

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute of Land and Infrastructure Management

No.106

May 2003

アメリカの氾濫原管理のいま

危機管理技術研究センター水害研究室
館 健一郎

Floodplain Management of Today in the United States

Flood Disaster Prevention Division
Researcher
Kenichiro Tachi

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

アメリカの氾濫原管理のいま

舘 健一郎

Floodplain Management of Today in the United States

Kenichiro Tachi

概要

アメリカ合衆国における氾濫原管理の最新の情報を取りまとめた。特に、土地利用に関連する施策に着目し、洪水保険プログラムと土地利用規制、氾濫原の建物の取得や移築、洪水地図の作成について整理した。

キーワード: 氾濫原管理、洪水保険、土地利用規制、バイアウト、洪水地図

Synopsis

This is an extensive report on the up-to-date information of the floodplain management in the United States. The study is especially focused on land use management measures. Such measures as the National Flood Insurance Program and related land use regulations, the "Buyout" program to acquire and relocate properties, Flood mapping, are covered.

Keyword: Floodplain Management, Flood Insurance, Land use regulation, Buyout, Flood map

危機管理技術研究センター
水害研究室

Flood Disaster prevention Division,
Research Center for Disaster Risk
Management

目 次



| | |
|----------------------------|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 現在の氾濫原管理とは | |
| 2-1 持続可能な氾濫原の利用 | 3 |
| 2-2 本報告書が対象とする施策 | 3 |
| 3. 施策の背景 | |
| 3-1 水害の現状 | 5 |
| 3-2 氾濫原管理に関係する機関 | 5 |
| 3-3 アメリカの施策の特徴 | 6 |
| 4. 氾濫原管理の沿革 | |
| 4-1 氾濫原管理の導入 | 9 |
| 4-2 現在の氾濫原管理へ（2つの提言） | 11 |
| 5. 洪水保険制度 | |
| 5-1 洪水保険制度の概要 | 13 |
| (1) 洪水保険とは | 13 |
| (2) 洪水保険プログラムの概要 | 14 |
| (3) 保険料率と填補額 | 15 |
| (4) 運用状況 | 16 |
| 5-2 洪水保険と土地利用規制 | 20 |
| (1) 洪水保険と連動した氾濫原管理 | 20 |
| (2) 近年の制度改良 | 21 |
| (3) 自治体格付けシステム | 23 |
| 5-3 現在の問題点 | 25 |
| 6. 近年の新たな動き バイアウト | |
| 6-1 バイアウトとは | |
| (1) 施策導入の背景 | 27 |
| (2) バイアウトプログラムの開始 | 28 |
| (3) 陸軍工兵隊の動き | 29 |
| (4) 建物の耐水化技術 | 30 |
| 6-2 被害軽減事業への補助制度 | 32 |
| (1) 被害軽減事業補助プログラム | 32 |
| (2) その他の補助制度 | 32 |
| 6-3 バイアウト事業の妥当性 | 33 |

| | |
|----------------------|----|
| 7. 洪水リスク評価と洪水地図 | |
| 7-1 アメリカにおける洪水地図 | 35 |
| 7-2 洪水保険料率地図 | 37 |
| (1) 洪水保険料率地図とは | 37 |
| (2) 地図の表示項目とリスク区分 | 37 |
| (3) 地図の作成手順 | 39 |
| (4) 地図の修正手続き | 41 |
| 7-3 地図作成マニュアル | 41 |
| (1) 解析モデルの規定 | 41 |
| (2) 洪水保険料率地図の作成マニュアル | 43 |
| (3) 堤防の評価について | 48 |
| 7-4 将来に向けて | 49 |
| (1) 洪水地図に関連する技術革新 | 49 |
| (2) FEMAによるプロジェクト | 50 |
| (3) リアルタイム洪水地図 | 52 |
| (4) 洪水地図の作成事例 | 54 |
| 8. おわりに | 58 |
| 付録1 Galloway報告の概要（訳） | 60 |
| 付録2 非構造格子モデルによる氾濫解析 | 69 |
| 参考文献 | 87 |

単位について

アメリカではヤード・ポンド法が一般に使用されている。本来ならば、本報告書のような論文ではメートル法で記述すべきではあるが、換算によって却って煩雑になる可能性があるので、あえて原典のままの単位で記述した。

本報告書に出てくる単位とメートル法の関係は以下のとおりである。

1 インチ = 2.54cm

1 フィート = 30.48cm

1 マイル = 1.609km

1 平方マイル = 2.589km²

また、2003 年 3 月時点でのドルの換算率は 1 ドル=約 120 円である。

1. はじめに

平成12年9月の東海豪雨災害など、開発の著しい地域での浸水被害が多発している。現在、流域での対応を含む対策の必要性が、以前に増して高く認識されてきている。

平成12年12月、河川審議会中間答申「流域での対応を含む効果的な治水の在り方について」が発表された。ここでは、ダムや築堤などの通常の河川改修を引き続き着実に実施することに加え、以下のような流域対策の導入により、地域や河川の特性に応じた効果的な治水対策を推進するよう提言されている。

- ・輪中堤・宅地嵩上げ及び土地利用方策
- ・河川と下水道の連携強化
- ・貯留施設等による流出抑制対策
- ・ハザードマップの作成・公表

これらは、一般的に氾濫原管理と呼ばれている対策に含まれるものであり、特に、建物の耐水化や土地利用方策は、総合治水対策などで推進の必要性が指摘されてきた。しかし、これまで、このような対策がうまく実施されてきたかという点、必ずしもそうとはいえない。氾濫原内の資産所有者にしてみれば、その資産を最大に活用したいと考えるのは当然であり、それを規制することには困難がともなう。浸水の危険性を考慮した土地利用規制のため、建築基準法の災害危険区域指定、都市計画法の市街化区域・市街化調整区域の線引きなどの制度があるものの、それらがうまく適用されている事例は少ない。

一方、アメリカでは、1960年代から積極的に氾濫原管理が進められてきた。そこで行われている氾濫原管理の基本的概念は日本と同じである。すなわち、氾濫原の無秩序な開発を抑制し、氾濫原を開発する場合には、被害を軽減するような措置を講じるということである。しかし、アメリカでは、氾濫原管理を推進するために実効性の高い巧妙な制度が作り出されており、その点が日本と大きく異なっている。例えば、氾濫原の居住者や行政機関のインセンティブを重視して、氾濫原の適正な利用を目指すような制度である。

また、近年では、浸水の危険性がある場所における将来の開発を抑制することにとどまらず、将来の被害を防止するため、既存の建物を買上げたり、移築したりするという積極的な施策を始めている。いわゆる「バイアウト」である。これは、氾濫原の安全な利用を進めるための究極の手法といえる。

この報告書では、アメリカで実施されている氾濫原管理施策の現状を紹介する。これまでも、米国の治水施策についてまとめた事例¹⁾²⁾はいくつかあるが、特に土地利用施策（氾濫原の賢明な利用の推進）を中心に、現在の米国の氾濫原管理施策を紹介した事例は少ない。また、氾濫原の家屋の買上げ、移築といった、近年力を入れて進められている施策については、日本で広く知られるようになってきているとはいえない。そこで、この報告

書では、現在、アメリカで行われている氾濫原管理につき、土地利用に関連する施策を中心として整理した。また、1993年に発生したミシシッピ川の大水害以降の変化も含め、できる限り最新の状況が紹介できるよう努めた。

この報告が、日本における氾濫原管理の将来に関する議論の契機となれば幸いである。

2. 現在の氾濫原管理とは

2-1 持続可能な氾濫原の利用

現在の氾濫原管理に対して最も大きな影響を与えたと考えられるのが、White 教授による提言である。1942 年の彼の学位論文“Human Adjustment to Flood”³⁾では、以下の手法が示されている。

Gilbert F. White の提案した対策（日本語説明は文献 1)による）

- | | |
|--------------------------|-----------------|
| 1) Land Elevation | : 土地の嵩上げ |
| 2) Flood Abatement | : 洪水の低減 |
| 3) Flood Protection | : 構造物による洪水防御 |
| 4) Emergency Measures | : 緊急時の対応 |
| 5) Structural Adjustment | : 建物・街路の構造・配置など |
| 6) Land-Use Readjustment | : 土地利用の再検討 |
| 7) Public Relief | : 救済 |
| 8) Insurance | : 保険 |

これらの手法の多くは、1960 年代に始まる氾濫原管理施策で導入されており、特に新しいものではない。国家洪水保険の導入は 1968 年であり、1973 年の洪水保険法の改正以後、多くの自治体が氾濫原の土地利用施策を導入している。では、近年行われている氾濫原管理とそれ以前のその違いを際だたせているものは何であろうか。

Smith and Ward⁴⁾は、20 世紀の水害対策の捉え方の変遷を 3 つに区分している。最初が The Engineering Paradigm であり、この時代は 1930 年代の TVA を初めとする大規模構造物の建設により洪水を押さえ込もうとした時代である。それに続くのが The Behavioral Paradigm であり、White 教授の提言に始まる氾濫原管理の時代である。これらは、洪水保険のような被害を共有する技術や、洪水予警報や土地利用管理のような被害を避ける技術に特徴づけられる。そして、現在を、Post-flood Hazard Mitigation 時代として、「持続可能な氾濫原管理」の時代と定義している。そこでは、耐水化のインセンティブを失わせたとして、構造物による治水を批判するにとどまらず、保険や災害救済の慣例的な提供すらも被害軽減のインセンティブを失わせたとして批判の対象としている。

現在、アメリカが目指している氾濫原管理の背景にある理念は、「持続可能な氾濫原の利用」である。この方向に向け、近年では、氾濫原の土地や資産の取得や移築、氾濫原の生態系回復などの新たな施策が実施されている。

2-2 本報告書が対象とする施策

本報告書では、近年進められている氾濫原管理施策のうち、以下の項目に着目して紹介している。なぜなら、これらの施策は、現在のアメリカの氾濫原管理を特徴づけているものと考えるからである。

第一の項目は、洪水保険プログラムと、それにリンクした土地利用規制である(第5章)。洪水保険プログラムは、アメリカの氾濫原管理の根幹をなす施策であり、保険とリンクすることで安全な氾濫原利用の推進を図っている。

第二の項目は、氾濫原内の資産の買い上げや移築(バイアウト)である(第6章)。これは、近年のアメリカで積極的に推進されている新しい施策である。

また、これらの施策を推進するにあたり、洪水氾濫による浸水の危険性が高い地域の特定制業が行われている。洪水氾濫解析による洪水地図(洪水保険料率地図)の作成である。この作業は、全ての氾濫原管理の基礎となる作業である。日本の浸水リスク評価、公表に関する施策の参考になる点も多いと考えられる。本報告では、洪水地図に関して行われている近年の施策についても紹介している(第7章)。

さらに、将来に向けた新たな氾濫解析技術として、非構造格子による氾濫解析に関して検討した結果をとりまとめた(付録2)。

洪水保険制度の概要など、部分的には、文献 1)、2)などと重複するが、現在の動向を理解する上で説明が不可欠と考えて記載した。アメリカの治水政策全般については、これらの文献で扱われているので、あわせて参考にされたい。

3. 施策の背景

3-1 水害の現状

アメリカにおける氾濫原管理の推進の背景には、減少しない水害被害という現状がある。国土の7%を占める氾濫原に、少なくとも9600万人が住み、3900億ドルの資産が立地している⁵⁾。1990年代初頭にアメリカの氾濫原管理を総合的に検証した”Floodplain Management in the United State”⁶⁾には、アメリカの水害被害の現状評価として次のような指摘をしている。

- ・ 1916年から1981年の水害による死者は、年平均で101人である。
- ・ 死者数に顕著な変化はないものの、70年間で水害による被害は増加している。1916年から1950年に比べ、1951年から1985年の水害による一人当たりの被害額は、およそ2.5倍（インフレ補正後）となっている。
- ・ 水害による被害は、他のいかなる災害よりも大きい。

水害による被害の統計については、資料毎に統計手法が異なり、確定的な数字を提示するのは困難であるが、例えば、Dennis S. Mileti⁷⁾は既往の文献から次のような数字を紹介している。

- ・ Storm Data (National Weather Service) によると、1975年から1994年の資産被害は、196億～1960億ドルであり、資産被害は増加傾向にある。
- ・ 最も資産被害が大きかったのは、1993年（中西部で大洪水が発生した年）で、34億～340億ドルになる。
- ・ 1975年から1994年の農作物被害は、81億～810億ドルであり、増加傾向にある。
- ・ 1975年から1994年の資産被害と農作物被害を合計すると、277億～2770億の被害になる。

これらの数字から、氾濫原管理に関する継続的努力に関わらず、未だに資産被害の抑制には成功していないという現状が浮かび上がってくる。その結果として、毎年数十億ドルを災害からの復旧に投じているとされている。この現状が、アメリカの氾濫原施策の推進の背景となっている。

3-2 氾濫原管理に関係する機関^{1) ほか}

水害対策の手法は、構造物対策、非構造物対策に大別される。極めて大雑把な言い方をすれば、日本で「河川」部門が担当しているような事業を陸軍工兵隊（USACE）などの機関が実施し、「消防・防災」部門が担当しているような事業を連邦危機管理庁（FEMA）な

どの機関が実施している。

洪水保険や土地利用規制など、この報告書で扱う非構造物による氾濫原管理施策の多くは、連邦危機管理庁（FEMA）によって管轄されている。しかし、主に構造物を担当としている機関でも、浸水の危険がある地域の建物の買い上げや移築など、非構造物対策に分類される施策も実施している。

以下に示されているのは連邦の機関であり、事業の多くは州や自治体との予算シェアのもと行われる。また、土地利用規制などの氾濫原管理を直接実施しているのは自治体（Community）*である。

【主に構造物対策を担当している機関】

- ・陸軍工兵隊（Army Corps of Engineers : USACE）

大河川を対象として、舟運、洪水防御、水供給、レクリエーション、水力発電、水質管理などの様々な水資源関連施設の計画、設計、施工、運用、維持管理を行っている。

- ・農務省自然資源保全局（Natural Resources Conservation Service, Dept. of Agriculture）

小流域を対象とした治水事業を実施している。

- ・内務省開拓局（U.S. Bureau of Reclamation）

西部17州を対象として、灌漑、洪水防御、発電、レクリエーション、野生生物の保全、都市用水供給のための施設の計画、設計、施工、運用、維持管理を行っている。

- ・テネシー川流域開発公社（Tennessee Valley Authority : TVA）

テネシー川流域を対象として、舟運、洪水防御、発電の関連施設の計画、設計、施工、運用、維持管理を行っている。

【主に非構造物対策を担当している機関】

- ・連邦危機管理庁（Federal Emergency Management Agency : FEMA）

災害による被害軽減対策として、洪水保険、ダムの安全管理などを行っている。また、避難や物資貯蔵、警報伝達、被害評価、復旧、災害援助などの危機管理を行っている。

- ・中小企業庁（Small Business Administration : SBA）

災害援助として、企業や個人への復旧費用の貸付けを行っている。

3-3 アメリカの施策の特徴

アメリカの氾濫原制度をみると、実効性を確保するため、非常に巧妙な仕組みを作り上げていると感心する。このような制度を推進する背景となっているものは何だろうか。私見であるが、アメリカの氾濫原管理の推進の背景について考察してみた。

①納税者（TAXPAYER）への説明責任と効率性の追求

* この報告書では、Community を自治体と訳している。氾濫原管理を行う Community は、City、Town、Township、Borough、Village の集合体や郡（County、Parish）、ネイティブ・アメリカンの自治区など様々である。

日本でも、大規模な水害が起こると、公的な洪水保険の導入や洪水による被災者への援助が議論となる。被害を防ぐとともに、被災者の負担を軽減する。この政策目的が重要なのは当然であるが、同時に、そのために必要な費用をいかにして負担するのが望ましいのか、という議論も重要である。アメリカと比較すると、日本ではそのような視点が表立って議論されることは少ないように感じられる。アメリカで氾濫原管理施策の方向性が決められる際には、常に、誰が費用を負担するのか？という問いかけがある。受益及び費用負担の公正性という点について、日本よりも厳しくとらえているという印象を受ける。

洪水被害を誰が負担するべきかという問いには、社会全体（納税者全体）で負担すべきという考え方と、個人の責任に帰するべきという2つの考え方がある。前者については、政府による災害援助の根拠となるし、後者は可能な限りリスクに基づいた保険制度の適用を主張するであろう。現在の洪水保険制度及び氾濫原管理制度の改良の主要な目的は、災害援助がもたらす負担の軽減であり、方向としては後者の推進へと向かっている。

その論拠はこうである。補助や低利の融資を受けることで、水害の被害者が危険な氾濫原に住み続けることが可能となれば、より多くの人々が氾濫原に集まり、結果として将来に渡って社会（納税者）は多くの負担をしなければならない。災害直後に公正にみえる措置も、長期的に見ると非効率になってしまう。したがって、被災者の負担を社会全体で分かち合う場合には、長期的にみても負の結果をもたらさないようにすべきである。

現在の氾濫原管理を端的に表すキーワードは「持続可能性」であるが、これは、生態系の面のみを対象としているのではなく、経済・財政的側面も重要な要素とされている。すなわち、長期的に見て、財政的にも持続可能な施策を模索しているということであり、この考えが大きく政策決定に影響していると考えられる。

このように、経済的にみた持続可能性への追求が政策決定の背景になっていることは、1993年当時のFEMA長官の議会での言葉⁸⁾に端的に現れている。「我が国がもはや自然災害の高い費用を払うことができないという事実を直視するときが来た。アメリカの納税者への経済的費用をまかなえないだけでなく、共同体や個人への社会的費用もまかなうことができない。」

②インセンティブの重視

氾濫原管理には、法や条例による土地利用規制、建築基準などの規制的な手法と、危険な土地や建物の買い上げや移築、開発を促進するような公共施設を安全な場所に作ること、情報提供や教育、融資などの非規制的な方法がある。

現在の氾濫原管理の動向をみると、後者に重きを置くようになってきているといえる。1960年代から氾濫原の土地利用規制を行ってきたが、それだけでは安全な氾濫原利用の達成は難しいという認識に至ったからである。

近年の施策は、個人や自治体のインセンティブを重視する方向に向かっている。自治体が氾濫原管理を進めるほど住民が支払う保険料が安くなる制度（洪水保険の自治体格付けシステム）などがその例である。要するに、自治体が氾濫原管理を進めるほど住民が得を

するので、自治体の氾濫原管理を住民が推進するように仕向けるようになるということである。

③ダイナミックな施策

アメリカの施策の変更は極めてダイナミックである。また、一旦施策が導入されると、その施策の実施が極めて迅速に行われる。例えば、洪水地図（洪水保険料率地図）については、1968年の洪水保険制度の導入後には、全国を対象とした地図の作成が短期間のうちに進められている。日本では、平成5年頃から全国の一級河川を対象に洪水氾濫危険区域図の公表が進められたが、全国規模で統一的に洪水地図を整備して公表することが法制化されたのは、平成13年の水防法改正による浸水想定区域図の作成が最初である。しかし、一方では、短期間に広範囲の地図を作成したことで、精度上の問題が生じてきているのも事実であり、現在、地図の改良プロジェクトが進められている。このように、多少の問題が生じる可能性があっても、目指している方向に向けて施策を推し進めるという姿勢がみられる。このような姿勢が、構造物中心の時代から氾濫原管理へ、さらには、バイアウト等の近年の施策へと、ダイナミックに施策の導入が行われる理由であると考えられる。

近年、強力に推進されつつある氾濫原資産の買い上げ、移築（バイアウトプログラム）も、補助制度が整備されてから、既に20,000以上の建物を対象に実施されている。

4. 氾濫原管理の沿革

4-1 氾濫原管理の導入

19世紀初頭までの治水事業は、主に地方によって行われていた。しかし、1936年の洪水防御法（Flood Control Act）以後、連邦予算による大規模な治水事業が全国的に開始された。これ以降、ダム・放水路などを含む総合的な洪水防御手法が進められた。事業実施の妥当性は、費用便益分析（建設費用と土地の将来価値の増分の比較）によって判断された。1930年代には、ニューディール政策によって、テネシー川流域開発公社（Tennessee Valley Authority：TVA）を初めとする大規模な多目的ダムの建設が進められた。なお、TVAはテネシー川における多目的ダム群で有名であるが、先駆的な氾濫原管理事業も数多く行われている。土砂流出管理、森林再生、洪水地図の作成等である。1936年から1952年の間に、111億ドル以上の連邦予算が治水事業に投資され、そのうち100億ドルは陸軍工兵隊に配分された⁹⁾という（インフレ補正なし）。

一方で、構造物による構造氾濫が完全に防げるという認識により、氾濫原への資産や人口の集中を招き、さらに被害ポテンシャルが増加してしまうという現象が生じた。このような現象は“Levee Effect”と称されている。大規模構造物の建設にもかかわらず増え続ける水害被害に対して、氾濫原管理の実施が図られるようになる。洪水氾濫の危険性がある20,000の自治体のうち、1950年代末に洪水氾濫区域のゾーニングを行っていたのは100以下であった。すなわち、自然災害はゾーニングに考慮される対象ではなかったといっている。1960年代末になっても、ゾーニングの実施自治体は500以下であった¹⁰⁾。

1942年のGilber Whiteによる学位論文“Human Adjustment to Floods”³⁾では、「氾濫原の自然資源を最も有効に活用するとともに、実現可能で实际的な手段で洪水の有害な影響を最小化するため、人間による氾濫原環境の占有を適合させる」ことを主張した。Whiteが提示した対策は、まさに、現在行われている氾濫原管理施策そのものといえる。

1966年、White教授が議長を務める連邦治水政策専門委員会（Task Force on Federal Flood Control Policy）による「洪水被害を制御するための国家的統一プログラム」（A Unified National Program for Managing Flood Losses）では、洪水被害の危険がある場所での土地利用管理を含む幅広い手段を統一的に講じるという連邦方針が示された。これは、1936年からの70億ドルに達する治水プロジェクトへの投資にもかかわらず増え続ける洪水被害を抑制するという政府の要請によるものである。そして、これ以降、洪水保険や、洪水予警報システム、避難計画、家屋の耐水化、土地利用計画などの水害に対する脆弱性を減らすための施策が行われるようになった。

1968年、洪水保険法が成立し、連邦の補助による国家洪水保険が開始された。しかし、

氾濫原規制の実施という参加に必要な要件を満たしていた自治体は3,000に過ぎなかった。1973年の洪水災害防御法（Flood Disaster Protection Act）によって、自治体が規制を行わない場合には、連邦関係の貸付け、下水等のインフラへの投資の取りやめが行われるようになって初めて、多くの自治体が氾濫原規制を取り入れ、現在では9割以上の自治体が洪水保険に参加するようになった¹⁰⁾。

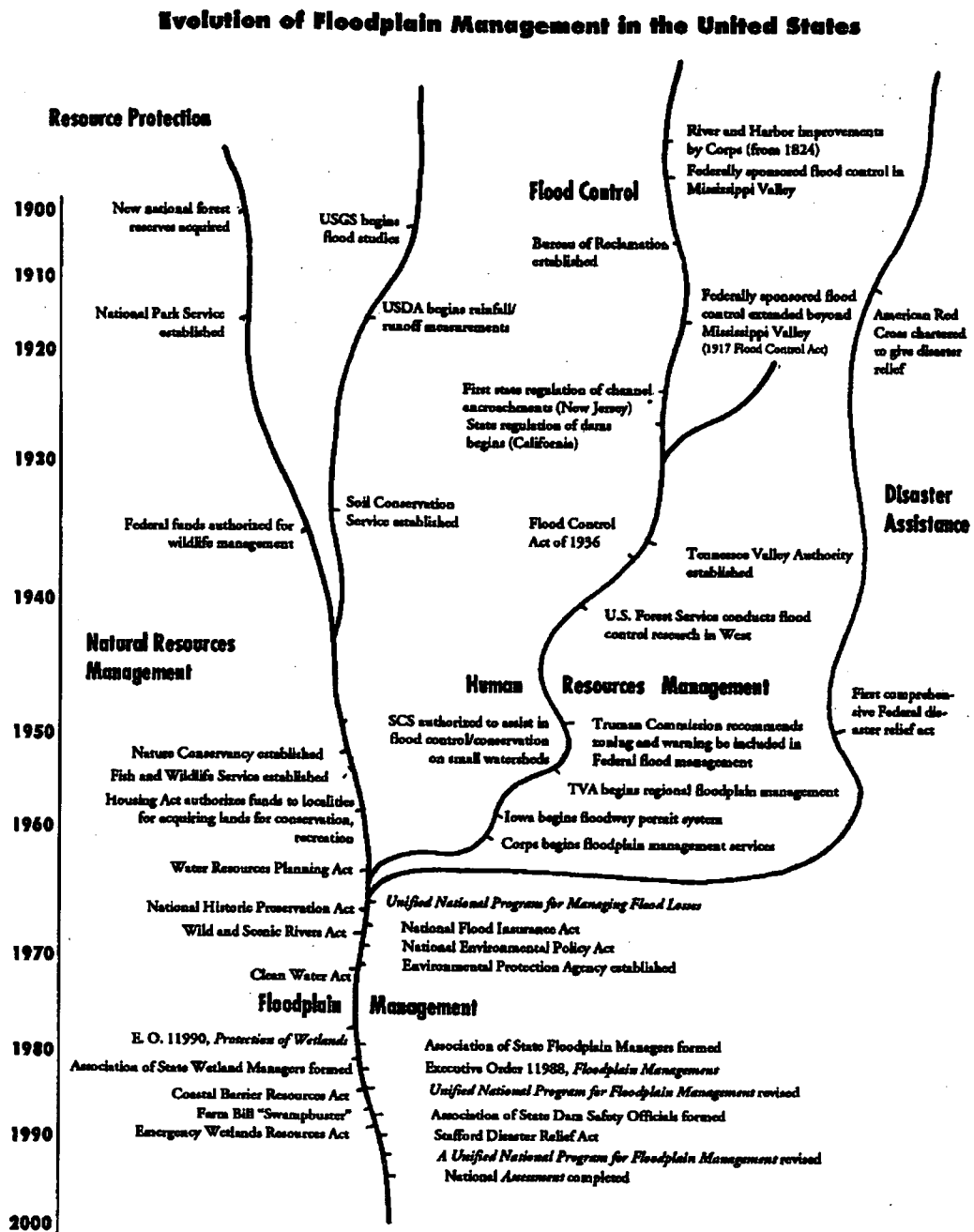


図 4-1 氾濫原管理の歴史¹¹⁾

4-2 現在の氾濫原管理へ（2つの提言）

1968年の洪水保険の導入と、1973年の制度改正により、アメリカにおける氾濫原の土地利用規制は強化されてきた。しかし、それ以降も、着実に氾濫原の開発は進んできた。そのようななか、以後の氾濫原管理施策を方向付ける報告書が出された。以下に紹介する2つの異なる報告書は、ほぼ同時期に独立に発表されたものだが、その目指すところはほぼ同じといって良い。

1993年には、連邦危機管理庁（Federal Emergency Management Agency : FEMA）の連邦多省庁氾濫原管理専門委員会（Federal Interagency Floodplain Management Task Force）により、「氾濫原管理のための国家的統一プログラム」（A Unified National Program for Floodplain Management）の改訂作業が開始された。時あたかも、米国中西部でミシシッピ川の大洪水が猛威を振るっていた。1994年に出された報告書¹²⁾では、2つの同等な政策目標が掲げられた。洪水による人命、資産の被害を軽減すること、並びに、氾濫原の自然資源及び機能を保全し回復することである。これは、氾濫原の賢明な利用（Wise Use）を目指すということにほかならない。また、この目標の達成のための効率的な手段は、より総合的な流域（Watershed）アプローチでの氾濫原管理を行うこととされ、次の4つの方策についての検証と将来への提言が示された。

- 1) 洪水による被害と混乱を避けるため、人間の被災可能性を小さくする（氾濫原の利用規制、耐水化、洪水予警報、緊急対応）。
- 2) 洪水を変化させる（構造物による対策）。
- 3) 洪水が個人や共同体に及ぼす影響を変える（洪水保険、情報提供・教育、災害救援、救済や復旧）。
- 4) 氾濫原の自然資源を保全、回復する。

