気候変動と堆砂進行がダムの利水機能に 及ぼす影響に関する検討

IMPACTS OF CLIMATE CHANGE AND RESERVOIR SEDIMENTATION ON WATER USE FUNCTIONS OF DAMS

小島 裕之¹・永谷 言²・川村 育男³・倉橋 実⁴・佐藤 嘉展⁵・角 哲也⁶ Hiroyuki KOJIMA, Gen NAGATANI, Ikuo KAWAMURA, Makoto KURAHASHI, Yoshinobu SATO and Tetsuya SUMI

 ¹正会員 修(農) 株式会社建設技術研究所 東京本社 (〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町 3-21-1) E-mail:kojima-hiroyuki@ctie.co.jp
²正会員 博(工) 株式会社建設技術研究所 大阪本社 (〒541-0045 大阪府大阪市中央区道修町 1-6-7) E-mail:nagatani@ctie.co.jp
³正会員 博(工) 株式会社建設技術研究所 北海道支社 (〒060-0003 北海道札幌市中央区北 3 条西 3-1-6) E-mail:i-kawamr@ctie.co.jp
⁴正会員 博(工) 株式会社建設技術研究所 東京本社 (〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町 3-21-1) E-mail:m-kurahashi@ctie.co.jp
⁵非会員 博(農) 愛媛大学准教授 農学部 (〒790-8566 愛媛県松山市樽味 3-5-7) E-mail:sato@agr.ehime-u.ac.jp
⁶正会員 博(工) 京都大学教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

After releasing MLIT vision for dam upgrading under operation, it is required to evaluate climate change impacts on flood control and water use functions of dams. For long term reservoir sustainability, reservoir sedimentation has also the key effects almost equivalent to climate change impacts. Up to now, however, since there is no suitable evaluation method to clarify those impacts, it is important to establish appropriate screening criteria in order to select high priority existing dams for upgrading. In this study, we firstly predicted changes in flow regime curves and sedimentation progress under changing climate for two target dams. Secondly, we calculated the change of water use functions of dams in the future. Based on these results,

we proposed simple criteria to associate climate change impacts with change of water use functions of dams.

E-mail:sumi.tetsuya.2s@kyoto-u.ac.jp

Key Words: Climate change impacts, Sedimentation impacts, Performance criteria, Water use function

1. はじめに

(1) 研究の背景と目的

近年,気候変動の影響が顕在化しつつあり,極端な降 雨現象による洪水被害^{1)や}長期間の給水制限が実施される ような渇水被害²⁾が発生していることから,その対策が課 題とされている.こうした中で,それら気候変動影響へ の適応策の一つとして,ダムの役割が期待されている³.

一方で、ダムが長期的に機能を発揮する上での最重要 課題は、貯水池内の土砂堆積問題といわれており、気候 変動に伴う流況変動による流入土砂量の増加、さらにダ ム堆砂進行による有効貯水量の減少によるダムの治水・ 利水機能の低下が懸念されている. こうした背景のもと、2017年に国土交通省より示された 「ダム再生ビジョン」では、ダムの長期安定的な活用の観 点から治水・利水機能の維持向上の重要性が示されており⁴、 対策必要性の高いダムのスクリーニングが始まっている。 このような背景から、気候変動に伴う流況変動やダム 堆砂進行の複合影響に伴う将来のダム機能変化を予測す る手法が求められている。

しかしながら,現時点では、ダムが有する治水機能に 着目した研究5はあるものの、ダムが有する発電・水 道・農業用水等の利水機能に着目した研究については、 将来の利水機能変化に関する研究^{の7}はみられるが、その 予測手法に関する研究事例はみられない.

本研究は上記を踏まえ,気候変動に伴うダムの流況変 化及び将来の堆砂進行を予測した上で,これらがダムの



図-1 検討フロー

利水機能に与える影響について検討し、その結果から、 気候変動影響と利水機能変化を定量的に関係付ける簡易 な評価指標の提案及び考察を行うものである.

(2) 研究方法

本研究は、図-1に示すフローで検討を実施した.対象 とするダムは、以下の特徴を有するダムとした.

・現在、利水補給が年間を通して行われているダム

・将来、年間総流入量が増加するダムと減少するダム

 ・将来,堆砂進行が顕著となるダム 将来流況及び将来堆砂量・堆砂形状の予測手法につい ては、2章に述べる.

