

II 地球温暖化による河川・海岸への影響と対応策に関する検討

1. 河川における洪水氾濫に着目した検討

1-1 気候変動予測成果を活用した豪雨時の降雨量設定手法

気候変動による諸分野への影響の関心が高まっているが、治水分野への影響は特に懸念される事項の一つである。その影響を評価し、適切な適応策を検討・実施する必要がある。本項では、治水分野の適応策検討の際に、最も基本的な情報である極端降雨量の変化について評価を試みた結果を示すものである。

a) 年最大降雨量の生起確率分布の推定法

河道計画に通常用いられる水文量は年最大降雨量であり、その気候変動に伴う将来変化を求めることが必要となる。年最大降雨量の変化は生起確率分布 F の変化として与えられ、 $F=F(r_{mT}(t_i))$ を求める問題として設定される (r_{mT} : 再現期間 T 年の年最大降雨量, t_i : 時間(たとえば西暦 i 年))。しかし、このように設定された問題の答えを得るには、以下の条件が満足される必要があり、これらを満たすことは、本研究で用いた気候変動予測結果を含めて、實際上相当に困難である。

- (1) 極端降雨の再現精度が十分に高い気候モデルが存在する。
- (2) 確率分布の推定が可能な年数の計算がなされている。

条件(1)について言えば、計算結果には実現象に対し何らかのバイアスが残されたものと考えざるを得ず、現在、近未来、将来それぞれの計算期間も限られている。このことを踏まえ、本研究では気候モデルにおける現在と近未来、将来の関係(比: α)を求め、現在の観測値にこの関係を導入して将来降雨量を予測することとする。

条件(2)は、ある年 $i=a$ での確率分布 $F(r_{mT}(t_a))$ が、一定の気候条件下における確率現象として与えられることから必要になる条件であり、長期計算、あるいは、温室効果ガス濃度を一定とした短期のアンサンブル計算などにより得られることができる。しかしながら、河川計画が対象とする非超過確率の大きい領域での確率分布のばらつきを抑えるためには、非現実的な数の計算ケースとなることが想定され、現実問題として、計算機能力の制約等の原因により、条件(2)を満足させる計算結果を得ることは難しい。そのため、データの特性を把握した上で適当な近似解を求める作業が必要になる。

この近似的な方法については、Linsley et al.³⁾の提案する Station Year Method (以降、SY法)がある。SY法とは、ある地域内の地点の全データを合併し、その地域を代表する1組のデータとして扱うことによって、その地域の平均的な生起確率を推定する方法である。ここで、SY法では取り扱うデータの均質性・独立性の確保が重要となるが、均質性・独立性を評価する手法は確立していない。そこで本研究では、気象庁・気象研究所が開発した全球モデル(20Kmメッシュ、温室効果ガスの排出シナリオA1B)の計算結果を対象に、SY法を土台に図-II.1.1.1に概略を示す方法を提案した⁴⁾。すなわち、計算された現在および将来の連続した n 年のデータ(この場合、年最大降雨量)および確率分布が同様と検定される地域内の m 個の格子点のデータについて、これらを互いに確率分布が同一であり、かつ独立したデータとみなし、 $n \times m$ 個の全データから各地域の現在、将来の確率分布を作成するというものである。

現在、近未来、将来の n 年の連続データには気候変動によるトレンドが含まれており、上記のデータの取り扱いには、 n 年間における気候変動による影響が小さいと仮定したことになる。また、確率分布の同一性の確認は確率分布形が不明な場合の検定手法である順位和検定により、独立性の確認はスピアマン検定により行った。その際、図-II.1.1.2 に示す地域分割を用いた。その結果、同一性については、平均年最大降雨量で基準化した各地域の年最大降雨量の生起確率分布について、各地域とも概ね満足し、かつ現在、近未来、将来の各分布も同一と見なせると判断された。また、地域内データの独立性については必ずしも確保されない結果となった。そのため、年最大降雨量の生起頻度解析結果の持つ信頼性を考える際に、独立性が完全には得られないことを何らかの形で考慮することが必要となる。そこで本研究では、モンテカルロシミュレーションにより年最大降雨量の推定値の信頼区間を算定する際に、サンプル数を各地域の全データ $n \times m$ 個から割り引いて設定することとした。具体的には、地域内格子点の組み合わせ総数に対する相関係数=0 の仮説が棄却されない組み合わせの割合を算定し、これを割引率として $n \times m$ 個に乗じて求めた値としてサンプル数を設定した。

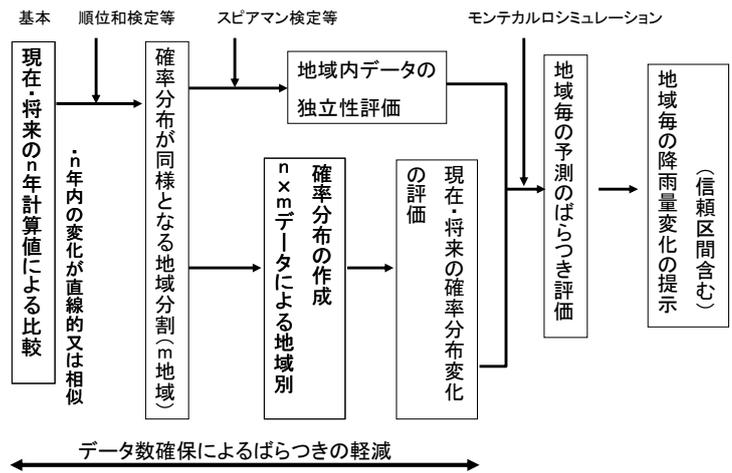


図-II.1.1.1 気候変動モデルを用いた将来の年最大降雨量変化の推定手順

図-II.1.1.2 に示す地域分割を用いた。その結果、同一性については、平均年最大降雨量で基準化した各地域の年最大降雨量の生起確率分布について、各地域とも概ね満足し、かつ現在、近未来、将来の各分布も同一と見なせると判断された。また、地域内データの独立性については必ずしも確保されない結果となった。そのため、年最大降雨量の生起頻度解析結果の持つ信頼性を考える際に、独立性が完全には得られないことを何らかの形で考慮することが必要となる。そこで本研究では、モンテカルロシミュレーションにより年最大降雨量の推定値の信頼区間を算定する際に、サンプル数を各地域の全データ $n \times m$ 個から割り引いて設定することとした。具体的には、地域内格子点の組み合わせ総数に対する相関係数=0 の仮説が棄却されない組み合わせの割合を算定し、これを割引率として $n \times m$ 個に乗じて求めた値としてサンプル数を設定した。