一方、1993年の中西部の大洪水の要因分析にもとづき、1994年には、多省庁氾濫原管理調査委員会（Interagency Floodplain Management Review Committee）により、「共に挑む：21世紀に向けた氾濫原管理」（“Sharing the Challenge : Floodplain Management into the 21st Century”、通称 Galloway 報告）⁸⁾がとりまとめられた。参考として、Galloway 報告の概要訳を本報告書の付録1に添付してある。この報告は、アメリカの氾濫原の問題を以下の3点に集約している。

- ・ 第一に、1993年の中西部の洪水は、ミシシッピ川上流部だけでなく全国に渡って人々と資産が危険にさらされていることを示した。危険な場所にいる人々の多くは、その危険性の特性とそれがもたらす結果について知らないばかりでなく、その財政的負担も十分にしていない。
- ・ 第二に、我が国がミズーリ川上流の脆弱な生態系の重要性を十分に認識したのはつい最近のことである。過去二世紀に渡るハビタットの喪失により、我が国は深刻な生態系破壊の危機に直面している。

- ・ 第三に、連邦、州、部族及び地方自治体の氾濫原管理責任は明確に区分されなければならない。現在のところ、氾濫原管理に対する姿勢は連邦、州、部族、地方自治体によって大きく異なっている。

これらの認識の背景にあるのは、構造物に偏重した洪水被害軽減手法への反省、氾濫原の自然機能の重要性の認識、地方や個人のインセンティブを重視した効率的な施策の必要性の認識などである。そして、「政府の諸機関、企業、一般市民で責任を共有し、環境的、社会的、経済的側面から河川及び氾濫原をとらえて対処していく」という将来の変革の方向性が示された。そのためにすべきこととして、以下が掲げられている。

- ・ 氾濫原管理の達成のための責任と説明責任を、我が国の全レベルの政府、市民が共有する。連邦政府のみでは達成不可能であるとともに、支配的な役割を果たすべきでもない。
- ・ 将来目標として、洪水の危険性と被害への国家の脆弱性を軽減し、氾濫原の自然資源及び機能を保護、向上することを同時にかつ統合的に行う。このアプローチは、氾濫原の無分別な使用を避け、氾濫原が使用される場合は脆弱性を最小化し、使用されている場合は被害を軽減する。
- ・ 全レベルの政府が効果的な氾濫原管理を実施したり、参加したりするのに必要な支援と道具を提供する連邦のプログラムを構築する。

この方針にもとづき、報告書には具体的な提言が多数示されている。以下に、主要な提言項目を例示する。

- ・ 氾濫原の環境向上と流域の貯留機能の確保のため、より効率的、効果的なプログラムを実施する。例えば、土地取得プログラム（バイアウト）の活用施策を実施する。
- ・ 国家洪水保険プログラム（NFIP）を改良し、被害軽減活動のインセンティブを重視したものにする。例えば、繰り返し被害の防止のため、保険金請求毎に保険料を増額する。水害で被害をうけた家屋の修繕時に耐水化を併せて行う場合にも、保険金を支払う。また、洪水保険地図の精度、カバー範囲を向上するための技術開発を行う。
- ・ 氾濫原の脆弱性を軽減するため、考え得る代替案の適用（氾濫原からの移築など）
- ・ 連邦、州、地方自治体による一連の（streamlined）災害対応（災害前、緊急対応、復旧、被害軽減策）を確立する。被害軽減策の推進のため、バイアウト（氾濫原の資産の買い上げ）への予算措置などを充実する。洪水保険プログラム（NFIP）の自治体格付けシステム（CRS）により、州と自治体の被害軽減策を支援する。
- ・ 科学技術を活用し、災害情報の収集、提供のためのシステムを開発する。

5. 洪水保険制度

5-1 洪水保険制度の概要

(1) 洪水保険とは

アメリカで行われているが日本では導入されていない施策の一つに、国家による洪水保険制度がある。洪水保険とは、洪水により発生した被害の再分配制度であり、被害を被った住民が保険金を受け取ることにより、経済的な被害を軽減し、生活再建を支援するというものである。アメリカの洪水保険制度は、このような被災者の救済といった側面に加えて、氾濫原管理と連携している点に大きな特徴がある。

政府によって運営されている洪水保険制度には、以下のような長所がある。

まず、民間保険と違い、連邦補助の後ろ盾があるため、保険金の支払いによる破綻の危険がないことである。アメリカでも19世紀末に民間の洪水保険が存在したが、大洪水の発生後に破産した。洪水保険を購入する人は、当然ながら洪水の危険性が高いところに住んでいる人であり、いわゆる逆選択 (Adverse Selection) が生じてしまう。しかし、連邦政府の後ろに控えていることで、この問題を解決することができ、浸水の危険性がある地域の住民が支払い可能な保険料率で加入することができるようになっている。また、技術的に浸水危険度を高精度で予測することが可能となるため、被害のポテンシャルに応じた保険料率設定が可能となる。

さらに、政府が運営していることで、氾濫原の開発などの規制が可能となる。洪水保険と自治体による氾濫原管理、さらには個人による被害軽減策をリンクすることで、洪水氾濫の危険性が高い地域における開発を抑制し、既存の建物を洪水から防御することができる。

連邦危機管理庁 (Federal Emergency Management Agency : FEMA) による Homeowner's Guide to Retrofitting¹³⁾に、アメリカの洪水保険プログラム (National Flood Insurance Program : NFIP) の目指すところが簡潔に書かれているので引用しておく。

NFIPは強制ではないプログラムで、洪水による人命損失や被害を防ぎ、洪水の被害者を支援し、納税者が負担している洪水被害の費用を軽減することを目的としている。

この目的の達成のため、以下の手段が講じられている。

- ・ 洪水の危険がある地域での将来の開発を抑制する。
- ・ 特別洪水危険地域で新しく建てられる建物、実質的に改良される建物、実質的に被害を受け修復される建物に、洪水被害を軽減するための氾濫原管理条例や法律に従うことを要求する。
- ・ 洪水の後、氾濫原の住民に金銭的支援を行う。

- ・ 特別洪水危険地域の建物に対して洪水保険の購入を要求することで、洪水被害の費用を納税者から氾濫原内の建物の所有者に転嫁する。

(2) 洪水保険プログラムの概要^{1)、2)ほか}

1968 年、洪水保険法 (National Flood Insurance Act) の施行により洪水保険制度 (National Flood Insurance Program : NFIP) が開始された。当初はプログラムに参加する自治体は少なかったが、1973の洪水災害防御法 (Flood Disaster Protection Act) により、洪水多発地帯での地方自治体の強制参加 (プログラムに参加していない自治体に対しての連邦関係の貸付けを禁止) や不動産担保貸し付けに対する保険加入の義務化により、参加自治体が急速に増加した。1994年には、洪水保険法が改正 (National Flood Insurance Reform Act) され、自治体による氾濫原管理や被害軽減事業をより積極的に推進する基盤が整えられた。

NFIPは連邦危機管理庁 (FEMA) の連邦保険・被害軽減局 (Federal Insurance and Mitigation Administration : FIMA) によって運営されている。プログラムは緊急 (Emergency) プログラムと通常 (Regular) プログラムに分類される。保険料率は、FEMA による洪水保険調査 (Flood Insurance Study : FIS) に基づき発行される洪水保険料率地図 (Flood Insurance Rate Map : FIRM) に示された危険度に応じて設定される。FISが行われる前に適用されるのが緊急プログラムであり、浸水危険度に応じた保険料率が適用されず、保険額も限られている。FIRMの公表後には、通常プログラムへの移行が可能となり、限度が引き上げられた保険に加入できるようになる。



写真5-1 連邦危機管理庁 (FEMA)

洪水氾濫の危険が高い場所に位置する地方自治体は、NFIPに参加するかどうかを選択することができる。参加する場合には、FEMA が定める基準に沿った氾濫原規制法 (条例) の制定が必要条件となる。

また、NFIPに参加している自治体内にある建物・資産の所有者の全ては、洪水保険に加入することができる。氾濫原管理や保険購入の対象となる氾濫原は、特別洪水危険地域 (Special Flood Hazard Area : SFHA) とよばれ、1/100以上の浸水発生確率がある地域で

ある。この 1/100 という数値は、水害による人命・資産被害を最小化するための氾濫原内の建築物の規制と、氾濫原開発による経済的便益の両方を考慮して決定された。

自治体のプログラムへの参加を推進するため、いくつかの対策がとられている。自治体がプログラムに参加しなければ、住民は洪水保険を購入できない。また、SFHA 内での建物の取得や新築に際しても、連邦関連の貸付けを受けることができない。さらに、大統領による災害宣言*があった場合にも、被災建物の恒久的な修復、再建に対する連邦の支援を受けることができない。

洪水保険の購入は義務ではないが、危険度が高い地域の住民の保険加入率を引き上げるための対策もとられている。SFHA 内での建物の購入・建設に際して、連邦からの貸付けを受ける場合には、洪水保険を購入する義務がある。また、1994 年の法改正により、SFHA 内の建物を抵当にした融資に際して、融資機関は洪水危険度決定の標準様式 (Standard Flood Hazard Determination Form : SFHDF) の作成を義務づけられるようになった。建物が SFHA 内にある場合、融資機関は保険購入の義務があることを借り手に知らせなければならない (違反に対して罰金あり)。洪水保険の購入義務や取得可能性を明らかにすることで、法的に要求されている保険の購入を確実にすることが目的である。また、家屋の所有者が保険に入らない場合、融資者が代わりに保険購入し、保険料や手続き量を徴収することとなった。

(3) 保険料率と填補額

保険料率には、被害の期待値から保険数理的 (Actuarial) に算定された料率と、政治的配慮により補助で低く抑えられた (Subsidized) 料率がある。保険数理的な方法では、浸水深と資産被害率の関係及びその浸水深の発生確率から被害の期待値が計算され、それに諸経費や支払い控除額 (Deductible) 等を考慮して料率算定される。支払い控除額の存在は、保険金支払いを期待して被害軽減努力を怠るというモラルハザードを防ぐためのものである。

表 5-1、表 5-2 に、保険の填補額及び保険料の例を示す。

* 大統領による災害宣言 (Presidential Declaration of Disaster) : 大災害の後、州知事の要請により発せられる。災害の犠牲者に直接援助が行えるようになる。災害援助及び緊急援助法 (通称スタフォード法) に規定されている。

表 5-1 洪水保険の最大填補額(\$)¹⁴⁾

| | 緊急プログラム | 通常プログラム |
|-----------|---------|---------|
| 建物 | | |
| 一世帯住居 | 35,000 | 250,000 |
| 二～四世帯住居 | 35,000 | 250,000 |
| その他の住居 | 100,000 | 250,000 |
| 住居以外 | 100,000 | 500,000 |
| 家財 | | |
| 住居 | 10,000 | 100,000 |
| 住居以外 | 100,000 | 500,000 |

※一般的な標準洪水保険証書 (Standard Flood Insurance Policy) に対して

表 5-2 100,000 ドルの填補に対する保険料の例¹⁵⁾

(一世帯が住む住居に対する標準的な保険証書)

| 建築時期 | 危険等級ゾーン区分 | その他の要素 | 保険料 (\$) |
|-------------------------|---------------------------|--|----------|
| 洪水保険料率地図 (FIRM) 作成以前 | ZONE A1-30, AE, AO, AH | 地下室なし | 620 |
| | | 地下室あり | 710 |
| 洪水保険料率地図 (FIRM) 作成以後 | ZONE A1-30, AE | 1 階建て 基準洪水位 (BFE) に地下室なし | 496 |
| | | 1 階建て 地下室／壁で囲われた部屋(水の 浸入を許容) なし BFE より 1 フィート高い | 341 |
| | | 1 階建て 地下室なし BFE より 1 フィート低い | 1,476 |

※危険等級ゾーン区分：7-2(2)を参照

(4) 運用状況

洪水保険プログラム (NFIP) は連邦により運営されているが、実際の保険証書販売は、民間保険会社及び連邦危機管理庁 (FEMA) によって行われている。1983 年より、保険会社は標準保険証書 (Standard Flood Insurance Policy) に独自の商品名を付けて販売することを許されている (WYO : Write Your Own プログラム)。こうすることで、保険の販売を促進し、民間保険会社のノウハウを活用することを目的としている。現在、保険の販売の約 9 割は保険会社によって行われている。

2000年1月時点で、19,712 の自治体が加入している。その約1%が緊急プログラムに留まっている¹⁴⁾。2001年には約450万件の保険契約があり、約6,000億ドルが填補されている¹⁵⁾。

図5-1、表5-3、図5-2、表5-4に保険契約及び保険金の支払いに関する統計を示す。保険料と保険支払い額の推移（図5-2）をみると、ほとんどの年では、保険料収入が支払いを上回っている。大水害があった1993年などでは、保険金の支払いが保険料を超過している。

洪水による被害が大きく、保険金の支払額が大きいとき、NFIPは国庫から借り入れをして保険金を支払う。その後、利子とともに国庫からの借入金を返済する。例えば、2001年には、それ以前の数年間に蓄積されていた16億ドルの借入金の返済を終えている。

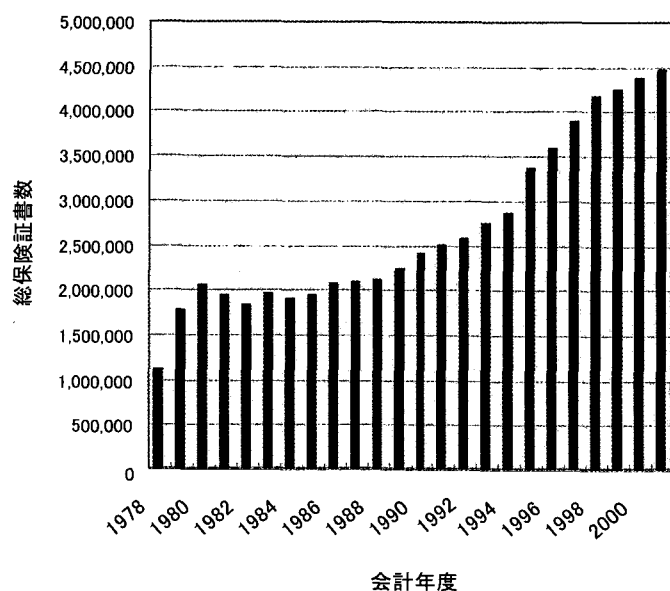


図5-1 保険証書数の推移(15)をもとに作成)

表5-3 保険契約状況の推移(15)をもとに作成)

| 会計年度 | 総保険証書数 | 総保険料 | 総填補額 |
|------|-----------|-----------------|-------------------|
| 1978 | 1,130,100 | \$87,031,252 | \$38,826,340,000 |
| 1979 | 1,788,126 | \$136,869,083 | \$70,114,213,000 |
| 1980 | 2,058,601 | \$155,271,780 | \$93,962,605,000 |
| 1981 | 1,952,098 | \$231,675,571 | \$102,034,298,000 |
| 1982 | 1,840,514 | \$313,118,975 | \$103,436,159,000 |
| 1983 | 1,961,547 | \$387,913,852 | \$115,601,117,000 |
| 1984 | 1,912,426 | \$412,106,533 | \$121,444,094,000 |
| 1985 | 1,949,827 | \$432,032,431 | \$133,887,985,000 |
| 1986 | 2,077,717 | \$490,867,108 | \$150,942,534,000 |
| 1987 | 2,089,667 | \$551,794,235 | \$161,453,248,000 |
| 1988 | 2,120,097 | \$568,630,635 | \$171,867,209,000 |
| 1989 | 2,245,430 | \$620,458,816 | \$256,291,966,000 |
| 1990 | 2,415,883 | \$655,460,565 | \$210,005,287,000 |
| 1991 | 2,501,638 | \$707,955,730 | \$219,587,003,000 |
| 1992 | 2,577,728 | \$777,031,608 | \$231,386,220,000 |
| 1993 | 2,757,472 | \$857,257,174 | \$258,457,750,000 |
| 1994 | 2,871,451 | \$948,831,361 | \$281,179,730,000 |
| 1995 | 3,369,447 | \$1,090,531,519 | \$332,165,045,000 |
| 1996 | 3,586,768 | \$1,215,102,981 | \$385,300,750,000 |
| 1997 | 3,889,598 | \$1,399,297,049 | \$428,762,579,000 |
| 1998 | 4,182,868 | \$1,615,105,025 | \$491,028,843,000 |
| 1999 | 4,253,567 | \$1,681,636,532 | \$519,429,732,000 |
| 2000 | 4,377,150 | \$1,727,177,333 | \$562,202,936,000 |
| 2001 | 4,474,652 | \$1,747,426,181 | \$605,988,054,000 |

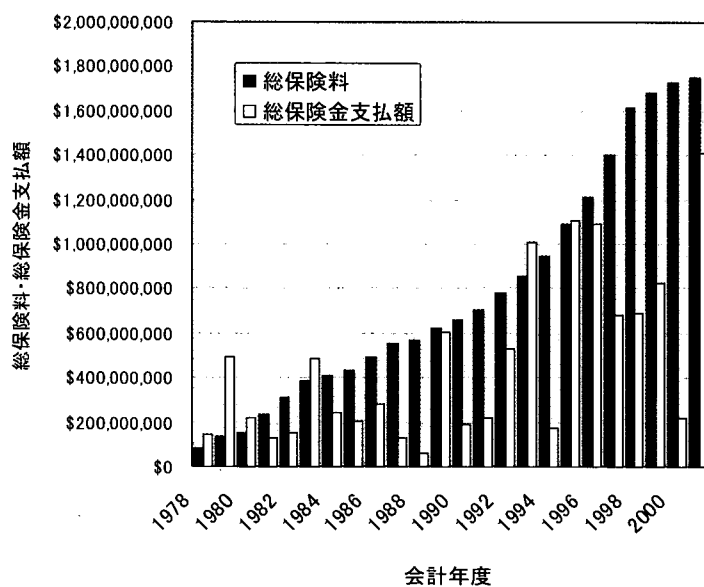


図5-2 保険料と保険支払い額の推移(15)をもとに作成)

表5-4 保険支払い状況の推移(15)をもとに作成)

| 会計年度 | 総保険金支払額 | 総保険金支払回数 |
|-------|------------------|----------|
| 1978 | \$144,042,315 | 29,890 |
| 1979 | \$493,008,836 | 71,652 |
| 1980 | \$219,449,804 | 39,354 |
| 1981 | \$127,170,169 | 24,399 |
| 1982 | \$148,618,700 | 26,806 |
| 1983 | \$484,549,022 | 57,432 |
| 1984 | \$242,600,803 | 27,542 |
| 1985 | \$206,214,443 | 26,741 |
| 1986 | \$280,732,782 | 24,471 |
| 1987 | \$130,395,375 | 16,141 |
| 1988 | \$61,211,344 | 8,666 |
| 1989 | \$608,846,161 | 31,626 |
| 1990 | \$186,325,676 | 16,707 |
| 1991 | \$217,262,529 | 19,574 |
| 1992 | \$527,342,903 | 30,850 |
| 1993 | \$1,004,520,991 | 61,047 |
| 1994 | \$170,867,074 | 13,022 |
| 1995 | \$1,104,380,235 | 59,021 |
| 1996 | \$1,090,895,143 | 52,829 |
| 1997 | \$683,712,342 | 41,752 |
| 1998 | \$690,630,329 | 53,062 |
| 1999 | \$828,905,393 | 38,293 |
| 2000 | \$221,610,970 | 21,217 |
| 2001 | \$1,409,758,172 | 51,458 |
| 2002 | \$272,892,322 | 17,748 |
| Total | \$11,555,943,833 | 861,300 |

5-2 洪水保険と土地利用規制¹⁶⁾ほか

(1) 洪水保険と連動した氾濫原管理

洪水保険プログラム（NFIP）では、氾濫原における新規開発を抑制し、洪水の脅威の増大を防止するため、NFIPに連動した氾濫原規制を要求している。自治体がNFIPに参加するためには、最低限の内容を含む氾濫原規制法の制定・施行が必要とされる。多くの自治体は、NFIP参加に必要な要件よりも強い規制を行っている。

洪水保険料率の算定の基準となる洪水保険料率地図（FIRM）が作成されておらず、緊急プログラムに参加する場合には、氾濫原内での開発許可に際して浸水に対して安全かどうかを確認するなど、最低限の氾濫原管理が要求される。開発許可の請求が特別洪水危険地域内の場合には、建物の浮遊、倒壊、移動が生じないよう適切に固定され、耐水性の材料で建てられることが要求される。

FIRMが作成され、通常プログラムに移行する場合には、保険の限度額が引き上げられるとともに、より高度な氾濫原規制が要求される。自治体の氾濫原管理に関する規制は、自治体の建築基準法、ゾーニングや土地の細分に関する条例（Subdivision Ordinance）等の土地利用規制法、その他の条例や法律に示されている。自治体には、氾濫原管理に関する条例や法律に適合しているかを確認する義務がある。

自治体が要求している項目は以下のようなものである¹⁷⁾。

- ・ 特別洪水危険地域（SFHA）で新規に建物を建てたり、実質的な改築*を行ったりする場合には、最も低い床面（地下を含む）の標高を取得する。
- ・ 最も低い床面より下の囲まれた場所は、駐車場や建物への進入路、貯蔵庫としてのみ使用可能であり、浸水の可能性がある場合には、壁の内外の水圧が自動的に釣り合うように氾濫水の出入りを許容しなければならない。
- ・ 新築あるいは実質的な改築にあたっては、設計洪水位（Design Flood Elevation: DFE）よりも高く嵩上げもしくは耐水化する。DFEの高さは、最低で1/100発生確率の基準洪水位（Base Flood Elevation: BFE）**で、自治体によってはそれに1フィートの余裕高（Freeboard）を加えている。余裕高は、波や土砂、橋の堰き上げによる水位上昇等の不確定要素、データの誤差を考慮するものである。
- ・ 自治体は、FIRMに示される洪水路（Floodway）***をもとに、規制洪水路（Regulatory Floodway）を指定し、いずれの地点でも洪水位を1フィート以上上昇させることなく、基本となる洪水（1/100洪水）流量を流下させるようにしなければならない。また、規

* 実質的な（Substantial）改築：建物の市場価格の50%に相当する額の改築が行われる場合を示す。実質的な被害も同様である。

**基準洪水位（Base Flood Elevation: BFE）：特別洪水危険地域（SFHA）内の氾濫原において盛土等による水位上昇が生じる前の1/100洪水位を示す。

***洪水路（Floodway）：1/100洪水位を大幅に（通常1フィート以内）上昇させることなく1/100洪水を流下させるための範囲で、河道とその周辺部にあたる。

制洪水路内では、1 フィート以上水位を上昇させるような盛土、新築、実質的な改築などを禁止する。

- ・ 特別洪水危険地域（SFHA）内での建物の取得、建築に際して連邦政府の補助金、貸付を受けるためには、洪水保険の購入が要求される。
- ・ 既存建物の実質的な改築及び実質的な被害の修復（原状復帰に市価の 50%以上）については、一般的に BFE 以上に嵩上げすべきとされている。非住居建物の場合は、嵩上げするか耐水化しなければならない。自治体によっては、より厳しい基準を課している場合もある。

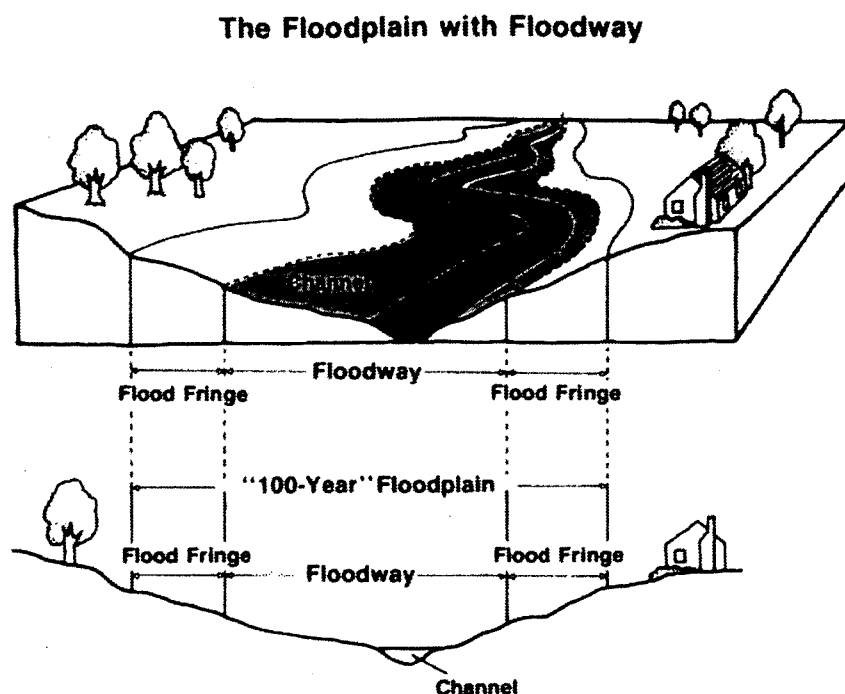


図 5-3 氾濫原と洪水路（Floodway）¹¹⁾

(2) 近年の制度改良

1990 年代に入ってから、洪水保険プログラム（NFIP）にはいくつかの改良がなされた。まず、1990 年には、自治体がより強い氾濫原管理を進めるインセンティブとなるよう、自治体格付けシステム（CRS）が導入された。さらに、1994 年には洪水保険法の改正が行われた（National Flood Insurance Reform Act）。この法改正の主目的は、氾濫原管理事業をより一層推進するとともに、氾濫原規制のより強力な適用を目指すことにある。特に、この法改正で被害軽減措置を積極的に支援するための補助制度が設立されたことで、バイアウト（建物の取得、移築）事業が推進されることとなった。バイアウトについては、第 6 章で詳しく説明している。

以下に、1994 年の法改正ほかの制度改良点を示す。

・自治体格付けシステム（Community Rating System : CRS）の導入

洪水保険プログラムに参加するのに最低限要求される以上の氾濫原規制を行っている自治体に対しては、住民が支払う保険料を軽減する制度。最高 45%の保険料割引（10 段階）がある。導入は法改正以前の 1990 年だが、法改正で成文化された。

・洪水被害軽減事業支援プログラム（Flood Mitigation Assistance Program）の設立

州及び自治体による特別洪水危険地域（SFHA）内の被害軽減事業への連邦補助制度で、洪水被害の発生に関係なく毎年支給される。NFIP に参加しており負担金を納めている州、自治体が補助の対象である。様々な被害軽減事業（建物の嵩上げ、移築、取得、耐水化、養浜、地方政府や個人への技術支援等）や州や自治体による計画の策定を支援するため、洪水被害軽減基金（National Flood Mitigation Fund）が設立された。州及び自治体は、FEMA により認められた Flood Hazard Mitigation Plan を事前に策定していなければならず、これによって優先順位がつけられる。75%が連邦、25%が州や自治体の負担による基金で、毎年 2000 万ドルが国家洪水保険基金（National Flood Insurance Fund）からこの基金へと移される。

被害軽減事業支援プログラム（Flood Mitigation Assistance Program）に示された洪水被害軽減計画（Flood risk mitigation plan）の内容（1994 法改正より）

- (A) 湖そのほかの岸で浸食や洪水で倒壊、沈下の危険が差し迫っていると認定された場所にある建物の解体や移築。
- (B) 特別洪水危険地域（SFHA）やその他の洪水リスクを有する場所にある建物（公共を含む）の嵩上げ、移築、破壊、耐水化。
- (C) 特別洪水危険地域（SFHA）やその他の洪水リスクを有する場所にあり実際に被害を受けた資産（公共を含む）の州または自治体による取得。資産は、健全な土地利用管理と使用に沿っていると長官に認定された公共目的に利用される。
- (D) 堤防などのような大規模治水施設ではない小規模な被害軽減施設（ただし、長官が最も費用対効果が良いと認めた場合をのぞく）。連邦政府の施設と重複せず、洪水の頻度と規模を小さくすることで被害を小さくするもの。
- (E) 養浜。
- (F) 州による自治体への技術指導（被害軽減に関して）。
- (G) その他長官が適切と認め規制に示したもの。
- (H) その他示されたもの。