2. 将来流況及び将来堆砂量・堆砂形状の予測手法

(1) 将来流況の予測手法

気候変動予測では、気象庁気象研究所の超高解像度全 球大気モデル(MRI-AGCM3.2S)による現在気候 (1979-2003年)と将来気候(2075-2099年)における気 温・降水量変化89%を利用した。温室効果ガスの排出シナ リオは高位参照シナリオRCP8.5,海面水温はCMIP5の SSTアンサンブル平均を用いた.次に、SVATモデルか ら蒸発散量と融雪量を算出し、これらを分布型流出モデ ルHydro-BEAMに組み込むことにより、積雪地帯の積 雪・融雪過程も考慮した全国109水系の日平均河川流量 をそれぞれ求めた. 日平均河川流量は、タイムステップ 10分(出力1時間)で計算した24時間の流量を平均した ものである.詳細はKojiri¹⁰, Sato¹¹⁾を参照されたい.

上記による現在気候と実績流量の流況曲線を比較した結 果, 誤差を確認したため, 図-2の手法で将来流況を設定した.

(2) 将来堆砂量・堆砂形状の予測手法

a) 将来堆砂量の予測手法

将来の貯水池内堆砂量は、流況変化予測と整合を図 り、21 世紀末の状態を想定することとし、流況変化に 伴う堆砂速度の増加等も考慮して,以下を想定した.

想定①:本研究で用いる将来気候の予測期間が 2075-2099 年であることを踏まえ、将来における 堆砂量について、2075年までは実績堆砂速

①気候変動係数(各月)の設定			
①-1:現在気候(1979-2003年)及び将来気候(2075-2099年)の日平均河川流量(計算値)の			
時系列を月毎に降順に並び替えて各年各月の流況曲線を作成			
①2:現在気候・将来気候それぞれについて各年各月の流況曲線の順位毎に			
25年間の平均値を算定			
①3:将来流況曲線を現在流況曲線で除すことで得た流況曲線の順位毎の			
変化比率を気候変動係数(各月)として設定			
②気候変動係数(各月)を用いた将来流況の算定			
②-1:ダム地点実績日平均流入量時系列を月毎に降順に並び替えることで、			
各年各月の実績(現在)流況曲線を作成			
②-2:気候変動係数(①-3)を実績(現在)流況曲線の各年各月に乗じる			
②-3:②-2を元の時系列に戻すことにより将来流況を算定			
図−2 将来流況の予測手法			
現在~2075年まで			
①ダム完成後〜現在までの実績堆砂速度と			
同様の速度で堆砂進行するものとする			
2075年以降			
②Q-Qs式 $(Q_S = \alpha \cdot \sum_{m=1979}^{2003} \sum_{n=1}^{365} Q_{mn}^{\beta})$ に基づき			
検討対象ダムのαを算出			
Qs :現在気候(1979-2003年)における総堆砂量(実績値)			
Qmn · 現住丸候(19/9-2003年)にわりる日半均流里(計昇値) ※2(1)参照 α ・定数 β・定数(3と相定)			
③0-0s $ = (0_{-} - \alpha, \nabla^{2099}, \nabla^{365}, 0^{\beta}) $ に其づき			
a (a) (a) a) a (a) a (a) a) a (a) a) a (a) a) a) a (a)			

図-3 将来堆砂量の予測手法

Qmn:現在気候(2075-2099年)における日平均流量(計算値) ※2(1)参照 : 定数(上記②により算定された値を用いる) β: 定数(3と想定)

> 度と同様の速度で堆砂進行するものとし, 2075 年以降は流況変化に伴う流入土砂量の 変化を O-Os 式に基づき算定する (図-3).

- 想定②:気候変動予測による将来気候が,2075 年よ り前倒しで生起することも想定し、堆砂進 行上厳しい条件として、将来予想される流 況変化に伴う流入土砂量の変化が現在時点 から生じるものとして算定する.
- 想定③:想定①②の対照ケースとして、将来において もダム完成後〜現在までの実績堆砂速度と同 様の速度で堆砂進行するものとして算定する.

