

令和2年度

河川技術セミナー

講演資料

日時：令和2年12月2日(水)

(13:05~16:40)

場所：愛知県産業労働センター

(ウインクあいち) 902

令和2年度 河川技術セミナー 次第

1. 開会挨拶 13:05

建設コンサルタツ協会 中部支部 河川委員会 委員長 石崎 伸明

2. 講演 I 13:10~14:40
(90分)

「 演題：気候変動を踏まえた今後の水災害対策の方向性

～あらゆる関係者が流域全体で行う持続可能な「流域治水」への転換～

【プロフィール紹介】

国土交通省 中部地方整備局 河川部河川計画課

池原 貴一 課長

3. 質疑応答 14:40~14:50

4. 休憩 14:50~15:00

5. 講演 II 15:00~16:30
(90分)

「 演題：超音波流向流速計の生態水理学への展開 」

【プロフィール紹介】

名古屋大学 減災連携研究センター 副センター長

ライフライン地盤防災産学協同研究部門 特任教授

田代 喬 特任教授

6. 質疑応答 16:30~16:40

7. 閉会挨拶 16:40

建設コンサルタツ協会 中部支部 技術部会 部会長 上村 俊英

目 次

講演Ⅰ

「 気候変動を踏まえた今後の水災害対策の方向性

～あらゆる関係者が流域全体で行う持続可能な「流域治水」への転換 」

国土交通省 中部地方整備局 河川部河川計画課

池原 貴一 課長

1. タイトル..... 1
2. 講演要旨..... 2
3. 講演資料..... 3

講演Ⅱ

「 超音波流向流速計の生態水理学への展開 」

名古屋大学 減災連携研究センター 副センター長

ライフライン地盤防災産学協同研究部門 特任教授

田代 喬 特任教授

1. タイトル..... 33
2. 講演要旨..... 34
3. 講演資料..... 35

講演 I

「 気候変動を踏まえた今後の水災害対策の方向性～あらゆる
関係者が流域全体で行う持続可能な「流域治水」への転換 」

国土交通省 中部地方整備局 河川部河川計画課

池原 貴一 課長

【講演要旨】

○テーマ：「 気候変動を踏まえた今後の水災害対策の方向性

～あらゆる関係者が流域全体で行う持続可能な「流域治水」への転換 」

令和元年10月台風第19号や令和2年7月豪雨などの被害をはじめ、近年頻発化・激甚化する豪雨災害や気候変動の顕在化に対して、国土交通省として新たに「流域治水」を打ち出したが、その考え方や今後の治水対策の取組などについて紹介する。

【プロフィール】

○所属：国土交通省 中部地方整備局 河川部河川計画課

○職歴

- ・2012年4月 国土交通省 国土政策局 地方振興課 新しい公共係長
- ・2013年4月 国土交通省 水管理・国土保全局 防災課 調査計画係長
- ・2014年4月 国土交通省 水管理・国土保全局 河川計画課 河川情報企画室 情報企画係長
- ・2016年4月 国土交通省 中部地方整備局 庄内川河川事務所 調査課 課長
- ・2018年4月 国土交通省 中部地方整備局 河川部河川計画課 課長（現在）

気候変動を踏まえた今後の水災害対策の方向性
～あらゆる関係者が流域全体で行う持続可能な「流域治水」への転換～

令和2年12月2日

国土交通省 中部地方整備局
河川部河川計画課長 池原 貴一

近年の災害による被害について

近年、毎年のように全国各地で自然災害が頻発

平成27
〜
29年

平成27年9月関東・東北豪雨



①鬼怒川の堤防決壊による浸水被害
(茨城県常総市)

平成28年熊本地震



②土砂災害の状況
(熊本県南阿蘇村)

平成28年8月台風10号



③小本川の氾濫による浸水被害
(岩手県岩泉町)

平成29年7月九州北部豪雨



④桂川における浸水被害
(福岡県朝倉市)

平成30年

7月豪雨



⑤小田川における浸水被害
(岡山県倉敷市)

台風第21号



⑥神戸港六甲アイランドに
おける浸水被害
(兵庫県神戸市)

北海道胆振東部地震



⑦土砂災害の状況
(北海道勇払郡厚真町)



令和元年

8月前線に伴う大雨



⑧六角川周辺における浸水被害状況
(佐賀県大町町)

房総半島台風



⑨電柱・倒木倒壊の状況
(千葉県鴨川市)

東日本台風



⑩千曲川における浸水被害状況
(長野県長野市)

令和2年

令和2年7月豪雨

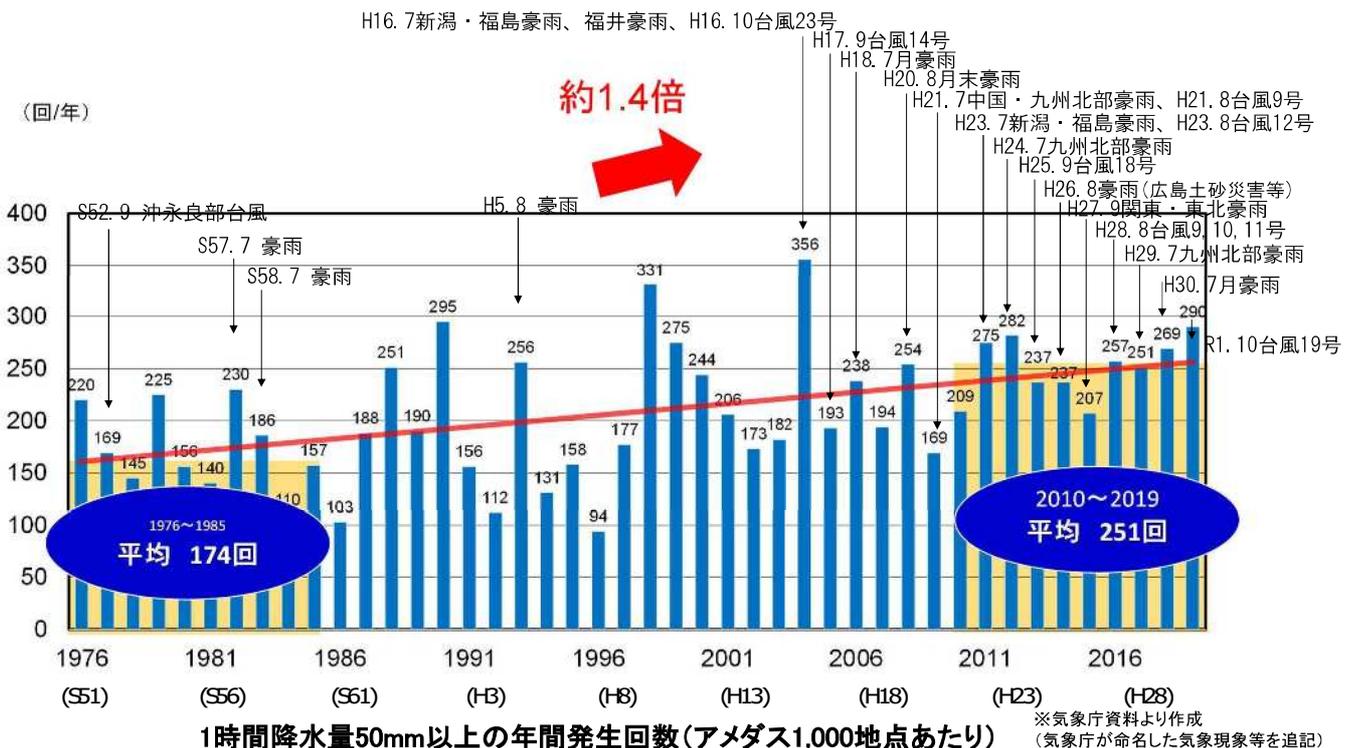


⑪球磨川における浸水被害状況
(熊本県人吉市)

2

近年、雨の降り方が変化

- 時間雨量50mmを超える短時間強雨の発生件数が増加。
- 気候変動の影響により、水害の更なる頻発・激甚化が懸念。



3

令和元年の水害被害額が統計開始以来最大に

○国土交通省では、昭和36年より、水害（洪水、内水、高潮、津波、土石流、地すべり等）による被害額等（建物被害額等の直接的な物的被害額等）を暦年単位でとりまとめている。

○令和元年の水害被害額（暫定値）は、**全国で約2兆1,500億円**となり、平成16年の被害額（約2兆200億円）を上回り、**1年間の津波以外の水害被害額が統計開始以来最大**となった。

※ 確報値は、令和元年の家屋の評価額の更新及び都道府県からの報告内容の更なる精査等を行ったうえで、令和2年度末頃に公表予定

1年間の水害被害額（暫定値※）

統計開始以来最大

◆ **全国 約2兆1,500億円**

〔内訳〕

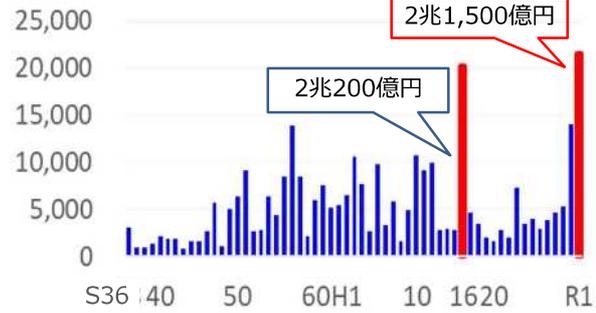
- ・一般資産等被害額 約1兆5,939億円（構成比74.2%）
- ・公共土木施設被害額 約5,233億円（構成比24.4%）
- ・公益事業等被害額 約304億円（構成比 1.4%）
- 計 約2兆1,476億円

＜参考＞これまでの最大被害額
平成16年の被害額（約2兆200億円）

◆ 都道府県別の水害被害額上位3県は、以下のとおりです。

- ① 福島県（水害被害額：約6,716億円）
- ② 栃木県（水害被害額：約2,547億円）
- ③ 宮城県（水害被害額：約2,512億円）

（単位：億円）



1年間の水害被害額（名目額）

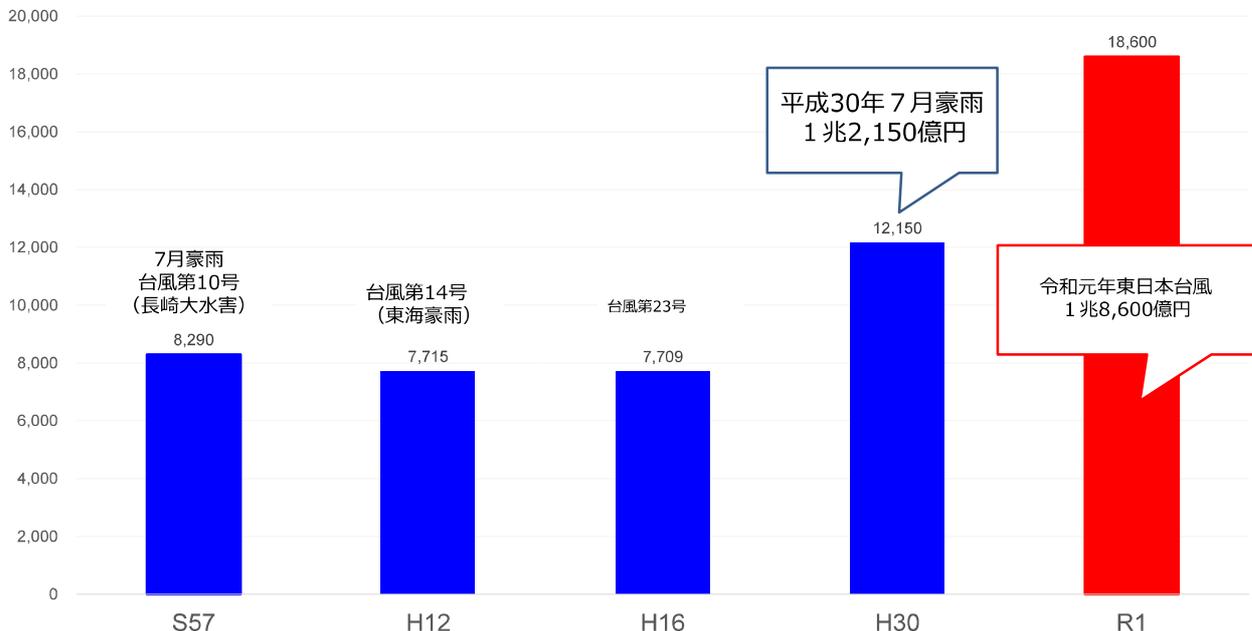
4

津波以外の単一の水害による水害被害額（名目額）

○令和元年東日本台風による被害額は、全国で約1兆8,600億円となり、平成30年7月豪雨による被害額（約1兆2,150億円）を上回り、**統計開始以来最大の被害額**となった。

（単位：億円）

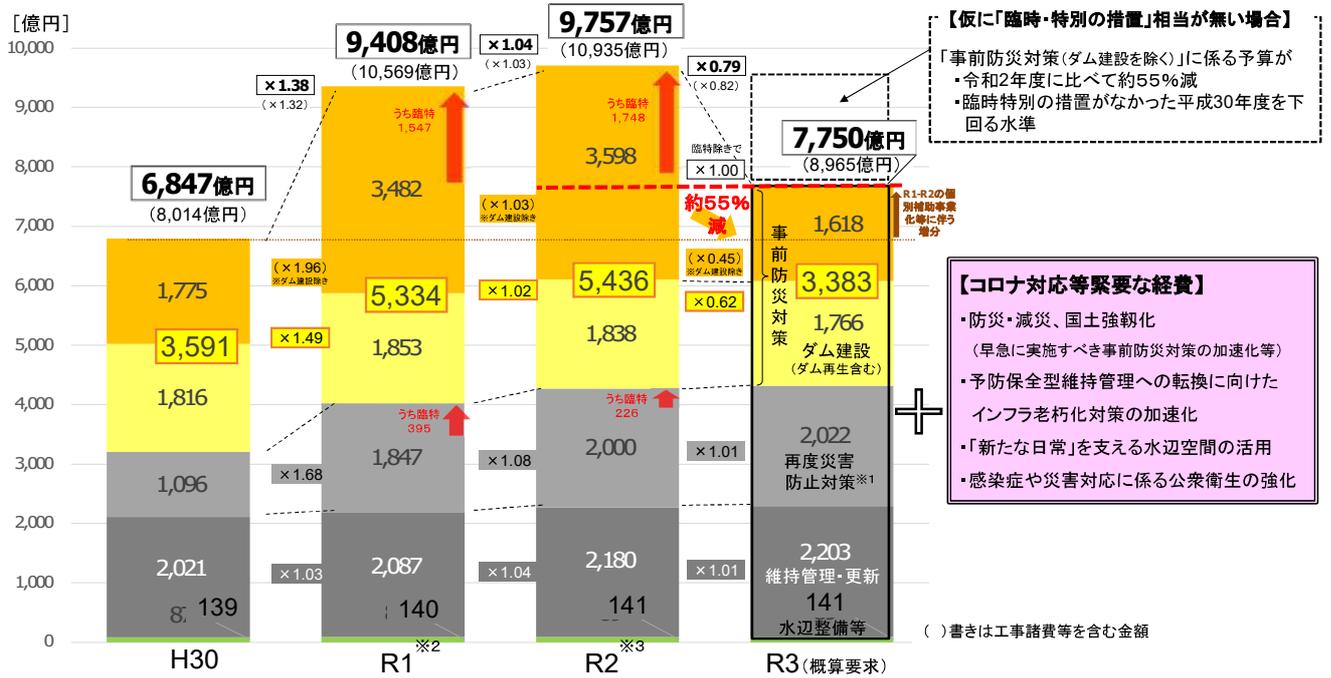
統計開始以来最大



5

水管理・国土保全局関係予算 R3概算要求(一般公共(直轄・補助))

○ 「令和3年度予算の概算要求の具体的な方針について(財務大臣発言)」等に基づき、対前年度同額を基本としつつ、防災・減災、国土強靭化、インフラ老朽化対策、新型コロナウイルス感染症への対応等の緊要な経費を要求。

