

戦-50 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、寒地技術推進室（道央、道東支所）
 研究担当者： 平井康幸、吉川泰弘、唐澤圭、村瀬竜也、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、日本及び国外の氾濫原管理の事例収集と課題の抽出整理を行なった。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なった。氾濫原管理に関しては、危機的状況を回避する施設整備及び非構造物対策、並びに精度の高いシミュレーションが重要課題と再認識された。事業評価分析手法については、河川事業の性格上、経年的な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、環境生態系を単純に市場価値で置換することは難しく、評価手法及び指標を継続して開発していくことの重要性が示唆された。

キーワード： 氾濫原管理、危機管理、土地利用、環境生態系、社会資本、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。

氾濫原の保全及び回復は、治水投資の効率的な使用並びに環境生態系の保全回復につながる半面、氾濫原の土地利用という社会経済に影響を及ぼす側面も有している。このため、適切な氾濫原管理のためには治水投資と社会経済のバランスを慎重に検討することが必要である。日本を含むアジア・モンスーン地域を中心に広がる沖積平野は河川氾濫原により形成されたものであり、氾濫原管理は洪水に対する安全性の確保に内在

する本質的な課題である。公共事業費に対する厳しい財政事情、環境に対する国民の強いニーズに鑑みれば、治水投資の効率的な使用、環境生態系の保全、国土の適切な利用管理のため、日本国内及びアジア・モンスーン地域を始めとする国外の氾濫原管理と環境保全を検証し、今後の国内の持続可能な氾濫原管理計画に生かすとともに、国外に向けても積極的に発信していく必要がある。

以上のことから、本研究では2009年度（平成21年度）は日本国内及びアジア・モンスーン地域を始めとする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、インフラ整備に関する評価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。

なお、本研究は寒地土木研究所とマレーシア国間で調整中の共同研究枠組みを構成するものであり、研究を通じて、国際セミナーの開催や研究者相互派遣による現地調査並びに情報意見交換を行なうこととしている。これに関し、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」を開催した。また、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を行なった。

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

社会通念上、氾濫原とは「河川の近くにあつて、洪水時に浸水を受ける範囲の低地」と一般的には理解されている。この認識は間違いでは無いものの、「河川の近く」と言う認識が曖昧であり、個人差によるバイアスが生じる懸念がある。日本においては河川改修がある程度進んでおり、河川近傍に限定した狭い範囲の土地だけを連想させる場合が多い。したがって、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溢れた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、急速な都市化の進展に伴う流域の保水・遊水機能の低下により洪水流出量が増大し、治水安全度が著しく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、河川流出量を軽減するため、流域の持つ保水・遊水機能を保全したり、水害に強い土地利用を誘導する等、都市計画や下水道等の関係機関と連携して、総合的に治水対策を講じて治水安全度を確保する施策である。

この背景には、1960年代（昭和30年代後半）からの高度経済成長期の急激な都市化に治水対策が追いつかず、かつ本来浸水の危険性の高い地区にまで宅地等の拡大が続き、洪水に対する潜在的な被害が時間の経過とともに増大していたという防災担当組織側の危機感があった。このため、河川改修のみによる対策の限界を認知し、都市計画、下水道、農業分野などと連携して、将来的な都市の成熟を見越して各分野の連携協力により総合的に降雨を処理する方策が採られるに至った（参考1）。

総合治水対策がエポックメイキングだったのは、河川改修のみによる限界、すなわち洪水を河道に押し込めることの限界を理解し、将来的な都市の成熟つまり

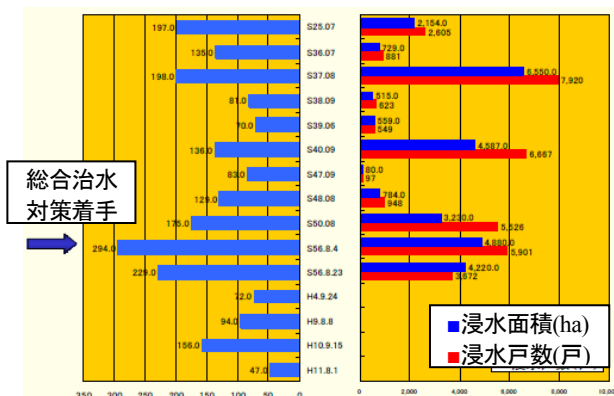


図-1 総合治水の事業効果（伏籠川）

土地利用を見越した形で雨水処理の分担を下水道や流域対策に求めたほか、三地域区分によって土地利用計画にまで秩序を与えたことである。氾濫原管理はそれ単独では成り立たず、現実には氾濫原を利用した土地利用計画（流域平均雨量部分）が規定され、浸水被害の都市の成熟を見越した総合治水対策は、まさしく総合的な氾濫原管理計画のモデルと言える。

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）。総合治水対策という概念が生まれずに都市の発展に治水対策が追いつかない状態が続いていけば、日本の都市圏は洪水に対する脆弱性に常に悩まされ続け、国民に対する安全・安心を提供することは今まで以上に困難になっていたと考えられる。適切な氾濫原管理計画を考える上で、総合治水対策は災害大国かつ利用可能な国土面積の狭い日本ならではの秀逸なシステム及びツールであると評価できる。

2.2.2 超過洪水対策

総合治水対策によって生じた洪水氾濫の防止から洪水被害の極小化という治水思想の変革は、リスク管理の概念へと引き継がれた。リスク管理で最重要とされるのはカタストロフィの回避である。カタストロフィの回避は通常、危機管理として解されている。危機管理を氾濫原管理に適用した場合、発生し得る最悪の災害規模に対する望ましくない事態を想定する必要がある。これまで、先の総合治水対策を含め日本のほとんどの治水事業は何らかの投資規模を対象としてきた。都市部を貫流する重要河川であれば確率1/150~1/200などである。