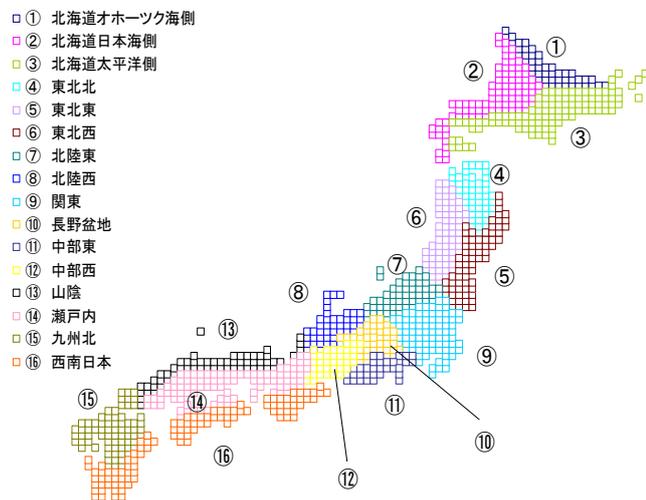


図-II.1.1.2 地域分割 (16分割)

b) 全球・領域モデル実験結果の現在～近未来、将来の豪雨生起の比較

本研究で用いたデータは気象研究所で開発されたモデルによる実験結果であり、その種類を表-II.1.1.1 にまとめて示す。革新前期 GCM20 による実験結果から、1 時間および 24 時間降水量の年最大値について、現在を基準とした近未来及び将来における年最大降雨量の倍率 α (近未来、将来/現在) を評価した結果を図-II.1.1.3 に示す。この倍率を用いているのは、平均年最大降雨量で基準化した各ブロックの年最大降雨量の生起確率分布は、将来、近未来と現在でほぼ同じであるとの結果が出ており、したがって気候変動による降雨量変化を平均年最大降雨量同士の比較で概ね表現できると判断できたからである。なお、図-II.1.1.3 には、モンテカルロシミュレーションにより年最大降雨量の推定値の信頼区間も併せて示している。

近未来の降雨倍率について、24時間の50%ileをみると、東北東、北陸東、九州北、西南日本において降雨量減少がみられ、他の地域は、最大で1割程度の降雨量増加がみられる（図-II.1.1.3 左下）。同様に1時間の50%ileをみると、東北東を除くすべての地域で降雨量増加がみられる。また、24時間と比較して降雨倍率がやや大きい傾向がある（図-II.1.1.3 左上）。

将来の降雨倍率について、24時間の50%ileをみると、北陸東を除いたすべての地域で降雨量増加が見られる。特に、北海道オホーツク海側、北海道日本海側、東北北、九州北では、50%ileで15%強、97.5%ileで20%強といったように大きく降雨量が増加する傾向が認められた（図-II.1.1.3 右下）。同様に、1時間の50%ileをみると、すべての地域で降雨量の増加が見られ、2.5%ile、50%ile、97.5%ileのすべてにおいて、24時間よりも大きい降雨倍率を示す結果となっており、全体的に対象時間が短くなるに従って降雨倍率が大きくなる傾向がある（図-II.1.1.3 右上）。

図-II.1.1.4 に示す領域

表-II.1.1.1 使用データと分析方法

数値実験	計算範囲	解像度	計算期間
全球モデル/ 前期実験 [革新前期 GCM20]	全球	20km	現在(1979-2003)/通年
			近未来(2015~2039)/通年
			将来(2075-2099年)/通年
領域モデル/ 前期実験 [革新前期 RCM5]	日本付近	5km	現在(1990-1999)/各年6~10月
			近未来(2026~2035)/各年6~10月
			将来(2086~2095年)/各年6~10月

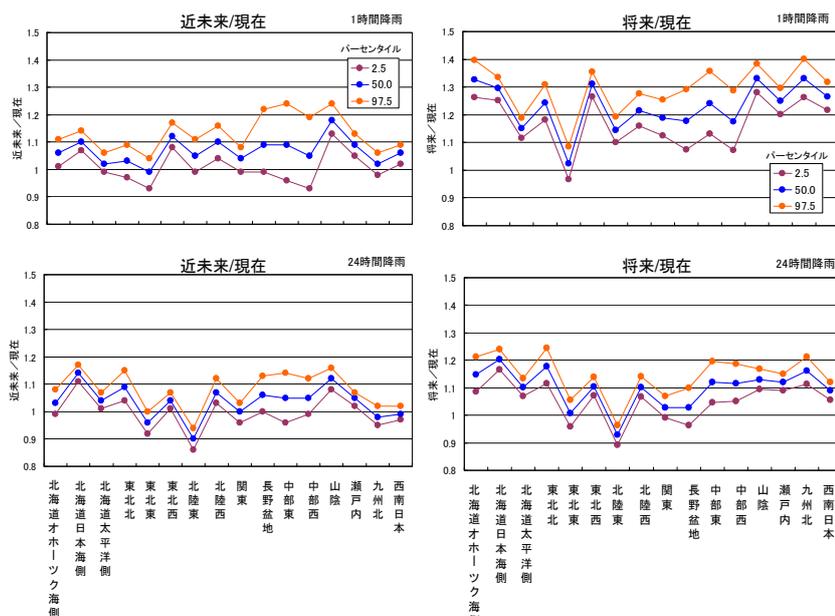


図-II.1.1.3 各地域における平均年最大降雨量の変化比 (革新前期 GCM20)

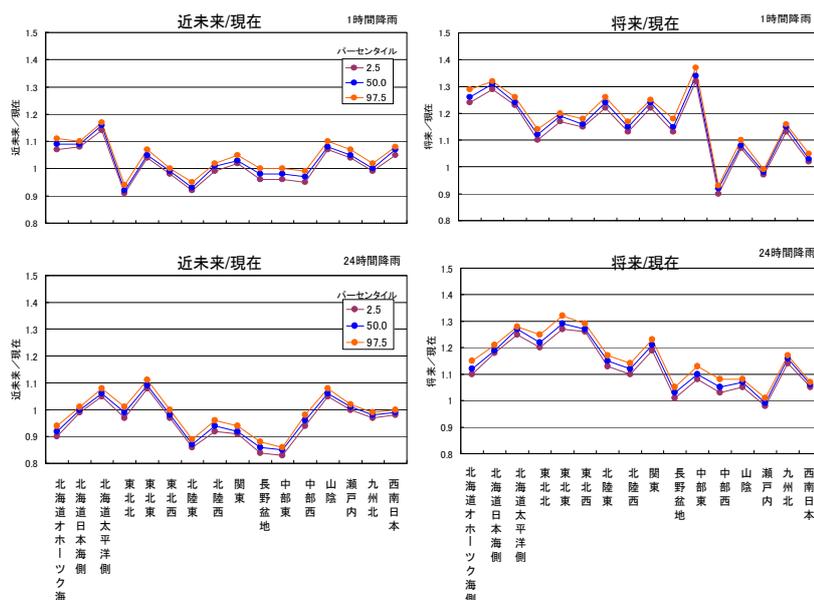


図-II.1.1.4 各地域における平均年最大降雨量の変化比 (革新前期 RCM5)