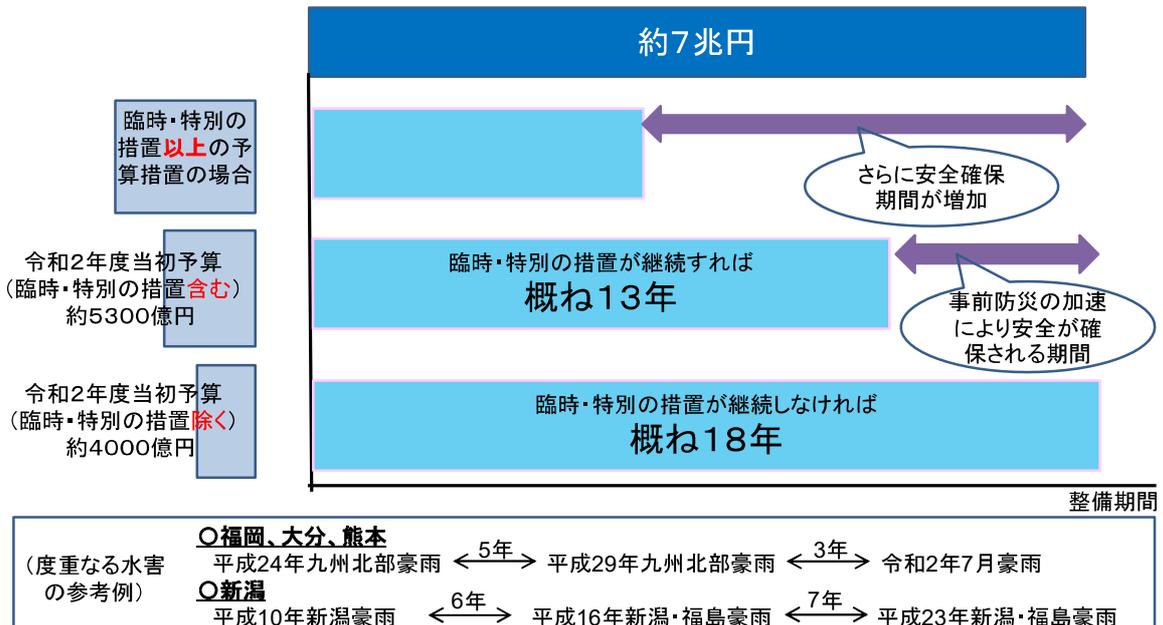


河川・ダム・砂防・海岸・下水道にかかる事業関係予算(災害復旧関係費、行政部費、工事諸費等を除く)。
 ※1 再度災害防止対策とは、近10年に床上浸水被害や土砂災害による人家被害が生じた地域等における対策を計上している。その他、災害復旧関係費により、7水系緊急治水対策プロジェクトをはじめとする対策を別途実施
 ※2 R1は臨時・特別の措置、消費税率の引上げに伴う影響額及び個別補助事業(交付金からの移行分404億円)を含む。
 ※3 R2は臨時・特別の措置、消費税率の引上げに伴う影響額及び個別補助事業(交付金からの移行分324億円)を含む。

戦後最大洪水への対応に必要な事業量(国管理河川・ダム)

- 気候変動の影響等を考えると、令和元年東日本台風のように戦後最大を上回る洪水は、全国どの河川で発生してもおかしくない状況。
- **全国の国管理河川において、戦後最大洪水へ対応するためには約7兆円の事業費が必要**であり、全国の国管理河川においても、少なくとも戦後最大洪水への対策を早急に進める必要がある。

戦後最大洪水に対応するための全国の国管理河川・ダムの事業量



※全国の国管理河川における河川整備計画の令和2年度以降事業費を集計したもの(R2.5時点)。
 ※河川改修事業やダム建設事業(水資源機構分を含む)の合計であり、維持管理は含まれない。

令和元年東日本台風による被害

- 令和元年東日本台風により広い範囲で記録的な大雨となり、関東・東北地方を中心に計142箇所では堤防が決壊するなど、河川が氾濫し、約65,000haが浸水（令和2年水害統計より）。

信濃川水系千曲川（長野県長野市）



住宅等浸水状況（長野県長野市）



阿武隈川水系阿武隈川（福島県須賀川市他）



上田電鉄別所線（千曲川橋梁）



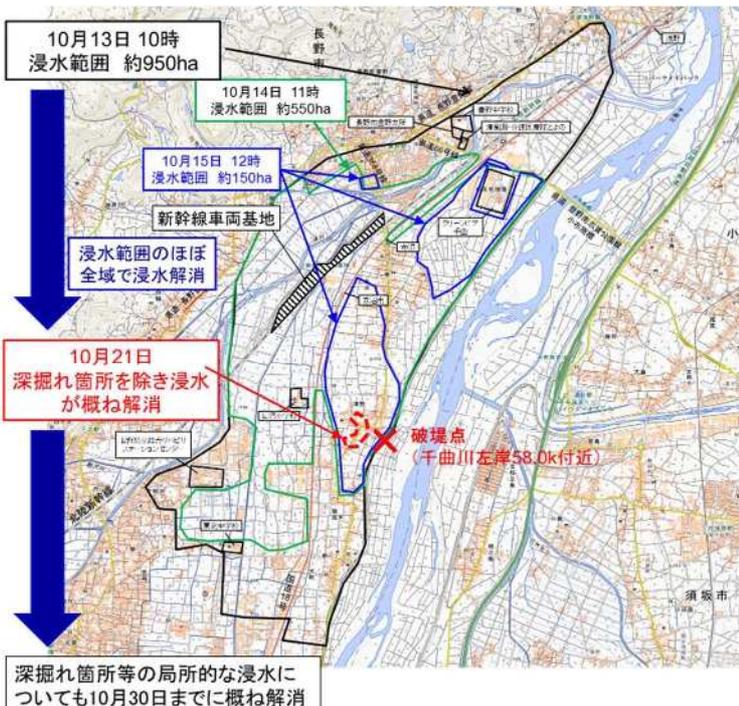
8

浸水の解消状況（令和元年東日本台風）

- 国管理河川14水系30河川、都道府県管理河川で61水系292河川※で浸水が発生したが、全国の排水ポンプ車200台体制で浸水の排除に全力で取り組み、10月30日までに全ての箇所において概ね浸水を解消

※2019年12月12日現在の速報値。

信濃川水系千曲川（長野県長野市穂保地区）における浸水状況



浸水状況（10月13日12時）



排水ポンプ車による排水作業

9

全国の被害概況(令和2年7月豪雨)

- 今回の豪雨により、**死者82名**※1、**住家被害約18,000棟**※1など**極めて甚大な被害**
- 住宅やインフラへの被害に伴い、**多数の避難者や集落の孤立**※2が発生
- 河川の氾濫等により、全国で**約13,000ha**が浸水、**多数の道路や鉄道が被災**。

※1 消防庁情報(令和2年8月17日時点)
 ※2 最大時で避難者約11,000人、孤立世帯約4,000世帯

河川の氾濫

※全国で国管理**7**河川、都道府県管理**193**河川が氾濫



土砂災害

※全国で**929**件発生



道路被害

※全国で高速道路や国道、県道等
約780区間が被災



鉄道被害

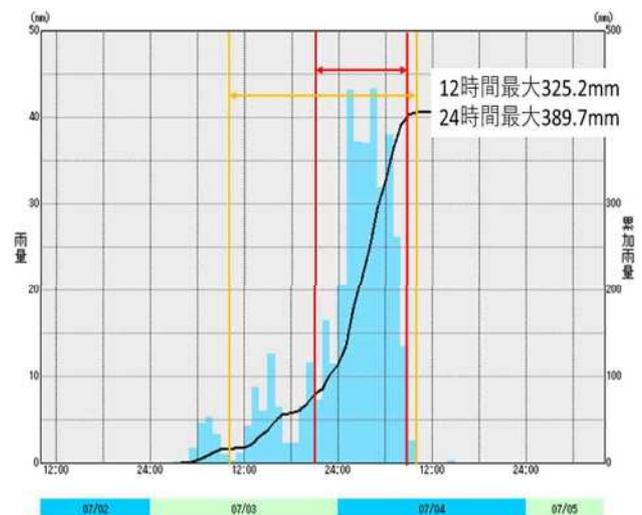
※全国で**13**事業者**20**路線が被災



10

球磨川流域における豪雨被害の特徴(令和2年7月豪雨)

- 人吉市(ひとよし)は盆地になっており、周囲の山々に降った雨が集まり、さらに下流が山間狭窄部で川幅が絞り込まれているため、**洪水が発生しやすい地形**である。
- 同地域に**計画規模を超える大雨**が降った。(流域平均雨量が12時間で300mm超)



球磨川全流域の流域平均雨量

(計画では、12時間で**261**mm)

※本情報は速報値であるため、今後の調査等で変わる可能性があります。

球磨村の特別養護老人ホーム「千寿園(せんじゅえん)」における人的被害

- 熊本県球磨村の特別養護老人ホーム「千寿園」では、**施設の2階(約3m)まで浸水**、入所者70名のうち死者14名の人的被害が発生した。
- 同施設は水防法に基づく「避難確保計画」を作成し、避難訓練を実施していた。

球磨川の浸水区域(人吉市、球磨村渡地区周辺)
と千寿園の位置



12

事前防災対策の必要性について

事前防災対策が後手に回ることによる社会経済等への損失 (令和元年東日本台風) [阿武隈川]

○事前の防災対策による効果としては、

- ①被害を大きく軽減でき、特に人命を守ることにつながることや、
- ②災害後の復旧や被災者の生活再建等に係る負担、社会経済活動への影響などを軽減できるなどがあることから、後手に回ることのないよう、着実に対策を進める必要がある



決壊

(令和元年東日本台風(台風第19号)での阿武隈川の事例)

○阿武隈川水系阿武隈川等で堤防が決壊(福島県須賀川市)するなどにより、約114平方kmに及ぶ大規模な浸水が発生。

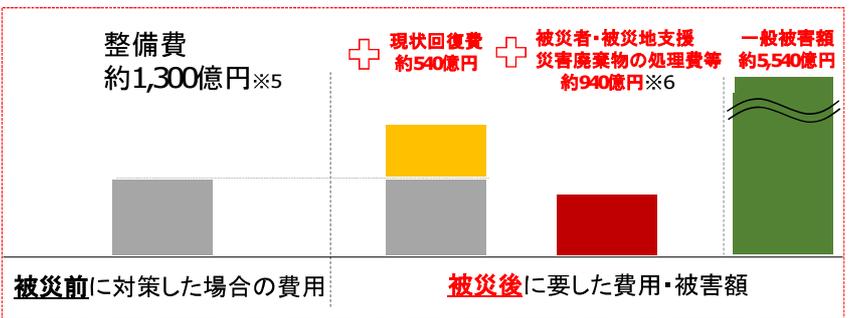
○沿川市町では関連死を含めて29名の死者。※1※2
1,356棟が全壊したうえ、大規模半壊・半壊が8,444棟に上った。※2※3

○浸水解消までに約6日間を要し、莫大な一般被害が生じた。

○郡山市内だけでも約600の企業が被災。被害額は約450億円に上った。※4



決壊(県区間)



※1 出典：福島県HP「令和元年台風第19号等による被害状況即報(第87報)」(令和2年3月6日13時00分現在)
URL: <http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploads/attachment/372810.pdf>
※2 出典：宮城県HP「令和元年東日本台風及び10月25日低気圧による災害に係る被害状況等について」
URL: <http://www.pref.miyagi.lg.jp/uploads/attachment/779311.pdf> (令和2年2月26日 13時00分現在)
※3 出典：福島県HP「福島県災害対策本部会議(第40回)」(令和2年2月26日 18時00分現在)
URL: <http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploads/attachment/372522.pdf>
※4 出典：郡山市HP「令和2年度当初予算案の概要」
URL: https://www.city.yamanashi.lg.jp/material/files/group/24/r2003_yesangbyu.pdf
※5 令和元年東日本台風(台風第19号)後に再度災害防止のために阿武隈川において実施する河道掘削、遊水地、堤防整備等に要する費用(令和10年度完成前提)。また、阿武隈川支川における、福島県・宮城県の堤防嵩上げ、堤防強化等にかかる費用を含んでいる。
※6 阿武隈川沿川自治体からの聞き込みによるものであり、今後変更する場合もある。

令和元年東日本台風(台風第19号)における利根川上流ダム群の治水効果(速報)

- 利根川の治水基準点である群馬県伊勢崎市の八斗島地点の上流においては、利根川上流ダム群※において、約1億4,500万m³の洪水を貯留しました。
 - これらのダムの貯留により、八斗島地点では、約1m(速報値)の水位が低下したものと推定されます。
- ※利根川上流ダム群：矢木沢ダム、奈良俣ダム、藤原ダム、相俣ダム、園原ダム、下久保ダム、試験湛水中のハッ場ダム

本資料の数値等は速報値のため、今後の調査等で変更が生じる可能性があります。



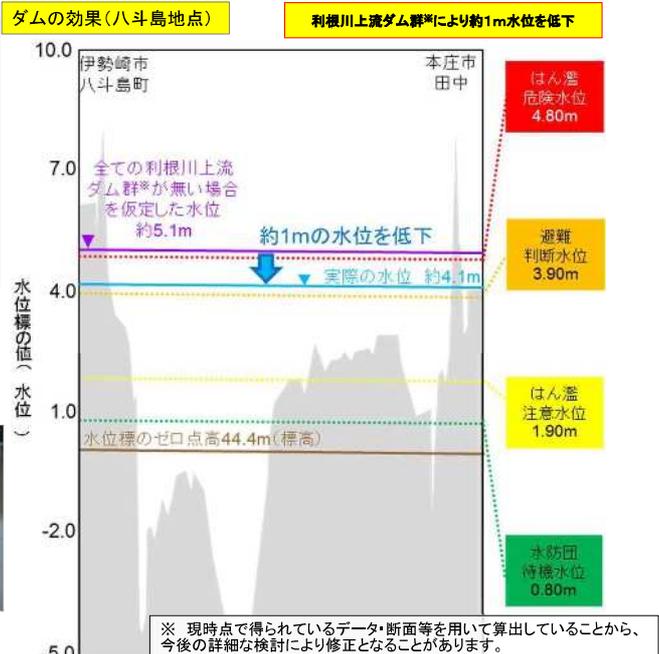
ハッ場ダム貯留状況写真



10月11日 状況写真



10月15日 17:00 状況写真



流域一体となった総合治水対策の治水効果

- 鶴見川流域では、多目的遊水地（河川対策）や防災調整池整備（流域対策）等の流域一体となった総合治水対策を実施。
- 台風第19号の際、これら施設には約370万 m^3 ※1が貯留され、亀の子橋地点で約0.7m※2の水位低減効果があったと推定される。

■ 台風第19号における鶴見川流域の効果事例

【事例】

- ・ 鶴見川は特定都市河川浸水対策法に基づき、河川対策、下水道対策、流域対策の一体的な総合治水対策を推進

鶴見川流域水害対策計画(末吉橋地点)
 鶴見川流域の流域目標流量: 2,110 m^3/s
 河川対策 : 1,860 m^3/s (うち洪水調節施設等: 360 m^3/s)
 下水道対策 : 30 m^3/s
 流域対策 : 220 m^3/s

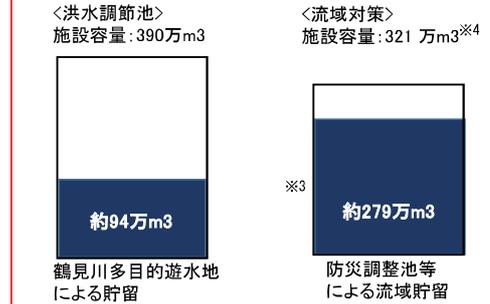
【鶴見川多目的遊水地(河川対策)】(390万 m^3)



鶴見川多目的遊水地は、平常時には公園等として利用

台風第19号時の貯留状況

【防災調整池(流域対策)】 (写真の調整池(柿の木調整池)容量は約19,000 m^3)