こうした重要河川において、壊滅的被害を起こす可能性があるのは、破堤による氾濫である。堤防を含め河川工作物は確率規模によって施設設計がなされてお

り、危機管理上は設計規模を超える洪水つまり超過洪水に対しても破堤災害を回避することが最重要課題となる。その次の段階として、越水あるいは万が一破堤した場合の氾濫から壊滅的な被害を回避することが重要となる。

リスクは以下によって定義される（参考2）。

リスク {損失レベル/単位時間}
 = 頻度 {事象/単位時間} × 規模 {損失レベル/事象}

破堤を回避する構造の高規格堤防等は上式の規模を低減することが可能で、事業効果の考え方は以下のようになる。

堤防無しの場合の年間災害発生額期待値 D は

$$D(t) = \int_0^{\infty} S(L)W(t)f(L)dL$$

L : 洪水外力, $f(L)$: L の発生確率密度, $S(L)$: L 発生時のポテンシャル氾濫面積, $W(t)$: $S(L)$ 当たりの被災対象資産等（災害ポテンシャル）

洪水処理能力以下で起こる破堤災害の被害発生期待値 D' , 年間災害軽減額期待値 $D-D'$ は

$$D'(t) = \int_0^Q S(L)W(t)f(L)dL + \int_0^Q S(L)W(t)b(L)f(L)dL$$

$$D(t) - D'(t) = \int_0^{\infty} S(L)W(t)\{1 - b(L)\}f(L)dL$$

Q : 洪水防御計画完成時の洪水処理能力, $b(L)$: 洪水処理能力以下すなわち $L < Q$ で起こる破堤の確率

高規格堤防による破堤の回避の場合は,

$$D'(t) = \int_0^{\infty} S(L - Q)W(t)f(L)dL$$

$$D(t) - D'(t) = \int_0^{\infty} S(L)W(t)f(L)dL - \int_0^{\infty} S(L - Q)W(t)f(L)dL$$

洪水処理能力 Q を超えた場合に氾濫により生じる被害は

$$\Delta D_{L+\Delta L} = S(L + \Delta L - Q)W(t) = S(\Delta L)W(t)$$

これらの関係を図-2に示す。

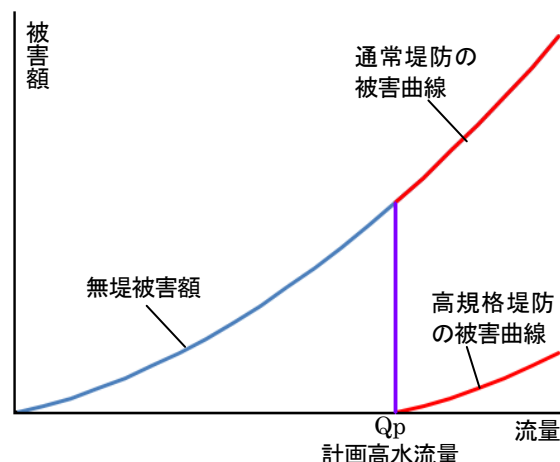


図-2 超過洪水対策効果の概念

2.2.3 危機管理に関する施策・研究等

危機管理に関して、越水あるいは破堤による洪水氾濫からどのように対応するか多くの研究がなされている。とくに、どのように警戒避難体制を整備するかについての研究は、防災工学上の重要課題であり、多くのサジェスションがある。各施策や研究で共通に指摘されているのは、実質的で的確な警戒及び避難システムの構築には、精度の高い洪水予測システムと氾濫シミュレーションが必要なことである。警戒が遅れば多数の被害を出すことになり、過度の警戒体制も社会的な混乱を引き起こす懸念がある。このためにはより精度の高い洪水予測システムの整備が必要である。

同様に、洪水氾濫からの避難体制の確立にも精度の高いシミュレーションモデルが必要である。越水破堤のような大規模洪水氾濫イベントは発生確率が低く、その対応策の検討には多くの部分で氾濫シミュレーションに頼らざるを得ない。このため、現実的な避難体制の確立のためには、モデル精度の高さが重要となる。この際、浸水がある場合に可能な避難速度を勘案した、より綿密な検討と計画が必要である。

また、システムやシミュレーションモデルの精度を上げていくことはもちろん、それらを活用してより効率的な避難のための施設整備に生かしていくこと、つまり洪水災害に対して強い都市づくりを進めていくことも重要な課題である。国土交通省国土技術政策総合研究所では、下水道を考慮した都市域氾濫解析モデル NILIM (New Integrated Lowland inundation Model) (参考3)、非定常の破堤氾濫流を高精度で再現できる流速差分離法 FSD (Flux Difference Splitting Method) (参考3) を用いた氾濫流シミュレーションモデル開発し、実流

域のリスク管理へ適用可能なツールとなっている。

越水破堤氾濫自体が発生確率の低いイベントであるため、実績の氾濫及び避難実績は体制整備のための貴重なデータとなる。実際の行政においては、精度の高いモデルシステムと実績データに加え、それらを基にした洪水ハザードマップを作成し住民に配布している自治体が徐々に増えている。災害に対する意識は警戒避難の速度に影響するため、このような取り組みを継続して行なっていくことも重要である。

2.2.4 釧路湿原自然再生事業

北海道の釧路湿原は釧路川の自然氾濫原で、日本最大の湿原であり、初のラムサール登録湿地である。その面積は195.9km² (2004年) で (参考4)、山手線内側面積 (約65km²) の3倍である。現在、釧路湿原では自然再生事業と言う湿原の保全と再生のための取り組みが行なわれている。この施策は氾濫原の環境生態系を保全、回復する取り組みという点で、これまで挙げた氾濫原利用上の災害軽減に関する事例とは異なる事例である。