なお,本研究では,将来堆砂量の概略的な予測を目 的としたことから、Q-Qs 式の Q は日平均流量を与え、 Qs に対する流量の影響を考慮するため、β の値はやや

大き目と考えられる 3.0 と仮定した.ただし、より精緻 な堆砂量予測の上では、時間流量を用いた検討等の必要 性も考えられるため、これについては今後の課題とする.

b) 将来堆砂形状の予測手法

将来における貯水池内堆砂形状は、今後の堆砂が実 績ベースで進行するものとし、 堆砂実績を参考に、 各容 量(治水・利水・堆砂容量)内の堆砂比率が今後も継続 するものとして堆砂形状を考慮した.ただし、堆砂容量 が満砂した場合には、その後の堆砂は有効容量内で進行 することから、治水・利水容量の堆砂量は、有効容量内 堆砂を容量比で按分して見込むものとした.

α

3. 対象ダムの概要と将来の流況・堆砂量予測

(1) 検討対象ダムの概要

検討対象ダムは、全国のダムを治水・利水機能の 気候変動影響から類型化した既往研究¹²⁾より、将来 におけるダム地点年間総流量が現在より減少するA ダムと、これとは逆に現在より増加するBダムとし た(表-1).なお、Bダムの有効容量に対する利水 容量の割合は、Aダムのそれに比べ小さいため、本 研究における利水機能評価では、Bダムの非洪水期 利水容量を有効容量とみなすこととした。

(2) 検討対象ダムの将来流況

2. (1)により算定した将来における A ダム, B ダム のダム地点日平均流入量時系列を図-4, 図-5 に示す.

図-4より、Aダムでは冬期の一部を除き年間を通 して将来流量が減少する.一方、図-5より、Bダム では春期~秋期にかけて将来流量が減少するものの、 冬期~春期にかけては将来流量が増加する.

なお、いずれの流入量時系列についても将来流況 では各月間で不連続性がみられるが、これは前述し た気候変動係数(各月)を用いて作成したことによ るものと考えられる.ただし、本研究は、利水機能 に関わる年間を通した大局的分析を目的とするため、 このような不連続性の影響は軽微であると考える.

(3) 検討対象ダムの将来堆砂量

2. (2)により算定した将来における A ダム, B ダムの堆砂量を図-6,図-7 に示す.

図-6,図-7より,Aダム,Bダムともに2099年の 全堆砂率は,想定③に対し,想定①で1%程度,想定 ②で5%程度増加し,気候変動の影響がみられる.ま た,最も堆砂進行する想定②で2099年のAダムの全 堆砂率は16%程度,有効容量内堆砂率は8%程度であ り,Bダムのそれは各々22%程度,16%程度である. なお,将来総流量が減少するAダムで将来の堆砂進行 速度が増加する理由は,気象極端化により大規模洪水 が増加し,大規模土砂流入現象が増えた結果である.

本研究で想定する将来の有効容量内堆砂率は,堆砂進行速度が大きい B ダムの結果を踏まえ,想定③から 10%,想定②から 20%,大規模洪水の頻発等により堆砂進行がさらに極端化する事態も想定した30%の3ケースを設定する.なお,A ダムについても比較の観点から上記3ケースを設定する.

4. 気候変動によるダム利水機能への影響評価

(1) 検討ケース

A ダム, B ダムともに現在及び将来流況について,計 画容量に比べ 10~30%の堆砂率上昇を考慮したケースを 設定した(表-2).現在流況は,A ダムで 1968-2015 年 (48 年間), B ダムで 1989-2014 年(26 年間)とした.

(2) 利水計算手法及び評価方法

利水計算は,各ダムの利水補給ルールを参考に構



表−2 検討ケース

Case	流況	有効容量内堆砂率
1-1	現在流況	0%
1-2		10%
1-3		20%
1-4		30%
2-1	将来流況	0%
2-2		10%
2-3		20%
2-4		30%

築した利水計算モデルにより行い,河川流の流下や 取水還元の時間差を考慮して半旬計算を実施した.

利水計算にあたっては、貯水率低下とともに取水 量を制限する条件を設けることとし、他ダムの実績¹³⁾ を参考に設定した取水制限率を考慮した(**表-3**).

評価は、パンク日数(貯水位が最低水位まで低下 する日数と定義)、利水被害度(取水制限率(%) ×取水制限実施日数(day)と定義)により行い、 各ダムの評価期間における年平均値により行った.