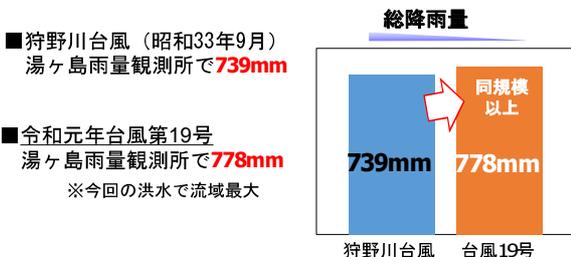


※1, 2, 3 : 本数値は、速報値であるため、変更となる可能性があります。
 ※4 : 平成29年度末時点

台風第19号における狩野川放水路の治水効果(速報)

- 狩野川放水路は昭和23年のアイオン台風を契機として昭和26年に着工し、その後、昭和33年の狩野川台風による甚大な被害を受けて計画を見直し、昭和40年に完成しました。
- 今回の令和元年台風第19号は、狩野川流域に対して、**狩野川台風よりも多くの雨**をもたらしました。
- 今回、放水路直上流にある千歳橋流量観測所で約2,060 m^3/s の流量を観測しましたが、このうち約1,000 m^3/s を放水路で分派したことにより、**分派下流地点の沼津市や三島市等を流れる本川水位を低下**させることができました。
- 昭和33年狩野川台風では、狩野川流域において死者・行方不明者853人、家屋浸水6,775戸の甚大な被害が発生しましたが、今回の台風第19号では、**狩野川本川からの氾濫を防ぐことができ、人的被害をゼロ、家屋の浸水被害も内水等による約1,300戸に抑えることができました。**

狩野川台風との比較(総雨量)



狩野川放水路により、約1,000 m^3/s の洪水を分派し本川の流量を低減

狩野川台風(昭和33年)の被害と今回の被害の比較

■ 狩野川台風(昭和33年)
 死者・行方不明者: 853人
 堤防決壊: 14箇所、
 家屋浸水: 6,775戸

■ 台風第19号(令和元年)
 死者・行方不明者: 0人
 堤防決壊: 0箇所
 家屋浸水: 約1,300戸※
 ※家屋浸水は内水等による被害(11/12時点)

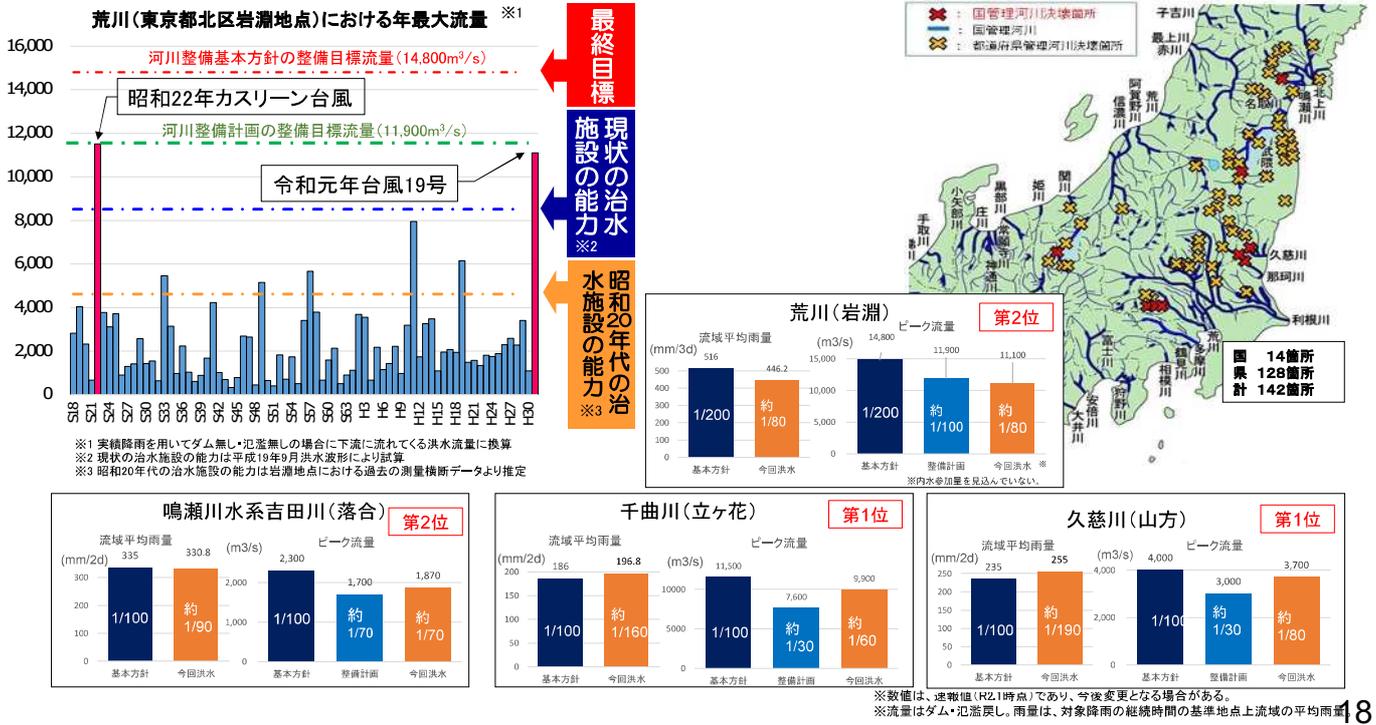
⇒ 狩野川本川の越水を防ぎ、
 人的・物的被害を軽減



狩野川台風(昭和33年)による浸水被害の範囲

治水対策を加速させる必要性について

- 令和元年東日本台風では、主な河川における基準地点上流域平均雨量は、河川整備基本方針の対象雨量を超過又は迫る雨量となり、流量は観測史上最大又は2位を記録し、河川整備計画の目標を超過又は迫る流量となり、大きな被害となった。
- 仮に、河川整備基本方針の治水施設の整備を完了していれば、ほとんどの河川では外水による大被害は回避できたため、**より一層、治水対策を加速させる必要がある。**



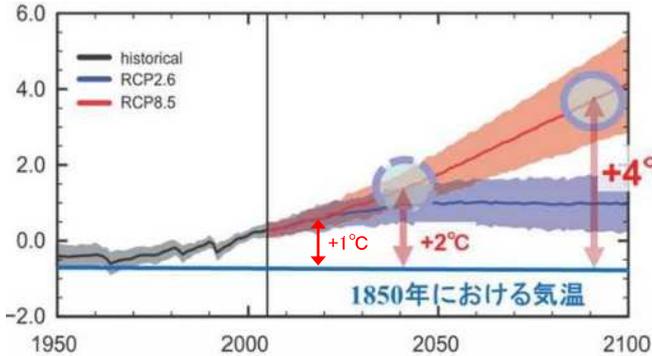
水災害対策に影響する気候変動の影響

気候変動による影響の顕在化

- RCPシナリオでは、21世紀末頃には産業革命以前と比べて2℃及び4℃程度気温が上昇する予測となっているが、2040～2050年頃には、いずれのシナリオでも2℃程度上昇すると予測。
- 産業革命以前と比べると、すでに1℃程度気温が上昇しており、豪雨による水災害の激甚化・頻発化は既に顕在化。気候変動へ適応する取り組みは将来の課題ではなく、速やかに着手することが必要。

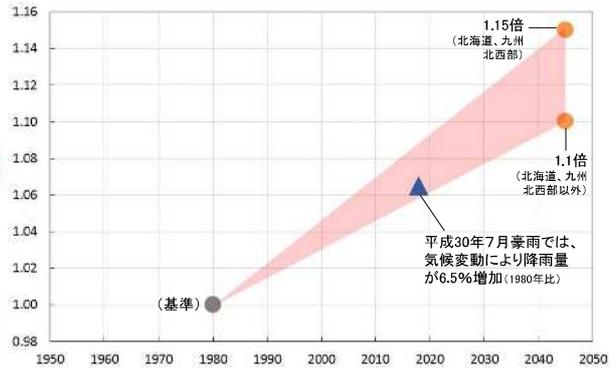
【IPCCによる将来の気温上昇】

- ・いずれのシナリオでも、2040～2050年頃には産業革命以前と比べて気温は2℃程度上昇
- ・既に、気温は1℃程度上昇



【2℃上昇時の降雨量の変化】

- ・1980年頃と比較して、降雨量は7%程度増加と試算
- ・平成30年7月豪雨は、1980年以降の気温上昇を除いて再現実験すると、6.5%降雨量が増加



20

顕在化している気候変動の影響と今後の予測(外力の増大)

- 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第5次評価報告書によると、気候システムの温暖化については疑う余地がなく、21世紀末までに、世界平均気温が更に0.3～4.8℃上昇するとされている。
- また、気象庁によると、このまま温室効果ガスの排出が続いた場合、短時間強雨の発生件数が現現在の2倍以上に増加する可能性があると考えられている。
- さらに、今後、**降雨強度の更なる増加**と、**降雨パターンの変化**が見込まれている。

	既に発生していること	今後、予測されること
気温	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 世界の平均地上気温は1850～1900年と2003～2012年を比較して0.78℃上昇 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 気候システムの温暖化については疑う余地がない ◆ 21世紀末までに、世界平均気温が更に0.3～4.8℃上昇
降雨	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 1時間降雨量50mm以上などの短時間強雨の発生件数が約30年前の約1.4倍に増加 ◆ 2012年以降、全国の約3割の地点で、1時間当たりの降雨量が観測史上最大を更新 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 1時間降雨量50mm以上の短時間強雨の発生回数が2倍以上に増加

気候変動に伴う降雨量や洪水発生頻度の変化

- 2℃上昇した場合の降雨量は1.1倍、河川の流量は1.2倍、洪水の発生頻度は2倍と試算。
- 気候変動に伴う影響として考えられる、各地域に災害をもたらすような降雨の気象要因や時空間分布の変化については、試行的な検討では顕著な影響が確認できておらず、現時点では定量的に考慮することはできない。全国的な影響の評価手法や治水計画に反映する手法については今後の検討課題である。

＜地域区分毎の降雨量変化倍率＞

地域区分	2℃上昇	4℃上昇	
	(暫定値)		短時間
北海道北部、北海道南部、九州北西部	1.15	1.4	1.5
その他12地域	1.1	1.2	1.3
全国平均	1.1	1.3	1.4

※ 4℃上昇の降雨量変化倍率のうち、短時間とは、降雨継続時間が3時間以上12時間未満のこと
 ※ 下水道の雨水計画に反映する降雨量変化倍率は別途検討。



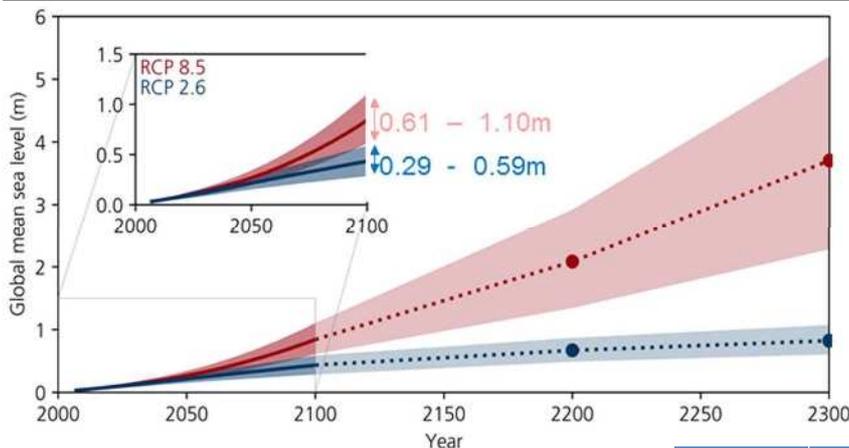
＜参考＞降雨量変化倍率をもとに算出した、流量変化倍率と洪水発生頻度の変化

気候変動シナリオ	降雨量	流量	洪水発生頻度
RCP2.6(2℃上昇相当)	約1.1倍	約1.2倍	約2倍
RCP8.5(4℃上昇相当)	約1.3倍	約1.4倍	約4倍

※ 降雨量変化倍率は、20世紀末(過去実験)に対する21世紀末(将来実験)時点の、一級水系の治水計画の目標とする規模(1/100～1/200)の降雨量の変化倍率の平均値
 ※ RCP8.5(4℃上昇相当)時の降雨量変化倍率は、産業革命以前に比べて全球平均温度が4℃上昇した世界をシミュレーションしたd4PDFデータを活用して試算
 ※ 流量変化倍率は、降雨量変化倍率を乗じた降雨より算出した、一級水系の治水計画の目標とする規模(1/100～1/200)の流量の変化倍率の平均値
 ※ 洪水発生頻度の変化倍率は、一級水系の治水計画の目標とする規模(1/100～1/200)の降雨の、現在と将来の発生頻度の変化倍率の平均値
 (例えば、ある降雨量の発生頻度が現在は1/100として、将来ではその発生頻度が1/50となる場合は、洪水発生頻度の変化倍率は2倍となる)

気候変動に伴い顕在化が懸念される海面水位等の上昇予測

- IPCC第51回総会(令和元年9月20日から24日)において、「変化する気候下での海洋・雪氷圏に関するIPCC特別報告書(海洋・雪氷圏特別報告書)」の政策決定者向け要約が承認されるとともに、報告書本編が受諾された。
- 2100年までの平均海面水位の予測上昇範囲は、RCP2.6シナリオでは0.29-0.59m、RCP8.5シナリオでは0.61-1.10mと第5次評価報告書から上方修正された。
- 同報告書では、「低緯度の多くの沿岸域では、100年に1度程度の頻度で発生していた高潮災害などが、2050年には毎年のように起こり、今世紀末までに世界中の沿岸域で発生する可能性がある。」という予測。



図：1986～2005年に対する2300年までの予測される海面上昇(確信度：低)
 (挿入図は、RCP2.6及びRCP8.5の2100までの予測範囲の評価を示す 確信度：中)

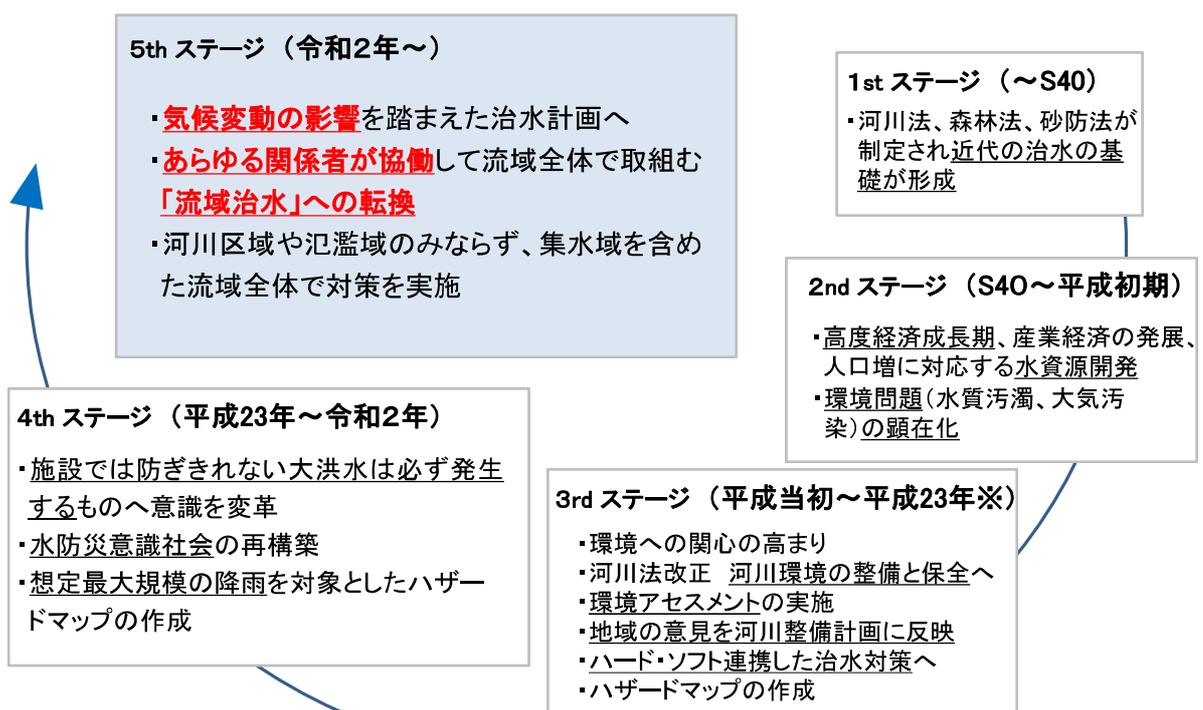
出典：SROCC,2019年9月
https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_FullReport.pdf