釧路湿原の下流側に釧路市が位置し、湿原の下流端すなわち市街地のの上流部で釧路川の河道内に横堤が設置されている。この横堤により、釧路湿原は遊水地としての機能を高め、釧路市の治水安全度を向上することに貢献している。同時に釧路湿原内を貫流する釧路川の水位を上昇させ、氾濫頻度の増大と地下水位の上昇に寄与している。図-3に釧路市と釧路湿原の位置関係を示す。

釧路湿原は下流都市部の新水路の掘削や上流側からの土砂流入などの影響により、近年湿原面積の減少が顕著である。1920年頃の湿原面積は276.7km²と推定され (参考4)、実に30%近い湿原面積 (氾濫原) が喪失されたことになる。このため、1999年 (平成11年) に「釧路湿原の河川環境保全に関する検討委員会」が発足し、2001年 (平成13年) に「釧路湿原の河川環境に関する提言」が発表された。もちろん、それ以前から地元の環境保護団体などは釧路湿原の保全に取り組んでいたが、学識者、専門家、NPO、関係行政機関などが入った総体的な組織による取り組みは上記検討委員会が初めてであった。

検討委員会は2003年 (平成15年)、自然再生推進法の施行されたのを機に、釧路湿原自然再生協議会へと発展し、より多くの住民の参画を得ることとなった。現在、個別課題に対処するため協議会下に6つの小委員会を設置し、湿原の保全と回復に取り組んでいる。

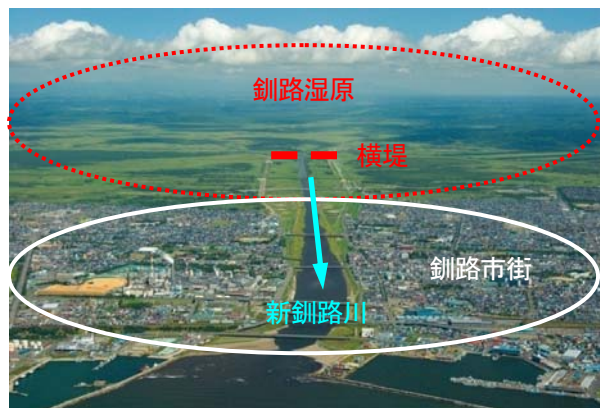


図-3 釧路湿原と釧路市街

釧路湿原自然再生事業から得られる教訓は、より詳細な生態学的及び河川工学的な根拠を持って施策を検討することはもちろん、多様な主体が協議会に参画して施策に対する意思決定をしていく合意形成システムとプロセスである。とくに、湿原周辺に土地を所有し農業を営まれる関係者の意見が、湿原とはあまり関係の深くない主体の意見にかき消されることの無いよう、事務局には行政側が入り慎重に運営されている。このような多様な利害関係者による合意形成手法は、多数の関係者が共存する氾濫原の利用と管理計画策定へのインプットとなるほか、他の公共事業に関する合意形成システムへの応用が期待されている。

2.3 国外における氾濫原管理の事例

2.3.1 災害軽減を主眼とした氾濫原管理の事例 (米国/連邦危機管理庁 FEMA)

氾濫原の洪水に関し、国家洪水保険制度 (NFIP:1968年) が制定されている。連邦危機管理庁は洪水危険地域を示したマップ (図-4) を作成し公開 (日本の洪水ハザードマップのイメージ) している (参考5)。マップには100年洪水時に浸水する区域と500年洪水時に浸水する区域が示されている。各自治体はマップにより危険区域があるかを確認し、ある場合はNFIPに加入するかどうかを選択する。1973年洪水災害防御法制定により保険法の一部が修正され、水害多発地域にある地方自治体はNFIPに強制加入の義務を負うことになった。これにより、水害多発地域では保険の加入無しに建築物建造の融資を受けられなくなった。つまり、洪水被害に対しては保険金が払われる代わりに、土地利用規制が実施されるというシステムが構築された。なお、浸水による危険度の違いによりゾーンごとに保険料が決定される。

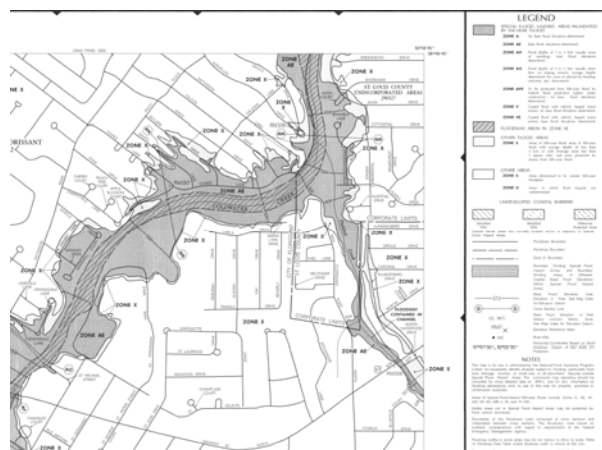


図-4 米国の洪水危険地域マップ

1993年のミシシッピ川の洪水を契機に危険緩和及び移転援助法が制定され、建物土台の嵩上げや高床式などの危険緩和措置や、連邦危機管理庁が洪水被害を受けた不動産を取得し不動産所有者を氾濫原外に移転させるバイアウトプログラムに使用できる資金が増額されている。

(米国／陸軍工兵隊 USACE(COE))