・洪水保険料率地図の作成技術に関する諮問委員会（Technical Mapping Advisory Council）の設立

洪水保険料率地図の精度と品質向上について審議する委員会の設立。詳しくは第 7 章を参照のこと。

・規制適合のための追加的費用（Increased Cost of Compliance : ICC）のカバー

洪水により実質的な被害を被った場合でも、追加的にかかる費用が負担できず、氾濫原

規制に適合した建物にすることができない所有者が問題となっていた。以前の標準洪水保険証券（SFIP）では、修築の費用はカバーされるものの、氾濫原規制に適合するための追加的費用はカバーされなかった。1997 年より、規制適合のための追加的費用（Increased Cost of Compliance : ICC）が標準的な洪水保険証書に加えられ、氾濫原規制に適合するための改築費用が保険でカバーされるようになった。建物が実質的に被害を受けた、あるいは繰り返し被害を受けていると認定された場合で、氾濫原規制（州や地方の氾濫原規制法や条例）に適合するように被害を修復する場合に適用される。最大で\$20,000 が支払われる。

(3) 自治体格付けシステム¹⁸⁾

自治体格付けシステム（Community Rating System : CRS）は、NFIP への参加に際して要求される最低限の基準以上の氾濫原管理活動を評価し、支援するため 1990 年に始められた。自治体に対し、氾濫原管理へのインセンティブを与えようというのがねらいである。1994 年の洪水保険法の改正で法的に明文化された。

この制度では、自治体が行う氾濫原管理事業による洪水リスクの軽減が保険料に反映される。評価対象となる事業は、下記の政策目的に合致しているものである。

- 1) 洪水被害の軽減
- 2) 的確な保険料率の設定
- 3) 洪水保険への意識高揚

自治体は、氾濫原管理事業のレベルに応じて 10 の階級に格付けされる。階級は、表 5-4（階級表）に示された得点の積算で決められる。階級 1 に格付けされるためには最も多くの得点を必要とするが、最も大きな保険料率の引き下げが受けられる。階級 10 には保険料率の引き下げはない。CRS に参加していない自治体あるいは得点がない自治体は階級 10 である。自治体の参加は自由であるが、階級 10 より上を目指すには、洪水保険プログラムが要求する規則や規制に従う必要がある。

得点が与えられる氾濫原管理事業として、18 の事業が認定されている。それぞれの事業種別には 300 から 600 までの識別番号が振られている。各事業には、CRS の目的への適合度合いに基づいて異なる点数が与えられている。また、8 つの特別災害（例えば、海岸浸食、津波、Ice Jam）に一つ以上に晒されている自治体は、追加的な得点を得られる。

得点配分をみると、識別番号 520 の建物取得や移築、530 の家屋の改築が大きい。ただし、これらの実施例はまだ少ない。実施の困難性からであろう。

これまでの実施状況には、以下のような特徴がある。

- 900 以上の自治体が保険料率の割引を受けている。NFIP 参加自治体数が約 19,000 なので、CRS 参加は 5 %に過ぎない。しかし、これらの自治体は、保険証書数で 66%を占めている。
- CRS への参加自治体は全米に広がっているが、フロリダで最も多い。これは、高い洪水危険度にさらされているため意識が高く、保険契約が多いからである。ま

た、ノースカロライナ、カリフォルニア、ニュージャージー、コロラドなど氾濫原管理に関する活動的リーダーの多いところも参加が多い。

- 参加は過去 5 年間順調に伸びてきており、自治体は氾濫原管理をより進めて CRS 階級をあげている。
- 氾濫原管理に要する支出については、資産や人命被害の提言によって正当化できる。このような利益は保険契約者以外を含む全ての住民が享受している。CRS の 2 つの大きな利益は、地域の被害軽減 (Mitigation) 事業を国が評価し、洪水保険の賢明な購入者の保険料を引き下げることである。後者については、926 自治体の合計で毎年 7 千万ドルの保険料の節約に相当するという。
- 2000 年 10 月の段階での 926 自治体の階級分布表をみると、半分以上が階級 8 以上に良い階級である。現在最も高い得点を獲得しているのは、タルサ、オクラホマで初の階級 3 となっている。それに続く自治体は、階級 5 となっている。

表 5-4 CRS の得点表

| CRS で与えられる得点 | | | | |
|----------------------|-----------|-------|-------|------------|
| 事業種別 | 取得可能な最大得点 | 平均獲得点 | 最小獲得点 | 得点を得た自治体の率 |
| 300 住民への情報提供 | | | | |
| 310 標高証明 | 142 | 72 | 142 | 100% |
| 320 地図情報 | 140 | 138 | 140 | 97% |
| 330 住民参加プロジェクト | 290 | 81 | 260 | 77% |
| 340 危険情報の公開 | 81 | 24 | 81 | 5% |
| 350 洪水防御図書館 | 30 | 22 | 30 | 86% |
| 360 洪水防御の支援 | 71 | 57 | 71 | 41% |
| 400 地図の作成及び規制 | | | | |
| 410 追加的洪水データ | 1,230 | 148 | 538 | 24% |
| 420 空地の保全 | 900 | 206 | 743 | 85% |
| 430 より高度な規制 | 1,750 | 159 | 658 | 76% |
| 440 洪水データの管理 | 226 | 78 | 170 | 66% |
| 450 雨水管理 | 670 | 132 | 430 | 79% |
| 500 洪水被害軽減 | | | | |
| 510 氾濫原管理計画 | 235 | 34 | 178 | 12% |
| 520 家屋の取得と移築 | 3,200 | 177 | 1,700 | 9% |
| 530 家屋の改築 | 2,800 | 66 | 352 | 5% |
| 540 排水施設の管理 | 330 | 236 | 305 | 77% |
| 600 洪水への事前対応 | | | | |
| 610 洪水警報 | 200 | 99 | 200 | 28% |
| 620 堤防の安全確保 | 900 | 153 | 520 | 1% |
| 630 ダムの安全確保 | 120 | 66 | 98 | 91% |

5-3 現在の問題点 19)ほか

洪水保険制度には、いくつかの問題が指摘されている。

第一に、様々な加入推進のための方策にも関わらず、依然として低い保険加入率である。SFHA の建物の 20~30%程度しか保険加入していないといわれている。この理由として、洪水の危険性に対する意識が低いことや、危険性が正しく認識されていないということがあげられる。また連邦による災害援助が受けられるという意識があり、保険の購入を妨げ

ているという指摘もある²⁰⁾。

また、プログラムの収支を圧迫している問題として、繰り返し被害 (Repetitive Loss) がある。繰り返し被害を受けている資産は保険契約全体の 1 % だが、保険支払いの 30 % になるという¹⁸⁾。FEMA では繰り返し被害の防止のため、繰り返し被害を受けている建物を特定し、Repetitive Loss Property (RLP) として指定している。そして、それらの建物の取得、移築、嵩上げ、耐水化に優先的に融資している。近年行われている被害軽減事業や、規制適合のための追加的費用 (ICC) を保険でカバーできるようにしたことも、繰り返し被害対策の一環である。

繰り返し被害建物 (RLP) の特定基準¹⁴⁾

所有者の変更の有無に関わらず、1978 年以降に次のいずれかの被害を受けている建物を繰り返し被害建物とする。

- ・ 4 回以上の保険金支払いがある。
- ・ 過去 10 年間に、資産の現在価格以上の保険金支払いを 2 回以上受けている。
- ・ 資産の現在価格以上の保険金支払いを 3 回以上受けている。

また、浸水の危険性がある地域の指定に関する問題もある。特別洪水危険地域 (SFHA) の指定は 1/100 確率の浸水域に基づいているが、大水害では、その範囲外とされた地域での浸水が多数発生している。洪水保険の支払い要求の 1/3 は危険性が比較的低いとされている地域で発生しているという。この原因は、局所的な排水システムの問題であるが、洪水保険料率地図 (FIRM) では、このような種類の浸水は考慮されていない。内水氾濫や局所的な排水不良による浸水の取り扱いは、日本の洪水ハザードマップの作成に際しても議論になるが、それと同様の問題に直面している。また、FIRM の作成は、人口増の著しい地域から優先して行われてきたが、地図化されていない地域も多い。これらの問題に対処するため、1994 年の法改正により洪水保険料率地図の作成技術に関する諮問委員会 (Technical Mapping Advisory Council) が設立され、現在、地図の近代化プロジェクト (Map Modernization Project) 等が推進されている (第 7 章参照)。

6. 氾濫原管理のあらたな動き バイアウト

6-1 バイアウトとは

(1) 施策導入の背景 ^{21)ほか}

前章では、アメリカにおける氾濫原管理は、洪水保険プログラム（NFIP）と連動することとで推進されていることを紹介した。NFIP では、特別洪水危険地域内（SFHA）の新築、実質的な改築、さらには実質的な被害を被った場合の修築を行う場合、氾濫原管理規制に従うように求める仕組みになっている。しかし、なかなか軽減されない繰り返し被害の発生は、保険支払いや災害援助により連邦予算を圧迫し続けている。例えば、大統領の災害宣言による災害救援への連邦支出は、1950 年の災害救済法（Federal Disaster Relief Act）開始時には 500 万ドルだったのに対し、1990 年代には毎年数十億ドルにふくれあがったという。

アメリカの災害援助 ^{20)・23)}

アメリカにおける災害援助は、1950 年の災害救済法（Disaster Relief Act）及び 1974 年のスタフォード災害救済及び緊急援助法（Robert T. Stafford Disaster Relief and Emergency Assistance Act）に基づいて行われる。大統領が州知事の要請により災害宣言（Presidential Declaration of Disaster）を発すれば、犠牲者に直接援助できる。80%以上の災害宣言は洪水を対象としている。州、自治体への援助の主財源は、FEMA が所管する災害援助基金（Disaster Relief Fund）である。費用の 75% を FEMA、残りを州が負担する。その多くは、利息付きの貸付けである。

災害後の援助には FEMA によるもの以外にも様々なプログラムがある。災害援助には 30 近くの機関が関係し、大小合わせると数十のプログラムが存在している。代表的なものを二つあげておく。

・ 中小企業庁（Small Business Administration : SBA)による低利融資

大統領もしくは SBA 長官による災害宣言により実施される。企業向けと個人向けがある。企業向けは、保険が掛けられていない不動産、機械、在庫品等の修復や買い替えに適用され、最大で\$1,500,000 の融資が受けられる。個人向けは、保険が掛けられていない不動産や個人資産の修復や買い替えに対して低利融資される。不動産に対しては最大で\$200,000、その他個人資産に対しては最大で\$40,000 が貸付けられる。

・ FEMA による個人及び世帯補助（Individual and Family Grant）

災害で被害にあった一般世帯向けの補助制度で、保険で填補されず、SBA の融資も受けられない場合に、最大で 14,400 ドルが受けられる。連邦が 75%、州が

25%を負担する。大統領による災害宣言があり、州知事の要請があった場合に実施される。

増大し続ける連邦の災害援助に歯止めをかけるため、被害軽減（Mitigation）事業の必要性が叫ばれるようになった。1974 年のスタフォード災害救済及び緊急援助法（Robert T. Stafford Disaster Relief and Emergency Assistance Act）では、大統領の災害宣言後に連邦の災害援助により補助や貸付けがされる場合には、土地利用や建築手法を含めた被害軽減対策を検討するという手続きが定められた。また、この法律により、現在行われている「バイアウト」に類する被害軽減事業が可能となった。1988 年の同法改正では、連邦の災害援助を受ける際の被害軽減対策の適用可能性の評価手続きを要求している。また、災害復旧時に被害軽減対策を講じる場合には、事業費の 50%までの連邦補助が可能で、全災害援助予算の 10%までを充当できると規定した。

(2) バイアウトプログラムの開始

洪水被害を受けても、氾濫原に戻って家屋を修復し、そして次の洪水に備える。このようなサイクルを断ち切るため、近年のアメリカでは、氾濫原の資産を取得、移築するという事業が大々的に進められている。このような事業は、Property Acquisition Project（バイアウト）と呼ばれている。氾濫原にあった資産が取り壊されたり、移築されたりした後の土地は、オープンスペースとして保存される。洪水氾濫被害の軽減と同時に、湿地等の自然生態系の復元や公園等のレクリエーション施設整備が行われている。

アメリカがバイアウトに本格的に取り組むようになったのは、1993 年に中西部で発生した大洪水の後である。スタフォード法の改正により、将来予想される被害の軽減事業（家屋移築、土地の取得）の事業費の 75%を連邦予算でまかなうことができ、全災害援助の 15%までを被害軽減事業に充当することができるようになった。さらに、1994 年の洪水保険法改正により洪水被害軽減基金（National Flood Mitigation Fund）が設立され、大統領の災害宣言なしでも、被害軽減事業に連邦の補助が出るようになった。このようにして、バイアウトプログラム推進の環境が整えられた。

大規模なバイアウトが行われた事例として、中西部ミズーリ州の”Missouri Flood Buyout Program”がある²⁴⁾。

ミズーリ州は、1993 年の大洪水で大被害を受けた。総被害額は 30 億ドルと推定される。州内で 37,000 の家屋が被災し、救済として 7290 万ドルを受け取った。4170 万ドルが災害住宅、2340 万ドルが個人及び世帯補助（Individual and Family Grant）、780 万ドルが災害による失業に対するものである。さらに、州内の商業は 4010 万ドルの貸付けを中小企業庁（SBA）から受けた。その他、公共施設被害などもあり、それらの費用を合計すると、この洪水の復旧のため、最終的に 40 億ドルの費用がかかったことになるという。

1978 年から 1993 年にミズーリ州内で繰り返し被害の洪水保険請求を行った家屋は 3,268 にものぼる。この大災害を期に、ミズーリ州は大規模なバイアウトプロジェクトを開始し

た。将来起こりうる被害の軽減のためである。表 6-1 に事業概要を示す。1993 年の洪水後のバイアウトでは、全事業費 5680 万ドルで 4,044 の資産が取得された。平均取得価格は 14,045 ドルである（洪水前の市場価格は 18,500 ドルだが、買い上げ前に支払われていた援助の額が差し引かれている）。

ミズーリ州では、1993 年に続き 1995 年にも同規模の大洪水が発生した。しかし、浸水危険性の高い地域の住居の 2/3 が取り壊されていた結果、被害は劇的に軽減されたという。1995 年の災害後にも 1993 年に比べると少数であるがバイアウトが行われた。

表 6-1 ミズーリ州で行われたバイアウトの概要（1993 年及び 1995 年）²⁴⁾

| | 合計 | 1993 年 | 1995 年 |
|--|--------|--------|---------|
| バイアウト事業の数 | 48 | 45 | 3 |
| 買い上げ資産数 | 4,193 | 4,044 | 149 |
| 州への連邦補助 (\$) | 3210 万 | 3000 万 | 210 万 |
| バイアウトの全事業費 (\$) | 5910 万 | 5680 万 | 230 万 |
| (バイアウト対象資産への) 災害後の洪水保険の支払い額 (\$) | 2270 万 | 2210 万 | 563,393 |
| (バイアウト対象資産への) 中小企業庁 (SBA) 貸付け額 (\$) | 1220 万 | 1190 万 | 321,542 |
| (バイアウト対象資産への) 中小企業庁 (SBA) 貸付けの返済額 (\$) | 570 万 | 540 万 | 321,542 |
| 取得資産の市場価格 (\$) | 7810 万 | 7520 万 | 290 万 |

SBA 貸付け：中小企業庁による被災した個人、企業向け貸付け

(3) 陸軍工兵隊の動き

1998 年、陸軍工兵隊 (USACE)、持続可能なアプローチを目指す先導的プロジェクト "Challenge 21" を発表した。ここでは、「洪水防御の代替として非構造物に焦点をあて、危険な場所から世帯や企業を移転させ、氾濫原が人々と環境に便益をもたらすとともに、自然の営みとして洪水を緩和するような状態に戻す」(記者発表資料より) ことがうたわれており、氾濫原からの移転を含む非構造物による手法を推進する方向性が打ち出された。

このプロジェクトでは、洪水被害の軽減、河川生態系の機能回復の 2 つの目的を達成するため、費用対効果が高い手法を開発するとしている。その手法とは、氾濫原からの移転、災害への緊急対応と復旧計画、自然の貯留域の保全や貯留施設の開発、三日月湖や生態系ネットワークの復元などである。また、連邦をはじめとする他機関とのパートナーシップにより、効果的な洪水対策の枠組みを創出するとしている。連携対象は、連邦危機管理庁 (FEMA)、自然資源保全局 (Natural Resources Conservation Service)、魚類野生生物局 (U.S. Fish and Wildlife Service)、環境保護局 (Environmental Protection Agency) な

どである。

(4) 建物の耐水化技術

近年のバイアウト事業の推進以前から、移築を含む建物の耐水化（Flood Proofing）は行われてきた。陸軍工兵隊（USACE）では、建物の耐水化技術に関する研究を行うとともに、治水事業の一手法として実施してきた。耐水化手法には、次のようなものがある^{25)・26)}。

1) 建物の嵩上げ

建物の底面が洪水位より高くなるように盛土や柱で嵩上げする。電気施設等は、洪水位より上に移動して設置する。嵩上げ作業は、建物の基礎部分に工事（掘削、配管の付け替え等）を施した後、建物の下に梁を通して重機で持ち上げて行う。

2) 建物の移築

洪水位より高い場所へ建物を移動させる。建物の基礎部分から建物を切り離し、台車に乗せて車で牽引し、新しい場所に再び設置するという作業が行われる。

3) 防御施設の設置

小堤防や洪水壁（コンクリートなど）で建物の周囲を囲む。さらに、下水等の施設に逆流を防止するための弁などを設置する。

4) 防水化（Dry Proofing）

建物周囲の壁を耐水化し、水の浸入を防ぐ。さらに、下水等の施設に逆流を防止するための弁などを設置する。扉等の開口部には防水板を設置できるようにする。

建物内外の水位差による水圧が建物に加える力を考慮し、3フィートの浸水深までなら適用可能とされている。

5) 耐水化（Wet Proofing）

建物内に水の浸入を許容して内外の水圧を同じにする。さらに、電気等の施設を洪水位より上に設置したり、耐水性の入れ物に入れたりすることで、建物内に水が入ることによる被害を軽減する。

建物内が浸水することから、利用に制限が生じる。例えば、洪水保険プログラム（NFIP）に関連した氾濫原規制では、水が入る部分は車庫や貯蔵庫としてしか使えないことになっている。

6) バイアウト／取得

土地や建物を買って上げて空地にする。その方法には、所有権の取得（Fee Simple Acquisition）と地役権の取得（Acquisition of a Conservation Easement）の2種類がある。所有権の取得では土地、建物の所有権を買取るが、地役権の取得では所有権は移転せず使用の制限だけが生じる。この方法は、土地を農地として使用し続ける場合や、対象地が広いため所有権の取得では費用が掛かり過ぎる場合に適用される。

また、陸軍工兵隊は、建物の耐水化手法に関する技術基準²⁷⁾を示している。

表 6-2 に、これらの手法の適用性に関する判定表を示す。陸軍工兵隊へのヒアリングによると、建物の嵩上げや移築などの手法の適用の問題は、一軒あたりの費用が高いことであり、建物の価格の 1/3～1/2 にも達するという。近年の被害軽減対策への補助制度の充実、住民による耐水化の後押しになっている。

表 6-2 耐水化手法の適用性 ²⁶⁾

| | | 耐 水 化 手 法 | | | | | | | | | |
|-------|------------------|-----------|-----------------|---------------------------|---------------------|----------|-------|---------|---------------------|-------------------|-------------------|
| | | 壁による嵩上げ | 柱(piers*)による嵩上げ | 柱(posts, columns**)による嵩上げ | 基礎杭(piles***)による嵩上げ | 盛土による嵩上げ | 家屋の移築 | 洪水壁及び堤防 | 洪水壁及び堤防(出入口の防水対策有り) | 防水化(Dry Proofing) | 耐水化(Wet Proofing) |
| | | | | | | | | | | | |
| 洪水の特徴 | 浸水深 | | | | | | | | | | |
| | 浅い (<3ft) | | | | | | | | | | |
| | 中程度 (3～6ft) | | | | | | | | | × | |
| | 深い (>6 ft) | | × | | | | | × | × | × | |
| | 流速 | | | | | | | | | | |
| | 遅い (<毎秒 3 ft) | | | | | | | | | | |
| | 中程度 (>毎秒 3～5 ft) | × | × | | | | | | | × | × |
| | 速い (>毎秒 5 ft) | × | × | × | | | | | | × | × |
| | Flash Flooding | | | | | | | | | | |
| | Yes (<1 時間) | | | | | | | | × | × | × |
| | No | | | | | | | | | | |
| | 洪水中の氷及び土砂 | | | | | | | | | | |
| 土壌の種類 | Yes | × | | × | | | | | | × | × |
| | No | | | | | | | | | | |
| | 場所 | | | | | | | | | | |
| | 海岸沿い | × | × | | | | | × | × | × | × |
| | 河川沿い | | | | | | | | | | |
| | 土壌の種類 | | | | | | | | | | |
| 建物の特徴 | 透水性 | | | | | | | × | × | × | |
| | 非透水性 | | | | | | | | | | |
| | 建物の基礎 | | | | | | | | | | |
| | Slab on Grade | | | | | | | | | | |
| | 建物の下に隙間有り | | | | | | | | | × | |
| | 地下室 | | × | × | × | | | | | × | |
| | 建築材料 | | | | | | | | | | |
| | コンクリート・石・煉瓦 | | | | | | | | | | |
| | 金属 | | | | | | | | | | |
| | 木造 | | | | | | | | | | |
| | 建物の状態 | | | | | | | | | | |
| | 優～良 | | | | | | | | | | |
| | 可～悪 | × | × | × | × | × | × | | | × | × |

*piers コンクリートの礎石に立てられた柱

**posts, columns 地面に穴を掘って差し込まれ、地中でコンクリートに固定された柱

***piles 機械で地中に埋め込まれた杭

6-2 被害軽減事業への補助制度

(1) 被害軽減事業補助プログラム¹⁵⁾

パイアウトプログラムの推進を予算的に支えているのが、被害軽減事業補助プログラム（HMGP : Hazard Mitigation Grant Program）による補助金制度である。スタフォード災害救済及び緊急援助法（Robert T. Stafford Disaster Relief and Emergency Assistance Act）に基づき、連邦危機管理庁（FEMA）により管轄されている。災害宣言後、長期的（将来の）被害軽減のための補助金を州や自治体に配布する。災害復旧時の早急な対策の実施を可能とし、将来的な被害を軽減することを目指している。

2000年のスタフォード法の改正（Disaster Mitigation Act）では、FEMAは災害援助予算の15～20%をこの補助金制度に割り当てられることになった。各プロジェクトの費用の75%までFEMAが負担し、残りを州及び自治体が負担する。1993以来、参加した自治体はこれまでに20,000以上の資産を取得した。

プログラムは、州と自治体が管理する。家屋等の買い上げ、移築は強制ではなく、希望する住民に対してのみ行われる。住民は、まず自治体に希望を出し、自治体が州に提出する。州は自治体の要求を審査して優先順位をつける。

手順は以下の通りである。

1. 住民などの意見に基づき、自治体の職員によりHMGPへの申請が行われる。職員には、あらかじめ州の採択基準が知らされる。
2. 申請を受け取った州は、内容を審査し、FEMAによる認可に相当と判断したら、FEMAに提出する。FEMAは、申請内容が法律に沿っており、環境への影響も適切であり、費用対効果が高いかどうかを審査する。
3. FEMAが認可したら、州は取得の手続きを進める。自治体が購入、所有権の移転作業を行う。その後、建物は移築、取り壊され、更地にされる。

パイアウトの同意までには数ヶ月を要するが、同意後は、平均45日程度で更地となる。

法律では、自治体により取得された土地は、永久に空地としなければならない。自治体は、公園や野生生物の生息地として利用することができる。

取得する物件は、最大で災害発生前の市場価格で取引される。認可された鑑定士が価格を決定する。自治体は、価格の査定など、取引に要する費用を負担する。

また、HMGPは、家屋などの買い上げ、移築だけでなく、家屋等の嵩上げにも用いることができる。

(2) その他の補助制度^{13)・25)}

洪水被害を軽減するため、個人の建物の改築等を行う場合、次のような補助制度が活用できる。大統領による災害宣言が発せられたときのみには活用可能なものと、それ以外でも活用可能なものがある。

○FEMA によるもの

- ・ 規制適合のための追加的費用 (Increased Cost of Compliance : ICC)
5 - 2 (2) 参照
- ・ 被害軽減事業補助プログラム (Hazard Mitigation Grant Program : (HMGP)
6 - 2 (1) 参照
- ・ 洪水被害軽減支援プログラム (Flood Mitigation Assistance Program : FMAP)
5 - 2 (2) 参照

○FEMA 以外の連邦機関によるもの

- ・ 中小企業庁 (Small Business Administration : SBA)
中小企業庁または大統領による災害宣言あった場合に、個人企業や住宅に低利の融資を行う。被害建物の修復などが対象だが、実質的被害の修復時に氾濫原規制で要求される要件を満たすための費用も対象となる。法律や条令で要求されている範囲外でも、20%まで融資額を増やせる。
- ・ 住宅都市開発省 (Department of Housing and Urban Development : HUD)
住宅都市開発省のプログラムは、住宅環境や地域・近隣経済の改善のために用意されている。中・低所得者を対象としたプログラムで Community Development Block Grants (CDBG) が自治体に支給される。大統領による災害宣言があった場合に、追加的に支給が行われ、自治体の意思により補助金は家の嵩上げや買い上げにも用いられる。
- ・ 陸軍工兵隊 (U.S. Army Corps of Engineers : USACE)
洪水防御プロジェクトの一環として、建物の嵩上げ、耐水化、被害家屋の買い上げ等を行っている。費用対効果が高いと判断された場合、それらの手法が採用される。
工兵隊の氾濫原管理サービスプログラム (Floodplain Management Service Program) では、浸水の危険性の判定、耐水化、氾濫原規制、洪水予警報、緊急対応、避難計画等についての技術的な情報提供を行っている。また、全米洪水耐水化委員会 (National Flood Proofing Committee) では、移築、嵩上げその他の耐水化技術の研究、技術移転、教育・啓蒙活動等を行っている。
- ・ 農務省自然資源保全局 (Natural Resources Conservation Service, U.S. Dept. of Agriculture : NRCS)
小流域の洪水防御プロジェクトに参加しており、被害軽減のための家屋の改築も行われている。

6 - 3 バイアウト事業の妥当性

事業の妥当性は、バイアウトにより将来的に軽減される被害額（便益）とバイアウトにかかる費用の比較をもとに評価される。FEMA では、被害軽減事業補助プログラム (HMGP)

の費用便益計算ソフト²⁸⁾を配布している。

FEMA が配布している HMGP の費用・便益分析ソフト

- ・ MS-Excel で使用できる形式となっている。
- ・ 洪水被害軽減事業の評価に用いる。評価方法の基本は、日本で行われている治水経済調査と同様、便益（現在価値化した将来の期待被害の軽減額）と費用を比較するというものであり、B/C 及び B-C が求められる。
- ・ 便益としては、建物及びその内容物被害の軽減、災害後の一時的な移転費用の軽減、賃料及び商業収入の損失の軽減、公共・非営利サービスの被害軽減を取り扱っている。
- ・ 建物・施設の評価データ（建物種類、大きさ、建物価値、内容物の価値、その他建物の利用と機能に関する経済的データ）を用いる。また、被害軽減事業前後の建物及び内容物の洪水被害への脆弱性（vulnerability）の評価が重要となる。
- ・ 洪水リスクの評価は、洪水保険調査（FIS）、洪水保険料率地図（FIRM）の洪水データ及び建物の 1 階の標高（First Floor Elevation : FFE）を用いて行う。
- ・ 考慮されている対策の種類は、嵩上げ、移築、買い上げ、洪水壁の設置などである。
- ・ 係数などは任意に設定可能である。