シナリオ	1986～2005年に対する2100年における平均海面水位の予測上昇量範囲(m)	
	第5次評価報告書	SROCC
RCP2.6	0.26-0.55	0.29-0.59
RCP8.5	0.45-0.82	0.61-1.10

「流域治水」への転換

24

河川行政の変遷



※平成23年は東日本大震災が発生

「流域治水」の方向性 ～気候変動を踏まえた総合的な水災害対策～

- 近年の水災害による甚大な被害を受けて、施設能力を超過する洪水が発生することを前提に、社会全体で洪水に備える水防災意識社会の再構築を一步進め、気候変動の影響や社会状況の変化などを踏まえ、あらゆる関係者が協働して流域全体で行う、流域治水への転換を推進し、**防災・減災が主流となる社会を目指す。**

これまでの対策

施設能力を超過する洪水が発生することを前提に、社会全体で洪水に備える、水防災意識社会の再構築
洪水防御の効果の高いハード対策と命を守るための避難対策とのソフト対策の組合せ

変化	気候変動の影響	社会の動向	技術革新
	今後も水災害が激化。これまでの水災害対策では安全度の早期向上に限界があるため、整備の加速と、対策手法の充実が必要。	人口減少や少子高齢化が進む中、「コンパクト+ネットワーク」を基本とした国土形成により地域の活力を維持するためにも、水災害に強い安全・安心なまちづくりが必要。	5GやAI技術やビッグデータの活用、情報通信技術の進展は著しく、これらの技術を避難行動の支援や防災施策にも活用していくことが必要。

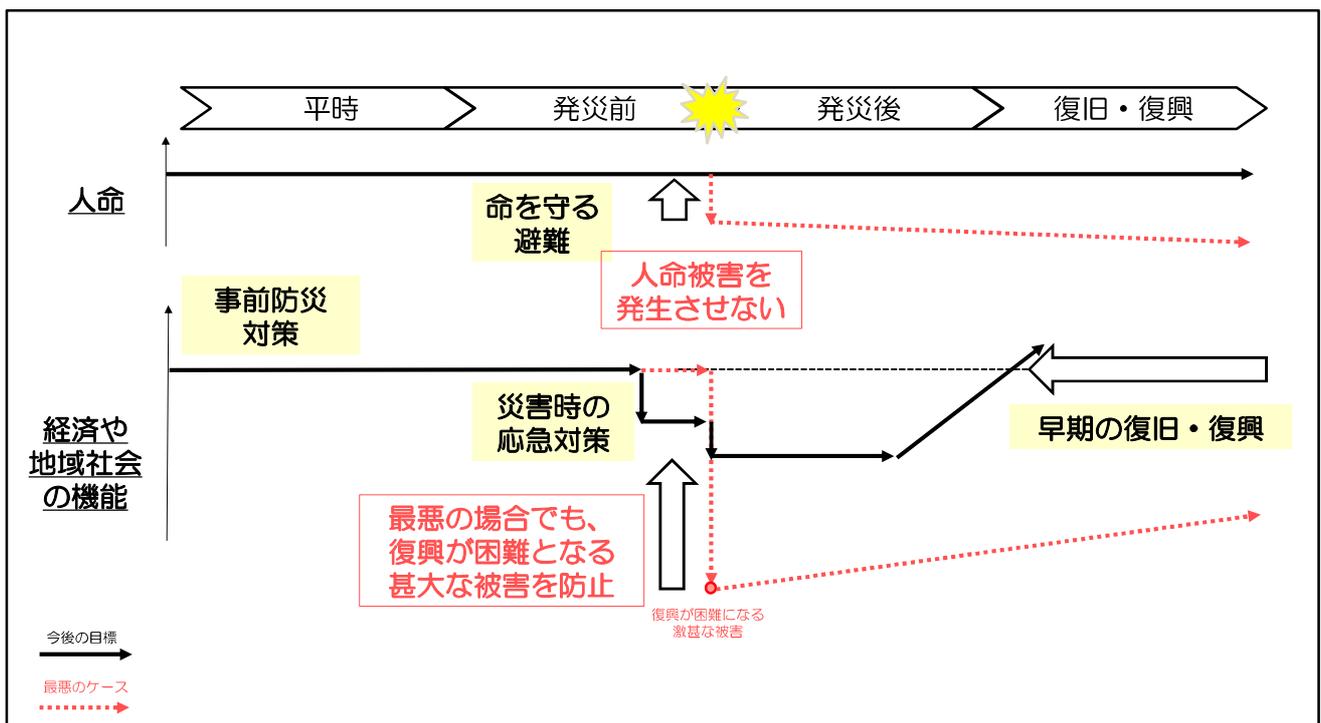
対策の重要な観点	強靭性	包摂性	持続可能性
	甚大な被害を回避し、早期復旧・復興まで見据えて、事前に備える	あらゆる主体が協力して対策に取り組む	将来にわたり、継続的に対策に取り組む、社会や経済を発展させる



26

被害軽減のための水災害対策の考え方

- 施設能力を超過する規模の洪水が発生することを前提に、流域のあらゆる主体の参画により、災害が発生した場合でも、人命が失われたり、経済が回復できないようなダメージを受けることを回避し、速やかに復旧・復興を進め、以前よりも災害にも強い地域づくりを進める。



気候変動を踏まえた計画へ見直し

○ 治水計画を、「過去の降雨実績に基づく計画」から「気候変動による降雨量の増加などを考慮した計画」に見直し。

これまで

洪水、内水氾濫、土砂災害、高潮・高波等を防御する計画は、これまで、過去の降雨、潮位などに基づいて作成してきた。

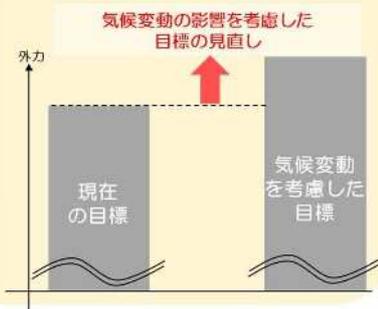
しかし、
気候変動の影響による降雨量の増大、海面水位の上昇などを考慮すると
現在の計画の整備完了時点では、**実質的な安全度が確保できないおそれ**

今後は

気候変動による降雨量の増加※、潮位の上昇などを考慮したものに計画を見直し

気候変動シナリオ	降雨量	流量	洪水発生頻度
2°C上昇相当	約1.1倍	約1.2倍	約2倍

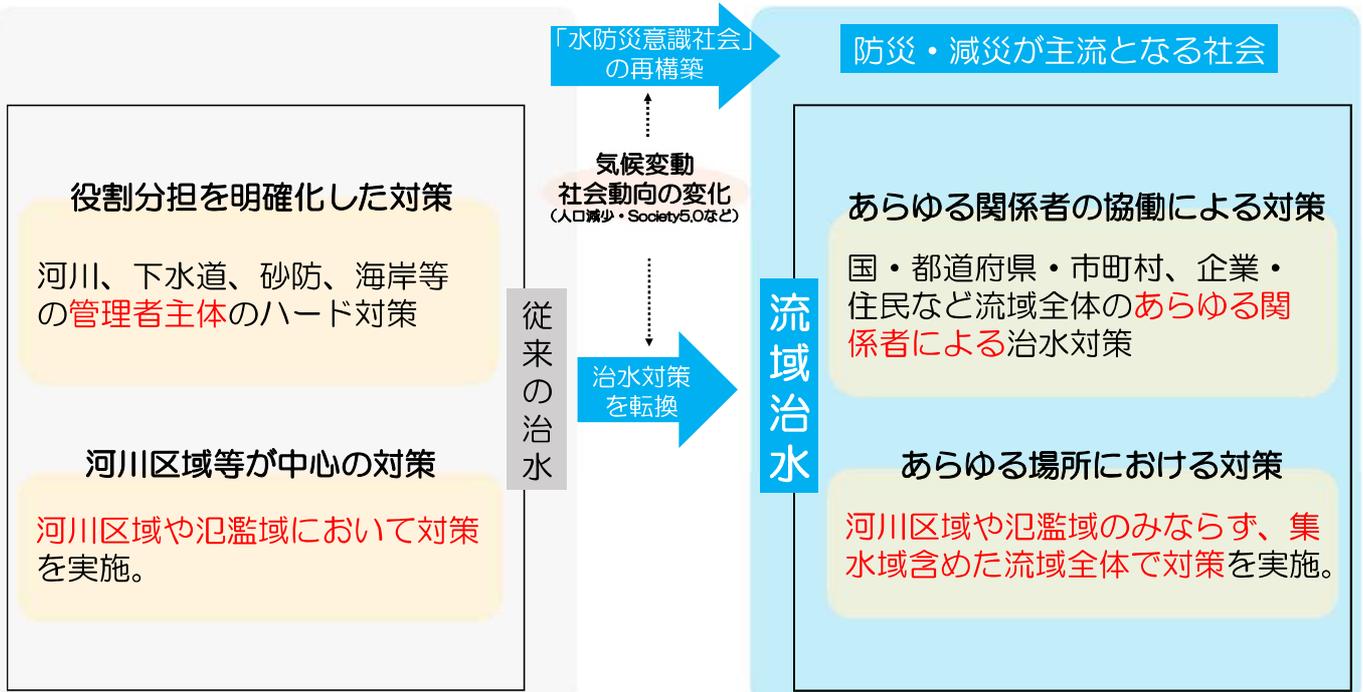
※ 世界の平均気温の上昇を2度に抑えるシナリオ(パリ協定が目標としているもの)



28

「流域治水」への転換

- 近年の水災害による甚大な被害を受け、施設能力を超過する洪水が発生するものへと意識を改革し、氾濫に備える、「水防災意識社会」の再構築を進めてきた。
- 今後、この取組をさらに一歩進め、気候変動の影響や社会状況の変化などを踏まえ、あらゆる関係者が協働して流域全体で対応する「流域治水」へ転換。



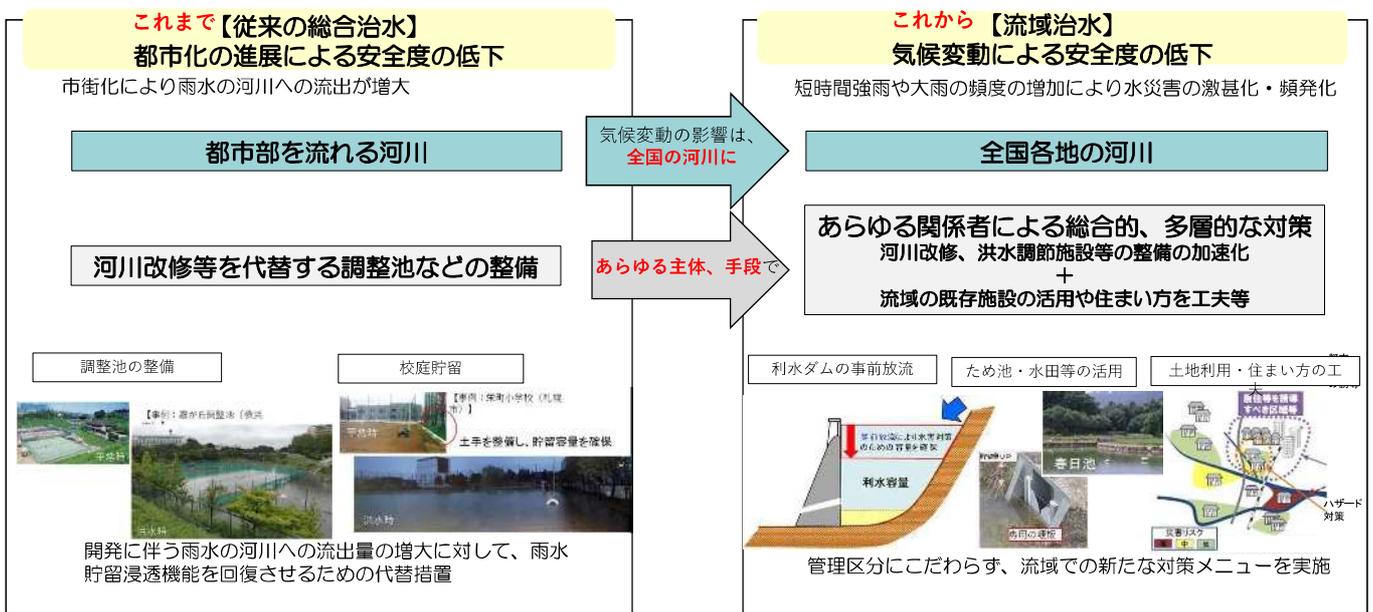
「流域治水」の施策のイメージ

- 気候変動の影響や社会状況の変化などを踏まえ、河川の流域のあらゆる関係者が協働して流域全体で行う治水対策、「流域治水」へ転換。
- 治水計画を「気候変動による降雨量の増加などを考慮したもの」に見直し、集水域と河川区域のみならず、氾濫域も含めて一つの流域として捉え、地域の特性に応じ、①氾濫をできるだけ防ぐ、減らす対策、②被害対象を減少させるための対策、③被害の軽減、早期復旧・復興のための対策をハード・ソフト一体で総合的かつ多層的に取り組む。



従来の総合治水と流域治水について

- これまでは、急激な市街化に伴って生じる新たな宅地開発や地面の舗装等による雨水の河川への流出量の増大に対して、**都市部の河川において、開発による流出増を抑える対策として調整池の整備等などの暫定的な代替策として対策を実施。(従来の総合治水)**
- 今後は、気候変動による降雨量の増加に対応するため、**都市部のみならず全国の河川**を対象を拡大し、河川改修等の加速化に加え、**流域のあらゆる既存施設を活用**したり、リスクの低いエリアへの誘導や住まい方の工夫も含め、流域のあらゆる関係者との協働により、**流域全体で総合的かつ多層的な対策**を実施。**(流域治水)**



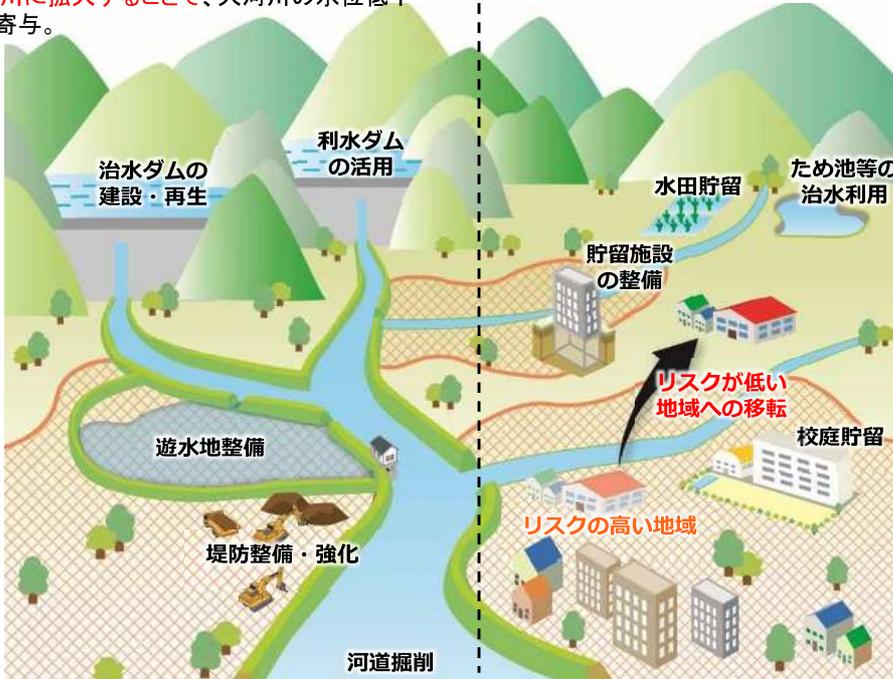
河川の規模の応じた流域治水の取組

大川での対策

- ①当面は、大川(本川)の水位低下に大きく寄与する利水ダムの事前放流や河道掘削、ダム建設等を推進
- ②支川での流域対策を推進し、流域対策を多くの支川に拡大することで、大川の水位低下にも寄与。

