第31回水理講演会論文集　1987年２月

内水害危険度評価に関する研究　－発生・非発生分析－

Estimation of Inundation Risk　- Analysis of Occurrence -

東京大学工学部　正　員　高橋　　裕
東京大学工学部　正　員　小池　俊雄
東京大学大学院　学生員○水谷　　誠

１．研究の目的

内水害は、降雨に被害地固有の条件（自然条件・社会条件）や排水路（河道、下水管渠など）の条件が重なりあって発生すると考えられている。したがって、特定の小流域における内水害危険度を評価するためには、流出解析と土地条件の評価を詳細に行い、その地域固有の内水発生機構と被害への変換機構を求めることが必要である。しかし一方で、内水害危険度の相互比較など危険度の一般的な評価を行うためには、内水害のメカニズムを汎用的な指標を用いて表すことが重要となる。

近年、国土や気象に関する資料はもちろん、水害に関する資料もメッシュ情報として整備されつつあり、これらを汎用的な地点情報として利用することが可能となった。

そこで本研究では、破堤や土砂崩壊などとは異なり、偶然的要素の少ない内水を対象とし、その被災危険度評価の第一段階として、上記のメッシュ情報を用いてわが国の大河川における内水害の発生の特徴を統計的に分析し、比較検討することを目的とした。

２．分析の方法

本研究では、建設省国土地理院が整備を進めている国土数値情報における３次メッシュ（緯度方向に30″，経度方向に45″の領域、面積は約１㎞²）を分析の基本単位とする。各メッシュにおいて、内水害発生に寄与している要素を説明要因とし、内水害の発生・非発生を外的基準としてそれぞれ数値化し、（これらが汎用的な地点情報となる）数量化理論第Ⅱ類を用いて、内水害の発生・非発生判別分析を行う。

以下、用いた地点情報の概略を示す。

(1)外的基準

本研究では、内水害が発生するか否か、が外的基準となる。まず、建設省河川局の水害統計資料から、内水を主たる原因とする被災地区の水害情報を読み取り、一般資産および営業停止損失被害額を算出する。そして、それを当該メッシュに一様に振り分け、１メッシュ内における被害額が10万円以上の場合は内水害発生、10万円未満の場合は非発生と判断する。

(2)説明要因

本研究では、説明要因を、i)土地条件、ii)河道条件、iii)被災対象、iv)降雨量、v)排水施設、の５つの視点からとらえた。なお、本研究では、資料上の制約から流出量に関する説明要因は対象外とした。

i)土地条件

各メッシュに固有の土地条件は、地形と被覆に大別できる。

地形条件からは、微視的な窪み・巨視的な窪み・傾斜の３つの指標を取り上げる。微視的な窪みとは、メッシュ内における微細な窪みの程度を表し、巨視的な窪みとは隣接メッシュとの比較における当該メッシュの窪みの程度を表す。傾斜は、メッシュ内の平均的な傾斜の大きさであり、これは地形の大まかな分類で代用できる。したがって、地形条件から、<u>①微視的窪み度</u>、<u>②巨視的窪み度</u>、<u>③地形分類</u>、の３つの説明要因を選択する。微視的窪み度については、国土数値情報の標高データファイルより、メッシュ内の16地点(4×4、約250m間隔)の標高を読み取り、緯度方向・経度方向ともに前後の標高と比較して窪地と判断される地点の数を指標とする。巨視的窪み度については、国土数値情報の標高データファイルより、メッシュ内の平均標高を計算し、緯度方向・経度方向ともに前後のメッシュの平均標高と比較して当該メッシュの窪みの程度

を指標とする。地形分類については、国土数値情報の地形分類ファイルより地形を山地・丘陵地・台地・低地の４つに大分類して読み取る。なお、山地では内水害は発生しないため、本研究では山地を解析対象外とし、その他の地域について上記３つの分類を指標として分析を行った。

