

1 はじめに

2 洪水の構造と被害の概要について

に、自然環境要因、自然社会環境接触要因、社会環境要因が互いにフィードバックシステムによって結合されているものとする。気象要因としては、大雨、暴風雨、台風、融雪など、地形、地質要因として内水、破堤、溢水、浸水、土石流など、土地利用要因として農地、宅地、河川用地、道路用地、森林原野等、生活要因としては、産業資産、一般住宅、交通輸送、公共資産など考えられる。これらについて全国⁶⁾および北海道の水害統計に

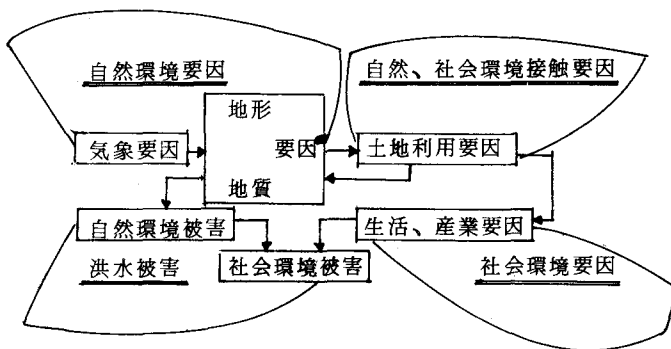


図-1 洪水被害構造の概念

について全国および北海道の水害統計に基づいて2, 3の点で整理すると次のようなことが言える。

—227—

b) 同資料で地域別被害頻度をまとめると、台風襲来頻度の多い道南が約29%、石狩川出水による洪水頻度の多い道央が約28%、道東約23%、道北約19%となっている。

c) 全国の資料で原因別一般資産被害額の構成比の平均(昭和42年～昭和48年)を計算すると、破堤によるもの約23%、溢水によるもの約17%、浸水によるもの約17%、内水によるもの約28%、その他13%となる。昭和37年と昭和48年で外水、内水各氾濫被害を比べると、外水による被害が64%から49%に構成率が減少しているのに対し内水による被害は、29%から40%に構成率が増加していることがわかる。

d) 土地利用によって被害がどのように増化しているか全国の水害統計資料により、市部、郡部での被害額の構成比を整理すると、一般資産被害では昭和42年で市部55%、郡部45%、昭和48年で市部68%郡部32%と、一般資産の都市集中化による被害の増加がみられる。しかしながら、公共土木施設被害では逆に昭和42年で市部32%、郡部68%、昭和48年で市部28%、郡部72%と、郡部の方が大きく、また増加している。これは各種の公共土木施設の質の違い、治水事業の進捗度の差などのためと考えられる。

e) 表-1は、北海道の代表的な一級河川の昭和36年より昭和50年までの代表的な一級河川の一般資産被害(昭和50年換算)と、進捗率をまとめたものである。また1人当たり被害額は、各水系のある市町村の総人口を用いて算出している。他の河川を含めて考えても、進捗率が大きいほど1人当たり被害額が少い傾向がみられる。

3 治水連関モデルの概要

このモデル作成の目的は、対象地域において生起する洪水による被害を想定し、治水投資効果によって想定被害がどのように変化していくか考えていくところにある。そのために対象地域に生じる洪水を過去の流量確率データをもとにした生起確率として考え、想定被害を算出する。一方治水投資は、河道内の流量を確保する目的を持ち、流量確保によって想定被害が軽減される。しかしまた想定被害は、毎年の土地利用および土地が所有する価値の大きさによって変化するので、時間的な追跡が必要である。これらの考え方に最適な手法として適用したのがシステムダイナミクス手法(SD手法)である。SD手法の手順は、図-2に示すようにモデルを決定、評価を行なう。本モデルの場合のシステム領域として各々影響を与える項目を選定し、治水投資、想定被害、土地利用、住宅資産、人口、産業の各セクターとしてまとめた。さらに各々のセクターの結合関係を考慮したモデルの組立てを行ない、フローダイアグラムとして表現した。フローダイアグラムの概要を示すと図-3のようになる。各項目についての考え方を示すと以下のようなになる。なお本研究の場合、外水氾濫の影響のみを考え、その発生によって生ずる想定被害を評価の対象として考えることとする。

a) 年平均想定氾濫面積

ある対象地域を考えると、洪水生起確率に対応する流量が発生した場合その流量によって生ずる氾濫面積は、同様にその生起確率をもって生ずることになる。この面積を積分する(生起確率=1)と、年平均想定氾濫面積が算出される。

b) 年平均想定被害額

項目 河川名	総被害額 (億円)	年平均被害額 (億円)	1人当被害額 (円/人)	進捗率 (%)
石狩川	1368.	91.21	3,840	29
十勝川	11043	7.36	2,377	49
天塩川	27.72	1.85	1,319	41
湧別川	0.14	0.01	240	85
尻別川	4302	2.86	6,128	10
常呂川	16.75	1.12	840	28