一方で、洪水被害の軽減という効果だけに着目した場合、便益と費用を比較して妥当性を示すことは難しいという指摘もある。例えば、建物の買い上げや移築に類する事業は陸軍工兵隊（USACE）も行っているが、工兵隊の事業評価手法は FEMA のものと異なっている。工兵隊の事業手続きでは、築堤等の構造物による対策と比較したうえで最も効率性の高い手法を取り入れる。ヒアリングによると、事業評価を行うと、建物の買い上げや移築、嵩上げが必ずしも最も効率的といえないとのことであった。このことは、氾濫原内に多くの建物がある場合を考えると理解できる。建物が増えると買い上げに要する費用は増加するのに対し、構造物による対策の費用は建物の数によって変わらない。構造物による対策と比較した場合、治水効果だけでは事業の効率性を示すことは困難である。

では、洪水による被害軽減効果の面からは必ずしも効率的な対策とはいえない建物の買い上げや移築、嵩上げが、どのような根拠をもって推進されているのだろうか。そこには、アメリカ社会の氾濫原機能の捉え方の変化が影響している。洪水防御の面からではなく、氾濫原の自然機能や資源の保全機能も含め、多様な側面から氾濫原を捉えようという動きである。氾濫原の建物を取り壊し、移築することで生まれる空地进行、生態系の回復や公園の創出などに活用することで、氾濫原の多様な機能が保全、回復される。それらに価値を考えると、パイアウト事業が妥当と判断されているのである。

現在、USACE では、カリフォルニア州の水資源局と共同で、建物の取り壊しによりできる空地での自然生態系の回復や公園の創出など、洪水被害軽減以外の便益を評価する手法を検討中である（Multi-Objective Approaches to Floodplain Management on a Watershed Basis）。このような手法を適用することで、経済性からみたパイアウト事業の妥当性が示されるようになって考えられている。

7. 洪水リスク評価と洪水地図

7-1 アメリカにおける洪水地図

アメリカの洪水地図の歴史は、1950年代初頭のTVAによる洪水地図作成プログラムに遡る。TVAに刺激され、1960年代初頭には、陸軍工兵隊（USACE）も幅広い水害情報関連のプログラムを開始した。そして、1968年の洪水保険プログラム（NFIP）によって、全国規模の地図作成が開始された。洪水保険料率地図（Flood Insurance Rate Map：FIRM）である。

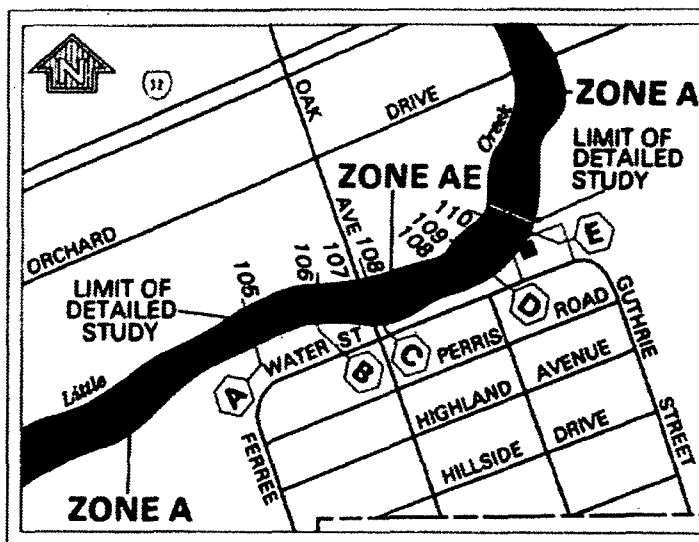
日本における洪水地図（ここでは洪水ハザードマップを想定）とアメリカのそれ（FIRM）には、その作成目的と記載項目に違いがある。

まず、日本のハザードマップの作成、配布の主目的は住民避難の支援である。したがって、洪水ハザードマップには、浸水域や浸水深に加え、避難所や避難経路、さらには、災害時の心得のような情報が示されている。平成13年の水防法改正による浸水想定区域図の作成の開始も、まずは住民の避難の支援や防災活動の支援（例えば、地下施設等の被害が予測されるところ）を念頭に行われた。もちろん、地図を利用した氾濫原管理（土地利用対策等）も目的に含まれているものの、直接的に土地利用施策等に結びついているわけではない。したがって、現在のところ、洪水ハザードマップに示された浸水リスクの違いが、保険価格や資産価値を左右したという話は聞かれない。これは、現在のところ、ハザードマップで示されたからといって、リスクに基づいた土地利用が行われているのではないことを表している。

一方、アメリカの洪水保険利用率地図（FIRM）は、住民の洪水保険の保険料率の設定や土地利用、建築規制のもとになっている。氾濫原管理の対象となるのは、FIRMに示された1/100洪水による浸水域である。FIRMに示された浸水リスク区分は、直接的に自治体の施策や住民の財布に影響することになる。FIRMは、まさにアメリカの氾濫原管理の基礎となっているといえ、そこで示されたリスク区分が与える影響は大きい。

今後、日本の洪水地図が一般化し、場所毎の浸水リスクの差異が一目で分かるようになれば、自然と浸水リスクに基づく対策が行われるようになる可能性もある。例えば、保険業界が保険料に差をつけるようになることも考えられ、浸水リスクによって資産価値に差が出てくるかもしれない。このようなことが起こるためには、まず、信頼性の高い地図が作成されることが前提となる。洪水地図は、そのような可能性を秘めており、浸水リスクの評価方法や表示方法が与える影響は大きいと考えられる。

日本に先んじて浸水リスクに基づく対策を講じているアメリカの洪水地図について知ることは、日本の洪水地図のあり方を考えるうえで極めて参考になるものと考えられる。し

[illegible]

— 36 —

7-2 洪水保険料率地図

(1) 洪水保険料率地図とは 1)、2)ほか

浸水のリスクに応じた保険料率設定を行うため、連邦政府は洪水保険料率地図 (Flood Insurance Rate Map : FIRM) を作成、提供している。

洪水保険プログラム開始当初は、全国的に氾濫解析を実施して浸水リスクを詳細に提供することができなかったため、概略のデータに基づく簡易的な地図が用いられた。この地図は洪水危険区域地図 (Flood Hazard Boundary Map) と呼ばれている。この地図では、1/100 洪水による浸水が予想される特別洪水危険区域 (Special Flood Hazard Area : SFHA) が確定され、緊急プログラムにおける氾濫原管理と洪水保険適用に使用される。この地図には、表 7-1 に示すリスク区分の ZONE A が示される。

浸水リスクに応じた保険料率設定を行う (通常プログラム) ために作られるのが洪水保険料率地図 (FIRM) である。緊急プログラムから通常プログラムへの移行に際して実施される洪水保険調査 (Flood Insurance Study : FIS) あるいは洪水危険度評価 (Flood Risk Assessment) を経て発行される。FIRM は自治体の氾濫原管理事務所や FEMA の地図サービスセンターで入手可能である。

(2) 地図の表示項目とリスク区分 1)、29)

FIRM には、年最大洪水ピーク流量に基づく 100 年洪水境界が示されており、場合によっては 500 年洪水境界が示されている。浸水する地域の他、ゾーン名、洪水位、浸水深、主要な建物が表示されている。計算精度は±15cm 程度¹⁾である。

洪水保険調査 (Flood Insurance Study : FIS) の結果は、氾濫原管理に用いるための技術文書としてまとめられ、洪水保険調査報告書 (Flood Insurance Study Report) と呼ばれる。この報告書と一緒に、洪水境界と洪水路地図 (Flood Boundary and Floodway Map : FBFM) という別の地図も示される。これは、規制洪水路 (Regulatory Floodways) や他の氾濫原管理情報が載った地図である。

地図の縮尺は、1/4,800、1/6,000、1/9,600、1/12,000、1/24,000 の 5 通りで、このうち 1/6,000、1/12,000、1/24,000 の縮尺の地図が良く用いられる¹⁾。

洪水危険等級ゾーンは、表 7-1 に示すように区分されている。氾濫原管理の対象となる特別洪水危険区域 (SFHA) は、1/100 以上の浸水確率がある地域で、大きく分けて A ゾーン (河川による浸水域) と V ゾーン (海岸災害による浸水域) がある。それよりも浸水確率が低い地域は、1/100~1/500 の浸水確率の中位洪水危険区域 (Moderate Flood Hazard Area)、1/500 以下の浸水確率の最小洪水危険区域 (Minimal Flood Hazard Area) に分けられている (B、C、Z ゾーン)。これらの地域では、保険購入の義務は生じない。

洪水危険度 (flood hazard factors, FHF) とは、1/10 洪水と 1/100 洪水の水位の差を 0.5 フィート刻みで表現し、3 桁の数字にした値である。例えば、水位の差が 0.7 フィートなら

005、1.4 フィートなら 015 となる。浸水リスクを再現確率による水位変化量で表しており、水位変化が大きい方が危険としている。この数値（005-200）が浸水リスクを表している。以前は、FHF に応じてリスク区分（河川による浸水の場合は ZONE A1～A30）され、保険料率に差がつけられていたが、差が小さいため、現在は統一されている。

FIRM では完成堤防の破堤を想定していない。構造物が 1/100 洪水に対して十分に機能すると認められた場合、防御地域は SFHA から除外される。このことは、築堤により絶対的な安全が保証されるという誤解を招くし、保険購入の義務も生じなくなってしまうという問題がある。

表 7-1 洪水危険等級ゾーン (Insurance Risk Rate Zone) 30)ほか

| | |
|---|--|
| ZONE A | 1/100 確率の洪水による浸水が生じる地域。簡易な調査に基づいており、詳細な水理解析が行われていないため、基本洪水位 (BFE) や浸水深は示されていない。 |
| ZONE A0 | 1/100 確率の洪水で平均浸水深が 1～3 フィートの浅い浸水 (扇状地など勾配があるところでの浅く速い流れ) が生じる地域。解析により求められた平均浸水深が示されている。水理解析手法は、文献 30)に示されている。 |
| ZONE AH | 1/100 確率の洪水で平均浸水深が 1～3 フィートの浅い浸水 (水面が一樣な湛水: Ponding) が生じる地域。BFE が示されている。水理解析手法は文献 30)に示されている。 |
| ZONE A1-A30 (AE) | 1/100 確率の洪水による浸水が生じる地域。洪水保険調査 (FIS) により、BFE および洪水危険度 (FHF) が求められている。かつては FHF に基づいて A1-A30 に区分されていたが、新しい地図では AE にまとめられている。 |
| ZONE A99 | 1/100 確率の洪水で浸水するが、治水構造物により守られる予定で、工事がほぼ完成している地域。BFE や浸水深は示されていない。 |
| ZONE AR | 1/100 確率の洪水に対応できるよう改修中の治水構造物による防御地域。施設の完成により解除される。 |
| ZONE AR/AE, AR/AH, AR/AO, AR/A1-A30, AR/A | 治水構造物の防御対象の浸水に加え、それ以外の原因による浸水可能性もある地域。施設完成後も浸水の可能性が残る。 |
| ZONE B (X) | 浸水可能性が中程度の地域 (1/100～1/500 確率で浸水が生じる地域、1 平方マイル以下の排水面積で 1/100 洪水で 1 フィート以下の浸水がある地域、1/100 洪水に対し堤防により守られている地域)。新しい地図では X とされている。 |
| ZONE C (X) | 浸水可能性があるが最小の地域。新しい地図では X とされている。 |
| ZONE D | 未調査で浸水の危険性が不明だが、浸水の可能性がある地域。 |
| ZONE V | 1/100 の確率で流れの速い浸水をする地域 (海岸沿い)。簡易な調査に基づき、詳細な水理解析が行われていないため、BFE や浸水深は示されていない。 |
| ZONE V1-V30 (VE) | 1/100 の確率で流れの速い浸水をする地域 (海岸沿い)。洪水保険調査 (FIS) により、BFE および洪水危険度 (FHF) が求められている。かつては FHF に基づいて V1-V30 に区分されていたが、新しい地図では VE にまとめられている。 |

表中の網掛けは特別洪水危険地域 (SFHA) に含まれることを示す。

(3) 地図の作成手順

実際の地図作製作業は、コンサルタント会社に発注されている。全国を 3 地区に分け、3 つのコンサルタント会社がそれぞれの地区を一手に引き受けている。

通常、氾濫解析には一次元モデルを用いる。河道と氾濫原が一緒になった断面データを縦断方向に作成し、そのデータを用いて計算する。ごく一部の拡散型氾濫原に対してのみ二次元モデルが用いられる。

作成作業の大まかな流れを示す 2)。

① 調査方針作成

調査対象範囲を確定する。

② 予備調査

陸軍工兵隊（USACE）あるいは地質調査所（USGS）に照会し、既往調査結果を整理する。

③ 概略図の作成

開発の程度が軽微など、被害が比較的小さい地域に対しては概略調査で終了する。通常「ウィンドシールド調査」（自動車走って車から眺める）と簡単な計算による。

④ 機器による測量

⑤ 水理水文解析

洪水流量と洪水位（H-Q）関係を求めておく。年最大洪水ピーク流量を収集、地域に対応した係数を用いてデータを確率統計処理し、100年、500年確率流量を算定する*。それらの流量を用いた不等流計算（通常は一次元）により洪水位の縦断図を作成する。

⑥ 洪水危険区域の設定

⑦ 地図の作成

*参考 米国地質調査所（USGS）の洪水頻度解析ソフト^{31)ほか}

米国地質調査所（USGS）では、水資源計画・管理・許認可、水質や生態の管理、水力発電所・工場・貯水池などの設計や取水許可、道路・橋・堤防等の設計に用いるための水文統計資料を提供している。蓄積されたデータをもとにして、洪水ピーク流量、ハイドログラフを求めるための回帰式を提示している。回帰式は、水位計測が行われていない場所での使用を想定しており、流域特性、気象特性から流量を推定する式となっている。回帰式は、例えば、 $Q = F(A, E, SH)$ の形をとる（A：流域面積、E：平均流域標高、SH：形状係数）。

USGS では、1994 年より、上記の回帰式を用いて容易に流量を求めることができる NFF（National Flood Frequency Program）というソフトウェア（ウィンドウズ版）を開発、提供している。対象ユーザーは、氾濫原管理者、構造物の設計担当者等である。全米 289 地域の 2,065 のピーク流量回帰式をもとに、任意の確率の洪水流量を推定できる。回帰式は都市部（Urban）及び地方部（Rural）に分けられている。

また、流量推定をより簡単に行えるようにするため、Web アプリケーション（StreamStats Web Application）の開発が行われている。NFF ソフトでは、地域の流域・気象特性を調べたりする手間があったが、これを用いることで、Web 上で容易に流量推定ができるようになる。以下の 3 つから構成される。

- ・ 出版されている流量統計、流域・気象特性等を Web 上で提供するデータベース
- ・ 流量の推定プログラム（NFF に相当する部分）
- ・ GIS データベース（GIS 機能により流域特性の計測を容易に行える）

(4) 地図の修正手続き¹⁴⁾

FIRM および洪水保険調査報告書 (Flood Insurance Study Report) の修正のため、いくつかの手続きが用意されている。手続きは、地図そのものの変更と、地図の改訂を伴わず、地図の変更を認める証書によるものに分けられる。

○物理的な地図改訂 (Physical Map Revision : PMR)

構造物の建設等にもなう洪水位、氾濫原境界、洪水路 (Floodway) などの変更。自治体の要請により解析が行われ、地図が改訂される。基本洪水位 (BFE) が変更された場合には、90 日間の Appeal 期間が設定され、さらに6ヶ月してから正式に認定される。

○地図変更証書 (Letter of Map Change : LOMC)

地図の改訂を伴わず、証書で地図の変更を認める。以下の3種類に分類される。

1) 地図修正証書 (Letter of Map Amendment : LOMA)

所有者や借家人による請求により、科学的、技術的に特別洪水危険地域 (SFHA) 外であることが示された場合に出される。

2) 盛土による地図修正証書 (Letter of Map Revision based on Fill : LOMR-R)

盛土により建物や区画が BFE 以上であることが証明された場合に、SFHA から除外されることが示される。

3) 地図改訂証書 (Letter of Map Revision : LOMR)

現在有効な地図の浸水域などの変更を示す。

7-3 地図作成マニュアル

(1) 解析モデルの規定

FEMA により、地図作成のための具体的な解析手法が示されたマニュアルが用意されている。また、解析に使用できるモデルの要件が明示されており、この要件を満たしたモデルを用いて解析が行われる。要件は以下のとおりである。

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. モデルは、治水や氾濫原管理事業を実施している省庁によって、調査、検証され、認証されていなければならない。2. モデルには、ソースコード、ユーザーマニュアルを含む説明書が提供されていなければならない。3. モデルは、FEMA ならびに洪水保険地図に関係する現在及び将来の関係者による使用が可能で、使用を通じて開発、改良がされていなければならない。 |
|---|

このように、モデルに要求される要件を明らかにし、使用可能なモデルを指定しておくというアプローチは、河川事業の計画や氾濫原管理への水理解析の適用において非常に重要なことであると考えられる。水理解析結果の妥当性については、パラメータの設定等を巡って水掛け論に陥る可能性がある。しかし、モデルの仕様が明らかにされていれば、計算結果の妥当性が議論となったとしても、モデルの妥当性に関する議論を排除することが

できるからである。

表 7-2 洪水保険料率地図作成での使用が認められているモデル¹⁵⁾

○水文モデル（ハイドログラフを求める）

| 種類 | プログラム | 開発者 |
|--------|----------------------------|---|
| 単発イベント | HEC-1 4.0.1- | 陸軍工兵隊 (USACE) |
| | HEC-HMS 1.1- | 陸軍工兵隊 (USACE) |
| | TR-20 | 農務省自然資源保全局 (NRCS) |
| | TR-55 | 農務省自然資源保全局 (NRCS) |
| | SWMM (RUNOFF) 4.30/4.31 | 米国環境保全局 (EPA) / オレゴン州立大 |
| | MIKE 11 UHM | DHI Water and Environment |
| | DBRM 3.0 | Bernard L. Golding, P.E. Consulting Water Resources Engineer Orlando, FL |
| | HYMO | 農務省自然資源保全局 (NRCS) |
| | PoundPack v.8 | Haestad Methods, Inc. |
| 連続イベント | DR3M | 米国地質調査所 (USGS) |
| | HSPF 10.10 | 米国環境保全局 (EPA) / 米国地質調査所 (USGS) |
| | MIKE 11 RR | DHI Water and Environment |
| 内水解析 | HEC-IFH 1.03 | 陸軍工兵隊 (USACE) |

○統計解析モデル（洪水頻度解析）

| 種類 | プログラム | 開発者 |
|----|-------------|----------------|
| | HEC-FFA 3.1 | 陸軍工兵隊 (USACE) |
| | PEAKFQ 2.4- | 米国地質調査所 (USGS) |
| | FAN | 連邦危機管理庁 (FEMA) |

表 7-2 洪水保険料率地図作成での使用が認められているモデル（続き）¹⁵⁾

○水理モデル（河川の水位を求める）

| 種類 | プログラム | 開発者 |
|-------------------|------------------------------|--|
| 一次元定流モデル | HEC-RAS 2.2 | 陸軍工兵隊 (USACE) |
| | HEC-RAS 3.0 | 陸軍工兵隊 (USACE) |
| | HEC-2 4.6.2 | 陸軍工兵隊 (USACE) |
| | WSPRO | 米国地質調査所 (USGS) / 連邦道路局 (FHWA) |
| | FLDWY | 農務省自然資源保全局 (NRCS) |
| | QUICK-2 1.0 | 連邦危機管理庁 (FEMA) |
| | HY8 4.1 | 連邦道路局 (FHWA) |
| | WSPGW 12.96 | ロサンゼルス治水事業体 / Joseph E. Bonadiman & Associates, Inc. |
| | StormCAD v.4 | Haestad Methods, Inc. |
| | PondPack v.8 | Haestad Methods, Inc. |
| 一次元不定流モデル | Culvert Master v.2.0 | Haestad Methods, Inc. |
| | HEC-RAS 3.0 | 陸軍工兵隊 (USACE) |
| | FEQ 8.92 / FEQUTL 4.68 | Delbert D. Franz, Linsley, Krager Associates / Charles S. Melcing (USGS) |
| | ICPR 2.20 / 3.02 | Streamline Technologies, Inc. |
| | SWMM 4.30 / 4.31 | 米国環境保全局 (EPA) / オレゴン州立大 |
| | UNET 4.0 | 陸軍工兵隊 (USACE) |
| | FLDWAV | 米国気象局 (NWS) |
| | MIKE 11 HD | DHI Water and Environment |
| 二次元不定流 / 定流モデル | FLO-2D v.2000.11 | Jimmy S. O'Brien, Ph.D., P.E. |
| | TABS RMA2 v.4.3 / RMA4 v.4.5 | 陸軍工兵隊 (USACE) |
| | FESWMS 2DH 1.1 | 米国地質調査所 (USGS) |
| 洪水路 (Floodway) 解析 | FLO-2D v.2000.11 | Jimmy S. O'Brien, Ph.D., P.E. |
| | SFD | 陸軍工兵隊 (USACE) / 連邦危機管理庁 (FEMA) |
| | PSUPRO | ペンシルバニア大 / 陸軍工兵隊 (USACE) / 連邦危機管理庁 (FEMA) |

(2) 洪水保険料率地図の作成マニュアル

ここでは、提供されているマニュアルに示されている項目等を簡単に紹介する。これらのマニュアルは FEMA の Web サイトを通じてダウンロードできる。

Managing Floodplain Development in Approximate Zone A Areas – A Guide for Obtaining and Developing Base (100-year) Flood Elevations³²⁾

多くの自治体の特別洪水危険区域 (SFHA) は、概略調査による ZONE A であり、基本洪水位 (BFE) が示されていない。しかし、浸水被害軽減事業 (BFE 以上への嵩上げ等) のためには BFE が必要となる。このマニュアルは、自治体の洪水保険プログラム参加要件である氾濫原管理の実施のため、自治体等が BFE の特定を行う場合に用いられる。

既存の BFE 情報の取得および解析による BFE 情報の取得の二つの方法が示されている。それらの方法は、一様な流れの河川、湖沼域を対象としており、流れが急変するところや扇状地等には適用できない。

IV章 既存の BFE 情報の取得

FEMA、工兵隊、USGS 他の情報提供機関が示されている。

V章 解析による BFE 情報の取得

簡易手法と詳細手法が示されている。

➤ 簡易手法

簡易的に BFE を求める方法で、「保険料率の決定のための標高証明 (Elevation Certification) には使えない」と断りが示されている (精緻な解析が必要なレベルの保険料率設定には適用できない)。

- コンター内挿による方法

コンター間隔の半分の精度を有する。

- *データ外挿による方法

数値計算された結果のある領域から 500 フィート上流以内の場合に適用できる。

➤ 詳細手法

1)地形標高取得、2)流出・流量 (水文) 解析、 3)水位 (水理) 解析の 3 項目に分けて説明されている。

- 地形標高取得

氾濫原および河道の断面形状の取得方法について説明している。

- 水文解析

流量一流域面積の関係を用いる方法、回帰式、NRCS TR-55 モデル、合理式、その他の計算モデル (NRCS の TR-20、HEC-1) が紹介されている。

- 水理解析

等流水深、限界水深を用いる簡易な方法、一次元不等流解析 (Step-backwater Analysis) などが紹介され、数値計算モデルとして、QUICK-2(FEMA)、HEC-2(USACE)、HEC-RAS(USACE)、WSPRO(USGS)、WSP2(NRCS)、SFD(FEMA)、PSUPRO(FEMA)が紹介されている。

Guidelines and Specifications for Flood Map Production Coordination Contractors³³⁾

地図作製の技術的な要求性能、調整・文書化作業、成果物の仕様等を定めたガイドラインであり、細かい技術的内容は載っていない。

付録 (Appendix B Specification for Preparing Maps and Graphics) として、地図の情報表示のための仕様等が示されている。

Guidelines and Specifications for Study Contractors³⁰⁾

洪水保険調査 (Flood Insurance Study : FIS) において、受注者が従うべき技術方針と手順のガイドラインである。具体的な水文・水理解析手順についても記述されているので、これを見れば、洪水保険料率地図 (FIRM) の作成手法が一通り理解できる。

1999 年 4 月には、付録 4b に LiDAR による DEM 作成についての項目が追加された。

2 章 調査方針の決定 (Determining scope of study)

ウィンドシールド調査を含む事前の概略調査や、FEMA・地域の代表による会議について記載されている。

3 章 データ収集と整理 (Data Collection and Coordination)

詳細な文献・現地調査等について記載されている。

標高の参照点、氾濫原横断面、水理構造物等の把握手法について記載されている。標高データとして、National Geodetic Vertical datum of 1929(NGVD)もしくは、可能なら新しいデータである North American Vertical Datum of 1988(NAVD)を用いる。

氾濫原横断面は、4 フィート間隔コンター地図で作成する。地図が入手できないなら写真測量を行う。

4 章 詳細水文解析 (Detailed Hydrologic Analysis)

1/100 洪水 (多くの場合 1/10、1/50、1/500 も) を対象に解析する。

水位計データより解析するが、水位計がない場合、USGS の地域毎の洪水頻度解析結果³¹⁾を用いる。洪水調節、貯留施設の存在、急激な流域開発、その他の流域特性のため、上記の方法が適用できない場合には、単位図法や降雨－流出モデル (HEC-1 や TR-20 等) を用いる。

予備検討には、USGS が提供する回帰式 (都市化も考慮) を用いることができる。

5 章 詳細水理解析 (Detailed Hydraulic Analysis)

水理モデルの検証は、痕跡水位との誤差が 0.5 フィート以内になるという基準で行う。特に粗度係数の設定には注意が必要としており、既往の調査事例との照合などを求めている。

通常は、背水を考慮した不等流モデル (Backwater-computer Model) で計算する。使用するモデルは、HEC-2、WSPRO、WSP-2 などである。

二次元モデル (Two-Dimensional Water-Surface Computer Models) は、一次元解析では困難な場合に使用する。しかし、複雑でコスト高なので推奨はされていない。適用が考えられるのは、浅い浸水 (Shallow Flooding) が生じる地域、堤防を越えて流れが分岐する場合 (Split Flow Situations)、複雑な橋梁の場所である。また、扇状地でも使用可能としている。

一次元モデル (One-Dimensional Unsteady Flow Models) : 堤防背後の浸水域、逆流、複雑な管路・水路・池・調節池等がある場合に使用する。境界条件とする水深

には等流水深を用いるが、射流が生じたときの対応についても言及している。

浅い浸水 (Shallow Flooding) の解析方法は付録 2、扇状地 (Alluvial Fans) の解析方法は付録 5 に記載されている。

6章 洪水境界の線引きと簡易手法 (Approximate Floodplain Boundary Delineation and Simplified methods)

7章 堤防等の治水施設の評価 (Evaluation of Levee Flood Control Systems)

堤防 (コンクリート堤防、洪水壁、海岸堤防、その他)、農業堤防が 1/100 洪水を防御している場合の施設の評価手法について示されている。考慮すべき堤防 (すなわち、十分な高さ、強度がある堤防) の判定条件として、次の項目を挙げている。

- ◇ 余裕高 (Freeboard) は、3 フィート以上、橋梁等の阻害前後 100 フィートではさらに 1 フィートの余裕がある。
- ◇ 堤防の護岸、基礎の安定性等が基準を満たしている。
- ◇ 1/100 洪水を防御する堤防がある場合、内水排除 (Interior Drainage) も評価する (貯留域、重力排水、ポンプ場、その複合)。
- ◇ 人為的な要素を考慮する。一般には、土嚢積み等は考慮しないが、水門操作等は考慮する。
- ◇ 維持管理についての基準を満たしている。
- ◇ 要求性能を満たしている証明書がある。