5km モデルの結果を全球 20km モデルと比較すると、信頼幅区間が狭くなっている。これは、メッシュサイズが小さくなったことで、各地域に属する格子点数 m が増加した影響と考えられる。また、降雨倍率の 50%ile 値に着目すると、大きく変化している地域が認められる。例えば、24 時間の降雨倍率について、近未来の 50%ile をみると、革新前期 GCM20 によると 1~1.5 程度であった北陸西、関東、長野盆地、中部東では、革新前期 RCM5 では 0.9 程度と減少傾向に転じている。同様に将来の 50%ile をみると、北陸東のように上記とは逆に増加傾向に転じている。

c) 考察

図-II.1.1.1 に示す方法を気候変動予測結果に適用することで、河道計画に用いられる年最大降雨量の気候変動に伴う将来変化を降雨倍率 α として推定できることを示した。a) に詳述したようにデータ制約等を考慮して提案した近似的手法であるものの、河道計画に用いられる年最大降雨量に α を乗じることで将来の降雨量を概算することによって、一般的な河道計画の検討時と同様に洪水の流量や水位等に基づいて適応策の検討が行えることの意義は大きいと考える。今後は、気候モデルの豪雨の再現性、分析方法（地域内の降雨の均一性、独立性が完全に得られていないこと）、現在と近未来、将来の生起確率が同形として扱っていることを再度検討し、統計的な信頼性を向上させる必要がある。これらの課題解決に取り組むとともに、気候モデルや分析手法により傾向や数値が異なることを踏まえて降水量変化の不確実性を評価し、将来想定すべき降雨変化を提示していくことが重要となる。

1-2 堤防に作用する水理外力の評価手法の高度化検討

気候変動下における将来降水量は 1-1 に示したように信頼区間（すなわち予測の不確実性）を伴って推定されることから、その幅の影響を加味して治水に及ぼす影響を評価できる手法を用意する必要がある。そこで、治水の根幹的構造物である堤防に着目し、堤防に作用する水理外力について信頼性解析の考え方を取り入れて評価する手法について検討を行った。本項では、堤防に作用する水理外力として年最高水位を用いることとし、計画高水位を超過する確率の算定手法と、そのモデル水系への適用による試算結果について示す。併せて、治水経済調査マニュアル（案）⁵⁾ に準じて現況と将来気候下における氾濫被害総額を算定した結果を示す。

a) 降水量など不確実性を考慮した計画高水位の超過確率の試算

確率年から降水量→最大流量→最高水位と一連で水理水文量を算定する従来の河川計画で用いられてきた手法に信頼性解析の手法を導入することで（図-II.1.2.1）、各確率年における計画高水位を超過する水位発生確率（以下、HWL 超過確率と呼ぶ）を算定した。なお、計画高水位以上の水位に達した場合に必ず破堤すると仮定した場合、HWL 超過確率は氾濫発生確率と見なせる。

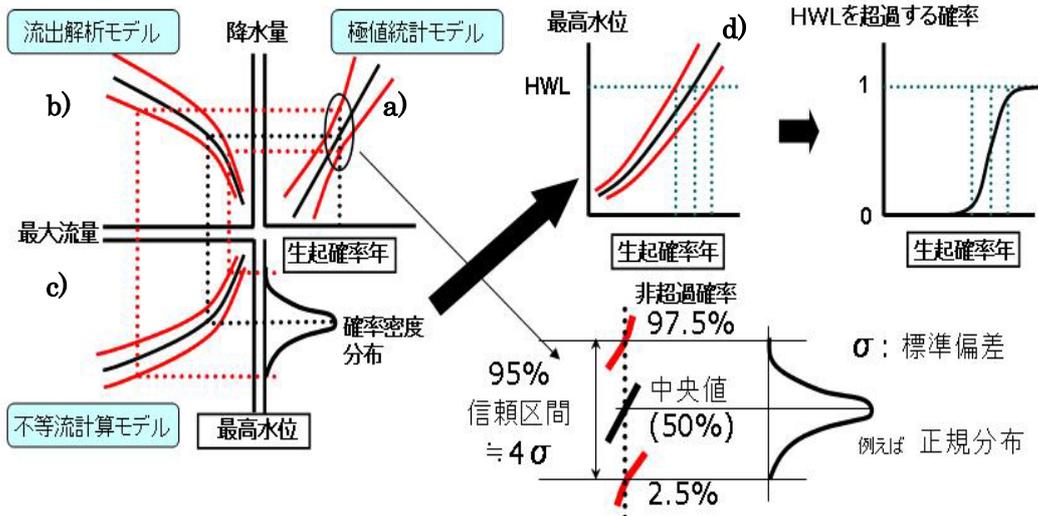


図-Ⅱ.1.2.1 信頼性解析を応用した水位発生確率の評価法のイメージ

確率年と降雨量の関係については、極値理論に基づいて確率分布を推定するとともに（図-Ⅱ.1.2.1a）の黒線）、さらにその推定に使用した観測データ数等を考慮して信頼区間を算定した（図-Ⅱ.1.2.1a）の赤線）。これら結果を利用して、本項ではある確率年に対応した降水量は各パーセンタイル値で確率的に分布する不確実性を有すると仮定した（図-Ⅱ.1.2.1 右下）。同様に最大流量と降雨量の関係については、既往実績から降雨の時空間分布を 12 パターン選定して、ある同一降雨量に引き延ばして流出計算を行うことで得た 12 個の最大流量の平均値（図-Ⅱ.1.2.1b の黒線）と、そのまわりのばらつきを統計処理することで得られる流量の確率分布（図-Ⅱ.1.2.1b の赤線）を設定した。各流量時における最高水位は準 2 次元不等流計算により算定した。その際、既往出水の逆算粗度係数のバラツキ等を考慮して粗度係数に確率的な幅を与えて水位が確率的に変化するようにした（図-Ⅱ.1.2.1c）。以上のように各関係に不確実性を与えることで、同一の確率年に対して水位が一つに決まらず、水位がある範囲である確率的に変化する様子も算定できるようにした（図-Ⅱ.1.2.1d）。なお、越水や破堤による氾濫による河川流量の低減については、本計算では考慮していない。