連邦政府（工兵隊）は地方排水地区と協力して洪水防御のための計画策定と事業を実施している。事業には堤防、ポンプ場、洪水壁、洪水調節地などがある。連邦堤防が設計規模50ないし500年の洪水を対象としているのに対し、非連邦あるいは私有堤防は10-20年洪水を対象としている。工兵隊は連邦堤防及び援助を受けた非連邦洪水建造物に対して各地区と協力して定期的な検査を実施する責務を負っている。

1974年には連邦緊急事態対応プログラムとして、洪水により驚かされたまたは破壊された建造物の修理回復の上限（1500万ドル）が撤廃された。大統領宣言を待たずに知事の要請で基本的な公益事業、施設の緊急建設修理、10日間の緊急交通手段の提供ができる。また、大統領による緊急事態宣言の場合は、FEMAは国防省の代行者として工兵隊に援助を命じることができ、この際要請された工兵隊の対応は国家環境政策法NEPAの適用を受けないとされている。

なお、1993年ミシシッピ川洪水への対応に関する工兵隊側の評価は、総じて洪水災害軽減のためのシステムが設計通りに良く機能していたという論調であった。同時に、メディアが「自然には勝てない」ことを強調し、それにつけ込んだ環境保護団体や自然保護団体が施設によって洪水被害が発生したこと、湿原の復元を

メディアにインプットしたことに対し、科学的根拠の薄い論調による擬似事実によって非常に多くの間違った情報が伝えられ、結局は住民の利益につながらない意思決定がなされてしまう懸念を教訓として挙げている（参考6）。洪水の原因には降雨パターンの変化も大きな要因であり、将来的な氾濫原の利用に関する意思決定には将来的な気象パターンのサイクルに対処できる柔軟性を持つべきとしている。具体的には将来的にも氾濫原から不要な使用を除去し、洪水調節施設は都市部の防御として引き続き重要であるとし、技術者は工学技術が社会に付加する真の価値を理解させる必要があり、公共政策及び意思決定が正しい技術的判断に基づいて行なわれるようにするのが責務、とも述べている。

(オランダ／公共・水管理庁)

オランダは歴史的、地理的に水との戦いを強いられてきた。海面以下の土地が多く日本の河川の中流部とは様相が異なるが、氾濫原管理のエッセンスはゼロメートル地帯の低平部や天井川などの管理に重要なインプットとなる。

組織的には、国レベル—州レベル—地域及び地方レベルに分かれており、基本的に地域及び地方レベルの「水委員会」の権限が大きい。委員会は水防や給水についての責務を負っており、住民は所属水委員会に税を納付する代わりに組織の管理者の選出に参加できる。レベルごとの役割分担は以下のようになっている。

国レベル：基準等

州レベル：種々の要因を勘案し空間計画策定と承認

水委員会：災害への補強プログラム、実際の工事監督
 なお、経済的検討により、安全基準に重みを持たせており、経済的価値の低い個所は安全基準が低くなっている。

オランダの対策で特筆すべきは、拡散型と貯留型浸水の差異を認識しており、貯留型は急激に水位が上昇し生命の危機が生じ実際の人口を勘案すると避難は不可能に近いことから、避難警戒よりもまず堤防の質的強化を優先する現実を良く勘案したシステムが採られていることである。安全性の水準確保のため、堤防は5年ごとに水委員会が調査点検し、州に報告する。また洪水警報による締め切り水門の操作だけで莫大なコストを要し、はずれた際の影響も大きいため、社会的混乱を避けるために洪水警報の高精度化に取り組んでいる。高潮については6時間前警報が出せるようなシステムとなっている。

(中国／水利部／黄河水利委員会)

黄河の洪水発生リスクは中流部が大きく流出及びピークまでの時間が短く、流砂濃度が大きい。中流部では土砂堆積による河床上昇が続き、流下能力も低下している。1980年代に8000m³/sあった流下能力は90年代には4000m³/sにまで減少したとされている。このような状況に対し、堤防決壊を回避する対策として、上流＝貯留、中流＝遅延（洪水調節地）、下流＝通水という分水の概念が採られており、日本の治水思想にも通じるものとなっている。堤防強化に関しては、穿孔歯系動物、破棄した井戸やトンネルにより生じる空隙にグラウトを注入し粘土置き換えなど湿潤を防ぐ対策が採られている。また、法面を緩勾配にして湿潤線長を拡張する対策もなされている。

河川近傍の氾濫原管理に関しては、住民が氾濫原外に避難することが現実的に困難なため、コミュニティ単位で洪水発生時に住民と財産が避難でき洪水後に再び戻るためのプラットフォームを建設している。洪水管理に関する責任の所在の明確化と洪水防御計画の策定を行なうこととしている。また、氾濫原への人口流入を抑制するため、都市部での雇用や軍隊への入隊の優遇、氾濫原外への移転の奨励と支援対策が行なわれている。洪水災害を低減させる構造物は、安全の恩恵を受ける者が管理し、資金は主に地方政府が拠出する。なお、氾濫原内にある農業生産のための堤防は逐次撤去を行なうとともに、氾濫原内での工業製品の生産は禁止されている。

黄河では洪水に対して住民避難の対策が採られていると同時に、甚大な被害を回避するために堤防の強化及び堤防を防護する対策が重要であると位置づけられている（参考6）。

(マレーシア／灌漑排水局)

地理的に台風や地震という自然災害は少ないため、自然災害に占める洪水の割合は高いものの、周辺諸国と比較して洪水被害が顕著なわけではない。近年では急速な社会経済発展による洪水問題がクローズアップされるようになってきている。洪水の緩和計画は、中央政府（灌漑排水局：DID）がインフラ整備事業に関する責任を負っており、常設の洪水管理委員会を設置している。なお、非構造物対策である洪水保険制度もあるが、あまり利用されていない。これは奨励制度が無いことと、現実として保険対象となる財産を所有している者が少ないことが挙げられる。実際の洪水軽減に関しては、河川改修、ダム建設、洪水調節地、ポンプ場

