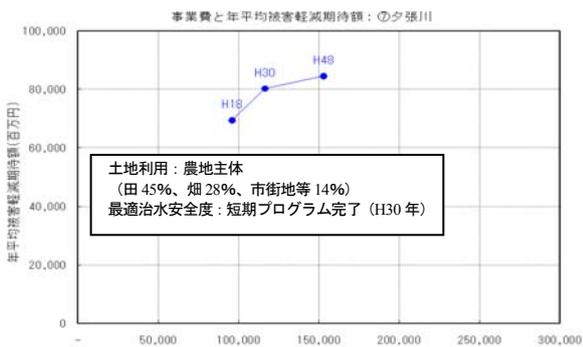


図-36 ⑦ブロック 最適治水安全度



図-37 ⑧ブロック 最適治水安全度

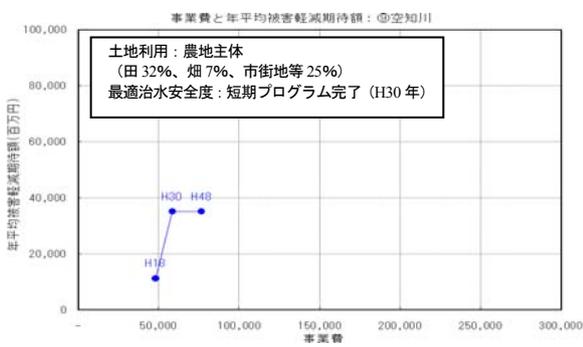


図-38 ⑨ブロック 最適治水安全度

7.4 土地利用別効率的治水投資モデル検討

治水投資効率定量化・最適治水安全度の検討結果を踏まえ、土地利用別の効率的治水投資の概念図を作成した。

概念図として、10ブロック全ての「事業費と年平均被害軽減期待額」の関係を図-40に示す。

- ・現況 (M43～H18年までの累計事業費)
- ・短期プログラム目標年 (M43～H30年までの累計事業費)
- ・整備計画完了年 (M43～H48年までの累計事業費)

図-40から、土地利用が都市域であるブロックは、相対的にみて少ない投資で今後の被害軽減が図られることがわかる。

また、石狩川下流本川沿いの中ブロック (ブロック③)の現状までの治水投資による被害軽減が大きいことから、治水事業が流域発展 (農地) に大きく寄与していることがわかる。

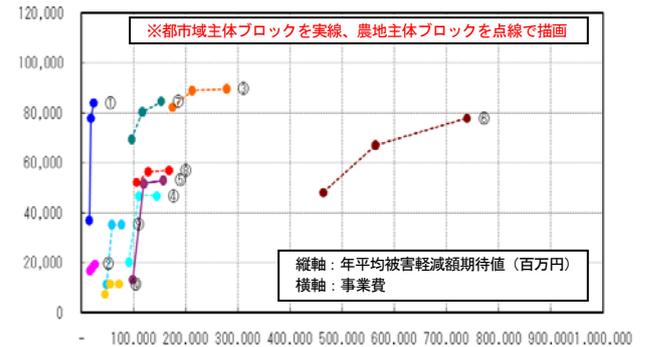


図-40 事業費と年平均被害軽減期待額

ただし、図-40において、事業費は治水事業着手年 (M43年)からの累計額としている。

先述しているとおり、現況事業費は、整備計画完了までの事業費 (H19～H48年まで)の比率で算出しているため、今後集中投資される千歳川流域の場合、現況事業費 (M43～H18年まで)が過大となる可能性が