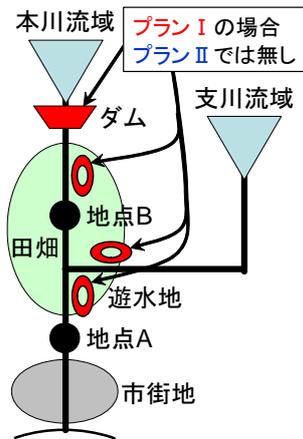


図-Ⅱ.1.2.2 モデル

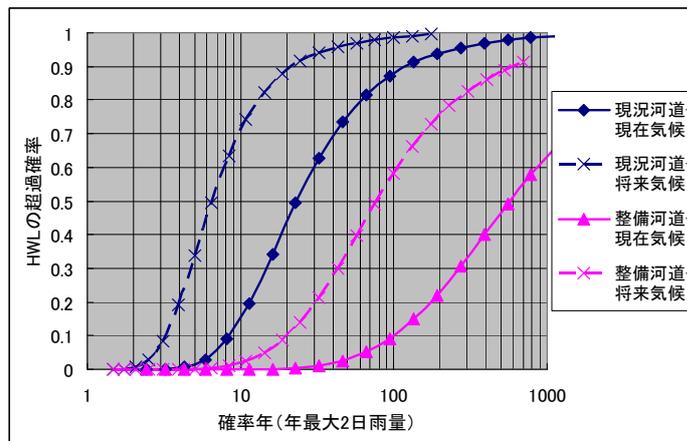


図-Ⅱ.1.2.3 確率年と HWL 超過確率の関係

図-Ⅱ.1.2.2 に模式的に示す対象水系に対して、整備途上の河道（以下、現況河道（図中のプランⅡ）と呼ぶ）と河川整備基本方針の目標規模（1/100）に対応した河道（河道改修+遊水地+ダムで構成される：以下、整備河道（図中のプランⅠ）と呼ぶ）の2種類を想定し、上記の手法を適用して確率年とHWL超過確率の関係を試算した結果を図-Ⅱ.1.2.3 に示す。現在気候下の試算に加えて、1-1 に示した革新前期 RCM5 の将来の降雨量倍率 α ($=1.27$) を用いて概算した将来気候下も併せて実施した。現況・整備河道とも将来気候下では、降水量増大のため HWL 超過確率が著しく増加しており、氾濫発生に及ぶリスクが有意に高まることが示唆された。

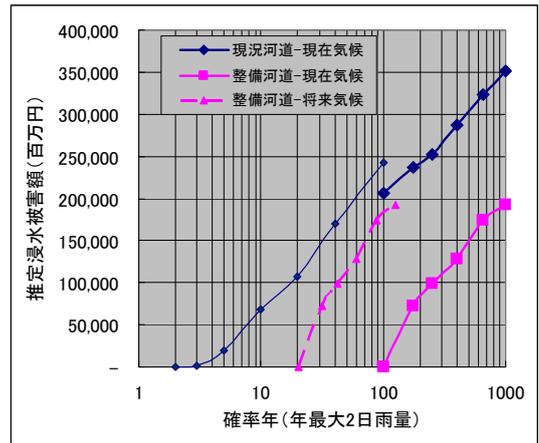


図-Ⅱ.1.2.4 確率年と推定浸水被害総額の関係

b) 河川整備および降水量増加に伴う浸水被害額変化の試算

a) と同一の現況河道と整備河道を対象として、治水経済調査マニュアル（案）⁵⁾ に準じて、流下能力を超過する降雨時（確率規模は最大で 1/1,000）における浸水総被害額を推算した。さらに、降雨量倍率 $\alpha=1.27$ を用いて、将来気候下における整備河道の被害額も併せて試算した（その際、土地利用状況は現況と同一とした）。それらの結果を図-Ⅱ.1.2.4 に示す。現在気候下では整備を行うことで被害額が大幅に低減されるが、将来気候下ではその効果が減じ、確率規模 100 年程度の降水量で現況に相当する被害額に達する結果となった。

c) 考察

信頼性解析の考え方を取り入れた水位発生確率の評価手法をモデル水系に適用した試算結果は、将来気候下では HWL 超過確率、想定浸水被害額がともに増大し、河川整備基本方針に対応した整備河道であっても、その効果が気候変動によって少なからず目減りすることを示唆するものであった。今後、その対策の検討を行うにあたっては個別水系毎に氾濫リスク評価を行うことが重要であり、そのため本項で用いた評価手法を基盤として氾濫発生確率と被害規模の関係が得られるように拡張することが望まれる。

1-3 気候変動が氾濫危険性と河川整備に与える影響のマクロ評価

a) 大河川を対象とした影響評価

気候変動により将来の年最大降雨量が増加していく状況下において当初と同一の目標水準の治水安全度（年最大降雨量の確率年）を維持するためには、当初予定していた整備規模を拡充し、気候変動の影響による雨量増加分を埋め合わせる必要がある。本節は、その拡充の規模が図-Ⅱ.1.1.4 に検討結果の一例を示した年最大降雨量の倍率 α

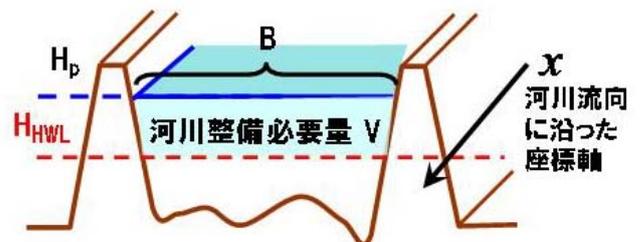


図-Ⅱ.1.3.1 河川整備必要量の定義

に応じてどのように増大するかについて、一級水系の国管理本川区間（大河川）を対象として、新たに設けた共通指標「河川整備必要量比」を用いて試算した結果を示すものである。

① 整備規模の大きさを表す指標「河川整備必要量比」の設定

河川整備基本方針に示されている目標水準に相当する洪水を現況の整備途上の河道に流下させると、図-II.1.3.1に示すように最高水位 H_p が計画高水位 H_{HWL} を上回る区間が生じる。本研究では、その区間が長大でありかつその区間の川幅が広いほど、さらに計画高水位を上回った水深が大きいほど、今後必要な整備規模が増大すると単純化して取り扱うこととした。そこで整備規模の大きさを表す指標として図-II.1.3.1の青色部分の水量 V を用いることとし、以降 V を河川整備必要量と呼び、式(II.1.3.1)により算定する。

$$V = \int_0^L B \cdot f(H_p - H_{HWL}) dx \quad (\text{II.1.3.1})$$

ここで、 B は水位 $H_p \sim H_{HWL}$ 間の平均川幅、 $f(z)$ は $z > 0$ の場合 $f(z) = z$ 、 $z \leq 0$ の場合 $f(z) = 0$ となる関数である。 H_p 、 H_{HWL} 、 B はいずれも河口からの距離 x の関数であり、国管理本川区間の総延長 L に渡って定義される。

現在気候下および将来気候下における河川整備必要量 V_P 、 V_F は、当初の整備規模とそれに気候変動の影響を吸収する拡充分を加えた整備規模に対応すると考え、これらの比 V_F/V_P を「河川整備必要量比」と設定した。

河川整備必要量比は、「気候変動適応を全て河川水系沿いのハード整備によって行う」ことを意図したものではなく、治水施策に及ぼす気候変動影響を包括的に表現でき、適応策検討の土台になりうることに着目して採用するものである。