被覆条件からは、土地の浸透能を指標として取り上げる。メッシュ内の平均的な浸透能を求めるためには、土地利用別の浸透能が既知であることが前提となるが、信頼できる資料の入手は困難である。一方、浸透能は、人工的な非浸透域と自然地域において差が顕著であるため、後に述べるメッシュ内の宅地率と相関が高いと考えられる。したがって、本研究では、被覆条件からは説明要因を選択しなかった。

ii)河道条件

河道条件は、‘河道への水の排除し易さ’という視点でとらえた条件である。ここでは、河道と当該メッシュとの標高差・水位上昇に伴う排水条件の悪化、の２つを指標として取り上げる。国土数値情報によれば、“一般に流域は、降水が地表流として流出する際、起伏のある山岳地帯や台地のように容易に特定の河川に集中すると考えられる地域（集水域）と、低平な平野や盆地などのように地形の傾斜や河川の勾配が緩やかなため、降水が特定の河川に集中しにくく、逆に河川から溢流、氾濫する地域（非集水域）に区分できる。”非集水域は、河道よりも標高が低い地域と考えられるため、メッシュ内における非集水域の割合は、標高差の代用となり得る。一方、水位については、詳細な資料の入手が困難であるうえ、地点情報として適切に用いることも難しい。したがって、河道条件からは、④非集水域面積率、のみを説明要因として選択する。非集水域面積率については、国土数値情報の３次メッシュ流域・非集水域面積ファイルより、各メッシュの非集水域面積率を算出してカテゴリー化する。

iii)被災対象

被災対象の条件とは、被害として計量される対象物のメッシュ内における集中の程度である。本研究では、一般資産および営業停止損失被害額を被災基準にとっているため、一般資産の規模を指標とするのが望ましい。今回は、これをメッシュ内の宅地の割合で代用することを考え、被災対象の条件からは、⑤宅地率、を説明要因として選択する。宅地率については、国土数値情報の土地利用面積ファイルより、建物用地Ａおよび建物用地Ｂの面積を読み取り、メッシュ全体の面積で割って算出し、カテゴリー化する。

iv)降雨量

降雨は水害を発生させる直接の原因である。本研究では、雨量強度である⑥時間最大雨量、総降雨量の代用となりうる⑦日最大雨量、の２つを説明要因として選択する。雨量については、気象庁の地域気象観測（アメダス）資料降水量時日別ファイルより、流域内の観測点で観測された時間最大雨量・日最大雨量を読み取り、ティーセン法を用いて各メッシュに配分し、それぞれカテゴリー化する。

v)排水施設

内水に対する排水施設のうち、主たるものは、ポンプ場および排水路である。これらは、流出の規模によって及ぼす効果が異なってくるうえ、狭い地域に大きな影響を与えるものである。その効果を綿密に調べるには、詳細な資料を用いて流出解析を行う必要があるが、現実には、極めて困難である。

一方、排水施設のもつ内水抑制効果は、非集水域の集水域化、窪地の非窪地化、排水量相当の雨量削減、などに表れると思われるため、排水施設の条件を、非集水域面積率・窪み度・雨量の指標と結び付けて用いる方法も

表１　各説明要因間の相関係数

	微視的窪み度	巨視的窪み度	地形分類	非集水域面積率
巨視的窪み度	０．２６			
地形分類	−０．１７	０．２１		
非集水域面積率	−０．１７	０．３０	０．７３	
宅地率	−０．０６	−０．０１	０．１４	−０．０３

	時間最大雨量
日最大雨量	０．７６

考えられる。しかし、その効果の大きさを適切に計量することは、やはり困難である。

また、現況のポンプ場の排水能力は、その集水域内の面積で換算すると、集水域内全体で大きな影響を及ぼすような値にはならない。

そこで本研究では、排水施設の条件を説明要因として用いずに分析し、結果をポンプ場の集水域の内外で比較検討し、その効果を見積った。

以上の考察より、本研究では7つの説明要因を選択した。表1に、各説明要因間の相関係数を表示する。この表より、上記の5つの説明要因は互いに無相関であると考えられ、全てを分析の説明変数として用いてよいと判断できる。一方、時間最大雨量と日最大雨量は相関が高いため、分析に際しては一方を説明変数として用いるべきである。本研究では、時間最大雨量を用いた場合、日最大雨量を用いた場合の両者について分析を行い、結果を比較検討した。