ある。

そこで、事業費を次の3段階とした「事業費と年平均被害軽減額期待額」の関係を図-41に示す。

- ・現況（整備計画着手 事業費 0）
- ・短期プログラム目標年（H19～H30年までの累計事業費）
- ・整備計画完了年（H19～H48年までの累計事業費）

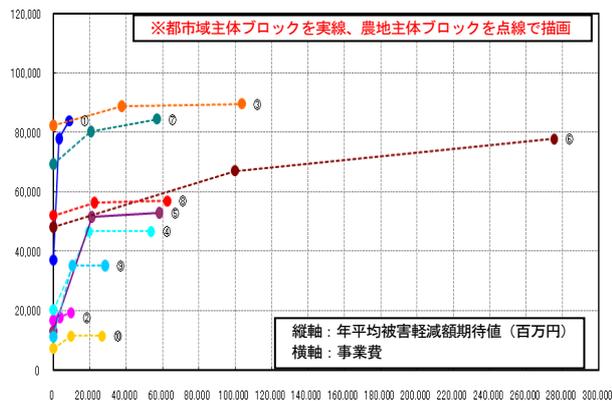


図-41 事業費と年平均被害軽減額期待額（補正後）

7.5 大規模洪水氾濫域における土地利用の変遷

大規模洪水（1/1000程度）の氾濫域内の危険性を把握するため、治水事業実施前と実施後における土地利用の変遷を時系列で整理する。

7.5.1 土地利用データの整理・分析

分析を行うにあたり、メッシュ単位の土地利用データを整理した。既往資料（参考 1）に基づき、石狩川下流域治水整備の黎明期（明治43年～44年）、進展期（昭和42年～47年）の二つの時代に対し、水田、畑、その他の3分類の土地利用状況をメッシュデータとして整理したものを使用した。また、近年データは、国土数値情報を用い、その最新データの平成18年を使用するほか、上記既往資料内で整理されている昭和42年～47年と平成18年の概ね中間となる昭和62年についても使用した。整理したデータを用い、明治から平成までの土地利用の変遷を時系列で整理・分析した土地利用の変遷を以下に示す（図-42）。

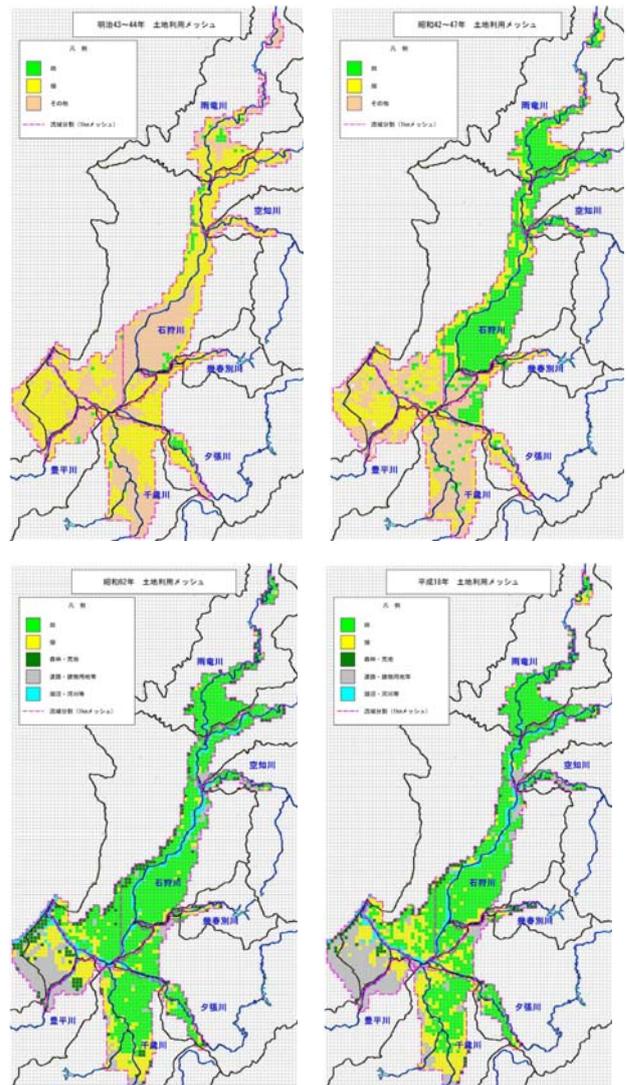


図-42 年代別土地利用メッシュ

7.5.2 各年代の土地利用特徴

①明治43年～44年

石狩川の本格的な治水事業は、明治43年からの北海道第1期拓殖計画がスタートした。この治水事業着手時の石狩川流域の主な土地利用は、未だ畑が圧倒的に多く土地利用の約54%（約1,210km²）を占めていた。

水田は明治に入り寒冷地に適した技術が開発されて普及が徐々に始まった段階であり、土地利用の約4%（約80 km²）であった。なお、石狩川下流全域は約2,230 km²であり、そのうち農地面積は約1,290km²であった。