中小河川(支川)の対策

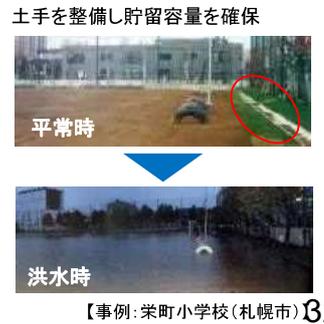
- ・水田貯留、ため池貯留、調節地などの流域対策を推進
- ・水害リスクが高い区域における土地利用規制や安全な地域への移転、宅地の嵩上げ等を推進
- ※特定都市河川浸水被害対策法も積極的に活用



ため池貯留の例



校庭貯留の例

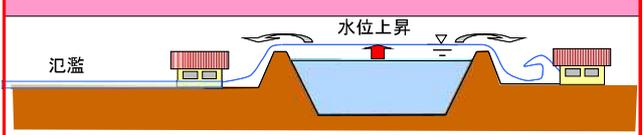


①氾濫をできるだけ防ぐための対策

～治水の基本的な考え方～

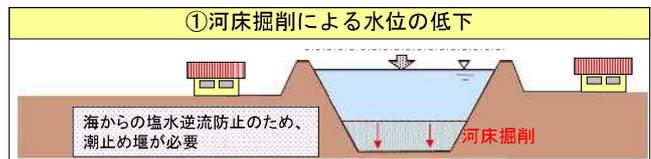
- 洪水時の水位が地盤高より高い区間の河川では、水位を下げるのが治水の原則
- それぞれの河川の流域特性を踏まえ、適切な治水対策を実施

大洪水が来ると、河川水位が上がり氾濫します。



①河床掘削:

河床を掘り下げて河川の断面積を大きくする。



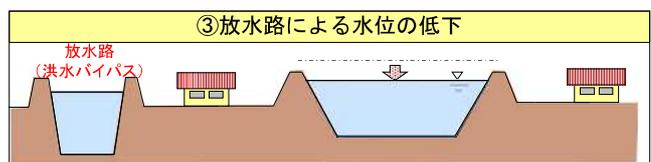
②引堤:

堤防を移動して川幅を広げることにより、河川の断面積を大きくする。



③放水路:

新しく水路を作り洪水をバイパスすることにより、河川(本川)の流量を減らす。



④洪水調節施設:

洪水の一部を洪水調節施設で貯留し、洪水のピーク流量を減らす。



①氾濫をできるだけ防ぐための対策

～治水計画等に基づく整備の着実な進捗～

- 流下能力の低い箇所などの危険性が高い区域において、治水計画等に基づく整備メニューを着実に進捗させる必要。
- 河道掘削、引堤、築堤は整備を行った箇所から順次その効果を発現するが、上下流等のバランスをとりながら、下流から順番に整備するため、上流の整備には時間を要する。



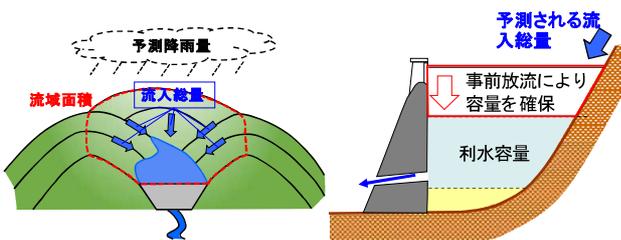
①氾濫をできるだけ防ぐための対策

～利水ダムを含む既存ダムの洪水調節機能の強化～

- 関係省庁により策定された「既存ダムの洪水調節機能の強化に向けた基本的な方針」に基づき、関係省庁や利水者とも調整の上で、利水ダムなどの利水のための貯流水をあらかじめ放流し、洪水調節のための容量を確保する「事前放流」を抜本的に拡大する。
- 長時間先のダム流入量及び下流河川の水位状況等の予測の精度向上等に向けた技術・システム開発を実施する。

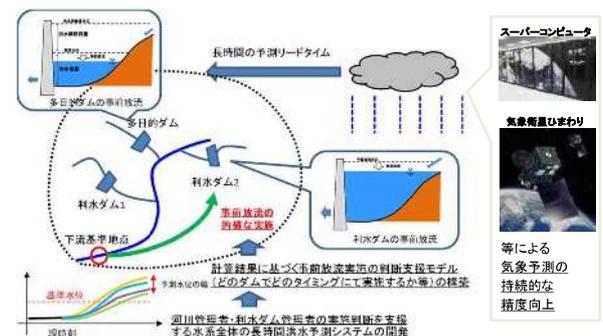
事前放流の取組の拡大

河川管理者である国土交通省(地方整備局等)と全てのダム管理者及び関係利水者との間において、1級水系を対象に、水系毎に事前放流の実施方針等を含む治水協定を締結し、令和2年の出水期から新たな運用を開始する。



予測精度向上等に向けた技術・システム開発

全ての既存ダムを最大限活用して有効な洪水調節が可能となるよう、ダム周辺の降雨予測等を利用した水系全体における長時間先のダム流入量及び下流河川の水位状況等の予測の精度向上等に向けて、技術・システム開発を行う。



① 氾濫をできるだけ防ぐための対策

～流域の貯留施設等の整備(事例)～

○洪水時、一時的に流域内で雨水を貯留できるよう、既存ストックを活用した流出抑制対策を実施。

調整池



【事例：霧が丘調整池(横浜市)】



校庭貯留



【事例：栄町小学校(札幌市)】

土手を整備し、貯留容量を確保



ため池

【事例：春日池(ため池:広島県)】

洪水時の放流状況



水田



【出典：兵庫県ウェブサイト (総合治水対策の取り組み実績と効果)】

浸透ます・浸透管



【出典：愛知県ウェブサイト (雨水の貯留・浸透)】

① 氾濫をできるだけ防ぐための対策

～土地利用と一体となった治水対策(霞堤、水防災事業)～

- 上下流バランスの観点から早期の治水対策が困難な地域においては、早期の安全度の向上を図るため、一部区域の氾濫を許容することを前提とし、輪中堤の整備、宅地嵩上げ等によるハード整備と土地利用規制等によるソフト対策を組み合わせた水防災対策を実施。
- 北川では、台風16号により浸水被害が発生するも、河道掘削・宅地嵩上などの事業効果により家屋浸水被害が大幅に低減。

○主な浸水被害の実績表

年月日	要因	流量 (m3/s)	浸水面積 (ha)	家屋等被害 (戸)
H9.9	台風19号	約5,000	368	648
H16.10	台風23号	約4,900	350	198
H28.9	台風16号	約4,300	約340	24



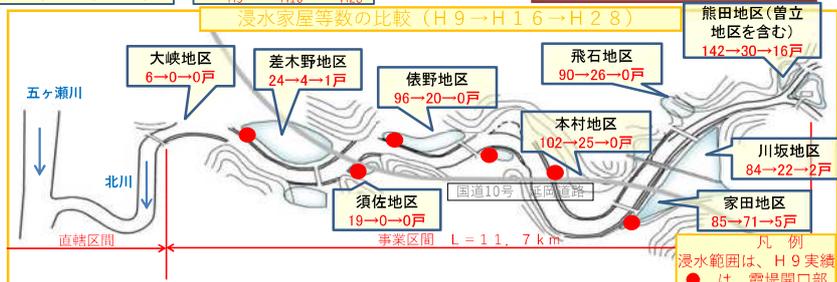
● 整備前
平成9年台風19号 家田地区

● 整備後
平成28年台風16号 家田地区

土地利用一体型水防災事業の内容

宅地嵩上げにより家屋浸水低減効果

霞堤からの流水により浸水しているが宅地嵩上げにより家屋浸水は大幅に低減！
宅地嵩上げた家屋は浸水ゼロ！！
霞堤からの流入による浸水は1日で解消！！



平成28年台風16号 依野地区

宅地嵩上げ箇所は家屋浸水は今回無し！

平成28年度の数値は速報値のため、今後の調査で修正となることがあります。

②被害対象を減少させるための対策

～まちづくりや住まい方の工夫(事例)～

- 床上浸水被害等の早期解消のため、連続堤での整備ではなく、土地の利用状況を考慮し、一部区域の氾濫を許容した輪中堤を整備することで、効果的な家屋浸水対策を実施。
- 長野県中野市古牧地区(千曲川)では、令和元年台風第19号時、輪中堤内の集落は浸水を免れた。

<長野県中野市古牧地区(千曲川)輪中堤による家屋浸水被害の解消>

位置図

実施箇所

古牧地区での災害危険区域
千曲川の計画高水位(H.W.L)以下の範囲を指定。

■ : 災害危険区域
■ : 河川区域

A=39.0ha

千曲川

●中野市災害危険区域に関する条例 抄
(災害危険区域の指定)
第2条 災害危険区域は、出水により災害を被る危険性が高い区域で、市長が指定した区域とする。
2 市長は、災害危険区域を指定したときは、その旨を告示しなければならない。
(建築制限)
第3条 前条の規定により指定した区域内において、住居の用に供する建築物を建築してはならない。ただし、災害危険区域を指定した際、現に存する住居の用に供する建築物を増築し、又はその一部を改築する場合及び次の各号に掲げるものについては、この限りでない。
(1) 主要構造物(屋根及び階段を除く。)を鉄筋コンクリート造又はこれに類する構造とし、別に定める災害危険基準高(以下「基準高」という。)未満を居室の用に供しないもの
(2) 基礎を鉄筋コンクリート造とし、その上端の高さを基準高以上としたもの
(3) 地盤面の高さを基準高以上としたもの

輪中堤整備後写真

R1台風19号時洪水状況写真

38

②被害対象を減少させるための対策

～浸水エリアを限定するための二線堤等の整備や保全等～

- 二線堤は、市町村等が独自に整備しているほか、国としては、総合流域防災事業(洪水氾濫域減災対策事業)等により支援してきたところであり、引き続き、本事業等により整備を支援していく。
※総合流域防災事業による交付には、氾濫を許容することとする区域において、災害危険区域の指定等必要な措置がなされること等が条件
- また、既存の二線堤等を保全するために浸水被害軽減地区に指定された土地に対する固定資産税及び都市計画税の減免措置を令和2年度より実施予定(閣議決定済み)。

二線堤とは

- 本堤(河川堤防)背後の堤内地に築造される堤防。
- 二線堤等の盛土構造物を整備又は保全することにより、本堤が破堤して洪水が氾濫した場合における浸水範囲の抑制に有効。

本堤(河川堤防)



二線堤の整備事例

沓川水系沓川・矢落川(愛媛県大洲市)

- ・上下流バランスの観点から暫定堤防となっている東大洲地区において、大洲市が二線堤(市道)を整備。国は、氾濫水を排水する樋門を整備。
- ・本堤と二線堤の中で約60万m³を貯留し、二線堤から市街地側への越水を遅らせることで、家屋の浸水被害を軽減。



浸水被害軽減地区の指定に係る特例措置の創設(固定資産税・都市計画税)

<固定資産税等の減免制度を創設>

浸水被害軽減地区の指定を受けた土地の所有者に対し、当該土地にかかる固定資産税及び都市計画税を減免。

<浸水被害軽減地区の概要>

■ 防水管理者による指定

- 輪中堤防等が存する土地等の区域が浸水の拡大を抑制する効用を有すると認めるときは、これを浸水被害軽減地区として指定。

■ 形状変更行為の届出

- 浸水被害軽減地区内の土地の改変、掘削等をしようとする者は、あらかじめ防水管理者にその旨を届出。

■ 助言・勧告

- 届出に係る行為が浸水被害軽減地区の保全の観点から望ましくないと防水管理者が認めるときは、必要な助言又は勧告。



岐阜県輪之内町(福東輪中)

39

②被害対象を減少させるための対策

～防災まちづくり(水害対策)～

(ゼロメートル地帯における高台まちづくり)

防災まちづくり(水害対策)の目標像

- 治水安全度を向上させることにより、大規模水害の発生確率を低下し、市街地を少しでも安全にする
- 万が一、大規模水害が発生し、逃げ遅れた場合でも、命の安全が確保され、最低限の避難生活水準を確保できるまちづくりを進める
- さらに、社会経済活動が長期停止することなく、また迅速に復旧できるまちづくりを進める

高台まちづくり(高台・建物群)の推進



主な取り組み方策(案)

- 堤防、調節池・貯留施設、排水施設等の整備・強化の推進
- 高台まちづくりの推進(線的・面的につながった高台・建物群の創出)
 - ・高台まちづくりを推進するための計画策定
 - ・土地区画整理、公園、高規格堤防等の整備による高台づくり
 - ・避難スペースを確保した建築物の整備・確保
 - ・建築物から浸水区域外への移動を可能とする通路の整備
 - ・民間活力を活用した建築物、高台の整備

等

出典:災害に強い首都「東京」の形成に向けた連絡会議(第1回)

40

②被害対象を減少させるための対策

～土地利用規制、誘導、移転促進～

- 頻発・激甚化する自然災害に対応するため、災害ハザードエリアにおける開発抑制、移転の促進、立地適正化計画と防災との連携強化など、安全なまちづくりのための総合的な対策を講じる。

◆災害ハザードエリアにおける開発抑制(開発許可の見直し)

<災害レッドゾーン>

- 都市計画区域全域で、住宅等(自己居住用を除く)に加え、**自己の業務用施設**(店舗、病院、社会福祉施設、旅館・ホテル、工場等)の**開発を原則禁止**

<浸水ハザードエリア等>

- 市街化調整区域における住宅等の**開発許可を厳格化**(安全上及び避難上の対策等を許可の条件とする)

区域	対応
災害レッドゾーン	開発許可を原則禁止
浸水ハザードエリア等	開発許可の厳格化

【都市計画法、都市再生特別措置法】

災害レッドゾーン

- ・災害危険区域(崖崩れ、出水等)
- ・土砂災害特別警戒区域
- ・地すべり防止区域
- ・急傾斜地崩壊危険区域



◆立地適正化計画の強化(防災を主流化)

- 立地適正化計画の**居住誘導区域から災害レッドゾーンを原則除外**
 - 立地適正化計画の居住誘導区域内で行う防災対策・安全確保策を定める**「防災指針」の作成**
 - 〔避難路、防災公園等の避難地、避難施設等の整備、警戒避難体制の確保等〕
- 【都市再生特別措置法】

◆災害ハザードエリアからの移転の促進

- 市町村による**防災移転計画**
 - 〔市町村が、移転者等のコーディネートを行い、移転に関する具体的な計画を作成し、手続きの代行等〕
 - ※上記の法制上の措置とは別途、予算措置を拡充(防災集団移転促進事業の要件緩和(10戸→5戸等))
- 【都市再生特別措置法】

- 市街化調整区域
- 市街化区域
- 居住誘導区域
- 災害レッドゾーン
- 浸水ハザードエリア等

③被害の軽減・早期復旧・復興のための対策

～不動産取引における水害リスク情報の提供～

- 不動産取引時にその相手方に取引の対象となる物件に関する水害リスクを認識してもらうため、水害リスクに係る説明をすることが、宅地建物取引法上の重要事項説明として義務づけされた(令和2年7月)。
- また、不動産業界の研修会等の場において、河川部局と防災部局が連携して、水害リスクに関する情報を解説する取組を継続して実施している。

【平成31年4月】

- 業界の研修会等の場で、水害リスクに関する情報の解説等を行うよう、都道府県と不動産関連団体に対して協力依頼を发出。



不動産関連事業者への水害リスクに関する情報の解説の様子(全国各地で説明会を実施)

【令和元年7月】

- 不動産取引時に、宅地や建物が存する市町村が作成・公表するハザードマップを提示し、当該取引の対象の宅地や建物の位置等を情報提供するよう不動産関連団体に対して協力依頼を実施。

【令和2年7月】

- 水害リスクに係る説明を宅地建物取引法上の重要事項説明として義務づけ。



令和2年7月17日(金) 省令公布
令和2年8月28日(金) 省令施行

③被害の軽減・早期復旧・復興のための対策

～マイ・タイムラインの全国展開～

- 住民一人ひとりが**洪水ハザードマップ**を活用し、地域の水害リスクを認識や避難に必要な情報・判断・行動を把握することにより、避難の実効性を高めることが重要。
- 令和元年東日本台風被災自治体における住民ウェブアンケートでは、ハザードマップ等を見たことがあると回答した者のうち「とるべき避難行動がわからない」が約29%※であった。
- 洪水ハザードマップを作成する必要がある自治体のうち、マイ・タイムラインなどの個人毎の避難行動計画の作成の取組を実施している自治体は、55自治体/1, 347自治体(H31.3)であり、引き続き全国展開が必要。

※内閣防災令和元年東日本台風等を踏まえた水害・土砂災害からの避難のあり方について(報告)より(令和2年3月31日公表)

●河川の水位変化と洪水時に得られる情報とマイ・タイムラインの作成

台風の接近(3日前) → 水位の上昇 → はん水の発生 → はん水警戒水位 → 避難開始水位 → はん水注意水位 → 水防団待機水位 → はん水発生水位 → 避難開始水位 → はん水警戒水位

時系列による変化

この数字の情報を基に 防災行動計画を作成

マイ・タイムラインの検討の過程で...