上記の条件を満たし、堤防で守られているとみなされた地域は、ZONE X あるいは ZONE AH (内水解析により適切に定められる) となる。条件を満たしていない堤防は、存在しないものとして 1/100 洪水が計算される。

上記の条件を満たしていない堤防については、以下に述べる方法で解析する。堤防の存在を考慮して計算された 1/100 洪水水位が堤防より高い場合、河道側では、計算された 1/100 洪水水位が用いられる。堤内地側については、堤防が存在しないとして 1/100 洪水水位が再計算される。つまり、堤防からの越流や破堤をモデル化した計算は行わない。堤防からの越流・破堤の影響は、堤外地は堤防あり、堤内地は堤防なしの条件で計算することで考慮している。

1/100 以外の確率 (1/10、1/50、1/500) の洪水水位が堤防高より高い場合も同様に、河道側の水位は堤防高と同じとする。堤防高より洪水水位が低い場合、計算されたとおりの値で示される。1/100 以下の頻度の洪水については、堤防がないものとした解析は行わない。

最低限の条件を満たしていない堤防については、最大で 5 つの計算条件での浸水分布が示される。堤防がある場合の 1/10、1/50、1/100 水位、堤防がない場合の 1/100、1/500 水位である。“堤防あり” の基本洪水水位 (BFE) が “堤防なし” の BFE より高い場合、FIRM には堤防中央に沿った線が引かれ、異なる BFE であることを明示する。そうでない場合は、“堤防なし” の BFE のみが示される。

堤防が両岸にある場合、堤防の評価には、同時破堤、左岸のみ、右岸のみの破堤を考慮する。

付録2 浅い浸水 (Shallow Flooding)

水表面の高さが一様な湛水 (Ponding) や浅く速い流れ (Sheet Flow) を対象とする。浅い浸水に区分される可能性のあるのは、ZONE X、ZONE A、ZONE A0、ZONE AH である。Ponding は ZONE AH (BFE 表示あり)、Sheet Flow は ZONE A0 (BFE 表示あり) に区分される。1 平方マイル以下の排水域は局所的排水不良とみなされ、一般的に詳細調査されない。

Ponding の解析方法

過去の浸水データ、地方の聞き込み、地盤高地図の調査、現地調査を行い、流入、流出量を求めて解析する。ハイドログラフ、経験式、カルバート他の人工物の設計式を考慮する。H-V 関係式を用いて水位を決定する。

Sheet Runoff の解析方法

過去の浸水データ、地方の聞き込み、補助的に現地調査、地図に示された標高、航空写真を用いて対象地域を決める。適切な方法で (具体的には示されていない)、地域の上流への流入量を定める。構造物等がない場合には、地域を均一に流れる浅く速い流れ (Sheet Flow) となる。地域の横断面をいくつか求め、それぞれの平均浸水深を求める。ZONE A0 の横断面の平均浸水深を求めるには、加重平均を用いる。1.0 フィート以下の浸水深なら ZONE X、1.0~1.5 フィートなら ZONE A0 の depth 1、1.5~2.5 なら ZONE A0 depth 2、2.5~3.0 なら ZONE A0 depth 3 に区分される。

都市域で、建物、下水や排水システム、道路形状の影響を受ける場合、下水や道路は設計外力を対象とした排水のみ可能である。これらの施設の設計外力より低頻度 (1/100 も含む) の洪水に対し、施設の影響を考慮した解析を行うことは費用がかかる。したがって、洪水保険調査 (FIS) の範囲外としている。既往浸水や地域の技術者や住民の報告、現地調査や技術的判断でそのような地域を決定する。

付録4 航空測量の仕様 (Aerial Mapping and Surveying Specifications)

付録4b 航空測量 LiDAR

- ① 5m 以下の間隔、鉛直 30cm の精度が求められる。
- ② 浅い水深に対しては、水を透過する波長域を扱える LiDAR で対応可能。
- ③ TIN を用いた事後処理で DEM に変換する。
- ④ RMSE(Root mean square error)で 15cm 精度 (これは、95%の信頼度で 30cm 精度に相当)。
- ⑤ 基本仕様は付録4の航空測量の仕様に基づく。

付録5 扇状地の洪水 (Studies of Alluvial Fan Flooding)

扇状地で発生する流れで、扇頂 (Apex) に発し、高速流、侵食、土砂輸送、体積に特徴づけられ、流路が予測不能な流れを対象とした解析手法である。地図には水深

と流速が示される。

扇頂での流量を求めてから、FEMA の FAN というプログラムで解析する。

(3) 堤防の評価について

洪水氾濫解析においては、破堤のモデル化方法が懸案となっている。破堤発生の有無は局所的な土質の不均一性や施工条件に大きく左右されるが、これらを定量的に把握するのは不可能である。破堤について決定論的なモデル化をするのは難しい。

洪水保険料率地図 (FIRM) での築堤部の破堤による浸水の取り扱い方法は、日本で通常行われている方法と異なっている。日本の氾濫解析では、洪水水位が破堤開始水位 (完成堤防では計画洪水水位) に達すると同時に破堤が生じるとし、破堤幅及び破堤敷高を与えて堤内地への流入量を算定するという作業が行われる。破堤幅および破堤敷高の設定は、過去の破堤事例から求められた計算式を用いて行われる。一方、FIRM では、堤防がある条件での解析、堤防がない条件での解析の両方が行われ、堤防内外の洪水水位が示される。

洪水による浸水域や被害額を予測するうえで避けて通れない破堤を、より確率的に扱おうという試みもなされている。破堤の可能性を確率的にあつかった信頼性モデル (Reliability Model) である。ここでは、そのような試みの例として、カリフォルニア州での検討事例を紹介する³⁴⁾。

陸軍工兵隊 (USACE)、カリフォルニア州水資源局 (Department of Water Resources : DWR) は、同州を流れるサクラメント川及びサンホアキン川を対象とした総合的検討 (Sacramento and San Joaquin River Basins Comprehensive Study : Comp Study) を実施している。この検討の目的は、治水システム (治水、利水、環境) を総合的に取り扱い、事業を総合的に評価することにある。そのため、水文モデル (降雨—流出)、水理モデル (流量—水位)、地盤工学的モデル (水位—破堤確率)、さらには治水経済モデル (浸水深—被害額) を組み合わせることで、洪水被害額を確率的に予測することが試みられている。

陸軍工兵隊 (USACE) の地盤工学的信頼性モデル (Geotechnical Reliability Model) では、堤防と水位の関係より、破堤可能性が高い点 (Probable Failure Point : PFP) 及び破堤可能性が低い点 (Probable Non-failure Point : PNP) を定義している³⁵⁾。前者は破堤の確率が 85% とされる水位であり、後者は破堤の確率が 15% とされる水位である。さらに、破堤確率と洪水水位の関係を示す曲線 (Risk-Frequency Curve) を作成することで、破堤の年超過確率が求められるようになり、年平均の浸水被害額の予測に用いることが可能となる³⁶⁾。図 7-2 に曲線の例を示す。

Comp Study では、堤防の土質 (砂、粘土) に応じて、破堤確率を横軸、水位を縦軸にとったグラフ (破堤確率曲線) を作成している。現地調査、過去の堤防の安定計算、工学的判断、近年 (1997 年、1998 年) の洪水での堤防実績を参考に PNP および PFP が決められ、それをもとに破堤確率曲線が作られたという。

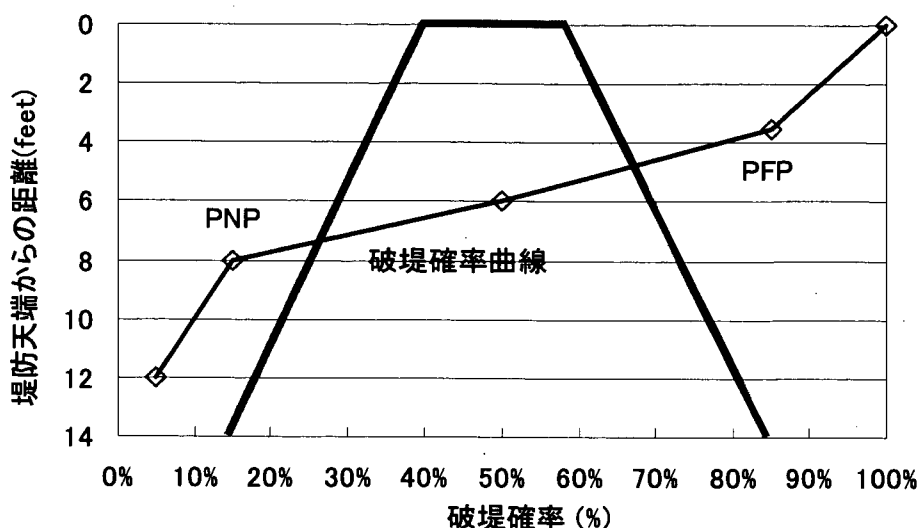


図 7-2 破堤確率と洪水位の関係を表す曲線の例

7-4 将来に向けて

(1) 洪水地図に関連する技術革新

第5章において述べたとおり、洪水保険料率地図(FIRM)にはいくつかの問題点がある。

まず、洪水保険の支払い要求の 1/3 が 1/100 洪水の浸水域外で発生していることから、氾濫原管理の対象域として 1/100 洪水の浸水域を用いることの妥当性についての議論がある。

また、地図が古く不正確という問題もある。地図の作成は 1968 年の洪水保険法降に始められ、1970 年代後半に大きな予算が投じられた。1997 年時点では、100,000 の地図パネルが作成されており、そのうち 45%の地図が 10 年以上前に作成され、70%の地図が 5 年以上前に作成されている³⁷⁾。

これらの問題に対処するため、1994 年の洪水保険法改正により洪水保険料率地図の作成技術に関する諮問委員会 (Technical Mapping Advisory Council) が設立された。現在、地図の近代化プロジェクト (Map Modernization Project) により、地図の更新の推進、作成技術の改良が行われている。このプロジェクトでは、洪水データの更新、地図の維持管理、デジタル形式への変換などが行われるとともに、新しい技術を取り入れることで費用対効果が高い地図作成技術を適用する。計画³⁸⁾では、2002~2008 年度の 7 年間に、7 億 5000 万ドル以上を従来の投資レベル (5200 万ドル/年) 以上に投資するというものである。内訳は、メーター法及び NAVD 1988 (新しい標高データ) への変換: 6200 万ドル、管理費: 1300 万ドル、進行中の作業: 3 億 4400 万ドル、地図の管理とデジタル化: 1 億 9100 万ドル、地図化されていない浸水常襲地域及びネイティブアメリカン地域: 1 億 1800 万ドル、洪水データの最新化: 3 億 8500 万ドルである。

近年の技術的進歩を反映し、氾濫解析、洪水地図作成の技術面で新たな試みがなされて

いる。技術革新には、例えば次のようなものがある。

- ・ コンピュータの能力や解析技術の向上により、高精度かつ高速度の氾濫解析が行えるようになってきたこと。
- ・ GISにより、地図情報の取り扱い能力が飛躍的に向上したこと。また、GISやコンピュータの画像処理技術により、浸水域等の多様な表示が可能となってきたこと。例えば、浸水域の動的な変化を紙で表現することは難しいが、コンピュータの画面上では可能である。
- ・ インターネット等の媒体により、一般の人でも容易に情報にアクセスすることが可能になったこと。洪水地図に関する情報もインターネットを通じて配布されるようになっていく。インターネット上で地図情報を取り扱う Web GIS 技術の進歩は、インターネットでの洪水地図の表示性能を向上させている。この技術により、一般ユーザーも浸水に関する多様な情報にアクセスし、標示項目を自由に変えたりすることが可能となっている。
- ・ LiDAR (Light Detection And Ranging) 等の標高計測技術により、より高精度な地形データを取得・活用することが可能になったこと。

上記の技術革新により、地図のデジタル化とインターネットを通じた情報発信が進められている。現在行われている最も先端的な取り組みは、洪水時にリアルタイムで予測される浸水域をリアルタイムで表示するシステムの開発である（リアルタイム洪水地図）。

ここでは、最近行われている洪水地図関連プロジェクトを紹介する。FIRM に関連するプロジェクトに加え、後半では FIRM 以外の洪水地図、氾濫解析に関する技術開発動向も扱っている。

(2) FEMA によるプロジェクト ¹⁵⁾ほか

FEMA が実施している洪水保険料率地図（FIRM）に関連するプロジェクトには、以下に示すものがある。

デジタル洪水保険料率地図（DFIRM）

洪水保険料率地図（FIRM）のデジタル化データで、CD-ROM、インターネットによって配布される。基図情報、図、文字、図の網掛け及びその他の地形や図形データが入っている。1:24,000 縮尺に相当しており、郡単位で整備される。

基盤地図と洪水テーマ図がデジタル化の対象であり、洪水テーマ図には、浸水境界、洪水路（Floodway）、基本洪水位（BFE）、横断面図が含まれる。また、水文・水理モデル、浸水断面図、洪水路データ表、DEM、標高証明（Elevation Certificate）、構造物の写真など各種データベースにリンクされている。

基盤地図には、USGS の デジタル地形図(Digital Orthophoto Quads : DOQs)が用いられる。

Q3 Flood Data³³⁾ほか

洪水保険料率地図 (FIRM) をGISで利用するためのデータ形式である。地図の一部のレイヤーのみが扱われている。基図データ等はない。計画、自治体格付けシステム (CRS)、保険マーケティング、抵当・証券の確認、FEMA の緊急対応・復旧活動、地方の氾濫原管理などに使われる。縮尺は 1:24,000 に相当する。精度の問題から、FEMA では氾濫原境界に 250 フィートのバッファを発生させて用いることを推奨している。

ESRI 社が整備に関係しており、Public domain data transfer format(DLG), ARC/INFO, MapInfo フォーマットで整備されている。これらは ESRI のホームページ、CD-ROM で入手可能である。

含まれているレイヤーは以下のとおりである

- 1) 1/100、1/500 洪水による浸水域の境界 (海岸災害を対象した V ZONE も含む)、洪水路 (floodway)
- 2) 法で指定された海岸域 (Coastal Barrier Resources System areas : CBRS)
- 3) 行政界 (州、郡、自治体)
- 4) FIRM パネルの境界
- 5) 洪水保険のゾーン指定
- 6) 自治体及び地図パネルの番号
- 7) USGS 7.5-minute (1:24,000 scale) series topographic map (地形図) の境界

LIDAR(Airborne Light Detection And Ranging) systems

地図作成手法に関するガイドライン (Guidelines and Specifications for Study Contractors) ³⁰⁾の付録 4B として仕様が示されている。

Interactive Hazard Map (Online Hazard Map)

洪水保険料率地図をインターネットで提供している。ESRI 社と共同で実施している。地図データには Q3 Flood Data が用いられている。

HAZUS (GIS-Based Loss Estimate Software) ³⁹⁾

全米を対象として標準化された災害被害推定システムである。マルチハザードの被害推定を行い、被害軽減、準備、緊急対応、復旧の計画を支援することを目的とする。また、地方公共団体職員の訓練ツール (FEMA の緊急対応訓練コース) にも用いられる。洪水、地震、ハリケーン風害、マルチハザード、緊急対応モジュールから構成され、PC ベースの GIS ソフトで稼働する (現在開発中)。

1992 年、国家地震危険軽減プログラム (National Earthquake Hazards Reduction Program : NEHRP)の一環として、National Institute of Building Sciences(NIBS)が HAZUS の開発を開始した。最初に作られたのは地震モジュールである。

HAZUS の戦略目的は以下のとおりである。

- ① 政府の全レベルでの HAZUS 利用を制度化し、リスクに基づく合理的な政策策定を促進する。
- ② 米国で利用可能な自然災害リスクの評価手法とする。
- ③ 全米洪水保険基金の長期的な支払い能力確保に活用する。
- ④ 効率的、効果的なマネージメント、パートナーシップにより、HAZUS への公共投資の効果を最大化する。
- ⑤ 効果的な官民のパートナーにより、HAZUS への投資を行う。
- ⑥ HAZUS のリスク評価能力を全米の災害対応、評価、訓練と統合する。

洪水モジュールは3つのツールから構成される。建物に関するデータを HAZUS に取り込むためのデータ収集ツール、洪水危険性に関する既存のデータを処理するツール、洪水被害推定モジュールである。

洪水モジュールの浸水域には、既往のもの洪水保険料率地図 (FIRM)、デジタル洪水保険料率地図 (DFIRM) 等を利用する。地盤高と重ねるなどの加工をしてから被害推定する。洪水保険プログラム (NFIP) の被害発生予測にも活用できる。現在は、既往被害や統計による被害発生確率を考慮しているが、HAZUS により将来開発のトレンドも考慮できるようになる。また、民間セクターによるモデル改良も活用することで、開発、改良作業を効率的に行うことを目指している。

(3) リアルタイム洪水地図

洪水氾濫の危険性を事前に予測することで、住民の避難をはじめとする緊急対応に役立てようという試みは、これまでも長く行われてきた。現在では、降雨予測、流出予測等の解析技術をもとにして、洪水予警報というかたちでの情報発信が行われている。

洪水予警報では、河川の基準地点の水位予測値や、浸水の危険性に関する指標などが示される。このような情報提供形式では、「どこが、いつ浸水する可能性があるのか」まで具体的に示される訳ではないので、地域の防災担当者や住民にとって分かりにくいという問題点がある。しかし、これまでの解析技術や情報提供方法では、氾濫原の任意地点の浸水予測結果を示すことは難しかった。

近年では、氾濫解析技術の進歩、コンピュータの処理能力の向上により、洪水発生時のリアルタイムでの氾濫解析が可能となっている。また、インターネット通じた情報発信をすることで、浸水域の時間的、空間的な分布を表示することが可能となっている。これらの技術を組み合わせることで、洪水氾濫による浸水域をリアルタイムで予測し、提供するシステムの開発が行われている。

AHPS(Advanced Hydrologic Prediction Services)⁴⁰⁾

日本の気象庁に相当する米国気象局 (National Weather Service : NWS) によるプロジ

エクトで、洪水予測サービスの向上を目的としている。

NWSは洪水予測を行い、予測情報を一般に提供する役割を担っている機関である。現在、13に区分された流域に対して、全米122の予報事務所が洪水予測を行っている。洪水予測は、継続時間が長い洪水であるFlood（6時間以上）及びFlash Flood（6時間以内）に分けて行われている。Flash Floodについては、土壌水分量及び降雨量をもとにFlash Flood Guidance（洪水の起こり易さについて示したもの）を出している。また、NWSの技術支援のもと、自治体はALERT（Automated Local Evaluation in Real Time）と呼ばれるシステムを運営している。これは、水位、降雨データに基づく警報システムである。

NWSの洪水予測は、NWSRFSというモデル（モジュールの組み合わせ）を用いて行っている。これは、降雨の計測値（レーダー雨量計、地上雨量計、衛星データ）をもとに、将来の降雨、流出量を予測し、河川の基準地点の水位を予測するというものである。現在、予測技術



写真7-1 米国気象局（NWS）

緻な洪水予測情報をインターネットで提供するための技術開発プロジェクトAHPS（Advanced Hydrologic Prediction Services）が行われている。

このプロジェクトが対象とする技術開発は多岐にわたる。洪水（低水も含む）予測技術については、実際の洪水予測業務でも運用可能な分布型流出モデル（すなわち、一般的な流域で入手可能なデータでパラメータ設定等が可能なモデル）の開発や河道の一次元不定流解析モデル開発を行っている。また、予測値を確率的に取り扱うためのモジュールも開発している。

同時に、精緻な洪水予測情報をインターネットで提供するための技術開発が行われている。基準点の水位予測結果だけでなく、氾濫水の到達範囲を示すというものである。現在、North Carolina州でパイロット的な事業が進められている。今後は、LiDAR（Light Detection And Ranging）等により計測されたDEMの入手可能な場所でシステム構築を進めるという。

USGSのリアルタイム洪水地図プロジェクト

米国地質調査所（U.S. Geological Survey：USGS）は、河川の水位など水文情報の計測

と提供、水文統計資料のデータベース化などを担当している機関である。USGSではリアルタイムの氾濫解析とインターネットによる情報提供技術に関する研究プロジェクトを実施している⁴¹⁾。

システムは、米国気象局（NWS）の予報センターによる基準点の河川流量予測を自動的に取り込み、氾濫解析により浸水域を予測する。解析結果は、GISを用いることで浸水範囲、水深、氾濫水の到達時間、浸水ピークの生起時間の地図として表示される。これらの地図は、IMS（Internet Map Server）技術を用いて、インターネットで提供される。現在、ワシントン州シアトル市近郊のSnoqualmie川でシステムの構築が行われている。

氾濫解析、解析結果の処理には、LiDAR（Light Detection And Ranging）によって取得された高精度、高密度な地盤高データが用いられている。また、氾濫解析には半陰形式の二次元水理モデルTrimR2D42)が用いられており、高速度かつ安定した計算が可能となっている。

これまでの解析区間は23kmで、一辺16m直交格子による二次元氾濫解析が行われている。現在、解析速度をさらに高速化するため、非構造メッシュでの解析が可能なモデルへの改良が進められている。使用するモデルはUnTRIM⁴³⁾である。

UnTRIMの概要と氾濫解析への適用については、本報告書の付録2に示してあるので、参考にされたい。

(4) 洪水地図の作成事例

ここでは、近年行われている洪水地図作成事業を2つ紹介する。事例1は、最新の技術を取り入れた洪水保険料率地図（FIRM）の更新事業の事例である。事例2は、氾濫原開発を抑制する目的で、FIRMとは別に地図を作成している事例である。この事例がユニークなのは、安価かつ迅速に地図を提供することを第一に掲げ地図化を進めていることである。

【事例1】洪水保険料率地図（FIRM）の更新 テキサス州ハリス郡^{44)、45)、46)}

○ハリス郡の概要と熱帯性豪雨アリソン

テキサス州ハリス郡（Harris County）は、ヒューストン市とその近隣自治体から構成されている。昔からハリケーンや集中豪雨による浸水に悩まされてきた地域である。ヒューストン市は人口300万人を越える全米第4位の大都市である。スプロール的に都市化が進行しており、洪水氾濫による被害は深刻である。

この地域の治水事業は、1935年に設立されたハリス郡治水事業体（Harris County Flood Control District）によって進められてきた。その管轄範囲は1,756平方マイル、22流域に及ぶ。この事業体は、住民から治水目的税を集めて運営されている。事業体は、Bayouとよばれる河川（水路）の改修や維持管理を通じて治水安全度を高めてきたが、近年では、危険な場所の建物を買う上げるバイアウト事業も積極的に推進している。

2001年6月、熱帯性豪雨アリソン（Tropical Storm Allison）による豪雨で、ハリス郡は

甚大な被害を受けた。ヒューストン市内の観測地点では12時間で28インチの降雨が記録されるという記録的な豪雨であった。郡内の死者は22名（全米で41名）、95,000台の自動車が被害を受け、73,000の家屋が浸水した。資産被害は50億ドルにのぼるという。ヒューストン市内では地下駐車場や大規模医療施設（Texas Medical Center）等の地下空間の浸水も発生した。



写真7-2 ヒューストン市内のBayou（河川）

73,000の建物の浸水のうち、65%は特別洪水危険地域（SFHA）の外とされる地域で発生した。2,800以上の建物が実質的な被害（市場価格の50%以上）を受けた。FEMAとハリス郡治水事業体は、SFHA内に位置していて実質的な被害を受けた2,400の家屋を対象としたバイアウトプログラムを開始した。バイアウトにかかる費用は2億4800万ドルである。

○洪水保険料率地図の更新事業

また、ハリス郡治水事業体では、洪水保険料率地図（FIRM）の更新を目的とするプロジェクトを開始した。Tropical Storm Allison Recovery Project（TSARP）である。FEMAと事業体が費用を分担し、2001年からの3カ年で全域の地図の更新を終える予定である。

事業費は概算で2000万ドルである。FEMAでは、地図の近代化プロジェクト（Map Modernization Project）を実施しており、TSARPもそのプロジェクトの一環として投資対象になっている。従来の手続きでは、ハリス郡の地図の改訂には20年かかるところだが、熱帯性豪雨アリソンの災害復旧予算によって大幅に短縮されることになる。

プロジェクトでは、既に地



写真7-3 一次元水理解析のための横断面の設定

図化されている22流域の約1,100マイルの河川の地図の更新に加え、新たに100マイルを地図化する。地図の初版が完成したら、1年の縦覧（住民のAppealと修正）期間を経て、その後6ヶ月で自治体が氾濫原管理計画の修正を行う。地図が有効となるのはその後である。

地図の作成には、14の会社が関与している（水文解析：3社、水理解析：4社、新たな水路断面計測：4社、技術コンサルタント：1社、総合マネジメント：2社）。

プロジェクトで適用されている新技術には、次のようなものがある。

- ・従来は、USGSの地形図（5～10フィートコンター）より断面形状データを作成していたが、このプロジェクトでは全域でLiDARによる計測を行った。
- ・マルチパルスを計測するLiDARを用いた。これによって、川の近くの植生除去が正確になった。
- ・LiDARに加え、河道内の断面を測量（約1,000フィート毎）し、比較して精度を確認した。川岸の樹木除去等は手作業で行ったので、作業に6ヶ月かかった。
- ・使用した流出モデルは、HEC HMS（HEC-1）で、一次元水理モデルはHEC-RASである。これらへの入力データとして、ハリス郡で使用しているGIS計画ツールにある土地利用等のデータを用いた。

【事例2】安価かつ迅速な洪水地図の提供 カリフォルニア州⁴⁷⁾

○啓発氾濫原地図

カリフォルニア州の水資源部（Department of Water Resources：DWR）では、洪水保険料率地図（FIRM）では地図化されていない場所を対象として、州独自に洪水地図を作成するプロジェクトを実施している。このプロジェクトは、啓発氾濫原地図（Awareness Floodplain Mapping）と呼ばれており、FIRMのように氾濫原の規制とはリンクしていない。浸水の危険性のある場所について情報提供することで、将来的な開発を抑制することを目的としている。

○事業実施の背景

カリフォルニア州には総延長172,000マイルの河川があるとされているが、FEMAがこれまでに洪水保険料率地図（FIRM）を作成したのは10%以下の15,000マイル強である。FEMAは、5年後の人口増予測をもとにして優先的に地図化する地域を決めているが、開発圧力の高い場所をカバーできていないのが現状である。カリフォルニア州は、今後25年間に1400万人の人口増を予測しており、河川延長の1/3が開発されることになる予測している。このことから、未だに地図化されていない35,000マイルの河川延長に対して地図の作成が必要としている。また、FIRMでは中小の河川までは解析対象とされていないため、中小河川沿いの浸水の危険性がある地域が、「危険性は不明（ZONE D）」あるいは「安全（ZONE X）」とされているという。

そこで、州では25年先の人口予測で開発が予測される場所を対象として、FIRMがカバ

一していない中小河川も含めた洪水地図を整備することにした。この地図は、将来的な開発の可能性がある地域に対して、洪水の危険性を周知することを目的としているおり、開発抑制のためのガイドとして用いられる。

地図化対象河川は、人口増ポテンシャル、開発の容易さ、洪水リスクの大きさ、洪水危険性に関する他の資料がないこと、川が堤防や崖で囲まれていないことなどを条件に選定された。

○地図の表示内容

GIS を活用して、さまざまなデータを地図データとして取り扱っている。

洪水保険料率地図（FIRM）の浸水域（GIS 形式の Q3 データ）に州の啓発洪水地図による浸水域の GIS データを重ねている。作成された地図は、ホームページ上でデジタル形式で提供されている。

○地図の作成手法

FIRM の作成は、水理・水文解析を実施しなければならず費用と時間がかかるが、この地図は、可能な限り安価で短期間に作成することをめざしている。短期間で広範囲の地図を整備するためである。FIRM のように氾濫原規制とはリンクしていないため、要求される精度が緩やかであり、このような作成手法をとることが可能となっている。