3．モデル流域における分析結果

本節では、ある一級水系の流域（A流域とおく）をモデル流域として、分析を行った。本流域では、Ⅰ．全てのデータに欠測がないこと、Ⅱ．異常気象の期間が比較的短く降雨日と被災日の対応関係が明らかなこと、Ⅲ．極めて小規模な水害でないこと、等を考慮して、表2に示す8つの水害を対象とした。

まず、各水害について個別に分析を行い、比較検討した結果、Ⅰ．台風性水害と豪雨性水害による内水被害の差はほとんど見られないこと、Ⅱ．被害の規模に関係なく内水害発生域を判別できること、がわかった。よって、本流域における内水害発生の機構は豪雨特性および水害の規模によらないと判断できるため、次に各水害をまとめて分析した。

表3に、数量化理論第Ⅱ類による判別分析の主な結果を示す。また、図1に内水害発生・非発生累積図を、図2・図3に各説明要因のノーマライズドスコアを示す。これらの図表から、本流域では、Ⅰ．充分な精度で内水害の発生・

表2　A流域における対象水害の概要

異　常　気　象		被害額
S.53. 4. 5 - 4.11	豪雨と風浪	486
S.54. 5. 7 - 5. 9	豪雨	129
S.54. 8.31 - 9. 9	台風12号と豪雨	96
S.54.10.14 -10.26	台風20号	318
S.56. 7.17 - 7.24	豪雨、落雷と台風9号	22011
S.56.10.19 -10.25	台風24号、風浪と豪雨	28188
S.57. 9.10 - 9.13	豪雨と台風18号	29063
S.58. 8.12 - 8.19	台風5,6号	23

註）被害額は、一般資産および営業停止損失被害額
　　単位は、百万円

表3　A流域における判別分析結果

流　　域		A	
解析メッシュ数		14024	
被災メッシュ数		523	
判別区分点		-0.014	-0.016
ミニマックス的中率		72.1%	74.0%
偏相関係数	最大雨量	0.161	0.199
	宅地率	0.145	0.132
	地形分類	0.030	0.033
	非集水域面積率	0.023	0.024
	微視的窪み度	0.030	0.030
	巨視的窪み度	0.022	0.022

註）左側：日最大雨量を用いた分析
　　右側：時間最大雨量を用いた分析

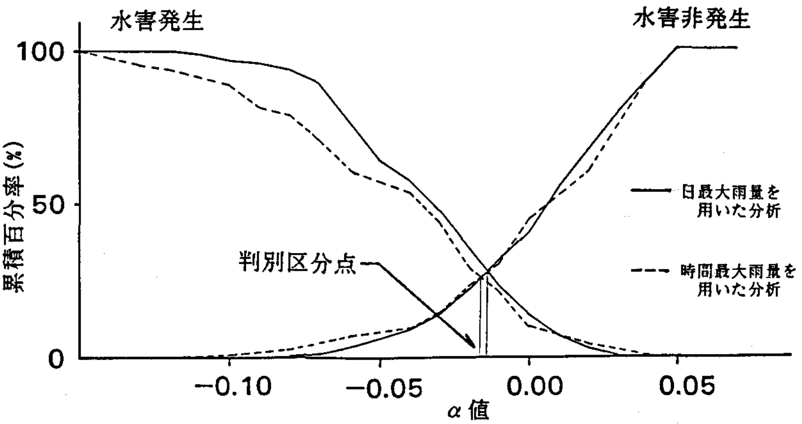

図1　A流域における内水害発生・非発生累積図

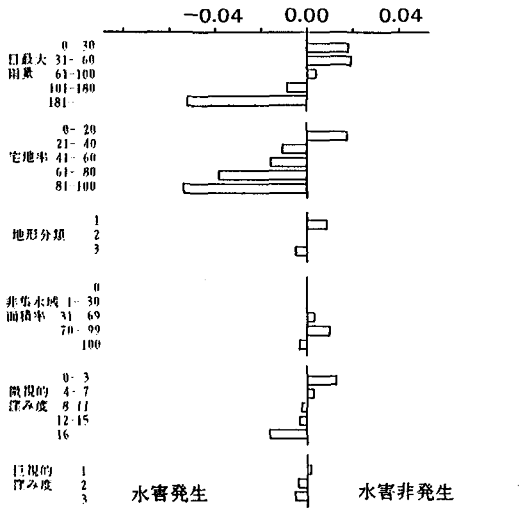

図2　A流域における各説明要因のノーマライズドスコア
(日最大雨量を用いた分析)