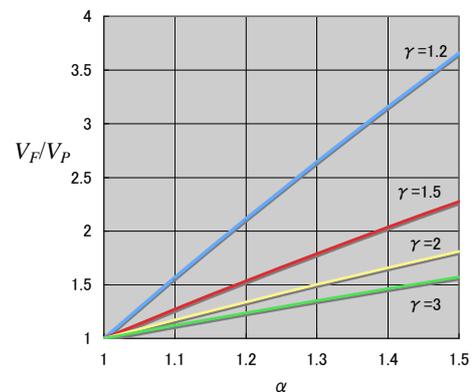


図-II.1.3.2 簡略化手法による V_F/V_P の算定結果

② α と V_F/V_P の関係に関する基礎的検討

V の α に対する応答に関する基礎的な特徴を把握することを目的として、一様な断面および勾配を有する本川のみ河道とその上流端に接続する単一の集水域により構成されるごく単純な流域を想定し、本質的な意味合いが失われない程度に流出解析および水位算定手法を簡略化した上で、 V と α の関係を算定する。

長さ L 、川幅 B 、河床勾配 i の一様な幅広矩形断面を有する河道を想定する。ピーク流量 Q の流下時における最大水深 h が、式(II.1.3.2)に示す等流水深として算定できると単純化する。

$$h = \left(\frac{nQ}{i^{0.5} B} \right)^{3/5} \quad (\text{II.1.3.2})$$

ここで、 n はマンニングの粗度係数であり、以下では定数とする。水深 h が計画高水位に対応する水深 h_{HWL} を上回った場合、式(II.1.3.1)に従って河川整備必要量 V は $(h - h_{HWL})BL$ として算定できる。降雨強度 r と Q の関係式として、ここでは式(II.1.3.3)に示す合理式を適用する。

$$Q = f_p r A \quad (\text{II.1.3.3})$$

ここで、 f_p はピーク流出係数、 A は流域面積であり、以下ではいずれとも定数とする。 r は洪水到達

時間 t 内の平均降雨強度であり、ここでは t 時間年最大降雨量 R の t による商として求める。 t は A に伴って単調に増加する関数 $t(A)$ と仮定する。現在気候下での目標水準に相当する降雨強度を r_p 、同じく気候変動の影響を受けた将来の降雨強度を r_F とすると、式(Ⅱ.1.3.2)、(Ⅱ.1.3.3)より将来と当初の河川整備必要量の比 V_F/V_P を式(Ⅱ.1.3.4)に示すように導くことができる。

$$\frac{V_F}{V_P} = \frac{\Delta h_F BL}{\Delta h_P BL} = \frac{h_F - h_{HWL}}{h_P - h_{HWL}} = \frac{Q_F^{0.6} - Q_{HWL}^{0.6}}{Q_P^{0.6} - Q_{HWL}^{0.6}} = \frac{r_F^{0.6} - r_{HWL}^{0.6}}{r_P^{0.6} - r_{HWL}^{0.6}} = \frac{(\alpha\gamma)^{0.6} - 1}{\gamma^{0.6} - 1} \quad (Ⅱ.1.3.4)$$

ここで、 $\alpha(=r_F/r_p)$ は 1-1 における検討結果から継続時間 t と地域区分 C に応じて変化する関数 $\alpha(t, C)$ となる。 Q_{HWL} 、 r_{HWL} は、式(Ⅱ.1.3.2)、(Ⅱ.1.3.3)より算定される $h = h_{HWL}$ となる流量および降雨強度である。また、 $\gamma(=r_p/r_{HWL})$ は当初の整備計画の目標水準が現状の流下能力の水準に対してどの程度大きなものであるかを雨量強度の比として表わす変数である。

式(Ⅱ.1.3.4)の算定結果の一例を図-Ⅱ.1.3.2に示す。 γ が小さい、すなわち当初整備では流下能力をさほど大きくしない場合であり、かつ気候変動の影響で α が大きく増加する河川ほど、 V_F/V_P が大きな値となる傾向が認められる。また、 V_F/V_P は α の線形関数として近似できると判断される。

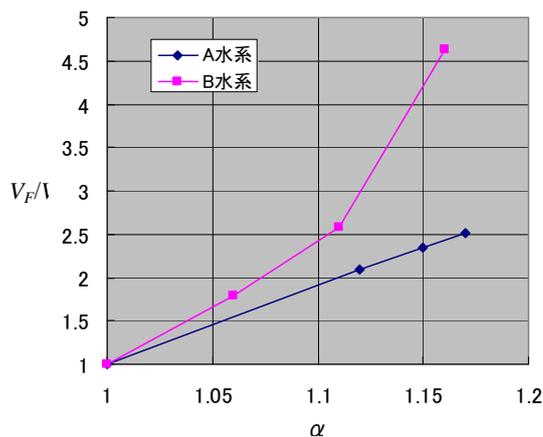


図-Ⅱ.1.3.3 一級水系の V_F/V_P の算定

同一の地域区分内に位置する流域であっても、短時間の年最大降雨量に対する α のほうが大きくなる傾向が図-Ⅱ.1.1.4 に示した検討結果に認められる。したがって、ピーク流量がより短時間の降雨によって決定される小流域の方がより大きな α となり、それに伴い V_F/V_P も増大すると考えられる。

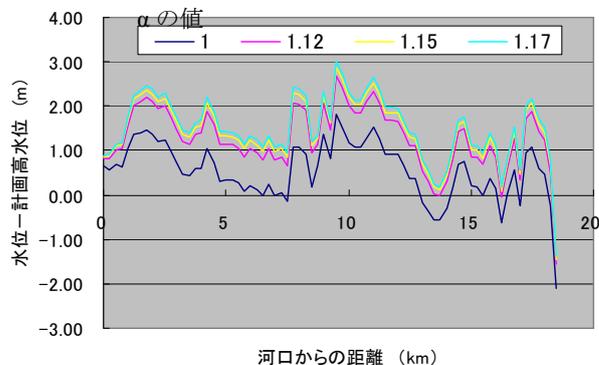


図-Ⅱ.1.3.4 A水系の水位計算結果

③級水系国管理区間(大川)での α と V_F/V_P の関係の試算

北陸地方と瀬戸内に位置する A、B 水系を対象として、治水計画の実務に用いられている流出解析および水位計算モデルを適用して、 V_F/V_P と α の関係を算定した。A、B 水系の河川整備基本方針において設定された目標水準を検討対象として、その整備目標に対する V_P を算定するとともに、A、B 水系が位置する地域区分の α の上限、中央、下

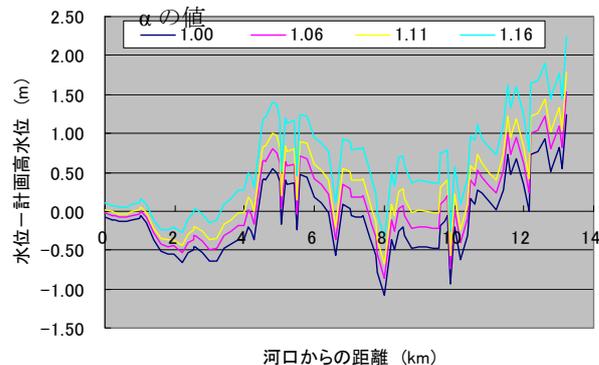


図-Ⅱ.1.3.5 B水系の水位計算結果

限値をそれぞれ用いて V_F を算定した。それら結果を用いて V_F/V_P を計算した結果を図-II.1.3.3 に示す。A 水系では、図-II.1.3.2 と同様に V_F/V_P は α と線形関係が認められた。それに対して B 水系では、 α の中央値までは線形関係が概ね認められるが、上限値において線形関係から外挿される値より大きな V_F/V_P となる結果を得た。