作成の基本は、簡易調査をもとにした手作業での洪水境界線の描画である。

まず、USGS が提供している洪水頻度解析手法を用いて流量を予測する。この流量に対して予測される水位に対して、USGS 提供の地形図（7.5 minute quadrangle map）を用いて、等高線を参考に浸水の境界線を手作業で引く。さらに、現地調査（Windshield 調査）で確認する。

地図の作成にかかる費用は、河川延長 1 マイルあたり 200 ドルである。FIRM には概略調査で 1 マイルあたり 10,000 ドル、詳細調査で 1 マイルあたり 50,000 ドルかかるといわれており、それに比べると非常に安価であることが分かる。

8. おわりに

アメリカの氾濫原管理について調査するきっかけは、「アメリカでは氾濫原の土地利用規制をするだけでなく、浸水の危険性がある場所の建物の買い上げを大々的に進めている」という話を聞いたことである。狭い氾濫原にひしめき合っている日本からみると、考えられないような洪水対策に思えた。

日本では、総合治水対策によって、浸水に対して強いまちづくりを推進するという政策目標が掲げられ、流域全体での水害対策が進められてきた。しかし、総合治水対策の導入から相当な時が流れたものの、浸水に対して強い土地利用といった面からは、なかなか実効性のある対策を打ち出せないでいるのが現状でないだろうか。氾濫原の利用を制限するというのは、氾濫原の利用可能性を最大限に高めるという治水事業の目的と矛盾しているように見える。土地利用のコントロールには、このようなジレンマが本質的に存在し、それが実施を困難にしていると考えられる。

一方で、アメリカの氾濫原管理施策を調査してみると、施策に実効性を持たせるために非常に巧妙な仕組みを作り上げていることに気づいた。洪水保険とリンクすることで、安全な氾濫原利用のための対策を後押ししようという仕組みである。

そのような仕組みによって、アメリカが洪水被害の軽減に成功したかということ、未だにその目的を達成したとはいえない。また、アメリカの制度が日本にも適用可能かということ、断じてそうではないだろう。「アメリカでは・・・、でも日本では・・・」というような論じかたは絶対にすべきではないが、アメリカの制度について知ること、日本の氾濫原管理を考えるうえでヒントとなるようなアイデアが得られることは確かであろう。本報告書は、アメリカの氾濫原管理を紹介することで、日本の氾濫原管理のあり方を考えるきっかけとなることを願って執筆したものである。

筆者の私見ながら、日本における氾濫原管理（特に、土地利用施策）の今後を議論するにあたり、検討が必要と考えられる事項について記しておく。

・水害対策の現状と収支の把握

バイアウトを含め、アメリカの土地利用施策の主目的は、被災者への災害援助、洪水保険の支払いによる費用を抑制することにある。氾濫原の利用形態を変えることが、経済的にみて効率的との判断に基づいている。

では、日本の場合はどうだろうか。まず、日本の水害対策の収支（洪水被害額、復旧にかかる費用、治水事業費、その他）について、受益と負担も含めて明らかにする必要があると考えられる。例えば、水害の被害者がどれだけの被害を受け、復旧の資金としてどれだけ受けとっているのか（保険や見舞金等）などが定量的に示された例は、筆者の知る限

りではない。そのようなデータは、水害対策の達成度を測るうえで最も基礎的なデータである。誰が、どこに、どのように、どれだけの投資をしていて、その結果、水害の被害はどうなっているのか、そのような情報を定量的に明らかにすることは、望ましい氾濫原管理施策についての科学的議論の前提となる。

・日本の社会に合った氾濫原利用施策の検討

例えば、氾濫原の建物のパイアウト（買い上げ、移築）は、国土が広く、土地に固執しないアメリカだからできる施策だといえなくもない。アメリカでも、既に開発が行われてしまい、建物が密集している場所では、このような手法の適用は経済的にみても非効率であろう。

危険な場所の開発が既に行われてしまった場合については、その場所をもとの氾濫原に戻すことはできないだろう。しかし、開発による被害の発生が予測される場所や、遊水機能を保全することに正当性が見いだせる場所については、将来的な開発の抑制策が必要とされる場合もあると考えられる。その場合、どのような実効的な対策がとりうるのか、整理しておく必要がある。何らかの対策をとる場合には、流域全体での合意が得られるような措置が講じられなければならない。例えば、氾濫原の賢明な利用をすることで得るようにするように仕向けたり、氾濫原の利用に何らかの制限が生じる人には、それを補償する仕組みを作ったりするなどである。

・氾濫原管理に必要な技術開発

洪水地図は、氾濫原管理の基礎となる情報である。科学的知見に基づいて浸水の危険度を定量的に明らかにすることで、施策の公正な実施が可能となる。

日本でも、洪水ハザードマップの作成が進められているが、中小河川も含めてくまなく地図化するためには、地図作成に要する費用の削減が課題である。また、洪水ハザードマップでは、治水事業の計画対象の洪水（計画高水）による浸水を示しているが、被害軽減という面からみて、望ましいリスク区分、表示となっているのかどうかについても検証が必要であろう。これらの点についての解決策を技術的に検討することで、より高度な水害対策の推進が可能となるものと考えられる。

筆者は、平成14年度後半、人事院行政官短期在外研究員制度により米国地質調査所（USGS）に滞在した。研究テーマ名は、「米国における非構造物による水防災対策」である。この報告書の主要な部分は、その際に調査した内容をもとに作成した。アメリカでの滞在ならびに関連する調査にあたり様々な便宜を図っていただいた方々、ヒアリング調査、資料提供に協力していただいたアメリカ政府諸機関の方々には、この場を借りて謝意を表す。とりわけ、米国地質調査所（USGS）の Ralph Cheng 博士には、米国滞在中に公私にわたってお世話していただいた。深く謝意を表する次第である。

付録1 Galloway 報告の概要（訳）

1993 年、中西部ミシシッピ川を中心とした大洪水の後、アメリカ政府は多省庁氾濫原管理調査委員会（Interagency Floodplain Management Review Committee）を組織し、洪水被害の要因分析を実施した。翌 1994 年、この分析にもとづき「共に挑む：21 世紀に向けた氾濫原管理」（“Sharing the Challenge : Floodplain Management into the 21st Century”）⁸⁾がとりまとめられた。Galloway 報告と略称されるこの報告には、以降に実施された施策の提言も含まれており、アメリカの氾濫原管理の方向性を決定づけたともいえる。

そこで、本報告書の付録として、Galloway 報告の概要（Executive Summary）部分の翻訳を掲載する。

多省庁氾濫原管理調査委員会より 政府氾濫原管理専門委員会への報告

概要

我が国がもはや自然災害の高い費用を払うことができないという事実を直視するときが来た。アメリカの納税者への経済的費用をまかなえないだけでなく、共同体や個人への社会的費用もまかなうことができない。

1993 年 10 月 27 日 連邦危機管理庁長官 James L. Witt の議会での証言

氾濫原と我が国

ミシシッピ川とミズーリ川の上流域とその支川は、我が国の歴史上大きな役割を果たしてきた。その存在は、合衆国の中西部の北部の成長に不可欠だったし、この地域を世界の他の地域と結ぶ交通網であった。これらの川の氾濫原は、最も生産力の高い農業地帯である。それらは、様々なレクリエーション機会を提供し、重要な生態系を有している。この地域の開発は多くの利益をもたらしたが、それが常に賢明な方法によるものであったとはいえない。結果として今日、我が国は 3 つの大きな問題に直面している。

第一に、1993 年の中西部の洪水は、ミシシッピ川上流部だけでなく全国に渡って人々

と資産が危険にさらされていることを示した。危険な場所にいる人々の多くは、その危険性の特性とそれがもたらす結果について知らないばかりでなく、その財政的負担も十分にしていない。

第二に、我が国がミズーリ川上流の脆弱な生態系の重要性を十分に認識したのはつい最近のことである。過去二世紀に渡るハビタットの喪失により、我が国は深刻な生態系破壊の危機に直面している。

第三に、連邦、州、部族及び地方自治体の氾濫原管理責任は明確に区分されなければならない。現在のところ、氾濫原管理に対する姿勢は連邦、州、部族、地方自治体によって大きく異なっている。

多省庁氾濫原管理調査委員会は、我が国の氾濫原をより良く管理する方法を提案する。この報告書は1993年の洪水の特性と影響範囲、政府の対処について記述するとともに、変革への青写真を示している。この青写真はミシシッピ川上流部及び我が国全体を対象としている。その基本は、政府、企業、一般市民の全レベルで責任と説明責任を共有するというものである。これは、河川と氾濫原の競争的な使用のバランスを求めるものであるが、一方では、不適切だからといって氾濫原での活動を全てやめることができないことも認識している。委員会は、このようなアプローチが、低頻度の大洪水及びより高頻度な小洪水の双方への脆弱性を軽減するために必要な変革をもたらすと信じている。このアプローチをとることで、現状が公共、民間の両部門に与えている環境的、社会的、経済的負担が軽減される。

共に挑む ー連邦、州、部族、地方自治体、企業、市民

1936年の洪水防御法の可決より、連邦政府は我が国の洪水被害軽減の努力を一手に引き受け、その結果として、氾濫原管理活動も一手に行ってきた。増加する洪水被害に対抗するためには、構造物によるプログラムが重要と考えられ、また主要な予算配分先であった。近年、連邦政府は非構造物によるアプローチを支持し始めている。多くの州、部族、地方自治体が洪水被害を軽減し、氾濫原の自然機能を向上させるための氾濫原管理の努力を行っている。しかしながら、これらのプログラムの実施には調整がなく、両立しないような連邦のプログラム、政策、規制や指針があり、効率的な氾濫原管理を妨げていた。いくつかの州や自治体は氾濫原管理に積極的ではなかった。連邦政府が支配的な役割を果たし、生態系保全、氾濫被害軽減、洪水復旧活動への予算配分を行ってきたことが、多くの州、部族及び自治体、企業、市民が氾濫原管理に関する賢明な決断を行うインセンティブ

をそいできた。今、まさに以下のことがらを実施すべき時である。

- ・ 氾濫原管理の達成のための責任と説明責任を、我が国の全レベルの政府、市民が共有する。連邦政府のみでは達成不可能であるとともに、支配的な役割を果たすべきでもない。
- ・ 将来目標として、洪水の危険性と被害への国家の脆弱性を軽減し、氾濫原の自然資源及び機能を保護、向上することを同時にかつ統合的に行う。このアプローチは、氾濫原の無分別な使用を避け、氾濫原が使用される場合は脆弱性を最小化し、使用されている場合は被害を軽減する。
- ・ 全レベルの政府が効果的な氾濫原管理を実施したり、参加したりするのに必要な支援と道具を提供する連邦のプログラムを構築する。

委員会の調査結果：

委員会の調査結果は二つの部分に分けてられている。1993年の中西部の水害と、連邦、州、部族、地方の氾濫原管理である。

1993年の中西部の洪水

1993年の中西部の洪水を調査した結果、委員会は以下のような結論に達した。

- ・ 1993年の中西部の洪水は、水文気象学的に未曾有の事象であった。この洪水は、ミズーリ川上流域大部分への超過的な降雨により引き起こされた。この降雨と流出ともなう被害は高台及び氾濫原で生じた。洪水前の降雨が地面を飽和させ、支川の流れを増加させた。つづく降雨は地表面に溢れ、低地に流出して洪水となった。再現期間は幅広く、多くの場所で100年以下であり、ミシシッピ川のイリノイ州 Keithsburg からミズーリ州セントルイスへの区間、ネブラスカ州 Rulo からミズーリ州 Hermann までのミズーリ川の区間では500年近くであった。45箇所のUSGSの観測所では、洪水位は100年確率を超した。洪水の継続期間も特筆すべきものであった。多くの地域が何ヶ月も水に浸かった。
- ・ 1993年のような降雨、洪水は今後も引き続き発生する。洪水は反復的な自然現象だからである。長期的気象パターンに関する限られた知見及び国家の水文データ記録の短い歴史を考えると、洪水の再現期間は予測困難である。氾濫原の活動、堤防の防御でさえ、危険な状態にあり続ける。
- ・ 1世紀半にわたる全流域の湿地と高台の被覆の喪失、風景の改変は流出量を大きく増加させた。多くの損失は1930年以前に生じたが、これらは、近年の排水、洪水被害軽減、舟運のための開発に関係するものもある。高台の流域対策と高台、低地の湿地の回復は、より高頻度な（25年以下）の洪水位を下げることはできるが、それが1993年の状況を大きく変えることができたかは疑問である。

- ・ 流域全体の人間活動はハビタットと生態系の多様性を大きく損なった。洪水被害軽減と舟運事業、土地利用形態が低地のハビタットを悪い方向に変えた。
- ・ 洪水による国家への費用は幅広い。38人の死者は洪水に起因するし、財政的被害の推定は129億ドルから160億ドルである。農業被害が被害の半分以上を占める。農業生産物災害援助の支払いの70%以上は、地盤の飽和により植え付けができなかったり、作物が死んでしまったりした高台域で生じた。100,000軒の被害家屋の50%近くは、河川の洪水による地下水位上昇や下水の逆流により生じた。さらに、多くの被害はまだ定量化されていない。流域内外の企業活動への影響は計算されていない。政府の税収減は不明である。人々の肉体的、精神的な影響は調査中であり、懸念されているところである。
- ・ 洪水被害軽減プロジェクト、氾濫原管理プログラムが実施されているところでは、人口集中部、農業、工業への被害を計画どおり顕著に軽減していた。陸軍工兵隊（USACE）により作られた遊水池や堤防は190億ドル以上の潜在的被害を防いだと推定される。カンサスシティとセントルイスの大部分の地域は、郊外域が大被害を被ったのに対し、洪水による破壊を免れた。土壤保全局による流域プロジェクトはさらに4億ドルを防いだと推定される。洪水保険（NFIP）と州の氾濫原管理プログラムによる土地利用規制は流域全土で危険にさらされた建物数を減らした。
- ・ 地域によって造られた堤防は破堤したり越水したりした。これらは、洗掘、堆積によって堤防内の土地へかなりの被害を与えた。
- ・ 堤防の有無に関わらず、1993年の洪水はミズーリ川の本川下流部及びミシシッピ川の上流部の氾濫原の多くを浸水させたと考えられる。堤防が水を堰きあげ、他の堤防や低地の水位を上げて危機的状況としたこともあった。閘門やダムやその他の舟運施設は洪水位をあげなかった。より頻度の高い洪水－流量が少ないもの－に対しては、舟運用の堤防は微少な水位上昇を起こすかもしれない。

連邦、州、部族、地方の氾濫原管理

委員会は現在の連邦プログラムの構成、連邦、州、部族、地方自治体の関係、洪水中、洪水後の様々なプログラムのパフォーマンス、これらの活動から出された活動報告を調査した。その結果、委員会は以下の結論に達した。

- ・ 連邦、州、部族、地方自治体による氾濫原管理活動の責任区分は、明確に定義されなければならない。連邦のシステム内では、水資源に関する活動一般と、特に氾濫原管理とをよりよく調整すべきである。州と地方自治体は氾濫原管理に財政的権限を持つべきである。それなくして、氾濫原管理に全面的に関わっていくインセンティブが生じない。連邦プログラムにおいて、州政府は地方自治体を支援しなければならない。連邦政府は、氾濫原管理活動の事例を示す必要がある。

- ・ 国家洪水保険プログラム（NFIP）には改良が必要である。対象とする市場－氾濫原占有者－への保険の浸透は低く、20～30％である。NFIPに参加しないと決めた自治体も実質的な災害支援を受けている。保険に加入していない者への連邦の災害支援の供給は、多くの氾濫原住民に洪水保険の購入は無意味な投資であるという考えをもたらす。地図作成プロジェクトは予算不足で、より高い精度とカバー率が必要である。災害毎に異なるプログラムの要求事項には均一化が必要である。
- ・ 連邦の主要な水資源計画書である「原則と指針」（Principles and Guidelines）は古く、国家の経済、社会、環境の目的間のバランスを反映していない。環境的、社会的インパクトを貨幣価値で定量化することができないことが、バランス不足を悪化させている。結果として、これらの影響はしばしば低く見積もられたり省かれたりしている。「原則と指針」の批判者の多くは、これを非構造的アプローチに対して偏向しているとみている。
- ・ 氾濫原と流域の環境を守り向上させるための現在の連邦のプログラムは、その要求にみあうほど効果的ではない。支援、柔軟性、予算措置に欠けており、うまく調整されていない。結果的に、ハビタットの改善の進展は遅い。
- ・ 連邦の災害前、対応、復旧、将来の被害軽減プログラムは一連化されるべきだが、進展がみられる。我が国は、政府による積極的で思いやりのある被害者への対応の必要性を認識しているが、調整のための対処が必要である。浸水頻度が高い家や被害をうけた土地のバイアウトは、将来の洪水被害の軽減にかなりの効果をあげるだろう。
- ・ 我が国は、効果的なミズーリ川上流域の水資源管理のため、調整された戦略を必要としている。統合的な舟運、洪水被害軽減、生態系管理の責任は、いくつかの連邦プログラムに分断されている。
- ・ 現在のミシシッピ川上流域の洪水被害軽減システムは、連邦、地方、個人の堤防と遊水池の緩やかな集合をなしている。この集合は氾濫原活動の脆弱性の軽減を保証しない。多くの堤防の位置は好ましくなく、将来壊れる可能性がある。現在の連邦のプログラムを変えなければ、これらの堤防のいくつかは災害後の復旧対象として残り続けるであろう。堤防の修復プログラムには、同時に進められている環境保全に配慮できるよう柔軟性が必要である。
- ・ 我が国は、死活的な水資源管理情報の収集に提供に科学と技術を十分活用していない。氾濫原の使用計画及び危機的状況での運用に必要な情報提供に改良の余地がある。

委員会の提言

提示された目標にむけて、委員会は提言を作成した。

- ・ 氾濫原管理の努力が成功に向けて組織化されるため、大統領は以下を行うべきである。
氾濫原管理の国家的モデルを構築し、連邦、州、部族、地方の責任を明確化し、州、

地方自治体の氾濫原管理活動に財政的支援を与え、州を国家の第一の氾濫原管理者と規定するための氾濫原管理法の法制化を提言する。

大統領令の修正を出す。それは、氾濫原活動への健全な判断を下すという連邦機関の責任を明確化するためである。

さらに、水資源委員会による連邦及び連邦一州一部族の水資源に関する調整を活性化させ、必要に応じ、地域的な問題について連邦一州一部族の調整のための場を提供するための流域委員会を再構築する。

- ・ 連邦の水関連プロジェクトとその効果の総合的評価を進めるため、大統領は、即刻、「原則と指針」のもとで行われる計画において、環境の質と国家の経済開発を同等な目的とすべきである。「原則と指針」に新しい目的を与え、非構造物による代替案を全面的に考慮すべく改訂すべきである。
- ・ プロジェクト開発の調整をすすめる、複数の目的を有する計画に対処し、顧客サービスを向上させるため、政府は連邦政府間及び州、部族、地方政府の間の協調を支援すべきである。
- ・ 州、部族、地方が、今後も引き続き氾濫原管理の成功に力を入れるため、政府は連邦、州、部族及び／または地方による、災害前、復旧、対応、将来被害軽減活動の費用分担を進めるべきである。
- ・ 流域管理を扱う複数の連邦プログラムを調整するため、政府は、これらの活動の調整戦略を策定する多省庁専門委員会を設ける必要がある。
- ・ 氾濫原の環境を向上させ、低地及び高台の自然の貯留効果を高めるための現在の連邦プログラムを十分活用するため、政府は以下のことを行うべきである。

災害後の土地取得プログラムの柔軟性を高めるため、その実施のための法的権限について検討する。

連邦の事業実施と維持管理、災害復旧活動において、環境への配慮を増やす。

連邦政府による環境関連の土地取得活動を、よりうまく調整する。

既存の機関を通じ、土地の売却を望む人からの計画的な取得への予算措置を講じる。

- ・ 洪水保険プログラムの効率性、効果を向上させるため、政府は以下のことを行うべきである。

洪水保険のマーケティングの改良のため積極的な施策を進め、貸し手が従うべきルールを強化し、保険市場への州の援助を模索する。

災害直後の健康、安全、福祉に必要なレベルの保険を買うことができる住民への災害後支援を減らす。保険を買えない低所得の洪水被害者にはセーフティーネットを準備する。

保険金請求ごとに保険金額を増やし、将来被害の軽減活動を行う保険契約者に回し、その他の被害軽減事業を支援することで、繰り返し被害への支出を減らす。

基準となる計画洪水流量以下の堤防の後ろに住む人に、保険数理的に決められる保

険購入を求める。

洪水保険証券の有効化までの期間を5日から15日に増やし、洪水が差し迫っているときの保険購入を防止する。

洪水保険地図の適時性、カバー範囲、精度を向上するための技術を向上する。地図作成を保険料及びその他の適切な資金から援助する。なぜなら一般的納税者はこのプログラムより利益を得るからである。

実質的に被害を受けた建物の嵩上げ、破壊、移転をカバーする将来被害軽減のための保険を用意する。

- ・ 氾濫原にいる人の洪水被害への脆弱性を減らすため、政府は下記を行う必要がある。

脆弱性の軽減のために可能な代替案の全てを検討する。氾濫原からの永久避難、洪水警報、氾濫原に残る建物の耐水化、自然及び人工の貯水池の追加的な創出、適切な規模で維持管理された堤防などの構造物などである。

社会的、経済的、環境的価値を十分尊重し、全ての脆弱性軽減の代替案が平等に考慮されるよう改訂された「原則と指針」に基づく洪水被害軽減指針を適用する。

適切な場所であれば、氾濫原管理活動やプログラムによって、プロジェクトの基準となる洪水流量に対して、人口集中地区や重要なインフラ施設の脆弱性を減らす。

- ・ 連邦により建設された水資源プロジェクトが当初目的にあうよう保証し、さらに現在の国家の社会的、環境的目的を反映するよう、政府は完成後のプロジェクトを定期的に見直す。
- ・ 効率的な運用と基準の統一性を保証するため、政府は連邦のプログラムでの堤防の修理、建設を陸軍工兵隊に行わせる。
- ・ 堤防、氾濫原の環境、水理的な効率性を統一的に確保するため、州と部族は非連邦堤防の適切な配置、建設、維持管理を確実に行う。
- ・ 1993年洪水での連邦、州、部族、地方の災害前、緊急対応、復旧、被害軽減事業、それに引き続く将来の努力を活用するため、政府は下記を行う。

洪水保険プログラムの自治体格付けシステムを通じて、州と自治体の氾濫原管理と将来の被害軽減計画の開発と実施を支援する。

氾濫原で危険にさらされている建物を、プログラムに従ってバイアウトするための資金供与を行う。

補助金としてセクション404被害軽減事業補助を州がうける選択肢を与える。

連邦危機管理庁の長官に統合的な連邦災害対応、復旧活動の責任を与える。

連邦機関が、災害関連以外の資金を被害軽減事業の支援に用いることを支援する。

- ・ ミシシッピ川上流域での統合的、水文的、水理的、生態系管理を行うため、政府は下記を行う。

ミシシッピ川上流域及びミズーリ川流域委員会を設立し、流域レベルでのプログラ

ム調整を行う。

議会への諮問に基づき、ミシシッピ川上流での洪水被害軽減、生態系管理、舟運の統合管理の責任をミシシッピ川委員会（MRC）に与える。MRCのメンバーに内務省の代表を加える。MRCにミシシッピ本川及びミズーリ川の連邦が建設、もしくは連邦が支援した健全な堤防の長期的管理と維持の責任を与える。この支援は適切な工学的、環境的、社会的基準への適合を前提としている。

ミシシッピ上流域での連邦の洪水被害軽減と舟運の管理のため、ミシシッピ川上流と支流プロジェクトの設立への議会の認可を求める。

ミシシッピ川上流域を省庁横断的生態系管理デモンストレーションプロジェクトに追加的する。

ミシシッピ川上流域での生態系の必要性に関する分析を行うよう内務省に求める。

- ・ 氾濫原管理と災害運用のために死活的な水資源情報の適時収集、提供のため、政府は以下を行う必要がある。

1993年の洪水期間中及びその後集められた情報を連邦機関、州、地方の活動に提供するクリアリングハウスを米国地質調査所（USGS）に設立し、このような事業の先駆的事例とする。

科学と技術を駆使し、観測、分析、モデル化、氾濫原活動のための意思決定支援システムと地理情報システムの開発を支援する。

調査報告の構成

1993年の春、夏、秋を通じて、合衆国の人々は1993年大洪水によって荒廃した合衆国中西部の様子を毎晩目にした。60年近くにわたり、我が国は洪水の影響を軽減するための努力をしてきた。しかし、失われた人命、被害を受けた家屋、破壊された資産は計り知れない。何故このようなことが起こったのか。何がこの洪水を起こしたのか。人間の干渉が状況を悪化させたのか。繰り返しを防ぐために国がすべきことは何か。これらの質問に答えるために、農業省長官 Mike Espy の指揮による政府の洪水復旧専門委員会の一部である氾濫原管理専門委員会は、多省庁氾濫原管理調査委員会、水資源に関係する連邦の省庁に配置された31人の専門家集団を組織した。

調査委員会は1994年の1月から6月までワシントンと中西部で活動した。洪水被害をうけた9州の知事の事務所での調査では、州及び地方の政府職員に会い、60カ所以上を訪れた。調査委員会は連邦の省庁、利害関係者、議員及びスタッフ、洪水に関心を持つ数多くの民間人と幅広く接触した。調査委員会の一部、1993年11月にホワイトハウスに認可された科学的評価及び戦略チームは、洪水と流域情報のデータベースが開発されたサウスダコタ Sioux Falls の EROS データセンターで活動した。

調査委員会の報告は、提言の実施の責任分担とスケジュールの提案を示した活動計画、財政評価の文書、科学的評価及び戦略チームの事前報告を含んでいる。

付録2 非構造格子モデルによる氾濫解析

米国地質調査所 (U.S. Geological Survey) では、リアルタイムで河川の氾濫を予測し、インターネットを通じて情報提供するシステムを開発中である。浸水の予測には、非構造格子を用いた水理解析モデル (UnTRIM モデル⁴³⁾) の適用が進められている。UnTRIM モデルには、高速かつ安定した計算が可能という特長があるとともに、非構造格子で離散化することから、場所毎に必要とされる精度に応じた効率的な氾濫原の格子分割が可能となっている。

ここでは、UnTRIM モデルの概要を紹介するとともに、非構造格子モデルの氾濫解析への適用性に関する検討結果を紹介する。

UnTRIM モデルの概要

(1) TRIM モデル

UnTRIM (Unstructured Grid TRIM) モデルは、半陰形式の有限差分法による浅水流解析モデル TRIM (Tidal, Residual, Inter-tidal Mudflat) モデル⁴²⁾の改良版である。TRIM モデルは計算領域をデカルト座標系の直交格子で離散化しているが、UnTRIM モデルそれを非構造格子に拡張している。

TRIM モデルの基礎方程式 (二次元浅水流の場合) は、連続式及び x 、 y 方向の運動方程式である。

連続式：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial [(h + \zeta)U]}{\partial x} + \frac{\partial [(h + \zeta)V]}{\partial y} = 0$$

x 方向の運動方程式：

$$\frac{DU}{Dt} - fV = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{\rho_0(h + \zeta)}(\tau_x^w - \tau_x^b) + A_h \nabla^2 U - \frac{g}{2\rho_0}(h + \zeta) \frac{\partial \rho}{\partial x}$$

y 方向の運動方程式：

$$\frac{DV}{Dt} + fU = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{\rho_0(h + \zeta)}(\tau_y^w - \tau_y^b) + A_h \nabla^2 V - \frac{g}{2\rho_0}(h + \zeta) \frac{\partial \rho}{\partial y}$$