など通常の治水対策は行なわれているが、非構造物対策はハザードマップの作成公表などが行なわれている。

治水及び氾濫原管理に関する長期ビジョンとして、森林伐採や農地の市街化が流出量を増大させピークを早めた要因とひとつと認識されており、森林伐採は森林局により厳しく監視されている。また、短時間の局地的豪雨により発生するフラッシュフラッドへの対策が近年の課題となっている。

注) DIDは従来は農務省の所管組織であったが、組織改革により、天然資源環境省の所管に変更されている。

(フランス／環境省)

施設整備に関しては、制度的に日本と異なり、個人も含めて河岸保有者が費用を負担し工事を行なうこととされている。人身または財産の被害に適用されるあらゆる保険契約の対象範囲は自然災害による被害にまで自動的に拡大され、非構造物対策の重視姿勢がうかがえる。なお、大規模災害発地図により危険区域の建築物は厳しく制限されているが、現実として保険ほどうまく機能していないと評価されている。

自然災害軽減計画の強化として以下が挙げられる。

- ・自然災害軽減計画
- ・建築物不動産に対する強制収容
- ・保険制度の改善
- ・洪水予報及び監視の改善
- ・洪水警報の改善
- ・洪水発生実績図と自然災害予測図の統合
- ・簡易な河川管理計画（個人、団体）

とくにこれらの中で、災害防止のための土地開発及び利用の統制に重点を置いており、保険制度などのソフト対策にも力を入れている。

2.3.2 環境生態系との調和を主眼とした氾濫原管理の事例

(ドイツ／環境省／ライン川上流)

歴史的に、第2次世界大戦後にフランス（ライン川国境左岸）が上流域から取水し水力を利用する権利を獲得している。堰と水路の建設により、1800年代には1000km²あった遊水面積が1980年代には遊水面積が130km²にまで消失したと評価されている。図-5にライン川の河道と氾濫原の変遷を示す（参考7）。取水施設の建設前は1/200洪水に対処可能だったが、現状では1/60程度まで低下したとされ、下記のような貯水対策を実施している。

堰：操作規則に従い、洪水調節に利用。

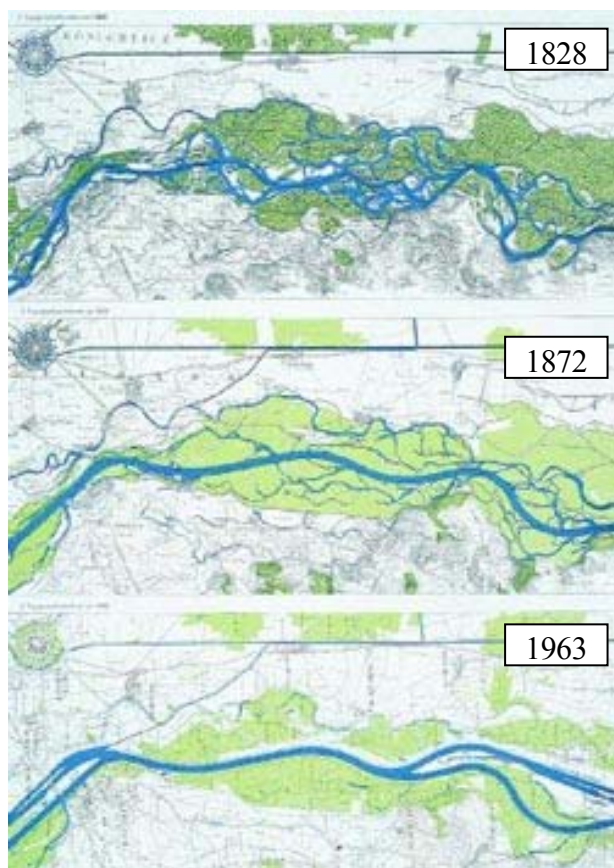


図-5 ライン川の河道及び氾濫原の変遷

ポルダー：人工的に氾濫。（遊水地的な扱い）
 発電所特別稼働：貯水，放水の制御による洪水調節。
 引堤：自然河積の確保。環境上は有利だが治水効果は少ない。

取り組みは治水工事前の氾濫原の回復をコンセプトに，ドイツ，フランス両国で行なわれている。この際，以前に氾濫原であった個所は必要な場合は相当規模確率の洪水を氾濫させてよいが，生物群集の被害を避けるために必要以上に氾濫水を滞留させないこととされ，可能な限り自然に近い洪水氾濫状態を発生させることとしている。（ecological flood：環境洪水）

（米国／農務省）

1985年農業法に湿地罰則が盛り込まれ，湿地を新たに農地へ転用することが事実上禁止された。1990年にはかつて湿原だった農地を湿原へ復元する，湿地復元プログラム（WRP）が創設された。プログラムは土地所有者の自主的な参加が原則であり，登録されれば湿原復元のための技術的，金銭的援助を受けることができる。登録地は農地利用はできないが，所有権自体は継続される。これは日本でも遊水地整備などに活用さ

れている地役権売買に似た概念である。もちろん，登録のためには湿原に復元することが可能な土地であり，農務省から土地の技術的，経済的な評価を受けなければならない。

農家と言う個人のみならず，連邦政府や州政府が洪水被害を受けて放棄された土地を買い上げて大規模に湿原の復元に取り組む事例も見受けられる。

（英国）

氾濫原を含んだ開発計画に対する法的制度的な整備が不十分で，結果的に氾濫原開発を避けられなかったとの反省に立ち，統合的流域管理（Integrated Catchment Management Plan）の概念を導入している。1988年，テムズ川地区で，土地利用計画に対するアプローチを修正した。