表-1 北海道における代表的河川での被害額と治水事業の進捗率

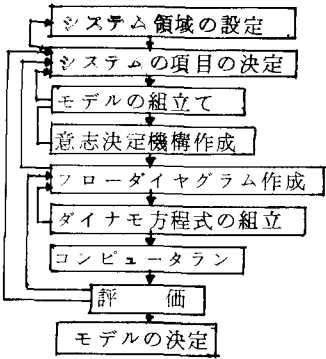


図-2 SDモデルの決定手法

被害額は、被害面積に単位資産額と被害率を乗じたものとする。年平均想定被害額＝（年平均想定被害面積）×（単位面積当り資産額）×（被害率）

被害率は、過去の水害被害に基づいて算出された建設省治水経済要綱の被害率をここでは流量、水深の大きさによって定まる関数として用いている。

c) 年平均軽減氾濫面積

年平均軽減氾濫面積は、各年の治水投資によって確保された流量に対応する年平均想定氾濫面積までの和となる。したがって投資達成年度には、目標確率流量までの年平均氾濫面積の総和となる。

d) 年平均軽減想定被害額

年平均軽減氾濫面積と同様の考え方で、確保流量に対応する年平均想定被害に対する年平均想定被害額の減少した部分を表わす。

e) 外水治水投資額

ここでは、算出された年平均軽減被害額を便益と考え、費用－便益比を変化させることによって次年度の投資額を決定するフローとする。定められた投資額は、治水対策方法として築堤高上昇のために還元させる。

f) 築堤高

築堤は、対象地域についてすべて平均して盛土されるものとする。盛土形状は、台形型として盛土量を算出する。土工量の単価については、盛土施工費と、その他ある程度の維持、管理費を含むものとする。沈下は、あらかじめ計算した平均沈下量を考慮し、盛土高の低減としてモデルに導入されている。

g) 年平均軽減被害の図による説明

年平均軽減氾濫面積および年平均軽減被害額を図－4および計算式で表わすと以下のようになる。

$$\begin{aligned} \bar{A}_{fi} &= P(Q) A_{fi}(Q) \\ \bar{A} &= \int_{Q_0}^M P(Q) A_{fi}(Q) dQ \\ &= \int_{Q_0}^M \bar{A}_{fi}(Q) dQ \\ \bar{A}_{Pi} &= \bar{A} - \bar{A}_{Mi} \end{aligned}$$

$P(Q)$: 流量 Q の生起確率
 $A_{fi}(Q)$; i 年度において流量 Q によって生ずる氾濫面積
 $\bar{A}_{fi}(Q)$; i 年度の年平均想定氾濫面積、 Q ; 流量、 A_{Mi} ; i 年度年平均軽減氾濫面積、 Q_M ; 確保流量、 A_{Pi} ; i 年度年平均想定被害面積

定氾濫面積、 Q ; 流量、 A_{Mi} ; i 年度年平均軽減氾濫面積、 Q_M ; 確保流量、 A_{Pi} ; i 年度年平均想定被害面積

h) 被害の設定

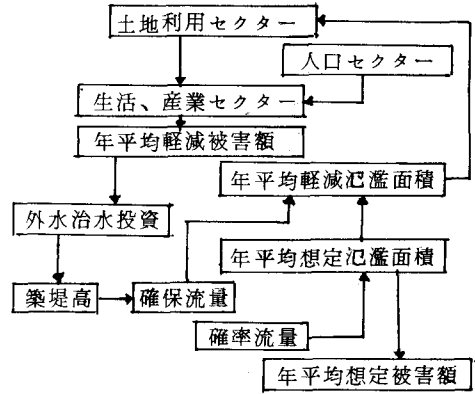
一般的に被害は、大きく分けて一般資産被害、交通、公共被害の2つに大別され、後者の場合はその大部分は、河川施設の直接被害である。ここでは、被害を産業資産被害、一般住宅被害といった前者を対象として考える。またその範囲を時間、空間軸による位置づけとして表わすと、空間軸においては冠水、準冠水地域、時間軸においては、洪水継続時間の範囲とする。