ここに、 U 、 V は水深平均流速、 ζ は基準となる水表面高さ、 h は基準となる水表面高さからの水深の変位、 f はコリオリのパラメータ、 g は重力の加速度、 ρ は水深平均の密度、 ρ_0 は基準となる密度、 τ_x^w 及び τ_y^w は風による水表面のせん断力、 τ_x^b 及び τ_y^b は底面のせん断力、 A_h は水平方向の渦動粘性係数である。

運動方程式の重力項及び連続式の流速項が数値解析の安定性を支配しているという分析

結果に基づき、TRIM モデルではそれらの項を陰形式、それ以外の項を陽形式で扱っている。このような扱いをすることで、高速かつ安定した解析が可能となっている点が特徴である。TRIM モデルは、まず、二次元浅水流モデルとして開発され、非静水圧近似の三次元モデルへ (TRIM3D)、さらに、非構造格子へと改良を経てきた。UnTRIM モデルでは、従前からの TRIM モデルの基本的なアルゴリズムを変えず、離散化方法のみを非構造格子に拡張している。したがって、高速かつ安定な計算の実行という TRIM モデルの特長が受け継がれている。

TRIM モデルでは、水位は計算格子の中央、流速は計算格子周囲の格子境界線上で定義されている。そして、地面（海底）の高さが計算格子周囲の格子境界線上で定義されている点も TRIM の特徴である。計算格子間の水の移動の有無は、格子境界線上の水深の正負で自動的に決まる。計算格子への水の出入り (Wetting 及び Drying) が簡易に取り扱えることから、潮位変動の影響がある干潟や河川の氾濫の解析に適したモデルだといえる。

米国地質調査所 (U.S. Geological Survey) では、サンフランシスコ湾の流れの解析に TRIM モデルを利用しており、モデルの有効性が証明されている⁴⁸⁾。

モデルの高速性を生かした応用例には、サンフランシスコ湾のリアルタイム予測システム PORTS (Physical oceanographic Real-Time System) がある。これは、TRIM2D モデルによるサンフランシスコ湾の流れの解析結果を、インターネットを通じてリアルタイムで提供するシステムである。このシステムでは、リアルタイムで計測された現地データ (水位、流速、流向等) を取り込み、解析結果のキャリブレーションを行っている。1 時間毎に、過去 24 時間の計測データをもとにモデルが修正され、将来 24 時間の予測計算が行われる。解析結果はインターネット (<http://sfports.wr.usgs.gov/sfports.html>) で配信されている。

(2) TRIM モデルの非構造格子化⁴³⁾

UnTRIM モデルでは、非構造格子を用いて計算領域が離散化される。デカルト座標系の直交格子では、 x 方向、 y 方向の流速が定義されて運動方程式が解かれるが、非構造格子では、格子を囲む境界線上に直角な方向に流速が定義され、運動方程式の有限差分が行われる。また、自由表面の式から格子の水位が求められる。計算領域全体及び格子内それぞれの体積は保存される。

解析領域の離散化に非構造格子を用いることの長所は、解析領域の地形形状や領域内の地物 (堤防や道路など、流れに影響を与えるもの) に応じた格子分割が可能となる点である。また、細かい精度が必要な場所では格子を細かく、粗い精度で十分な場所では粗い格子で分割できるので、効率的な計算が可能となる。同じような長所をもつ離散化手法には一般座標系による不定形格子があるが、この方法では座標変換が必要となる点が非構造格子と異なっている。

非構造格子は、通常凸状の三角形、四角形から構成される。各格子は次に述べる条件を満たす「中心点」を有していなければならない。隣り合う格子の中心点を結ぶ線は、そ

これらの格子が共有する辺と交差し、しかも直交しているという条件である。そのような格子分割を手作業で行うのは困難だが、USGS では、市販の格子生成ソフト ArgusONE を用いることで、この作業を自動化している。ArgusONE では、領域境界を示すポリゴンと地盤高データがあれば自動的に格子分割が行われる。

氾濫解析への適用性検討

(1) 氾濫解析モデルの現状

現在、実務で一般に用いられている氾濫解析は、デカルト座標系による直交格子（一辺長さが一定の四角い格子）によるものがほとんどである。浸水想定区域図及び洪水ハザードマップの作成もこの方法によっている。この方法の長所は、データの作成が容易でモデルも簡便な点である。広範囲を対象とした解析を行って浸水域の概略を示す地図を作成する目的に対しては、直交格子でも十分に要求に応える結果を出すことができる。

一方、近年では、氾濫解析の利用目的も多様化してきており、現実の条件をより忠実に表現した解析の実施が望まれるようになってきている。特に、都市部の水害対策では、以下のような理由から氾濫解析の精緻化が必要とされている。

- ・ 浸水による被害予測、避難等の緊急対応計画などには、浸水域、浸水時間などの精緻な浸水予測情報が不可欠である。
- ・ 特に、地下施設の被害の有無は、数センチ規模の浸水深さの違いにより左右されるため、それに見合った精度が要求される。
- ・ 町丁目や個別建物などが特定できる位の分解能で浸水予測できれば、住民や建物の所有者が適切な浸水対策を実施することを支援することができる。

また、都市部の氾濫現象には以下のような特徴がある。

- ・ 建物、道路の存在により、氾濫流が道路に集中し、高速流が発生する可能性がある。
- ・ 下水道等の排水施設が氾濫水の伝播状況に与える影響が大きい。局所的な地形形状に応じた内水氾濫が発生したりする。

このような特徴を有する氾濫現象は、直交格子による粗い格子分割では再現が困難である。必要とされる解析結果を直交格子のモデルで求めるためには、格子の大きさを非常に小さくしなければならない。しかし、解析領域全体を一様に小さな格子で分割するのは合理的ではない。

一般座標系による不定形格子や非構造格子では、上記のような直交格子の短所を補うことができる。また、都市部の建物、道路の存在に対しては、道路網を水路のネットワークとしてモデル化する手法⁴⁹⁾も有効である。しかし、直交格子以外を用いたモデルには、入力するデータの作成に労力がかかる点が問題であった。また、高分解能、高精度な格子の作成に必要な高密度、高精度な標高データの取得も困難であった（現在では、都市計画図

の単点標高等が用いられることが多い)。このような理由から、今までこれらのモデルが実務で用いられることは稀であった。

近年、氾濫解析の周辺技術の進歩は著しく、デカルト座標系の直交格子以外を利用したモデルの導入を可能とする環境が整えられつつある。それらは、例えば以下のような技術である。

- ・ 標高データの取得基盤： LiDAR (Light Detection and Ranging) 等の技術により、高密度、高精度な地盤高データを安価に取得することが可能となっている。このような技術は、地形形状に応じた細かい格子分割や、数センチ規模の高精度な浸水予測に必要な標高データを提供してくれる。
- ・ 数値解析基盤： コンピュータの高速化、記憶容量の増大により、細かな格子分割による解析が可能となっている。
- ・ GIS 基盤： GIS 及び GIS とリンクしたソフトの一般化により、氾濫解析の入力データの作成、解析結果の分かりやすい表示が容易に行えるようになっている。

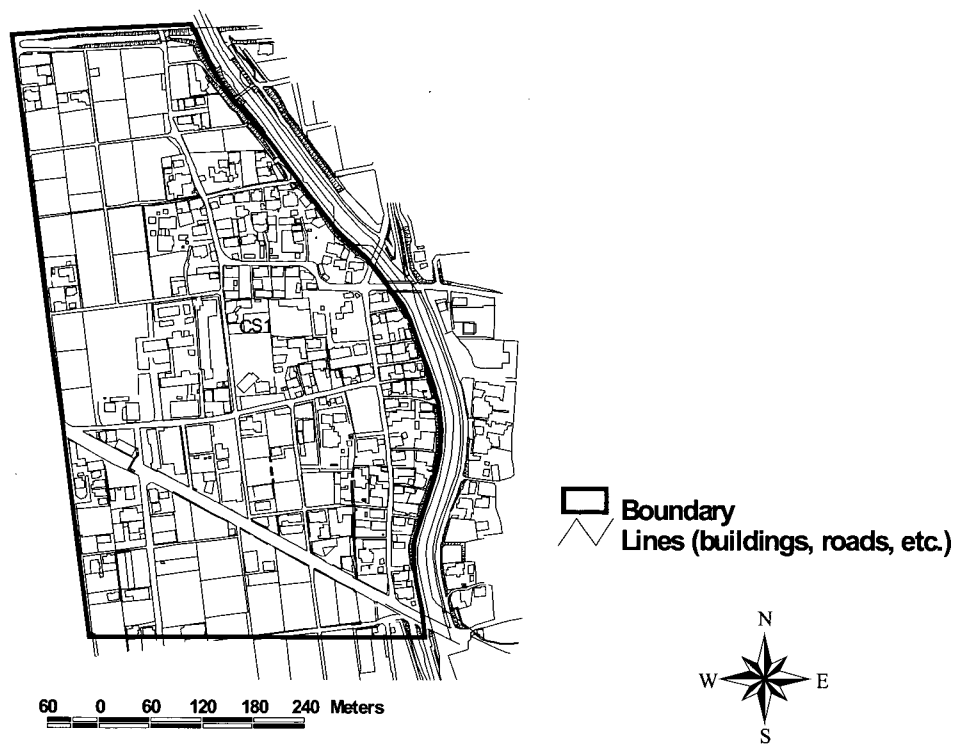
(2) UnTRIM モデルを用いた検討

前述のとおり、UnTRIM モデルでは非構造格子を用いて高速かつ安定な解析が可能である。また、USGS では市販の格子生成ソフト ArgusONE を用いることで、UnTRIM モデルへの入力データ作成の労力を小さくしている。そこで、家屋等が存在する場所での氾濫解析に UnTRIM モデル適用することを試みた。この作業を通じて、非構造格子モデルの氾濫解析への適用性を探ることが目的である。

- ・ 日本の一地域で氾濫解析を通じて、モデルの適用の容易さ（データ入手、入力データ作成、モデル運用）を把握する。
- ・ 格子分割方法の違いによる計算結果の差を比較する。現在の氾濫解析で一般に行われているような直交格子（50m×50m）による分割と、建物の存在を考慮した非構造格子による分割である。

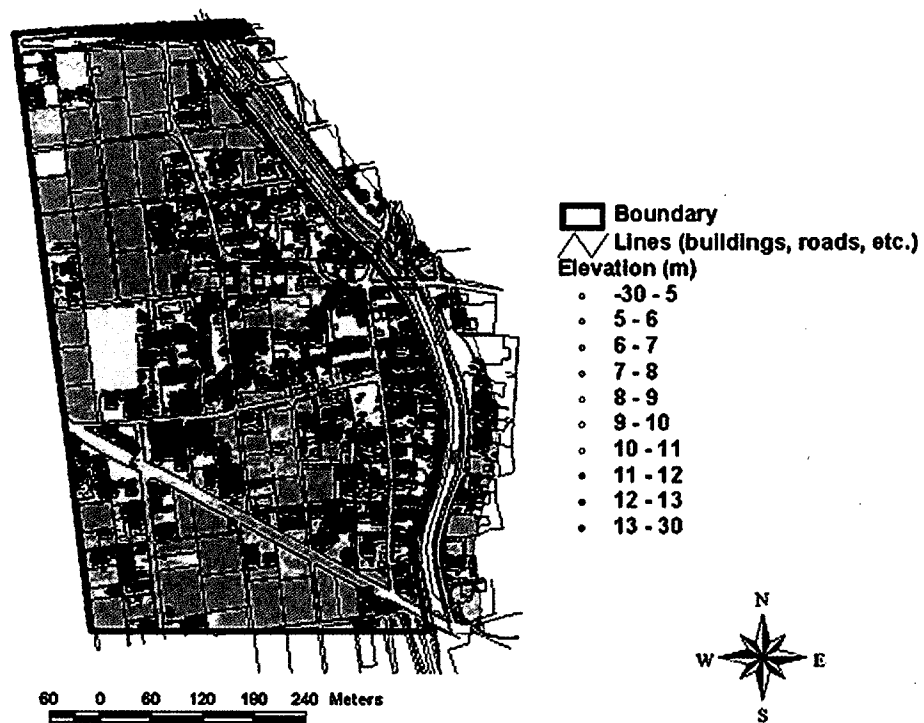
(3) 検討対象地域

日本のA地域（図 A-1）を対象として検討した。A 地域の北側は盛土された国道、東側は B 川の堤防で区切られている。解析範囲の西側、南側には遮るものがなく平地が広がっているが、今回の検討では、東西 400 強、南北 800m 強の範囲を切り出している。地域内の土地利用は水田及び住宅である。特に解析範囲の東側には住宅が密集している。

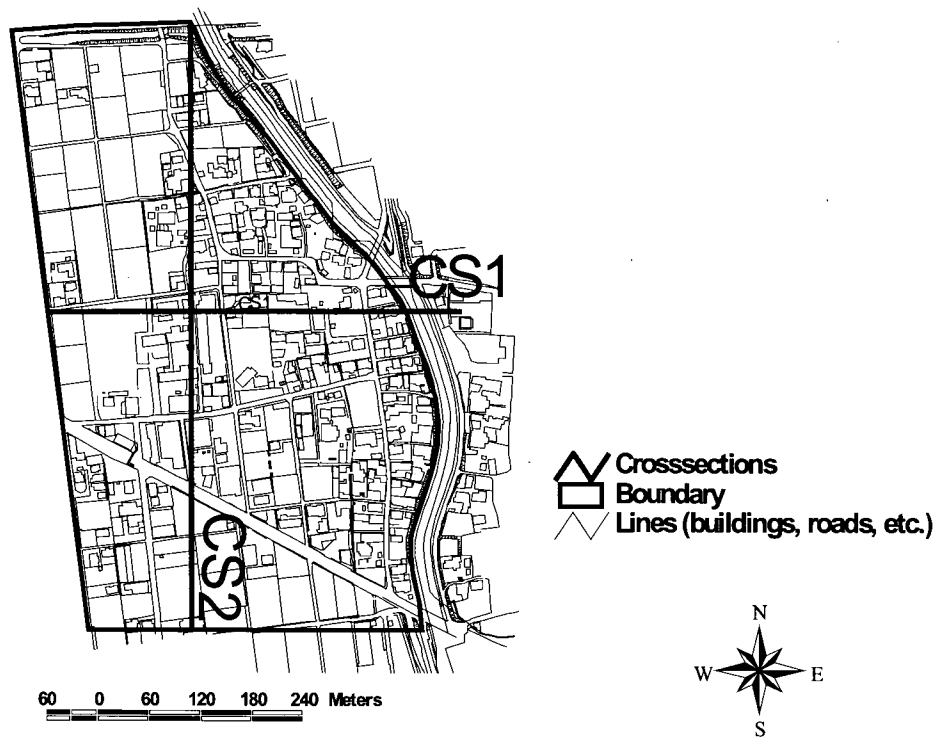


図A-1 解析範囲（A地域）

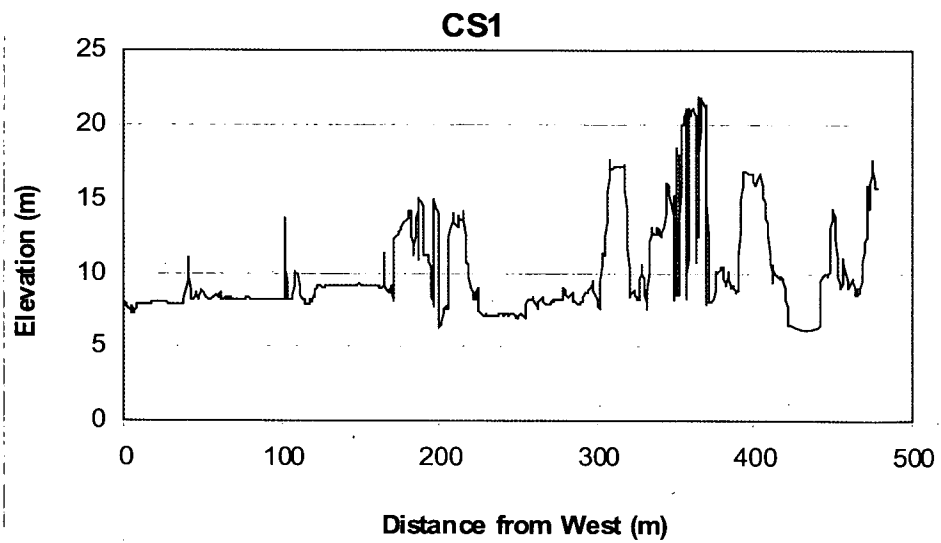
図A-2にA地域の標高分布を示す。LiDARで計測された標高点データをもとに作成されている。標高点は約2.5m間隔、ランダムに分布しており、家屋や樹木等除去されていないデータである。地形は平坦で、水田部分の標高が低く、盛土された家屋周辺の標高が高くなっている。図A-3に示す断面（CS1、CS2）の標高の断面図を図A-4、図A-5に示す。家屋や樹木が除去されていないため、それらは極端に高く示されているが、地盤の高さはほぼ平坦であることが分かる。



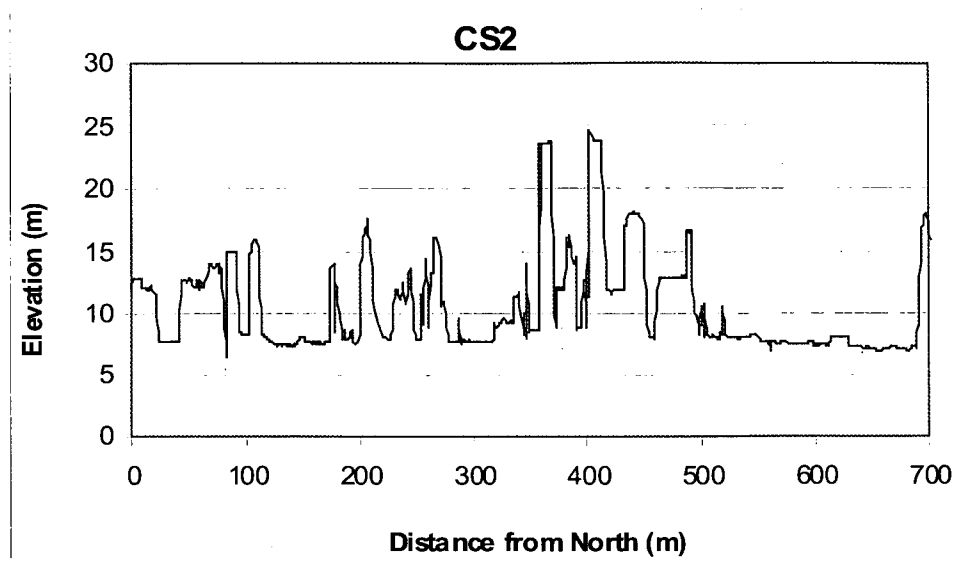
図A-2 A地域の標高 (LiDARにより計測された標高点)



図A-3 標高の断面図を作成した断面



図A-4 標高の断面図 (CS1)



図A-5 標高の断面図 (CS2)

(4) 格子データの作成

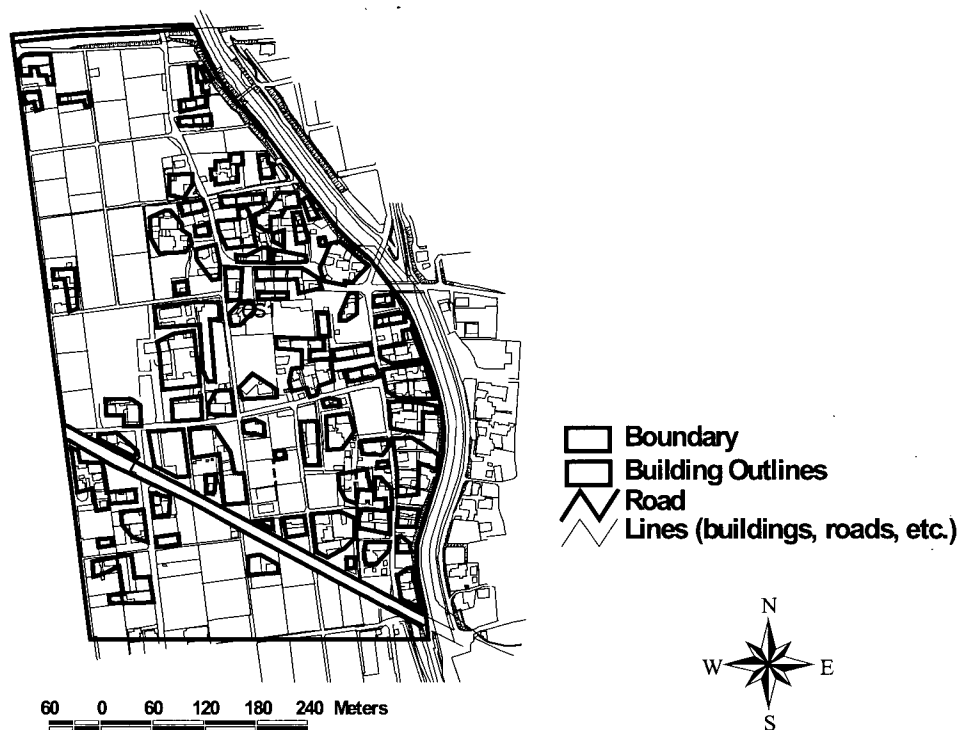
50m×50mの直交格子 (MESH-1) と、建物の存在を考慮した非構造格子 (MESH-2) を作成した。MESH-2の作成手順は次のとおりである。

①境界 (Outline) ポリゴン、補助線データの作成

格子生成ソフトArgusONEでは、格子分割する範囲を示すポリゴン、格子生成を補助するための線のデータが必要となる。ArgusONEはGISの形式 (Arc View Shapefile) に対応しているので、それらのデータは、まず、GISソフト (Arc View GIS 3.3 for Windows) で作成し、Shapefile形式で保存した。

作成したのは、解析範囲の外周を示すポリゴン、解析範囲内の建物の外周を示すポリゴン (これらのポリゴンの内部には格子は生成されない)、道路形状 (解析範囲北側の国道、解析範囲中央やや南を斜めに横切る道路) を示す線である。これらのデータの作成は、A地域を含む自治体が整備した都市計画GISデータ (道路や建物を示す線) を参考として作成した。建物の外周を示すポリゴンとして都市計画GISの建物ポリゴンデータを直接利用することを試みたが、ポリゴンを構成する線の分割が細かすぎて、ArgusONEで格子生成すると極端に細かくなってしまった。そこで、一体と見なせる家屋群を含むような新たな建物ポリゴンを手作業で作成した。

これらの作成データを図A-6に示す。



図A-6 境界 (Outline) ポリゴン、補助線データ

②標高点データの処理

LiDARで計測された標高点データには、樹木や建物部分も含まれている。これらを除くため、簡易なフィルタリング処理を行った。A地域の標高分布の特性を調べたところ、標高分布は、低い順に道路面、家等の敷地（盛土）、樹木・建物の3グループに分けられることが分かった。そこで、直近の道路面から75cm以上高い標高点は樹木・建物とみなして除去したところ、道路面、家等の敷地の標高のみ取得することができた。

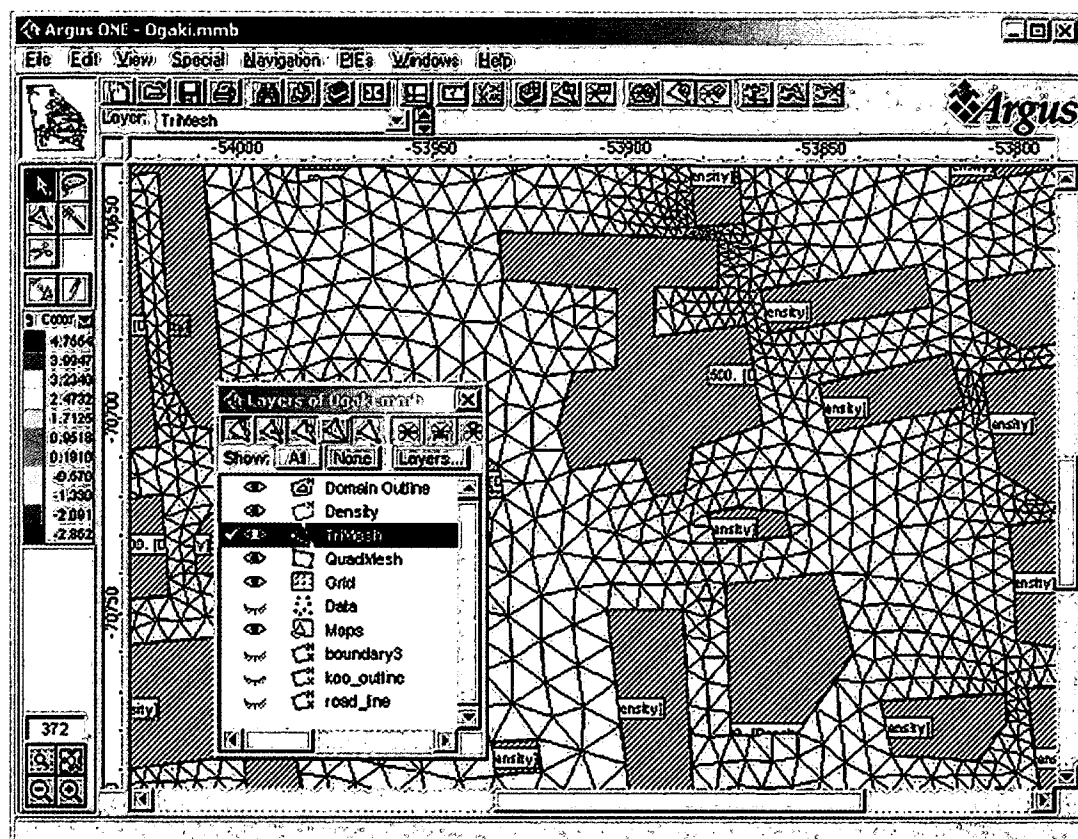
なお、樹木や建物等の除去作業には、そのためのプログラムが各種存在するので、それらを用いることも可能である。

③ArgusONEによる格子の作成と出力

上記の作業で作成した境界 (Outline) ポリゴン、補助線データ、標高点データ（テキスト形式）をArgusONEに取り込み、非構造型格子を作成した。ArgusONEの作業画面の例を図A-7に示す。このソフトを使えば、格子の作成は極めて容易に行える。ArgusONE作成した格子データは、UnTRIMモデルへの入力形式に変換した。

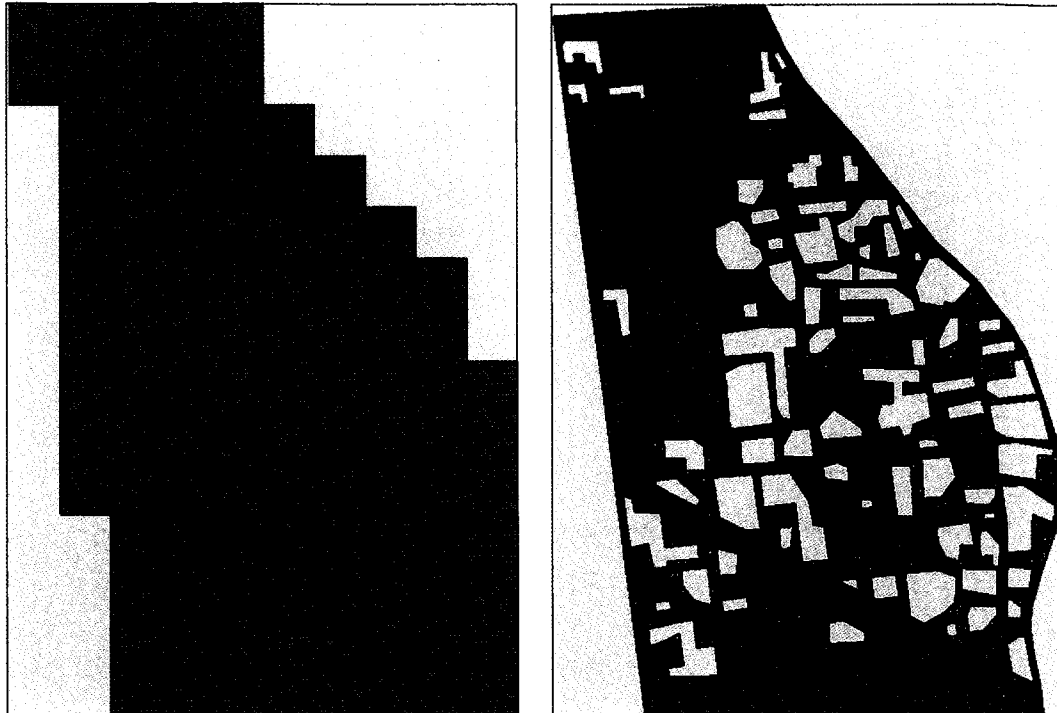
以上の手順を経て、非構造型格子を作成したが、作業は極めて容易であった。現在、多くの自治体が都市計画GISを整備しており、その他様々なGIS地図データも入手可能となってきた。これらのデータを容易に活用するための環境が整備されれば、非構造型格子の