この原因については、水位が計画高水位を超過する区間の総延長（以下、超過区間長と呼ぶ）に着目することで説明できると思われる。図-II.1.3.2 の簡易計算では超過区間長は常に L の一定値となるが、A 水系については図-II.1.3.4 に示すように超過区間長の変化はごく小さく一定値として近似できる。それに対して、B 水系では α の信頼区間が広い (1.06~1.16) こと、およびその影響もあって図-II.1.3.5 に示すように超過区間長が α に伴って増加する。

実際の河川では B を堤間距離と等しい水位によらない一定値として近似可能なことを考慮すると、超過区間長が一定の場合、 α に伴って V が増加するのは主に $H_p - H_{HWL}$ の影響によると考えられる (式(II.1.3.4))。この場合には V と α の関係が線形近似できるならば、 $H_p - H_{HWL}$ に加えて超過区間長も α に伴って増加する場合には、その相乗効果によって線形関係から外れて V がより大きく増加する関係になると推察される。

④ 国の一級水系国管理区間(大川)を対象とした V_F/V_P の算定結果

③と同様に α の中央値を与えて流量倍率（流出計算により得た将来と現在の最大流量の比）および V_F/V_P を計算した結果を図-II.1.3.6、II.1.3.7 に示す。流量倍率は、大局的には α の地域分布に対応して北部から南部に向けて小さくなる傾向が認められる。これと同様の傾向が V_F/V_P にも認められるが、同程度の α を与えた水系間において V_F/V_P の差が大きくなっているため明瞭ではない。この原因は、 V_F は雨量倍率に応じて単調に増加するものの、 V_P では $H_p - H_{HWL}$ の大きさが整備の進捗状況（目標水準に対する整備達成の度合い）に応じて水系ごとに異なるためである。

⑤ α の変化に対する V_F/V_P の応答

α の下限値および上限値に対して V_F/V_P を算定した結果を図-II.1.3.8 に示す。 α の上限と下限の

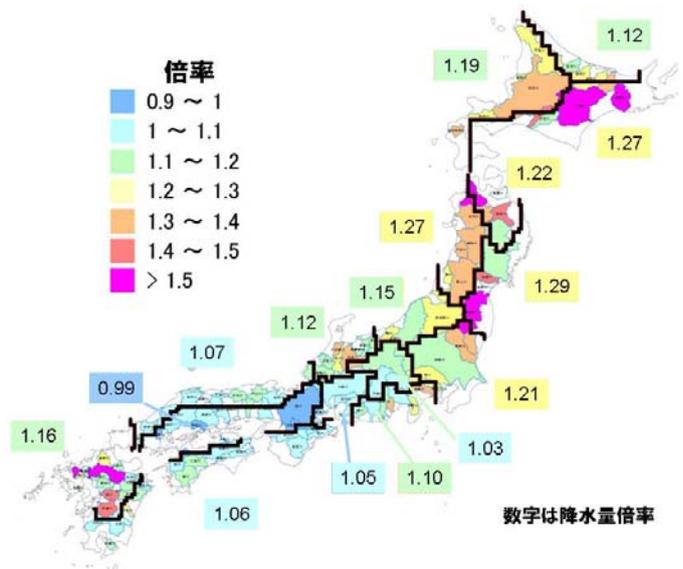


図-II.1.3.6 流量倍率の全国分布

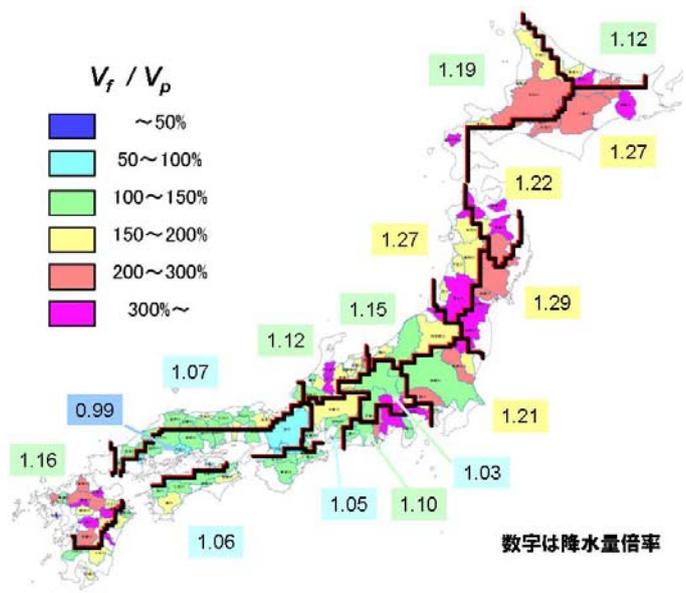


図-II.1.3.7 河川整備必要量比の全国分布

差（すなわち 95%信頼区間の幅）は最大で 0.05 であるが（図-Ⅱ.1.1.4）、その程度の差違であっても V_f/V_p のランクが変わった水系が少なからず見られる。このことから、 α の変化に対して V_f/V_p が大きく応答する傾向が窺えた。それについてより詳細に調べるために、雨量倍率、流量倍率、 V_f/V_p の全水系単純平均値を算定した結果を表-Ⅱ.1.3.1 に示す。中央値の結果に着目すると、1 割程度の雨量増（ $\alpha=1.12$ ）に対してその影響を吸収するための河川整備必要量の増分は 8 割程度（ $V_f/V_p=1.82$ ）となっている。また同表に併記した中央値に対する 95%信頼区間の幅の比として定義した変化率から、雨量予測の 3.2% の推定幅が河川整備必要量では 11% と 3 倍強に増幅されることが分かった。