4 検討対象地域

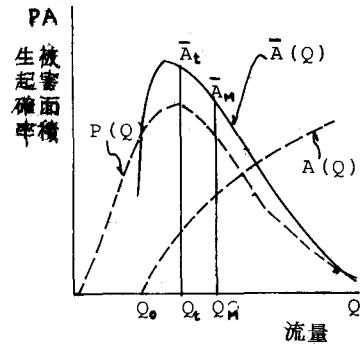
前述に示す治水連関モデルによって洪水想定被害評価を以下の2地域について試みる。

a) 都市型－札幌市北部地域－地域Ⅰとする

都市型として札幌市北部地域、すなわち北区、東区の石狩川氾濫の影響地域を考える。この地域は、最近急激に土地利用変化が起り、氾濫想定地域にもかなり多くの資産が定着しつつある地域である。また、毎年内水氾濫を中心に被害が多発している地域でもある。



図－3 治水連関モデルの概要



図－4 確保流量と被害面積の関係

b) 農村型一月形、北村、美唄、岩見沢地域一Ⅱ地域とする

この地域は、典型的な北海道の穀倉地帯であり、また洪水多発地帯で昭和50年度においても最も大きな被害が生じた所でもある。氾濫想定地域としては、月形、北村の中心地域を含む大半の地域と美唄、岩見沢郊外の一部を含む地域である。なお現在の地域指標を表わすと表-2に示すようになる。

諸指標	地域	地 域 Ⅰ	地 域 Ⅱ
人口、世帯数		360,000人 125,000世帯	36,400人 10,100世帯
土地利用(Ra)		1,166人 2,837世帯	7,230人 1,328世帯
就業者		2,800人 1,170世帯	4,200人 1,400世帯
およひ事業所数		8,700人 590世帯	360人 30世帯
		23,000人 4,500世帯	1,160人 250世帯

表-2 対象地域の人口、土地利用、および産業諸指標

流量確率資料をもとに洪水生起頻度に対する各々の地域の確率流量は、表-3に示すようになる。なお下段の項目は、治水事業計画として行なわれている設定の方法である。

5 シミュレーション結果

4で設定した 地域に関してシミュレーションを行なった。計算には、北海道大学大型計算機センターFACOM230-75DYNAMO-Iを用いた。その結果をまとめると以下のようになる。

a) 図5-1および図5-2は、投資額と事業達成年度の関係を示したものである。RBは、軽減被害額に対する投資額の比である。これによると地域Ⅰの場合、投資額の増加率が各年について増加の傾向があるが、地域Ⅱではほぼ一定の値になっている。

b) 図-4は、累積年平均軽減被害額と累積想定被害額について示したものである。投資初期では、地域差はあまりないが、投資後期、すなわち確保流量が大きくなると、地域Ⅰの軽減被害額の増加が大きい。

c) 被害の分類によって結果を整理すると、地域Ⅰでは初期の被害額の割合は、水田0.5%、畑3.0%、住宅79.4%、製造業、卸小売業17%であるが、現行計画流量まで確保されると(RB=1で14年)水田の被害の比率は1/5になり、畑の比率は、1/2、住宅3%増、製造業、卸小売業はほぼ同率と想定される。また地域Ⅱでは初期の被害額の割合は、水田76%、畑11%、住宅12%、製造業、卸小売業1%となる。地域Ⅰと同様に現行計画流量まで軽減されると(RB=1で24年)、その比率は、水田が10%減、畑3%増、住宅7%増、製造業、卸小売業はほとんど変化はないと想定される。

d) 図7-1および図7-2は年平均想定被害額の時間的変化を示したものである。地域Ⅰでは、投資初期においても想定被害額は上昇し時間的にある程度経過しなければ、軽減の効果はあらわれない。地域Ⅱでは、想定被害額の減少が急速ではないが徐々にあらわれてくる

流量確率	P1	P2	P3	P4
地域Ⅰ	0.029	0.017	0.0083	0.0050
地域Ⅱ	7,380	9,350	12,200	15,000
治水事業	現行計画	現行計画	長期計画	長期基本計画

表-3 対象地域の水文統計による確率流量

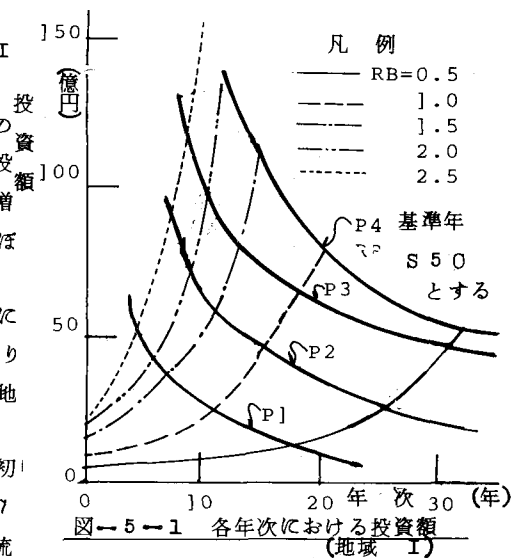


図-5-1 各年次における投資額 (地域Ⅰ)