②昭和42年～昭和47年

石狩川の捷水路事業は、大正7年から昭和44年までの間に実施され計29箇所捷水路が完成し、現在の石狩川の骨格が形成された。明治時代には蛇行とともに氾濫を繰り返していた下流においても、捷水路事業に

より農地化が進み、幾春別川合流点～空知川合流点では、未利用地の殆どが水田となった。また、昭和17年の食糧管理法による米の固定価格での買い上げや稲作の省力技術の進歩により水田面積は飛躍的に伸び、土地利用の約61% (約1,370 km²) を占めるようになった。

畑は稲作への転作が進み、約15% (約330 km²) へ低下した。

③昭和62年

市街地の発展と共に、道路・建物用地等は約14% (約320 km²) に達した。畑は札幌圏～千歳川流域にかけて集約が進み、それ以外の地域では殆ど水田となった。水田面積は昭和45年から始まった米の生産調整の影響を受け、昭和42年～昭和47年から比べ約370 km²の縮小を見せ、土地利用の約45% (約1,000 km²) となった。畑は都市部近郊の野菜供給基地となり約19% (約430 km²) に微増した。

なお、農地面積は約1,430 km²に減少した。

④平成18年

札幌圏の市街地の発展は更に進み、豊平川流域、千歳川流域などでも市街化が進展し、道路・建物用地等は約19% (約430 km²) に達した。

米の生産調整や、環境問題が顕著化して地産池消が注目され、特に幾春別川流域から下流において畑への転作が進み、水田面積は土地利用の約39% (約870 km²) と更に減少し、畑は約24% (約550 km²) を占めるまでになった。

なお、農地面積は約1,420 km²であり、概ね昭和62年と同程度であった。

石狩川流域をモデルとして、土地利用状況等の違いによる最適治水安全度の評価、治水事業実施前と実施後における土地利用の変遷を時系列で整理した結果、土地利用が都市域、農地(田・畑)の区分に関わらず、これまでの治水投資が、これらの発展に綿密に繋がりをもち、効果を発揮してきたことが推察でき、これからも同様と考える。

また、これらから得られた知見としては、本研究において対象とする氾濫原(想定氾濫区域とほぼ同義)を持続可能なものとして管理していくにあたり、国外、特に発展途上国においては、インフラ整備と合わせて、日本の総合治水対策を踏襲した内容の施策を実施していくことが重要と考える。

日本国内についてのインフラ整備は既に飽和状態になっていると考えられる。また、将来は著しく人口が

減っていくことが予測されており、どの地域に置いても一定の整備目標が達成されたあとは、氾濫原管理のための治水投資規模も縮小されると思われる。

人口減に伴い、必然的に氾濫原内の過疎化・生産基盤(農・工業)の衰退も伴い、現在の土地利用用途のうち、特に都市部における制約が少なくなると予想でき、氾濫原を回復させ、洪水バッファゾーンとして活用することができる。

これからは、将来的な社会背景を視野に入れたうえ、現在まで改修に重きが置かれていた治水投資計画を新たな土地利用、特に環境整備・保全を考慮した持続可能な氾濫原管理の施策を計画することが重要と考える。

8. 国際セミナー及び研究者派遣

8.1 氾濫原管理ワークショップ(キックオフ)

氾濫原の利用と管理に関し、平成21年6月8日に寒地土木研究所と水災害・リスクマネジメント国際センター(ICHARM)主催で、「氾濫原管理と環境保全に関する研究キックオフワークショップ」が開催された(図-43)。ワークショップの目的は、当該戦略研究を進めるに当たり、これまでの研究及び活動の報告と今後の進め方についてディスカッションを行ない、取り組むべき課題と研究の進め方について再確認することであった。

ワークショップのプログラムは以下の通りである。

<報告>

1. 研究の趣旨とマレーシアのセミナー概要報告
 2. 氾濫原管理の事例紹介
 3. 氾濫原管理を進めるための最新の水理学的研究
- <全体討議>

「氾濫原管理と環境保全について共同研究を進める意義と今後の戦略」

寒地土木研究所寒地水圏グループ長(当時)の吉井、寒地技術推進室道東支所の矢野、北見工業大学の渡邊教授からの報告の後、吉井、渡邊教授、北海道開発局の柿沼氏をパネラーとしたパネルディスカッションを行なった。ディスカッションではフロアからの意見や質疑応答を含め、下記のコメントがあった。