作成作業の自動化も可能と考えられる。



図A-7 ArgusONEの作業画面

直交格子 (MESH-1) と非構造格子 (MESH-2) を図A-8に、両者の比較表を表A-1に示す。ArgusONEでは、境界 (Outline) ポリゴン、補助線データを構成する線分の細かさに応じた格子分割が自動的に行われる。今回作成したデータでは、非常に細かい格子分割が行われた。建物や道路の存在を考慮する場合に、可能な限り格子分割数を少なくするための工夫が今後の課題である。



Left: MESH-1 Right: MESH-2

図A-8 直交格子 (MESH-1) と非構造格子 (MESH-2)

表A-1 直交格子 (MESH-1) と非構造格子 (MESH-2) の比較

| | 直交格子 (MESH-1) | 非構造格子 (MESH-2) |
|------------|---------------------|--------------------------------------|
| 格子数／格子境界線数 | 103／230 | 10,567／17,204 |
| 格子形状 | 正方形 (50m×50m) | 三角形及び四角形 |
| 平均格子面積 | 2.500m ² | 18.55m ² (一様な正三角形と仮定して算出) |
| 平均格子中心間距離 | 50m | 4.36m (一様な正三角形と仮定して算出) |

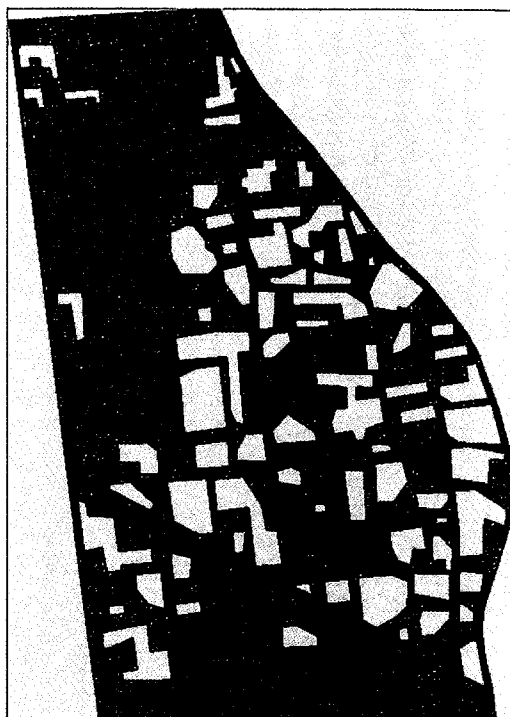
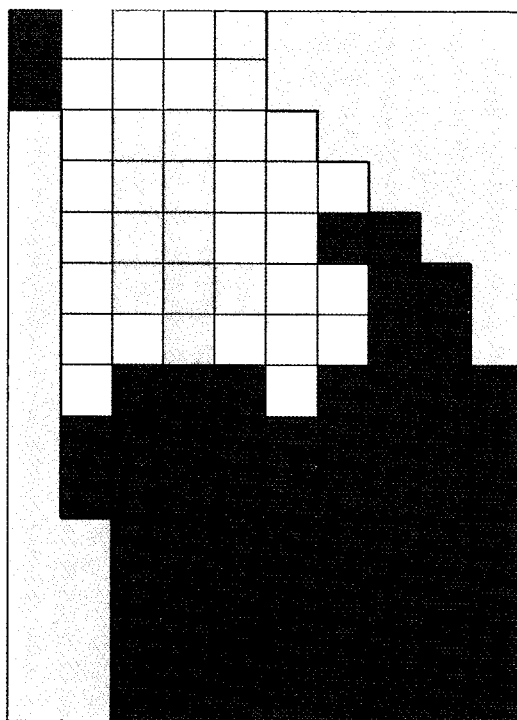
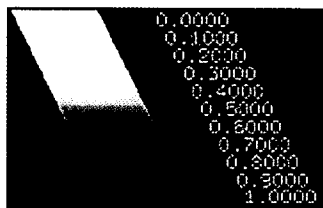
(4) 解析結果

解析範囲の北東の堤防50m区間から氾濫水が流入したと仮定し、30m³/sの流入量をその地点に与えた。そして、その後5時間の氾濫水の移動をUnTRIMモデルで計算した。計算時間ステップは、平均格子中心間距離を考慮して、直交格子（MESH-1）では30秒、非構造格子（MESH-2）では3秒とした。氾濫原の粗度係数 n には0.05を一様に与えた。また、解析領域の周囲はすべて高い壁に囲まれているとしており、氾濫流の出入りはないものとした。

図A-9～図A-13に、氾濫開始後の浸水深分布（0.5時間後、1.0時間後、1.5時間後、2.0時間後、3.0時間後）を示している。直交格子（MESH-1）、非構造格子（MESH-2）のどちらの格子分割方法でも、浸水到達範囲、浸水深の分布の概略は同じである。標高分布に応じて、部分的に浸水深が深い場所、浅い場所が存在しているが、非構造格子（MESH-2）の格子分割は直交格子（MESH-1）より細かいため、より忠実に浸水深分布を再現しているものと考えられる。例えば、住宅が密集している部分（解析範囲の中央付近）では、宅地の盛土よりも道路の標高が低いため、道路上の浸水深が大きくなっている様子が再現されている。また、非構造格子（MESH-2）では建物の形状を考慮した格子分割をしているため、建物に障害され、建物の周囲を回り込むように流れが生じている様子が伺える。

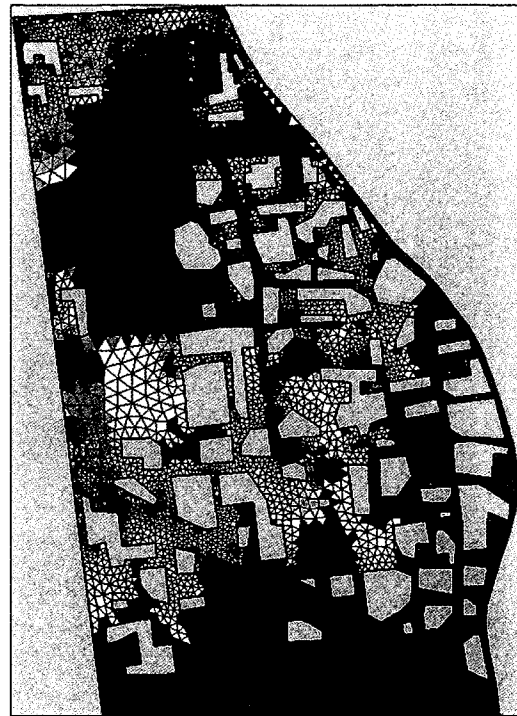
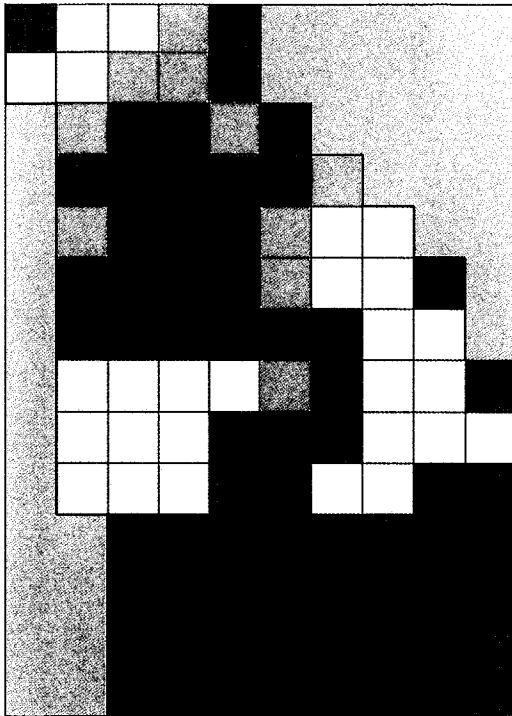
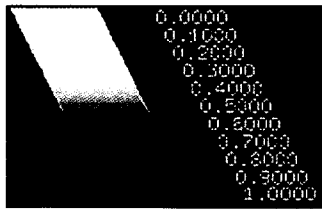
図A-14に氾濫開始1.5時間後の流速ベクトル分布（一部分を拡大）を示している。直交格子（MESH-1）では50m×50mの格子で平均された流速分布しか把握できていないのに対し、非構造格子（MESH-2）では、家屋に障害され、道路上に氾濫水が集中して流れている様子が再現されている。

直交格子による分割でも、非常に細かく格子分割すれば上述のような現象の再現は可能である。しかし、建物や土地区分の形状を忠実に反映させるのは難しい。建物が密集している様子を再現したり、道路や宅地の小さな盛土等の存在を考慮したりする場合には、非構造格子のような手法は有効であると考えられる。



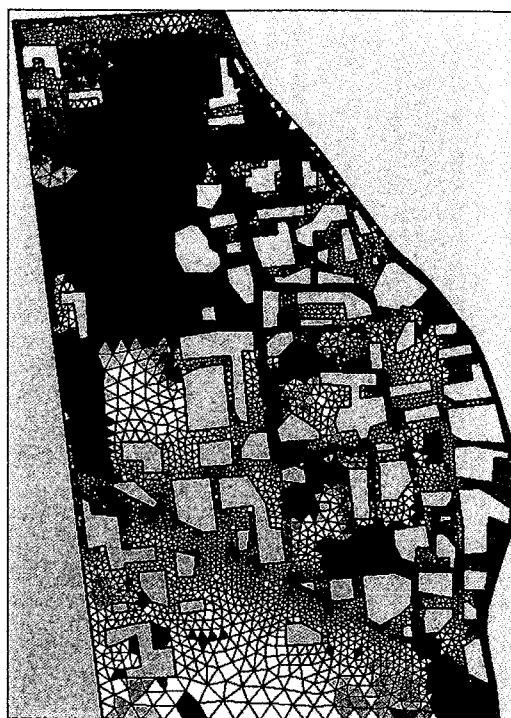
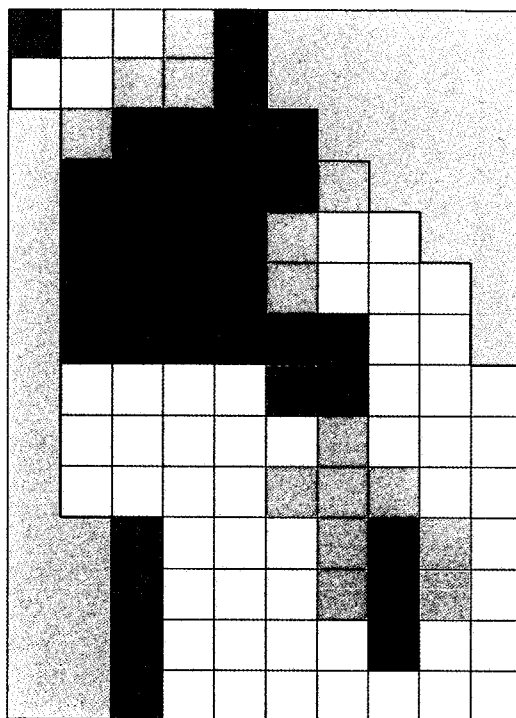
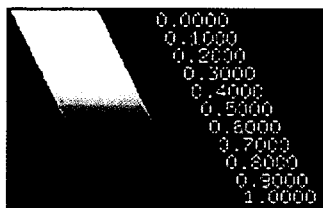
Left: MESH-1 Right: MESH-2

図A-9 氾濫開始0.5時間後の浸水深分布



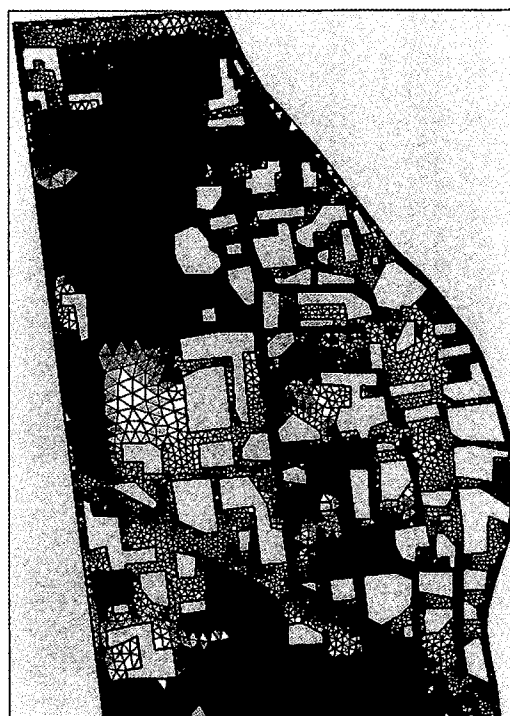
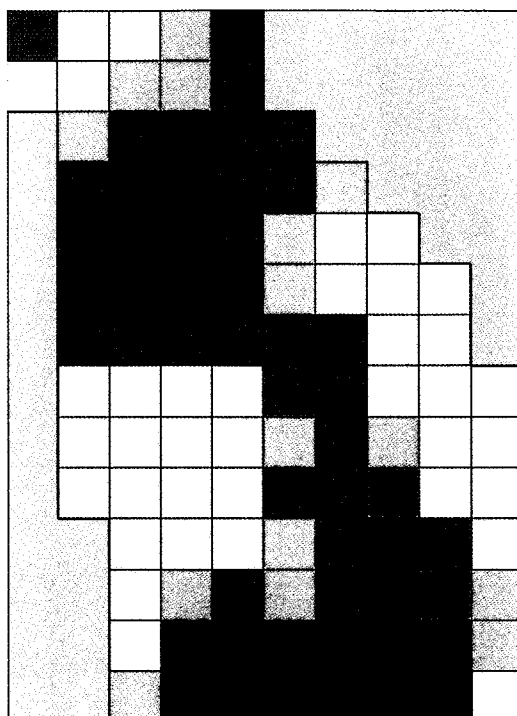
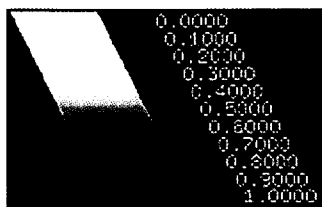
Left: MESH-1 Right: MESH-2

図A-10 氾濫開始1.0時間後の浸水深分布



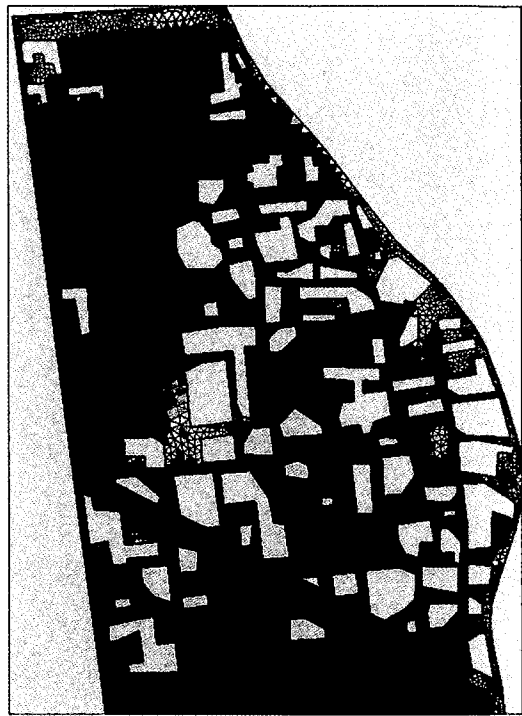
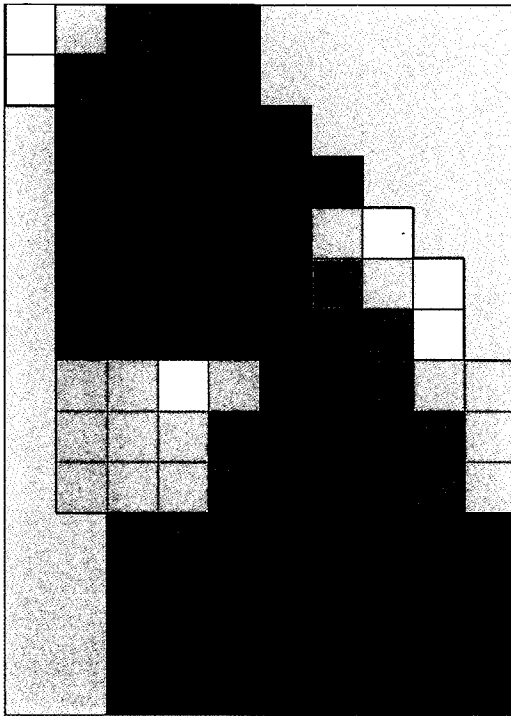
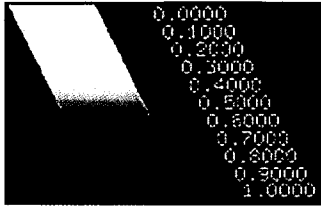
Left: MESH-1 Right: MESH-2

図A-11 氾濫開始1.5時間後の浸水深分布



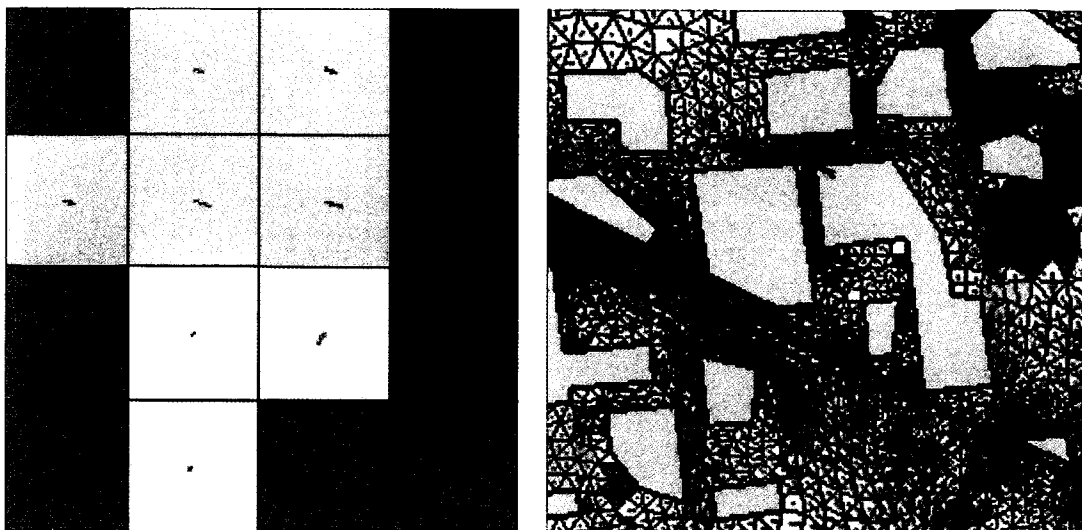
Left: MESH-1 Right: MESH-2

図A-12 氾濫開始2.0時間後の浸水深分布



Left: MESH-1 Right: MESH-2

図A-13 氾濫開始3.0時間後の浸水深分布



Left: MESH-1 Right: MESH-2

図A-14 氾濫開始1.5時間後の流速ベクトル分布（一部分を拡大）

(5) 氾濫解析への適用性のまとめ

A流域を対象として、地盤高データ（LiDARにより計測）、GISの地図データを用いて非構造格子を作成した。さらに、50m×50mの直交格子及び非構造格子による氾濫解析を行って、解析結果を比較した。この作業から導かれた結論は、以下のとおりである。

- ・ 市販のGISソフト、格子生成ソフトを活用することで、極めて容易に非構造格子を作成することができる。
- ・ 非構造格子を用いることで、建物の存在や地形などを考慮した格子分割が可能となる。
- ・ 氾濫解析の結果、非構造格子を用いることで、浸水深、流速の局所的变化を忠実に再現することが可能である。

参考文献

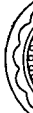
- 1) 栗城稔, 末次忠司, アメリカの治水戦略ー日米の治水対策の比較を通じてー, 土木研究所資料, 第 3279 号, 1994.5.
- 2) 米国河川研究会, 洪水とアメリカ ミシシッピ川の氾濫原管理 1993 年ミシシッピ川大洪水を考える, 山海堂, 1994.12.
- 3) Gilbert F. White, Human Adjustment to Floods – A Geographical Approach to the Flood Problem in the United States, University of Chicago, 1945.
- 4) Keith Smith and Roy Ward, Floods Physical Processes and Human Impacts, John Wiley & Sons, pp.54-57, 1998.
- 5) The Federal Interagency Floodplain Management Task Force, A Unified National Program for Floodplain Management, p.3, 1994.
- 6) The Federal Interagency Floodplain Management Task Force, Floodplain Management in the United States: An Assessment Report Volume 1 Summery Report, The National Hazard Research and Application Information Center, 1992.
- 7) Dennis S. Mileti, Disaster by Design, A Reassessment of Natural Hazards in the United States, Joseph Henry Press, pp.71-73, 1999.
- 8) Sharing the Challenge: Floodplain Management into the 21st Century, The Report of the Interagency Floodplain Management Review Committee to the Administration Floodplain Management Task Force, 1994.
- 9) Raymond J. Burby, Cooperating with Nature, Confronting Natural hazards with Land-Use Planning for Sustainable Communities, Joseph Henry Press, pp.37-40, 1998.
- 10) Raymond J. Burby, Cooperating with Nature, Confronting Natural hazards with Land-Use Planning for Sustainable Communities, Joseph Henry Press, pp.14-16, 1998.
- 11) The Federal Interagency Floodplain Management Task Force, Floodplain Management in the United States: An Assessment Report Volume 1 Summery Report, The National Hazard Research and Application Information Center, 1992.
- 12) The Federal Interagency Floodplain Management Task Force, A Unified National Program for Floodplain Management, 1994.
- 13) Federal Emergency Management Agency, Homeowner's Guide to Retrofitting, Six Ways to Protect Your House from Flooding, 1998.6.
- 14) Federal Emergency Management Agency, Answers to Questions about he National Flood Insurance Program, 2001.

- 15) FEMA のホームページ(<http://www.fema.gov>).
- 16) Krimm, R. W., Reducing Flood Losses in the United States, Floodplain Risk Management, Proceedings of an International Workshop on Floodplain Risk Management / Hiroshima / 11-13 November 1996, pp.3-11, 1998.
- 17) Federal Emergency Management Agency, Protecting Building Utilities from Flood Damage, 1999.11.
- 18) Federal Emergency Management Agency, Flood Insurance Program Community Rating System Biennial Report to Congress, 2000.10.
- 19) Keith Smith and Roy Ward, Floods Physical Processes and Human Impacts, John Wiley & Sons, pp.305-308, 1998.
- 20) Dennis S. Mileti, Disaster by Design, A Reassessment of Natural Hazards in the United States, Joseph Henry Press, pp.168-169, 1999.
- 21) Raymond J. Burby, Cooperating with Nature, Confronting Natural hazards with Land-Use Planning for Sustainable Communities, Joseph Henry Press, p.47-49, 1998.
- 22) Keith Smith and Roy Ward, Floods Physical Processes and Human Impacts, John Wiley & Sons, p.296, 1998.
- 23) Federal Emergency Management Agency, Disaster Assistance: A Guide to Recovery Program, 2000.
- 24) Stemming the Tide of Flood Losses, Stories of Success from The History of Missouri's Flood Mitigation Program, Missouri State Emergency Management Agency.
- 25) U.S. Army Corps of Engineers, Flood Proofing, Techniques, Programs, and References, 1996.1
- 26) 陸軍工兵隊の耐水化事業に関するプレゼンテーション資料.
- 27) U.S. Army Corps of Engineers, Flood Proofing Regulations, 1995.12.
- 28) Federal Emergency Management Agency, Benefit-cost Analysis (BCA) of Hazard Mitigation Projects Appendix 1 to the Riverine Flood – Full Data Module User's Guide for Software Version 5.2.3.
- 29) Federal Emergency Management Agency, How to Use a Flood map to Determine Flood Risk for a Property, 1995.5.
- 30) Federal Emergency Management Agency, Guidelines and Specifications for Study Contractor, 1993.3.
- 31) Ries, K.G. and Crouse, M.Y., U.S. Geological Survey, The National Flood Frequency Program, Version 3: A Computer Program for Estimating Magnitude and Frequency of Floods for Ungaged Sites, Water-Resources Investigation Report 02-4168, 2002.

- 32) Federal Emergency Management Agency, Managing Floodplain Development in Approximate Zone A Areas – A Guide for Obtaining and Developing Base (100-year) Flood Elevations, 1995.
- 33) Federal Emergency Management Agency, Guidelines and Specifications for Flood Map Production Coordination Contractors, 1999.2.
- 34) U.S. Army Corps of Engineers, Sacramento and San Joaquin River Basins Comprehensive Study Technical Studies Documentation, 2002.12.
- 35) U.S. Army Corps of Engineers, Benefit Determination Involving Existing Levees. Policy Guidance Letter No.26, 1991.
- 36) U.S. Army Corps of Engineers, Risk-based analysis in geotechnical engineering for support of planning studies. ETL 1110-2-556, 1999.5.
- 37) Federal Emergency Management Agency, Modernizing FEMA's Flood Hazard Mapping Program, A Progress Report, 1997.11.
- 38) Federal Emergency Management Agency, Modernizing FEMA's Flood Hazard Mapping Program, A Progress Report, 2001.5.
- 39) Federal Emergency Management Agency, Enhancing the Nation's Risk Assessment Capabilities THE HAZUS STRATEGIC PLAN 2001 TO 2005, 2001.1.
- 40) National Weather Service, Concept of Service & Operations Advanced Hydrologic Prediction Services, 2002.4.
- 41) Jones, J.L., Fulford, J.M. and Voss, F.D., Near-real-time simulation and internet-based delivery of forecast-flood inundation maps using two-dimensional hydraulic modeling: A pilot study of the Snoqualmie river, Washington, Water-Resources Investigation Report 02-4251, U.S. Geological Survey, 2002.
- 42) Casulli, V., Semi-implicit finite difference method for the two-dimensional shallow water equations, Journal of computational physics, v.86, pp.56-74, 1990.
- 43) Casulli, V. and Walters, R.A., An unstructured grid, three dimensional model based on the shallow water equation, International Journal for Numerical Method in Fluids, Vol. 32, pp.331-348, 2000.
- 44) Harris County Flood Control District, Riding the waves of change, 60 years of service.
- 45) Federal Emergency Management Agency and Harris County Flood Control District, Off the Chart, Tropical Storm Allison Public Report, 2002.6.
- 46) Tropical Storm Allison Recovery Project, Quarterly Report (Vol.2-4).
- 47) カリフォルニア州水資源部のホームページ
(<http://www.fpm.water.ca.gov/mapping.html>).
- 48) Cheng, R.T., Casulli, V. and Gartner, J.W., Tidal, Residual, Intertidal Mudflat

(TRIM) Model and its Applications to San Francisco Bay, California Estuarine,
Coastal and Shelf Science, Vol.36, pp.235-280, 1993.

- 49) 井上和也, 川池健司, 林秀樹, 都市域における氾濫解析モデルに関する研究, 水工学論文
文集, 第 43 巻, pp.533-538, 1999.



国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

No.106

May 2003

編集・発行 © 国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

住所 茨城県つくば市旭一番地

危機管理技術研究センター水害研究室 029-864-2211