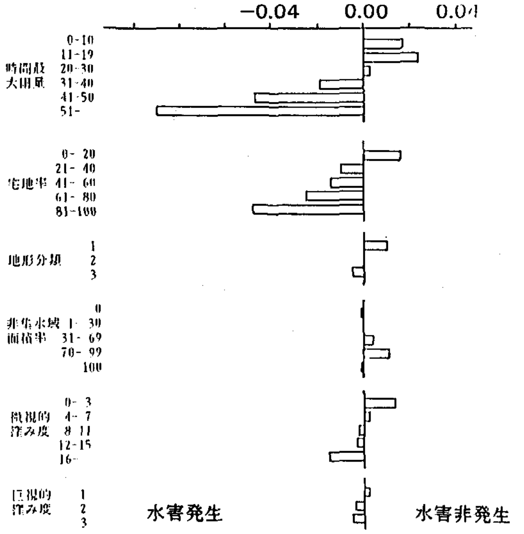

図3　A流域における各説明要因のノーマライズドスコア
(時間最大雨量を用いた分析)

非発生を判別できること、Ⅱ．降雨量に日最大降雨を用いても時間最大降雨を用いても結果に大きな差異は生じないこと、Ⅲ．内水害発生に寄与している要因は、雨量・宅地率・微視的窪み度・地形分類であり、非集水域面積率はほとんど無関係であること、がわかった。

図4に、A流域の下流部低地域における判別誤差を示す。これは、各メッシュにおいて実際に発生した内水害の回数から計算による発生回数を差し引いて図示したものである。図中、斜線部はポンプ場の集水域内である。またA流域の低地域全体における判別分析の平均2乗誤差は、ポンプ場の集水域内で3.5、集水域外で2.4であった。これらの結果より、ポンプ場の集水域内では、排水効果により、計算発生回数が実際の発生回数を上回り、判別の誤差が大きくなっていると考えられる。

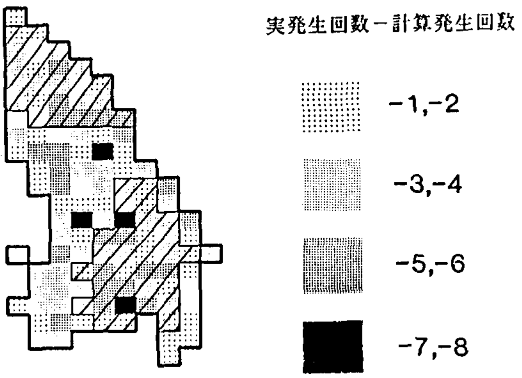

図4　A流域の下流部低地域における判別誤差

4．他流域への適用

本節では、前節における結果をふまえ、他の4つの一級水系の流域（それぞれ、B・C・D・E流域とおく）において、各水害をまとめて分析した。なお、これらの流域の排水施設については資料不足のため、検討を

表4　各流域における判別分析結果

流域		B		C		D		E	
解析メッシュ数		29204		34139		34443		2682	
被災メッシュ数		334		234		344		251	
判別区分点		-0.024	-0.015	-0.001	-0.001	-0.005	-0.002	-0.464	-0.191
ミニマックス的中率		92.3%	89.0%	72.5%	72.8%	83.3%	72.6%	81.1%	77.2%
偏相関係数	最大雨量	0.314	0.205	0.192	0.192	0.177	0.073	0.414	0.388
	宅地率	0.061	0.083	0.126	0.126	0.077	0.075	0.122	0.110
	地形分類	0.015	0.021	0.045	0.045	0.079	0.013	0.024	0.034
	非集水域面積率	0.046	0.040	0.028	0.028	0.018	0.029	0.091	0.075
	微視的窪み度	0.013	0.015	0.005	0.005	0.001	0.011	0.017	0.028
	巨視的窪み度	0.008	0.008	0.016	0.016	0.010	0.018	0.044	0.055