一方的な技術援助ではなく、研究者や技術者の育

- ・ 成をはかり、ともに議論し地域貢献すべき
- ・ 被災メカニズムを理解するための基礎知識を伝えることが必要
- ・ 技術的な指標としては、土地利用状況など流域の空間的把握が必要
- ・ 原始河川を見るだけでも、河川技術者として得る

ものがある。

なお、当初はワークショップにマレーシア国側からも参加の予定であったが、急きょ旅程上の都合により来日できなくなった。今後もこのような活動を継続していきたい。



図-43 氾濫原管理と環境保全に関するワークショップ

8.2 マレーシア灌漑排水局との協議及び意見交換

2010年3月23日から25日にかけて、マレーシア灌漑排水局（DID）と氾濫原の利用管理と環境保全に関する共同研究の可能性について協議及び現地調査を行なった（図-44）。寒地土木研究所からは研究調整監の吉井が参加した。当研究所から研究協力プロジェクトの提案、マレーシア側から研究の提案を相互に行ない、研究方針について議論した。合意書（MOU）の細部にまでわたって議論が行われたが、最終的な合意書の締結までには至らなかった。灌漑排水局として研究に前向きに取り組むことは確認されており、今後、天然資源環境省として合意に向けた手続きが進められることとなる。



図-44 マレーシア灌漑排水局との協議

9. まとめ

本研究では、日本国内及び国外の氾濫原管理の事例収集と問題点の抽出整理を行なった。また、治水投資と氾濫原管理のバランスと言う国土保全上の社会経済財を最適化する手法とそれを評価する指標の開発に向け、比較的大規模なインフラ整備に関する波及効果を含んだ評価手法・指標の事例収集と氾濫原管理への適用可能性について検討を行なった。また、2009年6月に「氾濫原管理と環境保全に関する研究キックオフワークショップ」を開催し、2010年3月に共同研究枠組み構築に向け、マレーシア国との意見交換並びに現地調査を行なったことについて報告した。

また、以下に日本及びアジア・モンスーン地域の事例収集の結果、判明した氾濫原管理の問題点について以下の事項が判明した。

- 氾濫原の危機管理の観点から堤防は最重要工作物であり、破堤による壊滅的な被害を防ぐための強化技術の確立と対策の実施が必要。
- 土地利用制限、危険区域内での建築物制限に根拠を与える定量的な評価が必要。
- 避難速度、人口分布、浸水深、時間等を考慮したより実現性の高い避難計画の整備が必要。
- 上記すべての基盤となる、科学工学的な精度の高い降雨、流出、河川水理、河床変動、氾濫、水質等のシステムの開発が必要。

また、治水投資と氾濫原管理の社会経済的バランスをはかる指標を検討するため、石狩川流域の社会経済的發展を事例として各種事業による効果をモデル化した。モデル化にあたっては、流域の開発経緯や既往研究も参考にして、治水事業による効果を取り入れ、土地利用変化等が最終的にGDP増加効果に結びつくようなプロセスを想定した。

モデルの構築にあたっては以下の事項が確認できた。

- 治水事業の効果としては、直接効果、間接効果、波及効果をそれぞれ取り込むことが必要。
- 治水事業の他に土地利用に関する条件を加味し、土地利用ポテンシャルモデルを用いて、人口や農地面積などを算出可能。
- 人口や農地面積などから各種生産高等を算出し最終的に経済効果としてGDPを算出する経済効果計測モデルが有効。

以上のモデルから治水事業の有無によるGDP増加効果を試算したところ、次のことが分かった。

- 都市型地域は、GDP値や増加効果は比較的大きいが、治水事業の効果が大きく現れる地域と現れない地域があり、後者の地域では氾濫原管理の一つの方策として流域治水対策が実施されているケースが見られた。
- 農業型地域は、GDP値や増加効果は比較的小さいながらも、水田が主要な地域では治水事業によるGDP増加効果が大きい。