「リスクを認識」

- 自分の家が浸水してしまう
- 避難所まで遠い 等

「逃げるタイミングがわかる」

- いつ逃げる?
- 誰と逃げる?
- 危険な場所をよけて
- 逃げるには?

「コミュニケーションの輪が広がる」

- 意見交換などで、知り合いになれる 等

マイ・タイムラインができると...

- 災害時の防災行動チェックリストで対応の漏れを防止
- 災害時の判断をサポート

逃げ遅れゼロ

●作成の状況

※避難の実効性を高める「住民自らが手を動かす取組」が重要

ワークショップ形式
参加者相互の意見交換により理解が向上

小中学校の防災教育

お天気キャスターによる進行や解説

●参加者の主な意見等

※各地で取り組まれている事例からの抜粋

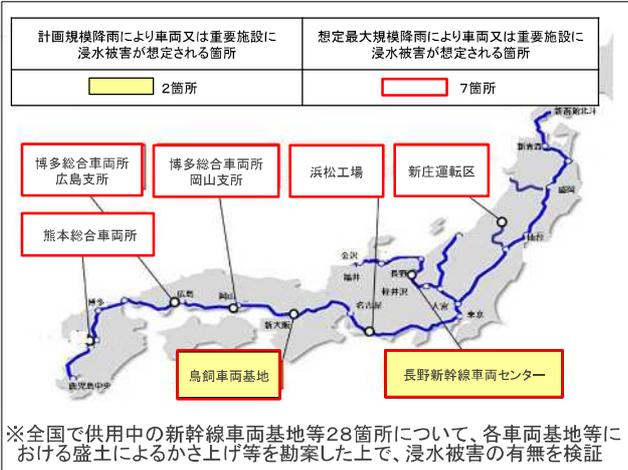
- 避難するために、どのような情報が必要で何を基準にして避難するかが少し理解できました。
- 避難先に関する選定が難しく感じた。
- 情報入手と早く行動することや家族と話し合い自助・共助・公助等、勉強になりました。
- 個人での対応にも限界があり、地区での共助もあらかじめ決めることも大事。

③被害の軽減・早期復旧・復興のための対策

～鉄道における浸水対策～

- 令和元年東日本台風による被害を踏まえ、新幹線における、浸水被害が発生した場合に運行への影響が大きい施設の点検及び検証を実施し、高所への移設や車両避難計画の策定等、ハード・ソフトの両面から、新幹線における車両及び重要施設に関する浸水対策等の考え方を令和元年12月24日にとりまとめた。

浸水被害が想定される新幹線車両基地等



計画規模降雨に対する基本的な考え方と具体的な浸水対策

- 浸水被害が発生しても運行への影響を僅少な範囲に留めるような対策を講じることを基本とする。
- 浸水被害が想定される重要施設においては、高所への移設、防水扉の設置など、運行への影響を僅少な範囲に留めるような対策を検討。

想定最大規模降雨に対する基本的な考え方と具体的な浸水対策

- 従業員等の安全を確保した上で、車両の浸水被害の最小化など社会経済被害の軽減に努めることとする。
- 浸水被害が想定される車両の留置場所においては、車両避難計画の策定など、車両の浸水被害を最小化する対策等を検討。

今後の対応 <新幹線>

- 車両及び重要施設に関する浸水対策の鉄道事業者での検討結果について、次期出水期までにとりまとめる。
- 避難前後の運転ダイヤへ相当の影響が出ることについての社会的理解の醸成を図る。

46

③被害の軽減・早期復旧・復興のための対策

～令和元年東日本台風及び低気圧による大雨におけるTEC-FORCEの活動(事例)～

- 各地方整備局等TEC-FORCEが、東北、関東、北陸地方の被災地で活動中
- 【TEC-FORCE】 のべ 30,513人・日派遣 (リエゾン、先遣班、応急対策班、被災状況調査班、防災ヘリ、高度技術指導班 等)
- 【災害対策用機械】のべ 18,234台・日派遣 (排水ポンプ車、照明車、衛星通信車、散水車、路面清掃車 等)
- TEC-FORCEの活動の円滑化・迅速化を図るため、体制・機能の拡充・強化に取り組む。



10月22日 茨城県日立市における道路施設の被災状況調査【中国地整・道路班】



10月23日 長野県長野市におけるドローンによる被災状況調査【北陸地整・砂防班】



10月24日 長野県長野市における路面清掃作業【北陸地整・応急対策班】



10月26日 大崎市長(宮城県)に排水作業の完了報告【東北地整排水支援チーム、中国地整】



10月27日 孺恋村長(群馬県)に調査結果を報告【九州地整・道路班】



10月30日 宮城県丸森町における給水支援【北海道開発局・応急対策班(給水支援)】

今後の治水対策の展開

48

ハード・ソフト一体となった事前防災対策の加速

○現場で緊急的な対策を進めながらも、流域の関係者全員との協働に取り組むためには、プロジェクト、計画の作成を通じて対策の全体像を示すことが必要。このため以下の流れで取組を実施。

1. 令和元年東日本台風で被災した7つの水系での「緊急治水対策プロジェクト」の推進、また、全国の河川での「流域治水プロジェクト」による事前防災対策の加速
2. 気候変動に対応できる新たな治水対策へ転換（基本方針・整備計画の見直し）

1st

近年、各河川で発生した洪水に対応

- 7つの水系での『緊急治水対策プロジェクト』
令和元年東日本台風規模洪水に対する再度災害防止
- 全国の一級水系での『流域治水プロジェクト』
各河川において少なくとも戦後最大規模洪水へ対応

主な対策

- ・危険箇所における水位低下対策（河道掘削等）
- ・壊滅的被害を防ぐための堤防強化対策
- ・事業中の調節地等の早期効果発現
- +
- ・利水ダムの徹底活用（事前放流、改良）
- ・遊水機能の保全・活用
- ・水害リスクを踏まえたまちづくり計画等への反映 等

速やかに着手 気候変動による影響を踏まえた
河川整備基本方針や河川整備計画の見直し

2nd

気候変動で激化する洪水による壊滅的被害を回避

- 気候変動適応型水害対策の推進
治水計画を、「過去の降雨実績に基づくもの」から、「気候変動による降雨量の増加などを考慮したもの」に見直し
- 将来の降雨量の増大に備えた抜本的な治水対策を推進

主な対策

- ・新たな遊水地やダム再生等の貯留施設整備
- ・堤防整備・強化（高規格堤防含む）や河道掘削
- ・流域における雨水貯留施設等の整備
- +
- ・水害リスクを踏まえたまちづくりや土地利用の推進 等

流域治水における施策の充実に向けた関係省庁との連携状況

- 河川管理者等が主体となって行う治水事業等これまで以上に充実・強化することに加え、あらゆる関係者の協働により流域全体で治水対策に取り組むことが重要。
- このため、流域で行う治水対策の充実に向けて、利水ダム等の既設ダムによる「事前放流」の抜本的な拡大【農林水産省・経済産業省（資源エネルギー庁）・厚生労働省と連携】、森林保全等の治山対策と砂防事業の連携【林野庁との連携】を行い、流域治水を推進していく。

「事前放流」の抜本的な拡大 【農林水産省・経済産業省（資源エネルギー庁）・厚生労働省と連携】

【治水協定の締結、事前放流の運用開始】

- 発電、農業、水道など水利用を目的とする利水ダムを含めた全てのダムが対象。
- ダムに洪水を貯める機能を強化するための基本方針を策定（令和元年12月）

- 治水協定の締結
ダムのある1級水系（99水系）
ダムのある2級水系のうち（86水系）
- 令和2年の出水期から事前放流を実施

水田や農業用ため池の活用 【農林水産省と連携】

【国交省・農水省それぞれから関係市町村へ以下を通知】※令和2年10月1日に通知

- 地方農政局の協議会への参画
- 活用先行事例とその支援策の情報提供
- 「流域治水プロジェクト」の取組の推進
- 水田や農業用ため池の治水効果の評価の実施、更なる運用の改善

課題等を共有
助言等を実施

本省（国交省 農水省） ↔ 地方整備局、地方農政局、関係都道府県、関係市町村

○ 田んぼダムに取り組む水田

雨水貯留量UP 専用の堰板

森林保全等の治山対策との連携 【林野庁と連携】

【砂防部と林野庁関係課による連携調整会議の実施（9/24）】

- 双方で今後の取組について情報提供し認識を共有
- これまで調整会議などで図ってきた連携を、今後さらに強化することを確認
- 具体箇所や新たな連携方策について意見交換

連携イメージ

【治山】上流域の荒廃森林を整備し、流木の発生源対策を実施

【砂防】下流域（保全対象直上）に砂防堰堤などを整備し、土砂や流木の流出による直接的被害を防止

流域治水における施策の充実に向けた関係省庁との連携状況

- 治水対策に加えて、人的被害ゼロを目指した実行性のある避難体制の構築【厚生労働省と連携】、氾濫をできるだけ防ぐための河道内樹木伐採コスト縮減に向けたバイオマス発電の利活用【環境省と連携】、土地利用・住まい方の工夫などまちづくりと治水事業の連携促進【関係市町村と連携】を行い、流域治水を推進していく。

高齢者福祉施設の避難確保 【厚生労働省と連携】

【厚生労働省と検討会の開催（10/7）】

令和2年7月の豪雨災害において、熊本県球磨村の特別養護老人ホーム「千寿園」が被災し、死者14名の被害が発生したため、有識者による検討会を設置し、避難の実効性を高める方を検討

- 避難確保計画の内容の適切性について
- 施設の体制や設備について
- 施設職員の人材育成について
- 関係者との連携について

特別養護老人ホーム「千寿園」 第1回検討会（10/7）

河道内樹木のバイオマス発電への利活用【環境省と連携】

【実現性・有効性の検証開始】

河道内の樹木の繁茂により、洪水の疎通能力が低下する恐れがあり、樹木を定期的に伐採する必要がある。伐採コストを縮減するため、伐採樹木をバイオマス資源として発電事業への利活用を検討

伐採コスト縮減 × 再エネ拡大

伐採樹木 → バイオマス発電 → プラント → 発電 熱供給

河道内樹木を伐採し洪水の疎通能力を向上

土地利用・住まい方の工夫 【市町村まちづくり部局と連携】

○ モデル都市（30都市）において水災害対策を踏まえた防災まちづくりのケーススタディを9月から実施中。

○ 得られた知見等を他都市へ横展開するとともに、実施内容を流域治水プロジェクトへ反映するよう市町村へ依頼

課題等を共有
助言等を実施

都市局 水国局 住宅局 ↔ 関係市町村 土木・防災部局 まちづくり・建築部局

居住等を誘導する区域等 都市機能の誘導 ハザード対策 災害リスク

流域治水協議会について

- あらゆる関係者と協働して治水対策に取り組むためには、河川対策・流域対策・ソフト対策からなる「流域治水」の全体像を国民にご理解いただく必要があるため、「流域治水プロジェクト」として、全体像を分かりやすく提示していくことが必要。
- そのため、河川管理者に加え、都道府県、市町村等の関係者が一堂に会する協議会を設立し、その場にて協議・調整を進め、本年度中に全国の一級水系で「流域治水プロジェクト」の策定・公表を予定。

【例】第3回 庄内川流域治水協議会(10月13日開催)

※第1回は7月6日、第2回は9月14日に開催

■出席者

多治見市長、清須市長、他流域市町関係者(17市4町)、岐阜県、愛知県、多治見砂防国道事務所、庄内川河川事務所
東海農政局、名古屋地方気象台、地方共同法人日本下水道事業団もオブザーバーとして参加



協議会の様子

永田純夫清須市長 古川雅典多治見市長

■自治体代表挨拶

- ・県境という考えを捨て、それぞれの市町が河川を大切にしていけることが必要不可欠。流域住民の安全な暮らしのために、本協議会を素晴らしいものにしていきたい。(多治見市)
- ・圏域市町の協議会出席は心強い。近年の気候変動を踏まえると、東海豪雨級の災害はまた起こる可能性が十分にあり、流域市町が一丸となって備えていくことが大切。(清須市)

■協議会で出された意見等

- ・災害に強いまちづくりについては、1市では限界があるため、流域の市町が一体となって浸水被害の軽減、防止に取り組むことが大切。(清須市)
- ・流域治水にかかる総合的・横断的な予算面、政策面での積極的な支援が必要(春日井市)
- ・農業用のため池は一定程度の貯留施設としての効果が考えられるが、あらゆる面での課題を解決していくことが必要(瀬戸市)

■リーディング地区による対策内容の共有

- ・『新しい時代にふさわしい豊かな未来を創る！世界に冠たるNAGOYA』へ向けて、あらゆる関係者と協働し、県道枇杷島橋改築や、防災まちづくりの検討等の流域における対策、地下空間タイムラインの活用等のソフト対策を行っていくことを提示(名古屋市)
- ・中流域の役割として、下流に位置する市町への流出負担軽減のために『オール多治見』による雨水流出抑制と市民の防災意識向上の実践や、安全なまちづくりに向けた更なる検討等を行っていくことを提示。(多治見市)

■支援体制の充実

- ・農業施設の活用や安全なまちづくり等における事例や支援制度についてオブザーバーより紹介。
- ・今後の流域治水に対し、相談窓口となり、全面的にバックアップしていく旨を表明。

➡ **○全国109の1級水系の全てにおいて、流域治水協議会(118協議会)を設置。**
○年度末のプロジェクト策定・公表に向けて、様々な関係機関と連携を進めることにより、各地域の特性を踏まえた実効性のある流域治水プロジェクトの策定に向けた取組を推進中。

54

流域治水協議会について

令和2年度 第1回菊川流域治水協議会 開催概要 ～菊川の水災害に備えて、流域治水を推進～



【開催目的】

近年、令和元年東日本台風や令和2年7月豪雨をはじめとした激甚な水害が発生するなど、気候変動により、水害が激甚化・頻発化している。このため、菊川流域において、あらゆる関係者が協働して「流域治水」(流域全体で水害を軽減させる治水対策)を計画的に推進するための協議・情報共有を行う。

【開催概要】

日 時: 令和2年7月20日(月) 16:00～16:45
 会 場: 菊川市営保養センター 小菊荘2階研修室
 出 席: 下記協議会委員参照
 議 事: (1) 菊川流域治水協議会規約(案)について
 (2) 今後の進め方について
 (3) リーディング地区の選出について