- ・ 河川区域の保全を含め，水環境のあらゆる側面を取り上げ，開発計画に含めること。
- ・ 地域計画機関との連絡上のすべての側面をあらゆるレベルで向上すること。
- ・ 都市河川に関する河川流域プログラムを開始すること。
- ・ 地表面排水法（1976年），野生動物及び田園地方法（1981年）の順守により，開発業者に対して断固とした交渉をすること。

1989年には河川管理庁の設置により，河川計画及び管理を国家政策に統合する機会を創出している。

河川計画には環境流下能力の評価が必要であるとされ，社会，経済，環境の3つの次元についての考慮，さらには環境容量に関する現地利害関係者の合意が必要であるとされた。この環境容量のしきい値については，戦略的環境評価（SEA）などを活用して，常にコミュニティを説得する材料を持つことが重要であると認識されている。また，コミュニケーションプロセスと同時に，河川及び氾濫原のモデリング，高度洪水警報システム，地理情報システム（GIS），計量経済学などの科学技術ツールや根拠を持つことが重要とされている。

2.4 氾濫原管理の課題の抽出

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ている。また，甚大な災害を防ぐため，堤防破堤を回避する強化対策を最重要視していることも共通認識である。それに加え，災害発生時に住民が避難できるよう，適切な予警報システムの整備と現実的な避難計画

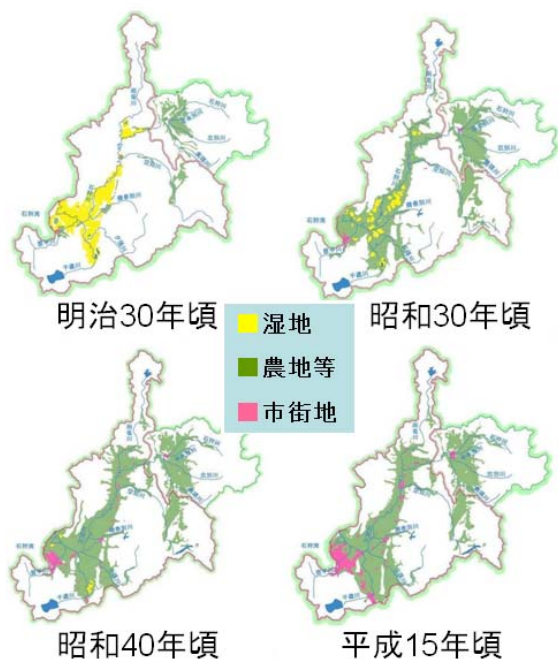


図-6 石狩川流域の土地利用の変遷

も重視している。ただし、施設整備を含め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やクライテリアはあまり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、危険区域の建築物あるいは居住を制限する動き自体は共通しているものの、どこまでの制限が必要なのか、定量的な根拠は多くない。

また、避難計画などの施策に関しては、避難施設や避難路の確保に際し、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。現実的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、人口など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あるい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ターゲットとしては分かりやすいものの、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。また、災害軽減、危機管理、環境生態系との調和を通じ、施策や事業計画が税を投入して行なわれる部分が多いことから、納税者及び地先住民とのコンセンサスを得るための根拠と手続きを持つことが重要である。

これらのことを整理すると、以下の事項が課題として列挙できる。

- ▶ 重要工作物である河川堤防の強化技術

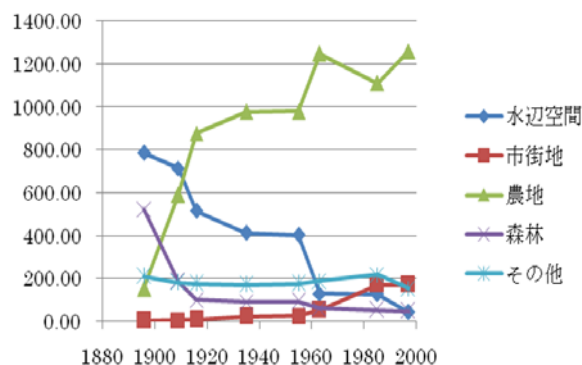


図-7 石狩川流域の土地利用面積の変遷

- ▶ 氾濫原の治水投資と効果を評価する手法
- ▶ 投資の配分（施設、非構造物対策）を評価する手法
- ▶ 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などから評価する手法
- ▶ 浸水危険区域の建築物制限に関する定量的な評価手法
- ▶ 避難速度、人口分布、浸水深、時間などを考慮した、より実現性の高い避難計画
- ▶ 氾濫原の環境生態系の価値を評価する手法
- ▶ 氾濫原の利用・管理に関して納税者及び地先住民とコンセンサスを得るためのシステム
- ▶ 上記のすべての基盤となる、精度の高い降雨、流出、河川水理、河床変動、氾濫、水質等のシミュレーションモデル。

3. 氾濫原管理に関する評価指標

3.1 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-6に石狩川流域の土地利用の変遷、図-7に土地利用面積の変遷を示す（参考8）。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-7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-8に示した（参考9）。バッファゾーンの増加 δB に対する浸