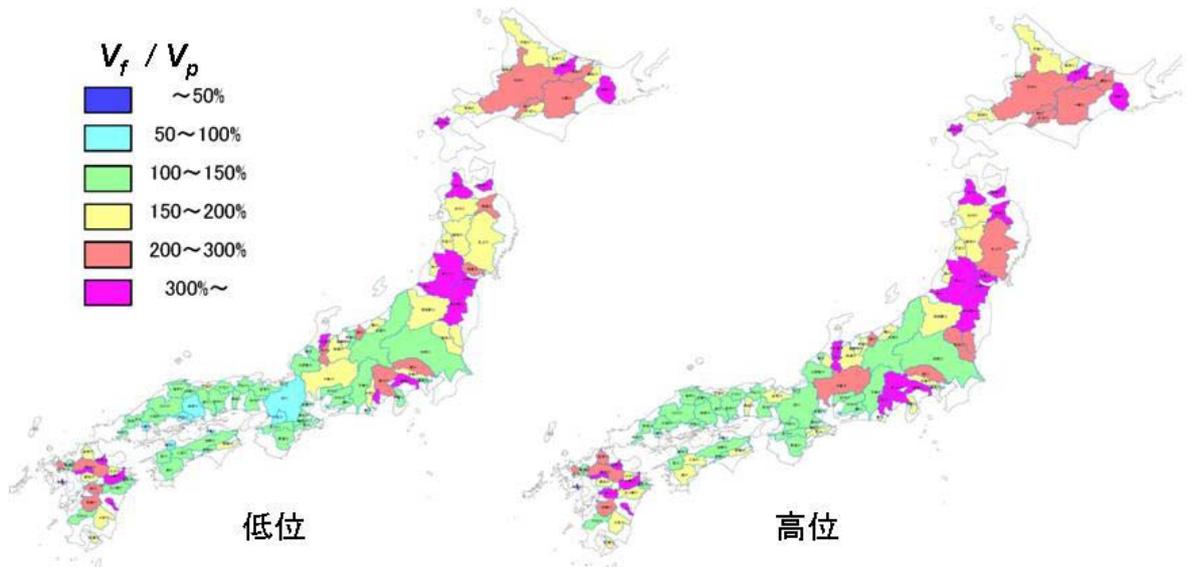


図-Ⅱ.1.3.8 河川整備必要量比の全国分布

表-Ⅱ.1.3.1 各指標の全国平均値の比較

	α	流量倍率	V_f/V_p
低位	1.10	1.14	1.74
中位	1.12	1.17	1.82
高位	1.13	1.20	1.94
変化率	3.2%	5.5%	11.1%

変化率: (高位-低位)/(中位) × 100(%)

b) 中小河川を対象とした影響評価

一級水系において都道府県が管理する河川延長のうち治水対策を必要としない区間等を除く区間（以下、中小河川と呼ぶ）を対象として、航空レーザ測量による三次元地形データから河道形状を設定し、国土技術政策総合研究所が開発した中小河川



図-Ⅱ.1.3.9 治水安全度の評価結果の一例

治水安全度評価システムによって、全国同一の尺度による治水安全度評価が行われている⁶⁾。その結果は、図-II.1.3.9に一例を示すように治水安全度をランク区分し、それぞれに該当する河道区間を地図上に色分けして示した形で公表されている。以下では、気候変動が中小河川の治水安全度の低減に及ぼす影響を調べるため、同システムを用いて気候変動の影響によって降水量が増大した場合について治水安全度の評価を行い、現況の評価結果と比較してランク別区間長の変化について算定した結果を示す。

① 治水安全度の評価方法

中小河川治水安全度評価システムは以下の手順によって治水安全度（年最大降雨強度の生起確率年）が評価されている⁶⁾。まず、航空レーザ測量を基に河川の横断形状を得て、必要に応じ堤防高や河床高を修正する。次に、アメダス観測所の降雨強度から各生起確率年に対応する雨量を求め、合理式により流量を算定する。一次元不等流計算によって水位を計算し、堤防高から余裕高を引いた高さと比較することによって安全度を評価している。

② 気候変動によるランク別区間長の変化

全国各地から選定した9水系を対象として、現在および将来気候における降水量を与えて治水安全度の評価を行った。将来気候の降水量算定には図-II.1.1.4に示した α 値を用いている。各ランクの延長構成比率の算定結果を図-II.1.3.10に示す。この図より、100年以上の高い治水安全度の区間長が減少し、10年以下の区間が増加する傾向が見られる。

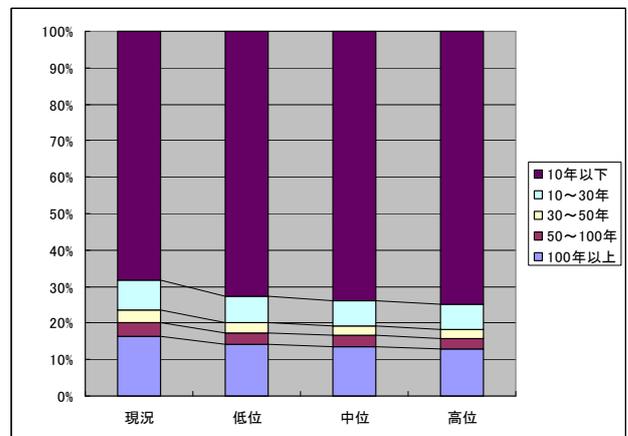


図-II.1.3.10 治水安全度の評価結果の一例

c) 考察

大河川の試算結果では、 α に比較して整備規模が大きく変化することから、将来の気候変動の影響を見越した整備実施判断において、 α の信頼性が大きな位置を占めることになる。河川管理者の立場からは、予測の信頼性を向上させ、 α の推定幅を極力小さくすることが重要と言うことになる。また、中小河川の試算結果からは、気候変動の影響によって治水安全度の低い区間が有意に増大する傾向が見られた。以上に示した方法によって河道計画への影響を分析できる見込みが得られた。

今後は、気候変動の影響を見越した河川整備の長期的方針に関する議論を本格化させるための準備として、その議論の基盤情報である整備規模の将来像に無視し得ない幅があることを前提として、それへの対処案を複数挙げてその中から施策判断に繋げられるものを選定する考え方を具体化することが重要である。そうした検討を進めるにあたって、 V_F/V_P の推定幅および地域的変動の観点については、本報告の成果から定量的な検討材料を提供できる見込みを得ることができた。

表－Ⅱ.1.4.1 評価項目

【基図へ記載する情報について】	
☆浸水想定区域と被害の形態に関する記載	
①	浸水深
②	はん濫水の流速と方向
③	洪水到達時間
④	一般的な家屋の流出及び全壊エリア
⑤	浸水継続時間
☆洪水以外の自然災害との連携	
⑥	土砂災害
⑦、⑧	地震、津波、高潮等
【避難及び防災情報等について】	
☆避難に関する情報の記載	
①	避難所（1次2次を含めて）
②	避難所に関する情報（収容人数・災害の種類による利用の有無）
③	避難ルート（大まかな方向や危険ルートの表示も含む）
④	避難行動（浸水深、建物の種類、浸水の前後など条件による避難行動）
⑤	避難の心得（持参品や避難所での生活についても含む）
☆役立つ防災情報に関する記載	
⑥	避難勧告等の情報伝達方法
⑦	防災に関する知識（危険水位及び洪水予報等）
⑧	防災情報の在りか
⑨	浸水実績エリア及び浸水被害写真等（過去の被害がない場合は、浸水想定イメージ）
☆災害時要援護者に関する情報	
⑩	災害時要援護者に関する情報
【マップの見やすさ使いやすさ等の工夫】	
①	基図の見やすさ（縮尺、表示及び航空写真）
②	マップの大きさ（大判・冊子）、紙質、折り方等
【活用してもらうための工夫】	
①	カレンダー、ゴミ収集などの行政情報との抱き合わせ等
②	作成段階での工夫