協議会開催状況



【議事概要】

1. 菊川流域治水協議会規約(案)について
事務局より規約について説明し、本規約(案)が了承された。(7/20施行)
2. 今後の進め方について
事務局より本協議会の今後の進め方について説明し、承認された。3月の策定までに市民の意見が反映される場を設け、協議会に報告することを確認した。
3. リーディング地区の選出について
事務局よりリーディング地区の選定について説明し、承認された。

発言の状況



掛川市長



菊川市長



静岡県
袋井土木事務所長



国土交通省 中部地方整備局
浜松河川国道事務所長



国土交通省 中部地方整備局 河川部
河川計画課長

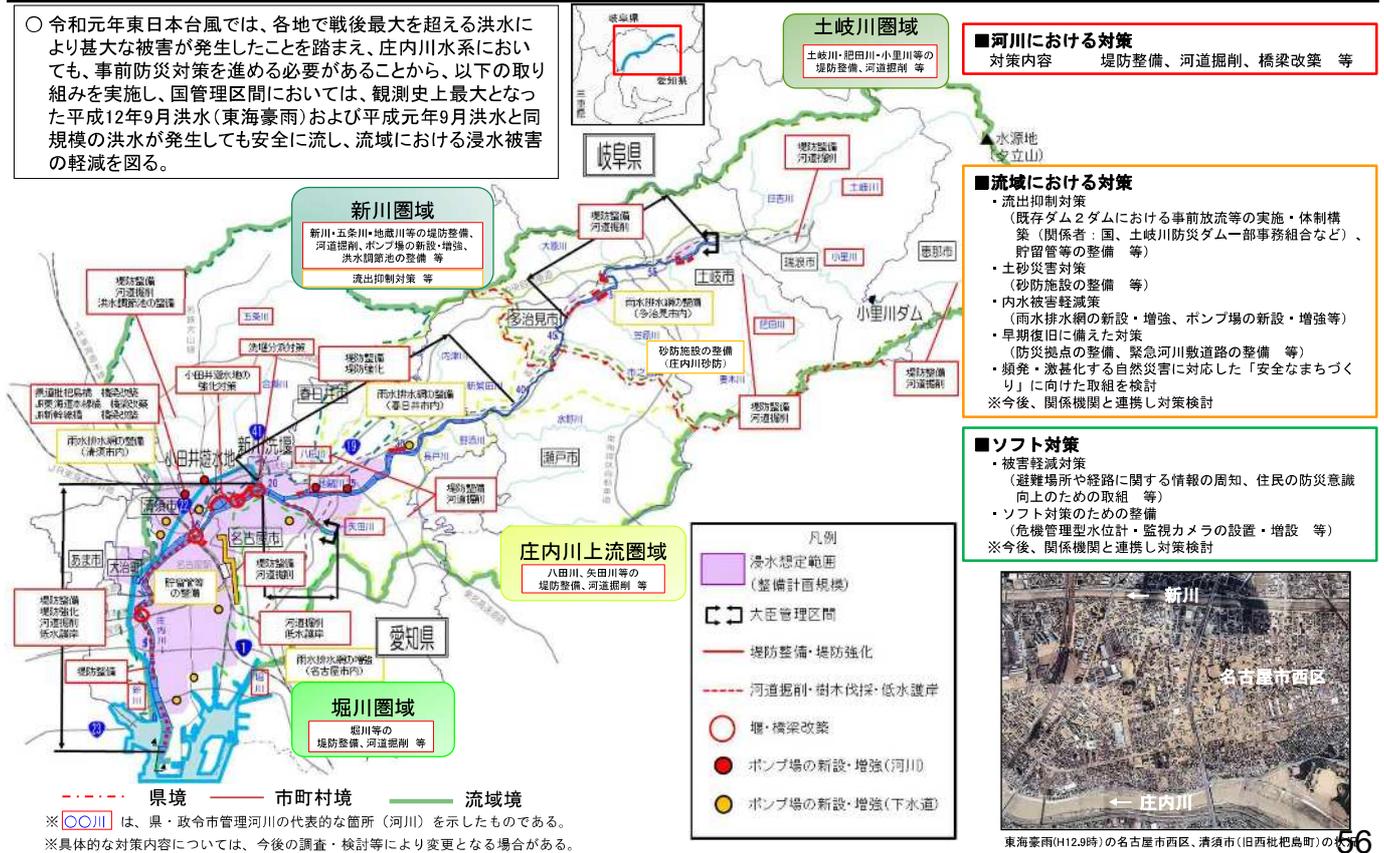
流域治水プロジェクト

1. (1) ハード・ソフト一体の水災害対策「流域治水」への転換 [2/13]

庄内川水系流域治水プロジェクト [イメージ:調整中]

～東西を繋ぎ、日本経済を支える名古屋都市圏を水害から守る流域治水対策～

○令和元年東日本台風では、各地で戦後最大を超える洪水により甚大な被害が発生したことを踏まえ、庄内川水系においても、事前防災対策を進める必要があることから、以下の取り組みを実施し、国管理区間においては、観測史上最大となった平成12年9月洪水(東海豪雨)および平成元年9月洪水と同規模の洪水が発生しても安全に流し、流域における浸水被害の軽減を図る。



被害対象を減少させるための対策 ～まちづくりや住まい方の工夫(事例)～

- 床上浸水被害等の早期解消のため、連続堤での整備ではなく、土地の利用状況を考慮し、一部区域の氾濫を許容した輪中堤を整備することで、効果的な家屋浸水対策を実施。輪中堤の外側は災害危険区域を指定。
- 長野県中野市古牧地区(千曲川)では、令和元年台風第19号時、輪中堤内の集落は浸水を免れた。

<長野県中野市古牧地区(千曲川)輪中堤による家屋浸水被害の解消>

位置図

実施箇所

H18.7洪水状況写真

古牧地区での災害危険区域
千曲川の計画高水位(HWL)以下の範囲を指定。

■ 災害危険区域
■ 河川区域

A=39.0ha

輪中堤整備後写真

R1台風19号時洪水状況写真

●中野市災害危険区域に関する条例 抄
 (災害危険区域の指定)
 第2条 災害危険区域は、出水により災害を被る危険性が高い区域で、市長が指定した区域とする。
 2 市長は、災害危険区域を指定したときは、その旨を告示しなければならない。
 (建築制限)
 第3条 前条の規定により指定した区域内において、住居の用に供する建築物を建築してはならない。ただし、災害危険区域を指定した際、現に存する住居の用に供する建築物を増築し、又はその一部を改築する場合及び次の各号に掲げるものについては、この限りでない。
 (1) 主要構造物(屋根及び階段を除く。)を鉄筋コンクリート造又はこれに類する構造とし、別に定める災害危険基準高(以下「基準高」という。)未満を居室の用に供しないもの
 (2) 基礎を鉄筋コンクリート造とし、その上端の高さを基準高以上としたもの
 (3) 地盤面の高さを基準高以上としたもの

流域治水を推進するため国、県、市で連携した取組(福知山市街地の事例)

- 流域治水を推進していくためには、あらゆる関係者が一体となって、事前防災対策に取り組むことが重要。
- 平成26年8月の豪雨被害を受け福知山市街地では、国、京都府、福知山市が連携し、排水機場整備、法川・弘法川の改修、調節池・ため池整備など、総合的な治水対策をH27年度から実施し、令和2年5月末で整備が概ね完了。
- これにより、平成26年8月豪雨と同規模の降雨に対して、床上浸水被害を概ね解消。



講演Ⅱ

「 超音波流向流速計の生態水理学への展開 」

名古屋大学 減災連携研究センター 副センター長

ライフライン地盤防災産学協同研究部門 特任教授

田代 喬 特任教授

【講演要旨】

○テーマ：「 超音波流向流速計の生態水理学への展開 」

大河川の調査や洪水流観測で使用されることの多い、超音波流向流速計 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) について、河川の生態系保全や管理に向けた最近の展開に関する国内外の研究動向をレビューしたうえで、中小河川、山地溪流や湧水河川における演者の調査事例を含めてその適用性を考察しながら紹介する。

【プロフィール】

○所属：名古屋大学 減災連携研究センター ライフライン地盤防災産学協同研究部門

○専門：河川水理学、応用生態工学、水防災学

○職歴

- ・2004年4月 独立行政法人土木研究所 自然共生研究センター 専門研究員
- ・2006年4月 名古屋大学 大学院工学研究科 助手 (2007年度から助教)
- ・2010年4月 名古屋大学 大学院環境学研究科 准教授
- ・2014年4月 名古屋大学 減災連携研究センター
ライフライン地盤防災 (東邦ガス) 寄附研究部門 准教授
- ・2017年4月 名古屋大学 減災連携研究センター
ライフライン地盤防災 (東邦ガス) 産学協同研究部門 特任教授
- ・2018年4月 名古屋大学 減災連携研究センター 副センター長 (兼務) 現在に至る

○委員会活動

- ・国土交通省中部地方整備局 中部ブロック多自然川づくりサロン アドバイザー
- ・国土交通省中部地方整備局 東海ネーデルランド高潮・洪水地域協議会 ファシリテーター
- ・愛知県 内水面漁場管理委員会 委員
- ・愛知県一宮建設事務所 新濃尾大橋 (仮称) 環境監視調査等検討委員会 副委員長
- ・豊田市 ハザードマップ作成検討委員会 委員長
- ・応用生態工学会 将来構想委員会 委員
- ・土木学会水工学委員会 環境水理部会・水害対策小委員会 委員
- ・日本陸水学会東海支部会 幹事 他

○著書等

- ・水理公式集 2018年版, 土木学会, 水工学委員会水理公式集編集小委員会編集, 2019年
- ・教育現場の防災読本, 京都大学学術出版会, 「防災読本」出版委員会編著, 中井仁監修, 2018年.
- ・Towards the Implementation of the New Urban Agenda – Contributions from Japan and Germany to Make Cities More Environmentally Sustainable, Springer, B. Müller and H. Shimizu (eds), 2017年.
- ・日本土木史 平成3年～平成22年－1991～2010－, 土木学会, 日本土木史編集特別委員会, 2017年.
- ・Labor Forces and Landscape Management: Japanese Case Studies, Springer Singapore, H. Shimizu, C. Takatori and N. Kawaguchi (eds.), 2017年. 他

超音波流向流速計の 生態水理学への展開

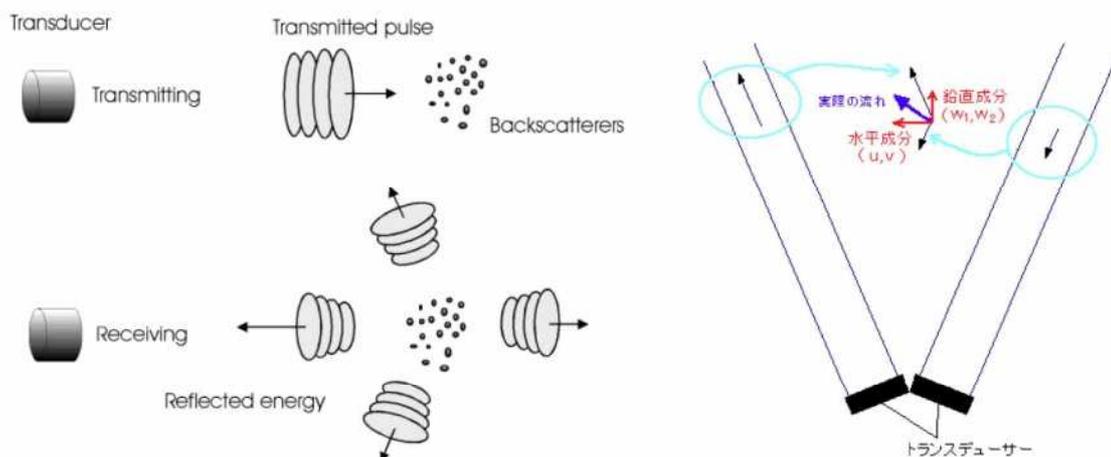
田代 喬

名古屋大学減災連携研究センター 副センター長
ライフライン地盤防災産学協同研究部門 特任教授

超音波流向流速計とは？

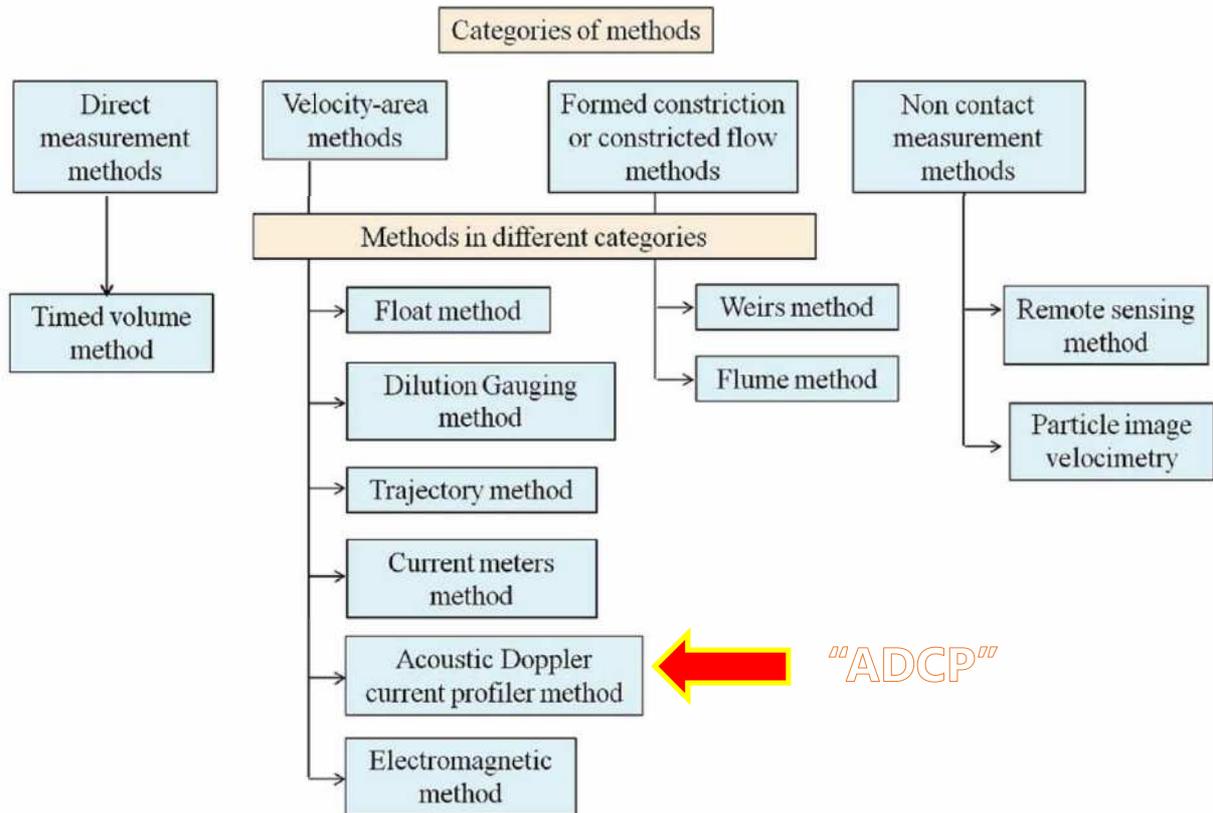
• Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)

トランスデューサーから水中に発信した超音波と、水中のプランクトン、塵等にぶつかって生じる反射波の「ドップラーシフト」を利用して、
流速鉛直分布をリモートセンシングする装置