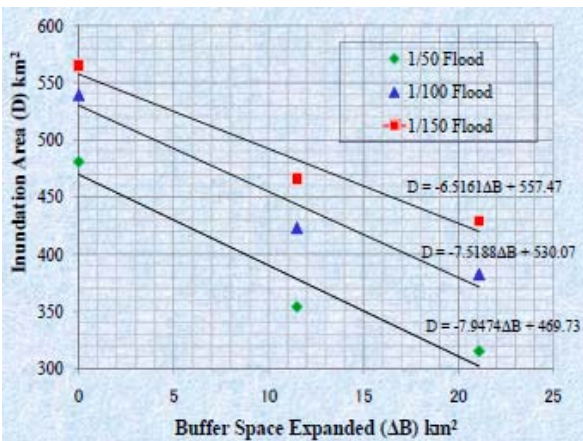


図-8 石狩川におけるバッファゾーンと氾濫面積の関係

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。

3.2 インフラ整備に関する評価手法及び指標の事例

2.4で示したとおり、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10)

- 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

それぞれのメリット、デメリットを表-1に示す。ミクロ経済モデルは道路交通分野、産業連関分析は港湾や鉄道、マクロ計量モデルは農業などの事例が多く、河川分野は統計モデルや費用便益分析が多い傾向にある。

治水事業、河川事業は実施整備に相当の期間を要し、かつ洪水イベントの間隔が長いので、経年的な効果の計測が可能な手法が適切であると考えられる。このため、上記手法のうち、経年的な効果が難しく河川事業分野での実績の少ないミクロ経済モデル、ストック分析に不向きで都道府県単位の計測がベースになる産業連関分析はここでは省略する。

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11)。この研究では公共投資の一時的なフロー効果ではなく、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。図-9に社会資本ストックによる経済効果のフローを示す。

マクロ計量モデルの事例としては、(独)農業工学

表-1 事業評価分析手法の特徴

分析手法	メリット	デメリット
ミクロ経済モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・行動理論に基づく分析で、個別事業の効果計測、将来予測の妥当性が高い。 ・統一的な金銭価値の計測が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・単一時点を対象とした分析で、経年的な効果計測は困難。 ・河川事業分野での実績は少ない。
マクロ計量モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・投資効果に関し、経年的な計測が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・将来分析に対する妥当性がやや低い。 ・あまり細かな分析単位の計測は難しい。(マクロの特徴上、市町村単位レベル)
産業連関分析	<ul style="list-style-type: none"> ・産業や業種間の依存状況、産業構造の把握が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・フローが基本でストック分析には不向き。 ・あまり細かな産業連関表が無い。(通常、都道府県単位)
統計モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・多様な分野の効果を計測可能。 ・空間的な分析単位の範囲が広い。(小単位～広域) 	<ul style="list-style-type: none"> ・将来分析に対する妥当性は低い。 ・統一的な金銭価値の計測が困難。
費用便益分析, CVM	<ul style="list-style-type: none"> ・単独事業に関しては、比較的精緻な計測が可能。 ・将来予測の妥当性も比較的高い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・長期、広域の事業効果計測は困難。 ・CVMは調査の仕方次第で結果が大きく左右される場合がある。