(3) 利水機能への影響分析

a) パンク日数及び利水被害度からの分析

各ダムのパンク日数と利水被害度の評価期間にお ける年平均値を図-8~図-11 に示す.

図-8, 図-9 より, A ダム, B ダムともに, 将来流況で はパンク日数が増加し, 利水機能が低下する. B ダムで は、年間総流入量が増加するにも関わらず利水機能が低 下するが, この原因として, かんがい期における流量の 減少が考えられる(図-5).また, A ダム, B ダムとも に、堆砂進行に伴いパンク日数が増加し, 堆砂率 30%を 境界にしてパンク日数が急増する傾向がみてとれる.こ のような傾向は既往研究 っにおいても認められているこ とから, ダムによらずに生じる傾向と考えられる.

図-10,図-11からも、将来流況及び堆砂進行に伴う利 水被害度の増加がみられ、両事象による利水機能の低下 がみてとれる.なお、Aダムでは堆砂率30%を境界とし た利水機能の急激な低下が認められないが、これは今回 の計算ではパンク時の取水制限率を30%で頭打ちにして いることに起因するものと考えられる.一方、Bダムで は堆砂率30%を境界とした利水機能の急激な低下が認め られるが、これは後述するように、堆砂率30%条件では 利水容量の大幅低下が生じるためと考えられる.

b) 貯水位変動からの分析

各ダムの現在及び将来流況において、比較的大規模な 渇水が発生した年の貯水位変動曲線を図-12~図-15 に示す.

図-12、図-13より、A ダムの将来流況条件では、 かんがい期における流量減少に起因し、貯水位低下 が現況より前倒しで生じ、貯水位回復することなく パンクが生じる可能性がある.また、堆砂進行によ る容量減少に伴い、この傾向が顕著になる.

図-14, 図-15 より, B ダムにおいても, A ダムと 同様の傾向が認められる. B ダムでは, 堆砂進行に よる容量減少に伴い, 取水制限が常態的に生じる. さらに, 洪水期には, 堆砂により利水容量がゼロに なり, 貯留効果が得られないことを確認した.

5. 利水機能変化指標の設定に向けた提案

(1) 利水機能変化指標の概要

利水機能の変化は、気候変動に伴う流況変化と堆 砂進行に伴う貯水池容量変化の複合影響により生じ るものと考えられる.このため、以下では、上記変 化を表す指標をそれぞれ定義した上で、これらを用 いた利水機能変化指標の設定に向けた考察を行う.

表-3 取水制限率の設定概要				
有効容	驿量内貯水率 (%)	取水制限率(%)		
	~40	0		
	40~30	10		
30~25		20		
	25~	30		
6	■田左法況 ■枢本	5.6		
5		4.1		
<u> </u>	3.8	3.2		
型 3		2.0		
<u> </u>	1.7 1.7			
ູ້ 1				
0	計画山 10% 進行	20%進行 20%進行		
140	■=8 Aダム	²⁰⁷ 進行 パンク日数		
140	■現在流況 ■将	123.8		
() 120 () 100		99.6		
□ 80				
蔱 60		47.0		
∭ √ 40	33.2 38.7			
入 20	0.0 0.4	8.7		
0	=======================================			
計画H-V 10%進行 20%進行 30%進行 図-9 Bダムパンク日数				
2000	■現在流況 ■将到	来流況		
້ອີ . 1500	1,319	1,398 1,486		
× 1000	1,026 1,113	1,185		
割 1000				
袋 500				
Ξ, l				
0	計画H-V 10%進行	20%進行 30%進行		
	図-10 Aダム	取水制限率		
20000 >	■現在流況■照本	法况		
- 男 ・15000				
%		11,0 <u>10</u> 11,010		
⊕∭10000 ⊕∏		F 7C0 6,383		
珳 5000	3.013 ^{3,760}	0		
*1]]	335			
0	計画H-V 10%進行			
	図-11 Bダム	取水制限率		

(2) 気候変動に伴う流況変化に関わる指標

気候変動に伴う流況変化に関する指標(*C_Q*)は, 既往研究¹²⁾と同様に,現在気候の平水流量(*q₁₈₅*) を下回る流量の現在と将来の変化比率により設定す ることとし(図-16),下式により定義した.

$$C_0 = Q'_{SUP} / Q_{sup} \tag{1}$$

ここで、 Q_{sup} は現在気候で必要となる利水補給量、 Q'_{sup} は将来気候で必要となる利水補給量と仮定する. $C_Q > 1.0$ の場合には、気候変動によって現状より利 水容量が不足する傾向に推移すると評価される.