また、効率的な治水投資という観点から見た、最適な氾濫原管理について以下に記す。

- 強化対策を含んだ堤防整備等は効果が発現しやすい都市域に集中的に行い、非効率的・土地利用に制限が無い箇所については、遊水地として浸水を許容する等、土地利用形態によって治水安全度のグレード化を図ることにより、最適な氾濫原管理が可能であると考えられる。

また、石狩川流域等をモデル地区として、氾濫原を土地利用状況等についてより詳細に分類し、より指標の効果が明確になるようなモデル化を行い、土地利用と氾濫原管理の最適化の関係を検討した。合わせて、氾濫域における土地利用の変遷についての整理も行った結果、以下の事項が確認できた。

- 土地利用が都市域の箇所については、少ない治水投資で被害軽減が図れることがわかった。
- 治水事業が流域発展（農地）に大きく寄与していることがわかった。

また、今後の持続可能な氾濫原管理と環境保全の計画策定への提案として、国外ではインフラ整備と合わせて日本の総合治水対策を踏襲した施策を実施することが重要であり、日本国内においては、将来的な社会背景を視野に入れたうえ、新たな土地利用、特に環境整備・保全を考慮した計画を策定していくことが重要であると考えられる。

謝 辞

当研究の遂行に当たっては、国土交通省北海道開発局札幌開発建設部から多くのデータ提供をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 石狩川治水事業評価検討業務報告書，北海道開発局石狩

- 川開発建設部，2010.
- 2) 北海道開発局石狩川開発建設部資料，2008.
- 3) Yoshii, A et al.: Research on Floodplain Management Utilizing Waterfront Buffer Space in the Ishikari River Basin, 7th International Conference on Geomorphology, 2009.
- 4) 石狩川治水事業評価検討業務報告書，北海道開発局石狩川開発建設部，2010.
- 5) 社会資本ストックの経済効果に関する研究，国土交通政策研究第68号，国土交通省国土交通政策研究所，2006.
- 6) 農村社会資本整備に関する波及効果の評価手法，農業工学研究所研究成果情報2005，農業工学研究所，2006.
- 7) 矢部浩規，河川整備における危機管理のための意識情報データ活用方略に関する研究，北海道開発土木研究所報告，第121号，2004.
- 8) 総合治水対策のプログラム評価に関する検討会資料，国土交通省，2003.

A Study on Floodplain Management and Conservation of Natural Environment

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2009-2011

Research Team : River Engineering Research Team

Author : HIRAI Yasuyuki

OHGUSHI Hiroya

KAKINUMA Takaharu

MURAKAMI Yasuhiro

KARASAWA Kei

MURASE Tatsuya

MOMONOE Hideyuki

SHIBUYA Sunao

YANO Masaaki

Abstract : The recent increase in the incidence of typhoons caused by global climate change and flooding brought by local downpours has made it necessary to implement management for flood plains as well as for river channels and flood-control facilities in order to ensure safety against flooding. In this regard, efficient flood control investment, land use on flood plains and the environmental value of such areas need to be comprehensively evaluated. In this research, case studies in Japan and elsewhere were examined to identify problems concerning flood plain management. The results reconfirmed that facility improvement, non-structural measures and enhancement of simulation accuracy were important in preventing dangerous conditions. In addition, examples of evaluation methods for relatively large infrastructure projects were examined to contribute to the appropriate use and management of flood plains. Considering the nature of river projects, a model that enables measurement of related effects over time and stock analysis was found to be appropriate. A two-stage model consisting of land use potential and economic effect measurement simulations was also applied to the Ishikari river basin to clarify economic development, and its effectiveness was confirmed. Analysis of study results for individual municipalities in the Ishikari river basin revealed that the land use type and effects of flood control projects were important as indices to clarify economic development, and these two metrics were presumed to also be important in flood plain management. Based on past results, it was also considered that the grading of safety levels against floods would enable optimal flood plain management from the viewpoint of efficient flood control investment. In addition, examination of the relationship between flood control investment and land use and transitions of land use in the Ishikari river basin as a model area suggested that flood control investment contributed to a reduction of damage both to urban areas and farmland. Using the results obtained, policies for sustainable flood plain management and environmental conservation planning in Japan and overseas were summarized.

Key words : flood plain management, indicators, land use type, river works contribution, Ishikari River basin, project evaluation and analysis