評価結果から全ての項目を満たす既存ハザードマップは無かった。なお、各ハザードマップ同じような課題を抱えていることがわかったと同時に、個別の検討結果や取り組みを反映したハザードマップがあることも判った。以下に、今回の評価概要をまとめた。

【評価概要】

- ①安全な区域の避難所への水平避難が基本となっており、事前避難ができなかった場合や悪天候・深夜・浸水等による避難中のリスクが考慮されていない。氾濫状況に応じた避難方法について、2階への垂直避難と水平避難を組み合わせて示したものも見られる。
- ②氾濫区域や浸水深が包絡的な表示になっている他、氾濫流の流速・流向や到達時間の表示がないため、洪水氾濫発生時の状況を把握しにくい。
- ③各市町村等における一律のマップとなっており、個々人を取り巻く条件・状況に関しての解像度が低い。このため各家庭にそれぞれの避難経路を設定させるものも見られる。
- ④数十年に1回程度の事象に対する備えであり、日常の意識・関心を継続するのが困難となっている。ハザードマップを捨ててしまう家庭も多いため、商店等の広告を掲載し、日常の利用を考慮したものも見られる。

c) 洪水ハザードマップの改善点の提案

洪水ハザードマップの課題として、地図内容の判りづらさから避難の必要な地域が判断できない、洪水時のみの情報のため使用頻度が低い、詳細な避難経路が不明確等、避難情報の事前提供媒体としてさまざまな課題が既存ハザードマップの評価から確認できた。

ここでは、東京大学への委託研究「水害時の状況に応じた避難及び避難情報提供に関する調査研究」等を参考に、水害時における避難行動のあり方という観点から改善点の方針を提示する。

①水害時の詳細な状況想定

氾濫状況等は刻一刻と変化するものであり、その状況変化に応じて適切な行動選択をしなければならない（図-II.1.4.2）。また、その場合は凌げたとしても長期湛水により長期間の孤立化・耐乏生活を強いられる恐れがあり、結果要介護者等によっては命に係わる事態も予想される。このため、浸水区域の包絡的情報のみならず、越水・決壊地点毎の氾濫挙動や避難経路上の内水浸水・水路等の状況、耐水時間等も情報提供することが望ましい。

②個別条件でのカスタマイズ

行政が個別世帯毎にハザードマップを作成するのは困難であり、各世帯が作成過程に参加し、提供された情報から個々の状況に応じて避難のタイミングや避難場所、方法等について定めることが望ましい。これにより、水害や水害時の避難について一層の理解が進むと考えられる。

③ 常的な利便性の付与

水害という数年から数十年に一度という頻度で発生する事象について日頃から関心を持ち続けるのは容易ではない。このためハザードマップにタウン情報等を付加し、日常の利便性にも寄与することが望ましい。これにより、廃棄される割合も減少すると考えられる。

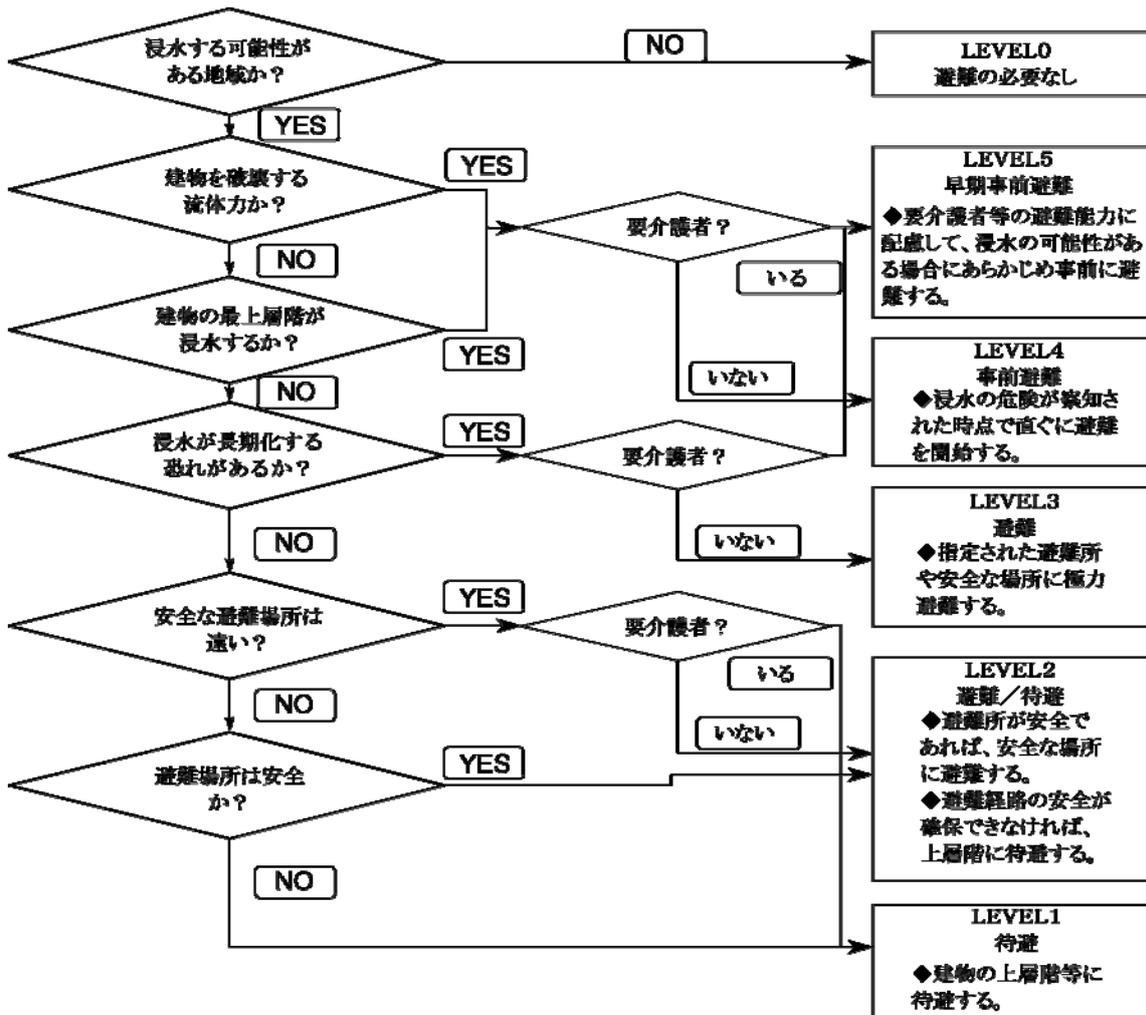


図-II.1.4.2 水害時の詳細な状況想定として避難のレベルに関するフローチャートの事例
 東京大学「水害時の状況に応じた避難及び避難情報提供に関する調査研究」より