(3) **堆砂進行に伴う貯水池容量の変化に関わる指標** 堆砂進行に伴う貯水池容量変化に関する指標(C_V)は、



有効容量の現在と将来の変化比率により設定することとし(図-17),下式により定義した.

$$C_V = V'_{eff} / V_{eff} \tag{2}$$

ここで、Veffは現状の貯水池有効容量、V'effは堆砂 進行した場合の貯水池有効容量とする. Cv<1.0の 場合には、堆砂進行によって現状より貯水池有効容 量が不足する傾向に推移すると評価される.

(4) 利水機能の変化に関わる指標

利水機能の変化は、4.(2)で定義した利水被害度 を用い、下式により定義する利水機能低下度によっ て表すものとした.

ここで,現況の利水被害度は**表-2**に示すケース1-1の利水被害度,将来の利水被害度は**表-2**に示す ケース1-1~2-4の利水被害度を示す.

(5) Co, Cvと利水機能低下度の関係

上記で定義した気候変動に伴う流況変化に関する 指標(*C_Q*), 堆砂進行に伴う貯水池容量変化に関す る指標(*C_V*)と利水機能低下度の関係を, Aダム, Bダムについて整理したものを図-18, 図-19に示す.

図-18、図-19の橙色プロットより、Aダム、Bダ ともに、将来流況では*C*_Q>1.0となり、利水機能低 下度も大きくなる傾向が認められる.ただし、Aダ ム、Bダムともに、現在流況及び将来流況において、 利水機能低下度にばらつきがみられる.これは、堆



凶-19 CQ, C/C利尔機能低于及の舆保(**D**クム)

砂率の違いによるものであり、堆砂率が大きいほど、 利水機能低下度も大きくなっている.このことから、 利水機能の変化を説明する場合、流況変化に加え、 堆砂率(貯水池有効容量)の変化も考慮する必要が あることが推察される.

次に、堆砂率(貯水池有効容量)の変化の影響を 確認する. 図-18、図-19の青色プロットをみると、 Aダム、Bダムともに、 C_v が小さくなり、堆砂進行 によって貯水池有効容量が現状より不足するほど、 利水機能低下度も大きくなる傾向が認められる.な お、将来流況で現在流況に比べ利水機能低下度が大 きくなる傾向は前述と同様である.

以上より、今回定義した気候変動に伴う流況変化 に関する指標(*C*_Q),堆砂進行に伴う貯水池容量変 化に関する指標(*C*_r)の組合せにより、利水機能の 変化を説明し得る可能性が示唆される.

(6) 利水機能変化指標の提案と考察

利水機能変化指標は、気候変動に伴う流況変化に 関する指標(C_Q)と堆砂進行に伴う貯水池容量変化 に関する指標(C_P)を用い、下式により定義した.

利水機能変化指標 =
$$\alpha \cdot C_0 \times \beta \cdot 1/C_v$$
 (4)



ここで, α, βは各々指標 (C₀) と指標 (C_r) の重み付け 係数であり,本研究ではともに1.0 (同一尺度) と仮定した. なお,利水機能変化指標が大きな値を取るほど,将来的に 現状よりダムの利水機能が著しく低下すると評価される.

上記で定義した利水機能変化指標と利水機能低下 度の関係をAダム, Bダムについて整理すると図-20 のとおりとなり,利水機能変化指標が大きくなるほ ど,利水機能低下度も大きくなる傾向がみてとれる.

ただし、利水機能変化指標と利水機能低下度の関係にはばらつきもみられることから、今後、検証ダム数を増やし、下記観点から利水機能変化指標の精度向上を図る必要がある.