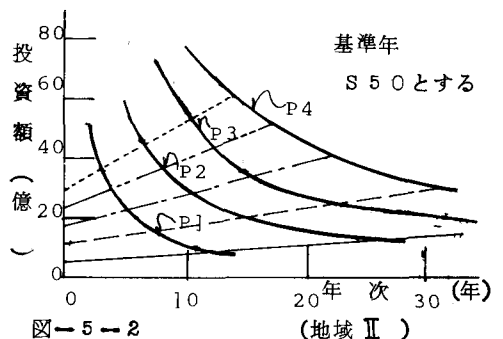


図-5-2 (地域Ⅱ)

o) 図一8は、各地域の1人当りの年平均想定被害額である。地域Ⅰのピークは約2000円/人で過去のデータによる推定平均値3840円(表一1参照)より下回っているが、地域Ⅱでは約1400円とかなり大きい値である。

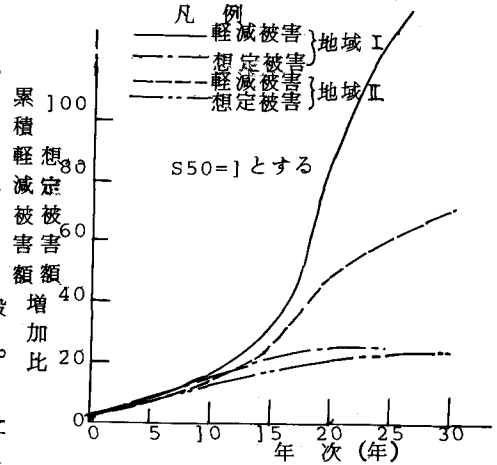
6 まとめ

以上の結果についていくつかの点で考案を加えると次のようなことが考えられる。

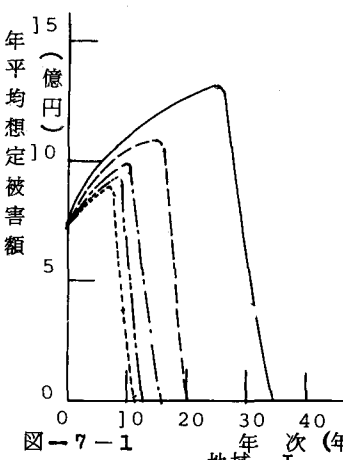
i) 今回の場合地域Ⅰは、住宅想定被害が非常に大きく、地域Ⅱは、水田想定被害が大きい。被害の大きさを、一般的に表わすと $D_M = f(Q_M, h, P, t_f)$ で定めると考えられる (Q_M : 洪水想定流量、 h : 地盤標高、 P : 土地における資産、 t_f : 洪水継続時間) この場合 t_f は、洪水強度に相関があり、 Q_M の関数として表わされるので、実際には D_M (洪水被害) は、 Q_M 、 h 、 P で決定される。たとえ

ば、 Q_M が大きくても h が大きい場合あるいは、 P が小さい場合には、 D_M は小さい。上述の事前評価による場合、確保流量が比較的小さい範囲では、地域Ⅰの軽減された被害は小さい。これは、比較的小洪水の場合に起こる被害は h の小さい低地に発生し、比較的人口密集地の影響は小さい。しかしながら、確保流量が大きくなると h の高い人口密集地に起る可能性のある洪水も確保されることになるから軽減被害額が急速に大きくなる。5の (a) および (b) を説明する今一つの理由は、急速な土地利用の高度化によるものである。このことは地域Ⅱを考へても同様なことが言える。b) 5の (d) について考えると、地域Ⅰでは都市化の現象で、軽減被害額に見合う投資を行なっても年平均想定被害額に増加を引き及ぼす。著者は、治水投資額と土地利用の発展の関係を考へてそのバランスにおいて、3つのトレードオフパターンを設定した。それは (1) 治水投資被害額が土地利用の発展に見合うだけあるいは、それ以上の基準となつてい