註）左側：日最大雨量を用いた分析　　右側：時間最大雨量を用いた分析

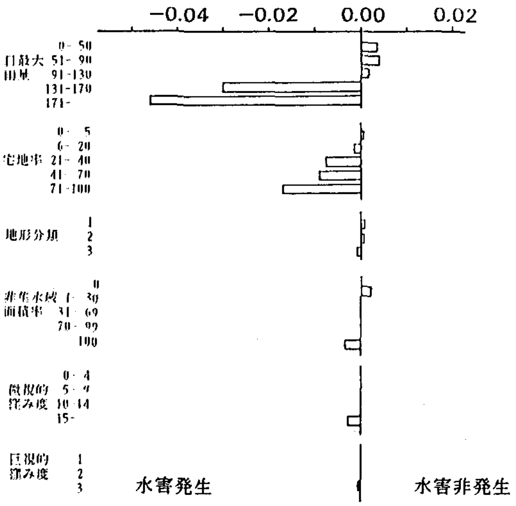

図5　B流域における各説明要因のノーマライズドスコア

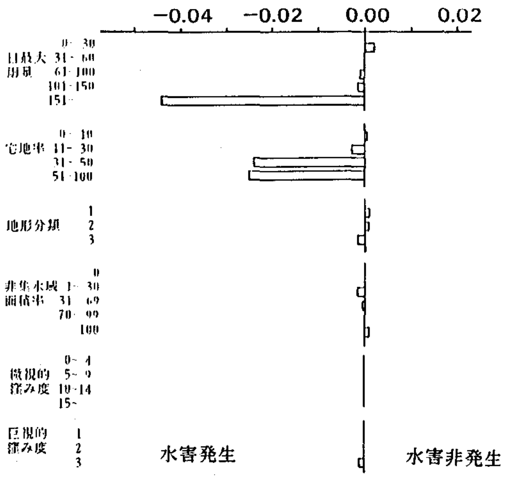

図6　C流域における各説明要因のノーマライズドスコア

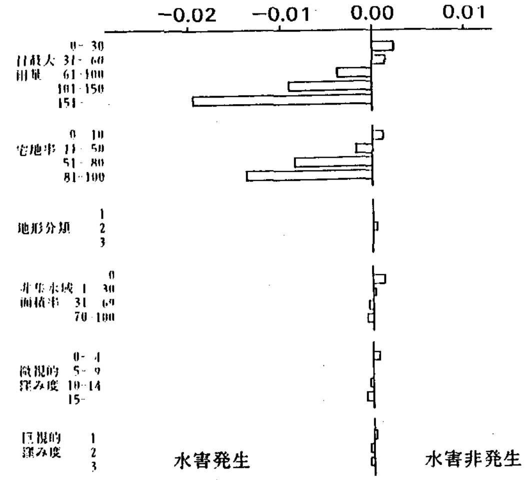

図7　D流域における各説明要因のノーマライズドスコア

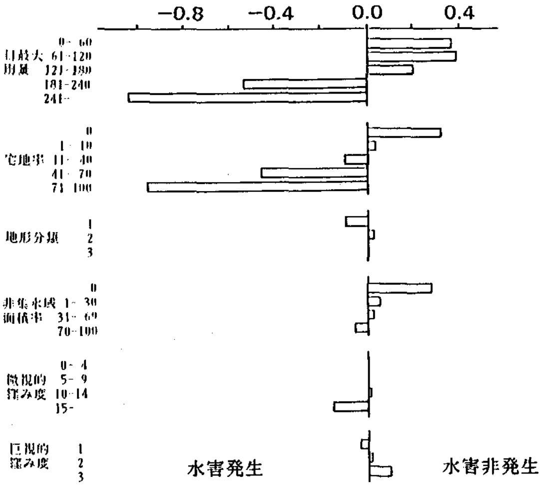

図8　E流域における各説明要因のノーマライズドスコア

行わなかった。

表4に、数量化理論第Ⅱ類による判別分析の主な結果を示す。また、図5～図8に、各流域における説明要因のノーマライズドスコアを示す。これらは、降雨量に日最大雨量を用いた分析の結果である。これらの図表から、Ⅰ．どの流域においても充分な精度で内水害の発生・非発生が判別できること、Ⅱ．C流域を除いて、降雨量に日最大雨量を用いても時間最大雨量を用いても結果に大きな差異は生じないこと、Ⅲ．内水害発生に大きく寄与している要因はどの流域においても雨量と宅地率であるが、その他の要因の寄与度は流域によってまちまちであること、がわかった。