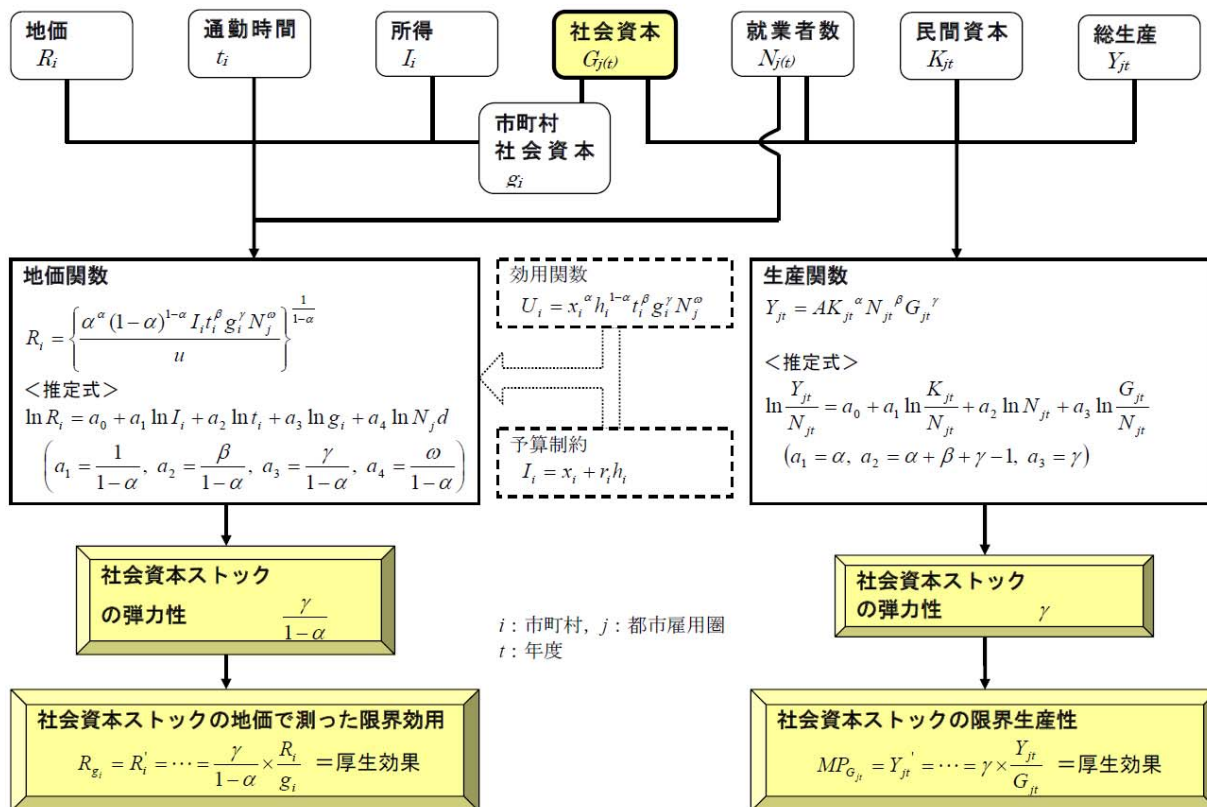


図-9 地価関数及び生産関数を用いた社会資本ストック分析のイメージ

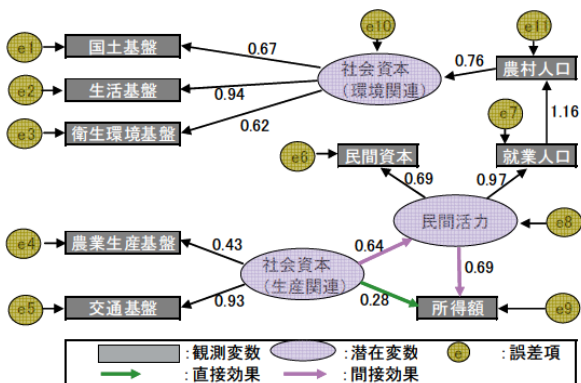


図-10 共分散構造分析モデルの概要

研究所が行な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12). 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

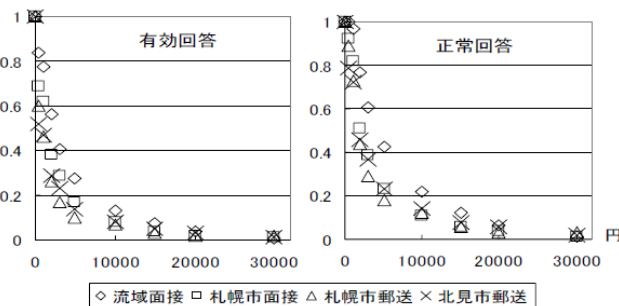


図-11 網走湖浄化事業(環境整備事業)に関する流域外住民の支払意志額の受諾率

られる。図-10に共分散構造分析モデルの概念を示す。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、便宜上支払意志額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なく、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



図-12 氾濫原管理と環境保全に関するワークショップ (2009年6月)



図-13 マレーシア灌漑排水局との協議 (2010年3月)

手法もあまり無いのが実情である。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13)。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-11)。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

4. 国際セミナー及び研究者派遣

4.1 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-12)。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とおりである。

<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るべき。
- ・ 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。

4.2 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-13)。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。

5. おわりに

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。

氾濫原の適切な利用管理並びに環境保全に関する課題としては以下の事項がクローズアップされた。

- 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と対策の実施。
- 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。
- 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。
- 氾濫原の環境生態系を評価する手法。
- 納税者及び地域住民とコンセンサスを得るためのシステムの整備。
- 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。

また、適切な氾濫原の利用管理と環境保全のための評価手法及び指標に向けて、以下の課題が明らかになった。

- 河川事業は実施整備に相当の期間を要し、かつ洪水イベントの間隔も長いため、経年的な効果の計測やストック分析が難しい手法は不向きである。

(ミクロ経済モデル、産業連関分析)

- 河川分野では費用便益分析、CVMの実績が多いが、氾濫原をターゲットにした場合、経年的効果や分野間の効果計測が可能なモデルも有利である。(マクロ計量モデル、統計的分析)

次年度は石狩川流域をモデル地区に、具体的な効果の計測を行なう予定である。

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石狩川開発建設部（現：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) 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。
- 2) 近藤徹：治水計画及び治水施設設計における危機管理のあり方，氾濫原危機管理国際ワークショップ論文集，1996。
- 3) 都市地域の社会基盤・施設の防災性能評価・災害軽減技術の開発，国土交通省国土技術政策総合研究所，2007。
- 4) 釧路湿原自然再生協議会第3回湿原再生小委員会資料，釧路湿原自然再生協議会，2005。
- 5) Flood Maps, Map Service Center, Federal Emergency Management Agency, USA, <http://www.msc.fema.gov/>
- 6) 氾濫原危機管理国際ワークショップ論文集，1996。
- 7) Gibb, Ann M: Time and the River, UC Santa Cruz Review, Winter 2003, 2003。
- 8) 北海道開発局石狩川開発建設部資料，2008。
- 9) Yoshii, A et al.: Research on Floodplain Management Utilizing Waterfront Buffer Space in the Ishikari River Basin, 7th International Conference on Geomorphology, 2009。
- 10) 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。
- 11) 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。
- 12) 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。
- 13) 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。

A Study on Floodplain Management and Conservation of Natural Environment

Abstract : In response to recent increases in the frequency of typhoon occurrence due to worldwide climate changes and other phenomena as well as flooding caused by local downpours, measures to ensure safety against flooding now need to also involve flood plain management rather than being limited to river channels and flood-control facilities. To achieve this, it is necessary to comprehensively evaluate the efficient use of flood control methods, land use in flood plains and the environmental value of such areas. In this study, examples of flood plain management in Japan and overseas were investigated, and related problems were identified and summarized. To contribute to the appropriate use and management of flood plains, examples of methods for evaluating relatively large-scale infrastructure projects were analyzed. In the field of flood plain management, the importance of establishing facilities to prevent dangerous conditions from arising, non-structural measures and highly accurate simulation was reaffirmed. Due to the nature of river projects, a model that allows the measurement of effects over time and stock analysis was investigated and confirmed as suitable for project evaluation/analysis. It was also found that it is difficult to evaluate an ecosystem purely in terms of market value, and that it is important to continue the development of evaluation methods and guidelines.

Key words : flood plain management, risk management, land use, ecosystem, infrastructure, project evaluation and analysis