- ・指標(C_Q)と指標(C_V)の持つ意味は本来異なる と考えられるため、両指標間に重み付けを行うた めの係数α,βの適切な値を検討する.
- ・利水補給はかんがい期に集中する傾向があること を踏まえ、指標(*C_Q*)と指標(*C_V*)の設定期間の 妥当性を検証する.
- ・ダムによって現状の利水安全度が異なり、これが 利水被害度算定における初期値に影響を与えるこ とも考えられるため、現状の利水安全度を表現す る変数も考慮する。

6. おわりに

本研究で得られた結論及び課題は以下のとおりである. 1)将来の流況変化及び堆砂進行により、ダムの利水

- 機能が低下する傾向を確認した.また,既往研究⁷⁾ で確認されているように,堆砂率30%を境界に利 水機能低下が顕著になる傾向を確認し,当現象が ダムによらずに生じる可能性が示唆された.なお, 将来堆砂量の予測手法の精度向上や堆砂進行速度 の地域特性の分析については,今度の課題とする.
- 2)年間総流量が増加しても、流況変化によりかんがい期における流量が減少すると利水機能が低下する可能性がある.ただし、本研究では、上流にダムがある場合におけるダムの流量調節効果は考慮していないため、今後の課題とする.
- 3)気候変動に伴う流況変化に関する指標(C_Q)と堆 砂進行に伴う貯水池容量変化に関する指標(C_V) の組合せにより、利水機能変化を表す簡易的な指 標を提案した. 今後、検証ダム数を増やし、精度

向上を図るとともに、当指標によりソフト対策, ハード対策の選定が可能となるよう検討を進める.

4)気候変動予測の不確実性も想定されることから、 複数の全球大気モデル、温室効果ガス排出シナリ オ、流出モデルによる影響評価を実施する.

謝辞:本研究は,文部科学省委託事業統合的気候モデル 高度化研究プログラムの支援を受けて実施されました.

参考文献

- 国土交通省水管理・国土保全局:水害レポート 2017, 2017.
- 国土交通省水管理・国土保全局水資源部:平成 29年版日本の水資源の現況,2017.
- 土木学会地球温暖化特別委員会:地球温暖化に 挑む土木工学,土木学会地球温暖化対策特別委 員会報告書,2009.
- 国土交通省水管理・国土保全局:ダム再生ビジョン,2017.
- 5) 倉橋実:超過洪水に対する既設ダムの治水機能 評価と機能向上に向けた再開発手法の検討,京 都大学大学院工学研究科博士学位論文,2019.
- 6)角哲也,桑田光明,石田裕哉,丹羽尚人,小島 裕之,井上素行,佐藤嘉展,竹門康弘,Sameh KANTOUSH:気候変動を考慮した日本の水力発 電ポテンシャル評価,京都大学防災研究所年報, 第 59 号, pp.475-483, 2016.
- 7) 寺田和暉,角哲也,竹門康弘,佐藤嘉展:気候変動を考慮したダム堆砂進行による牧尾ダムの長期的便益評価,京都大学防災研究所年報,第 58 号, pp.470-484, 2015.
- 8) Mizuta, R., Oouchi, K., Yoshimura, H., Noda, A., Katayama, K., Yukimoto, S., Hosaka, M., Kusunoki, S., Kawai, H. and Nakawaga. M.: 20-km-mesh global climate simulations us-ing JMA-GSM model, J. Meteorol. Society Japan 84, pp.165–185, 2006.
- 9) Mizuta, R., Arakawa, O., Ose, T., Kusunoki, S., Endo, H. and Kitoh, A.: Classification of CMIP5 Future Climate Responses by the Tropical Sea Surface Temperature Changes, SOLA 10: pp.167-171, 2014.
- Kojiri, T. (2006): Hydrological river basin assessment model(Hydro-BEAM). In: Watershed Models (ed. by V. P. Singh & D. K. Frevent), 613-626. Taylor & Francis, CRC Press: Florida.
- Sato, Y., Kojiri, T., Michihiro, Y., Suzuki, Y. and Nakakita, E.,(2013): Assessment of climate change impact on river discharge using the super-high resolution MRI-AGCM. Hydrol. Process. 27: 3264-3279.
- 12) 小島裕之,永谷言,倉橋実,川村育男,佐藤嘉 展,角哲也:気候変動がダムの治水・利水機能 に及ぼす影響の評価指標化の提案,土木学会論 文集 B1(水工学) Vol.74, No.5, I_1333-I_1338, 2018.
- 13) 利根川水系農業水利協議会群馬県支部: 渇水対応マニュアル, 1998.

(2019.4.2受付)