5．各流域における比較検討

本節では、前節までの結果をふまえ、各流域における内水害発生の特徴と流域条件とを比較検討する。図9に各流域における宅地率の相対度数のヒストグラムを、図10に各流域における日最大雨量の相対度数のヒ

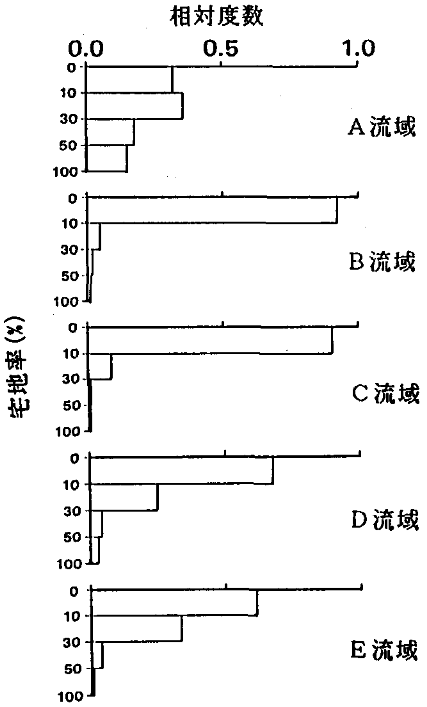

図9　各流域における宅地率の相対度数のヒストグラム

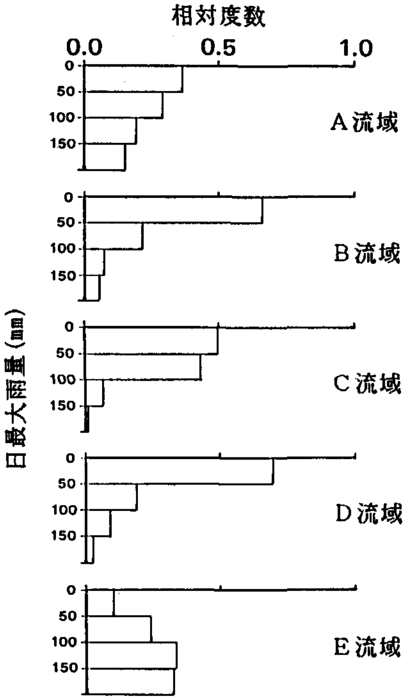

図10　各流域における日最大雨量の相対度数のヒストグラム

ストグラムを示す。

図9より、A流域は、かなり宅地化が進んだ流域であり、その結果被害額が激増していると判断できる。この流域では、図2・図3より非集水域面積率の説明力が弱く、微視的窪み度の説明力が強くなっている。これは、台地や丘陵地上の集水域において小規模な窪地で内水が発生しているためと考えられる。他の流域では、図5～図8より非集水域あるいは低地において内水が発生していると判断できる。

また、図10より、E流域は極めて多雨地域であることがわかる。このため、判別分析では雨量の寄与度が大きくなる（表4参照）。この流域では、内水害は河道付近の非集水域に集中すると考えられ、的中率も高い。

B流域とD流域は、図9・図10より宅地化の割合も雨量の大きさも同程度であると判断できる。このため、内水害発生の特徴も似たような傾向を示す（図5および図7参照）。

なお、C流域では、図6にみられるように1回の局所的な水害が分析に大きく影響しており、判別精度を下げていると考えられる。このような流域では、統計解析は不適当である。

6．結論

以上より、本研究で用いた方法によって、全国一級水系において、内水害発生・ 非発生分析が可能であることがわかった。また、その結果から、各流域における内水害発生の特徴を抽出することができた。今後、全流域における排水施設の効果の検討、および危険度を評価するモデルの作成が課題として残されている。

謝辞　本論文の作成に当たっては、建設省河川局からの水害統計資料、および国土情報整備事業の一環として建設省国土地理院において作成された地形等・土地分類・土地利用・流域等にかんする国土数値情報資料を使用しました。また、お茶の水女子大学文教育学部久保幸夫講師には貴重な助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。