る場合、すなわち想定被害の減少が促進される場合、(2) 治水投資額が土地利用の発展に追いついていけない場合で、土地利用の質的な転換によつて想定被害が減少する場合、(3) 治水投資額が土地利用の発展に追従できず、土地利用の量的な規則を考へなければならぬ場合である。(2)、(3) についてはどのような境界を設定するかは、今後の課題であるが、地域Ⅰのような場合は、(2)、(3) の場合に属すると考へられ、その対策としては、治水事業計画の増強あるいは、都市計画において土地利用の規制などの相互ト

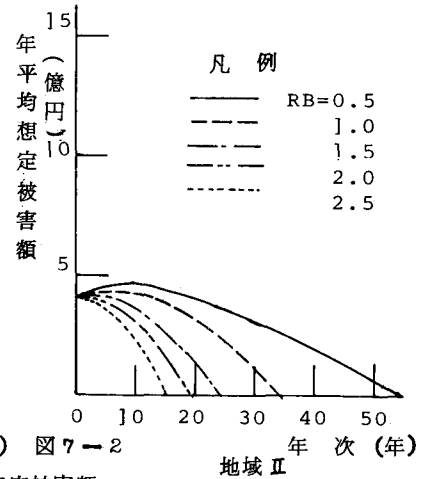


図一6 各年次における累積軽減被害額

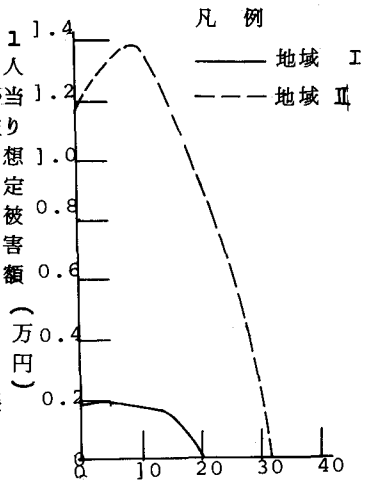


図一7-1

図一7 各年次における想定被害額



図一7-2



図一8 各年次における1人当り
想定被害額

レードオフ問題を解決する必要がある。

）5図(e)については、今後その地域に居住するすべての住民が潜在的にもつ被害ポテンシャルについての一つの考え方である。治水事業計画は、前述のような土地利用の高度化に追従できるようなシステムにするか、それともこのような1人当りの被害ポテンシャルの均衡を目的としていくかは別として、今までの地域対象の被害ポテンシャルと共に、各地域の住民の被害ポテンシャルをも考えて総合的の評価を行なう必要がある。

7 終わりに

今回は、外水氾濫による地域の想定被害評価を行なったが、近年発生が多くなってきている内水氾濫についても同様解析を行なっていきたい。また、社会システムについても多重化、多階層化している現在、対象被害をより多くの項目として表現し、またそれらの項目のより適確な結合を検討していきたい。さらに、貨幣価値として取扱うことのできない社会的影響をも加味したモデルにしていきたい。

最後に、この発表にあたり御指導、御助言いただいた北海道大学工学部交通計画研究室五十嵐日出夫教授及び北海道大学工学部地域計画学研究室山村悦夫助教授、さらに計算に助力をいただいた樺沢孝、増田浩泰両大学院生に深く感謝の意を表する。

8 参考文献

1) Bhvnagri; V.S., Bugliarello, G.: Mathematical Representation of An Urban Floodplain, Proc. of ASCE, March 1965

2) Day, J.C., Weisz, R.N.: A Linear Model for Use in Guiding Urban Floodplain Management, Water Resources Research Vol. 12, No. 3, June 1976

3) James, L.D.: A time Dependent Planning Process for Combining Structural Measures, Land Use and Flood Proofing to Minimize The Economic Cost of Floods

4) Yates, R.W.: Hazard and Choice Perception in Floodplain Management, Department of Geography Res. Paper 78, 1962 The University of Chicago Press

5) Day, H.J., Lee, K.K.: Flood Damage Reduction Potential of River Forecast, Proc. of ASCE WRJ vol. 102 April 1976

6) 建設省河川局治水課編：水害統計。昭和36～昭和49年

7) 北海道総務部防災消防課編：災害統計。昭和36～昭和50年

8) bit編：システムダイナミックス。共立出版

9) 建設省河川計画課編：建設省治水経済調査要綱

10) 西畑勇夫：河川工学。技報堂

11) 加賀屋誠一：洪水被害評価に基づく地域のシステム分析 第31回土木学会年次学術講演会講演概要集 昭和51年10月

12) 加賀屋誠一、山村悦夫：洪水被害事前評価に関する研究。日本地域学会第13回国内大会。昭和51年10月