ドップラー効果のイメージ図

ビーム発射方向に対するドップラー効果



Source: Dobriyal et al. Appl. Water Sci. 7: 2617-2628, 2017

“ADCP”の開発の歴史

- 1970年代：気流計測用のドップラーレーダーの技術を転用し、海流計測用にアメリカで最初に実用化 (Pinkel, *J. Phys. Oceanogr.* 9: 675-680, 1979)。
- 1980年代：船舶備付けソナーとしてイギリスで開発され、インド洋観測に適用 (Crocker, *Deep Sea Res.* 30: 449-467, 1982)。
- 少し遅れて日本でも海洋科学技術センター（現：JAMSTEC）が開発に成功 (Kuroda *et al.* *IEEE Proc. OCEANS'88:* 353-358, 1988)。
- 現在、最もよく利用されているのは、アメリカ **RD Instruments社**（1982年設立、後に Teledyne Technologies, Inc.の子会社化）による製品。ほかに **Sontek (Xylem社のブランド)**、Nortek社（ノルウェー）などが製作。
- 1980年代以降、**USGSのOffice of Surface Water**はメーカーと協力し、（Hydroacoustic Workgroupが中心になって、）USGS内外におけるADCPの活用を促進し強化すべく、各種情報を集約・共有するだけでなく、研修も行っている。
(<https://hydroacoustics.usgs.gov/index.shtml>)

河川流の計測に際しての問題

- 複数の水中散乱体の速度を同一とする仮定

散乱体間距離は $2z \tan \theta$

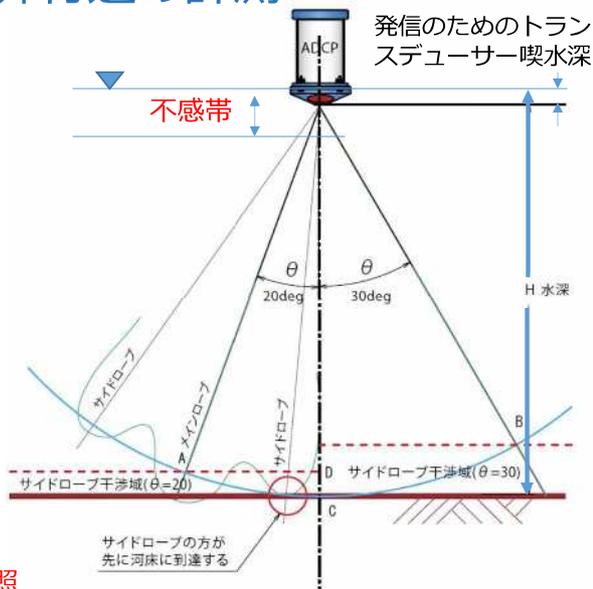
→ $z = 5 \text{ m}$ で $\theta = 25 \text{ deg}$ の場合、4.6 m

深さに依存

- 水面、底面、側岸など境界付近の計測

水面付近の不感帯は、2000年代以降、最小10cm程度にまで減少

底面付近は、サイドローブにより、 $H(1 - \cos \theta) \doteq 0.1 H$ ($\theta = 25 \text{ deg}$ の場合) が干渉域

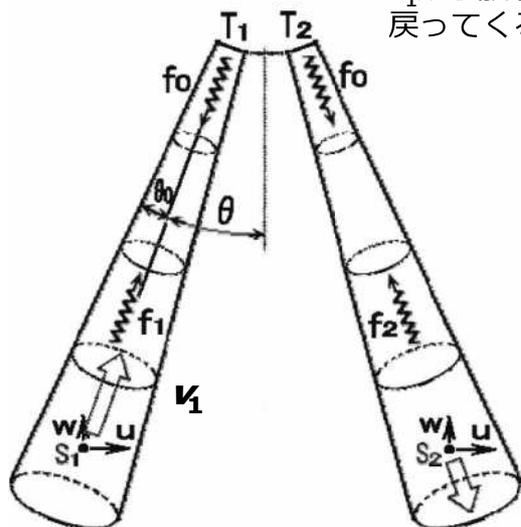


- 河床変動の影響
- 測定時のADCPの傾き
- 高濁度時の測定欠損

※詳細は、橋田他(2006)河川技術論文集12: 133-138, 二瓶(2008)土木学会論文集B64(2): 99-114などを参照

流速測定の仕事

T_1 から放射された超音波(振動数 f_0)が S_1 で散乱された後、戻ってくるときの振動数 f_1 は「ドップラー効果」により



$$f_1 = f_0 \frac{c + v_1}{c - v_1} \approx f_0 \left(1 + 2 \frac{v_1}{c} \right)$$

$v_1 = w \cos \theta + u \sin \theta$ であるから

$$f_1 = f_0 \left[1 + \frac{2(w \cos \theta + u \sin \theta)}{c} \right]$$

同様に

$$f_2 = f_0 \left[1 + \frac{2(w \cos \theta - u \sin \theta)}{c} \right]$$

となるから

したがって

$$u = \frac{(f_1 - f_2)c}{4f_0 \sin \theta}, \quad w = \frac{(f_1 + f_2 - 2f_0)c}{4f_0 \cos \theta}$$

- 1対のトランスデューサー T_1 と T_2 を考える
- 水中の散乱体は同じ速度 $c(u, w)$ で動いている
- 散乱体が海水に載って動いていれば、 d は流速とみなせる

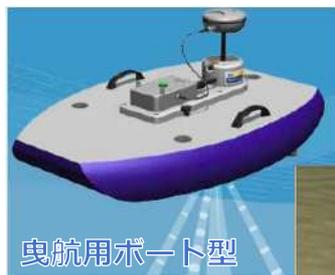
※詳細は、金子・伊藤(1994)海の研究3(5): 359-372などを参照

ADCPによる観測の概要

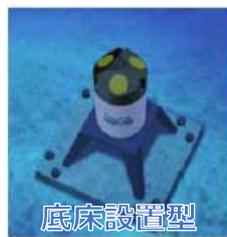
出典：Xylem社ドップラーカタログ

・移動観測

- 移動方法の検討
- 位置情報把握
GPS&ボトムトラッキング
- ADCP本体だけで済まない

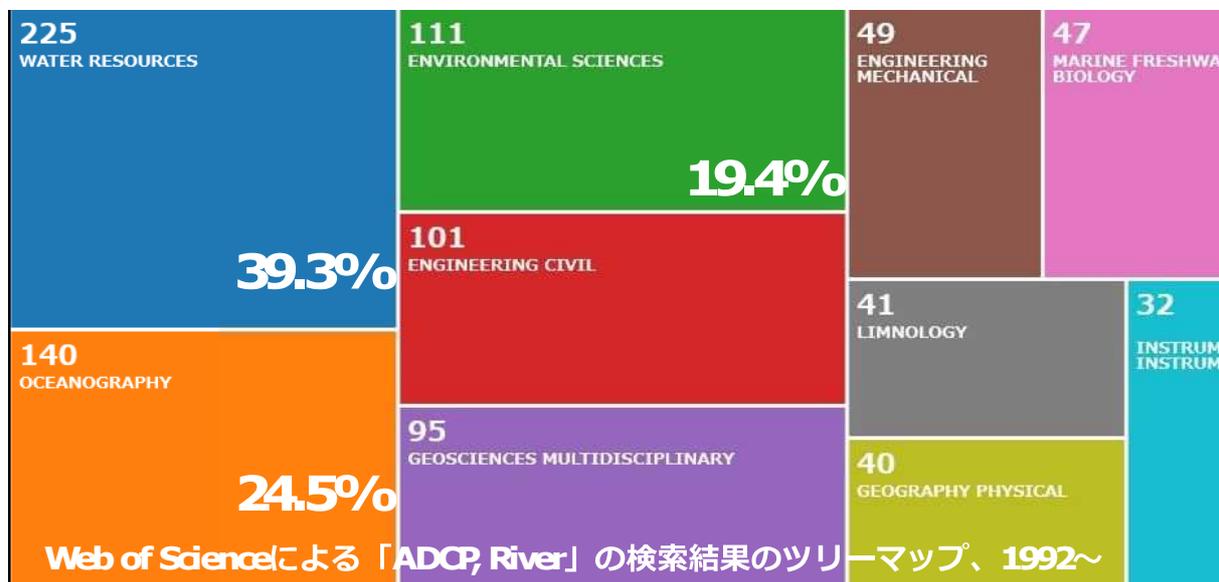


・定点観測

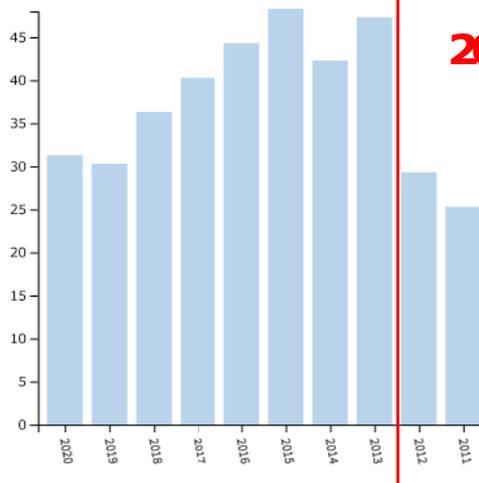


ADCPを使った国内外の研究動向①

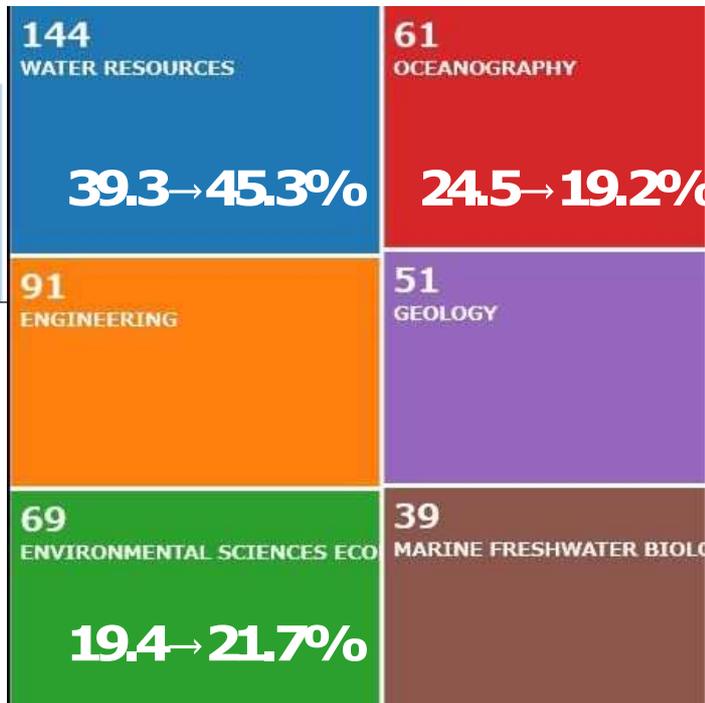
- ・ 洪水流、流量、流砂量、底質特性の観測
- ・ 局所洗堀、蛇行部など含む特殊流れ場の観測
- ・ 精度検証、生息場所適性の評価



ADCPを使った国内外の研究動向②



2013年以降に急増



- Oceanography減少
- Geology急増
- Water Resources増
- Env. Sci. Ecol.微増

LETTER

Nature 513: 534-537

doi:10.1038/nature13779

Flow in bedrock canyons

Jeremy G. Venditt¹, Colin D. Rennie², James Bomhof², Ryan W. Bradley¹, Malcolm Little² & Michael Church³

Bedrock erosion in rivers sets the pace of landscape evolution and determines the size, relief of mountains^{1,2}. A variety of models link fluid flow, sediment transport processes to bedrock incision in canyons. The models that represent sediment transport processes are highly well developed³⁻⁵. In contrast, the models that represent fluid flow are largely untested because there are variations of the flow structure in bedrock canyons. Here we use a 524-kilometre, continuous centreline, acoustic Doppler current survey of the Fraser Canyon in western Canada, which includes individual bedrock canyons. Our observations of three-dimensional flow structure reveal that, as water enters the canyons, a high core follows the bed surface, causing a velocity inversion (fast flow near the bed and low velocities at the surface). The plume then upwells along the canyon walls, resulting in counter-rotating flow structures that diverge near the canyon exit. The resulting flow structure promotes deep scour in the bedrock floor and undercutting of the canyon walls. This provides a mechanism for channel widening and ensures that the base of the wall is clear of the debris that is often deposited there, keeping nearly vertical. These observations reveal that the flow structure in bedrock canyons is more complex than assumed in the models used. Fluid flow models that capture the essence of three-dimensional flow fields, using simple phenomenological rules that are computationally tractable, are required to capture the dynamic coupling between flow, bedrock erosion and solid-Earth dynamics.

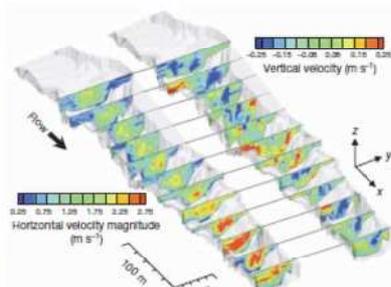
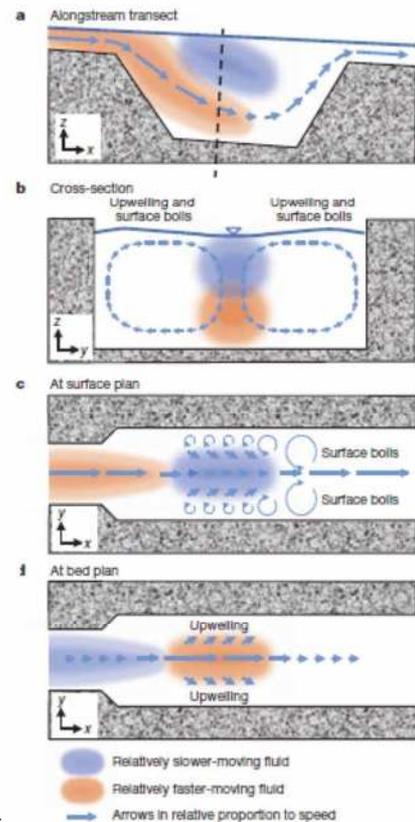
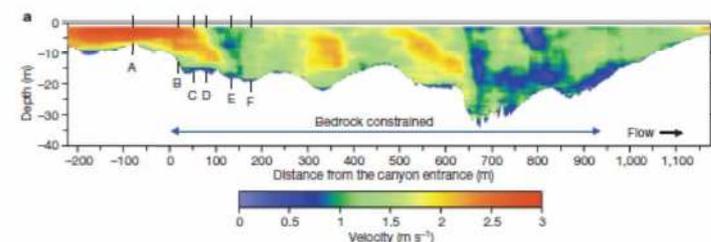


Figure 2 | Cross-sections of horizontal velocity magnitude and vertical velocity in Black Canyon downstream of a constriction. See Supplementary Video 1 of the horizontal velocity magnitude and Supplementary Video 2 of vertical velocity field through the whole measurement section.



- 岩盤に拘束された河川の3次元流れを詳細に分析

Optimizing attraction flow for upstream fish passage at a hydroproj dam employing 3D Detached-Eddy Simulation

David C. Gisen^{a,*}, Roman B. Weichert^a, John M. Nestler^b

^a Federal Waterways Engineering and Research Institute (BAW), Kußmaulstr. 17, 76187 Karlsruhe, Germany
^b Fisheries & Environmental Services, 9320 Mt. Moriah Road, Edwards, MS 39066, USA

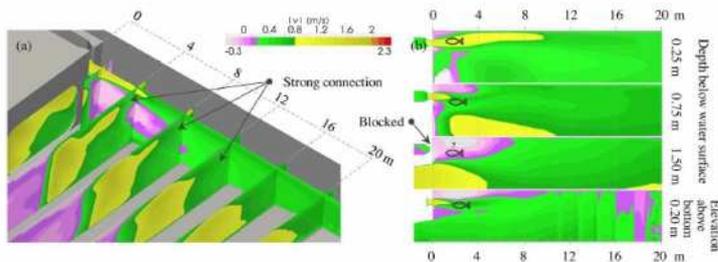


Fig. 6. Low flow conditions: (a) Transects and (b) plan views of the tailrace for medium attraction flow rate $Q_{attr} = 1.00 \text{ m}^3/\text{s}$. Results from the other two simulations were similar and are not depicted. See Fig. 5 for color and symbol explanations.

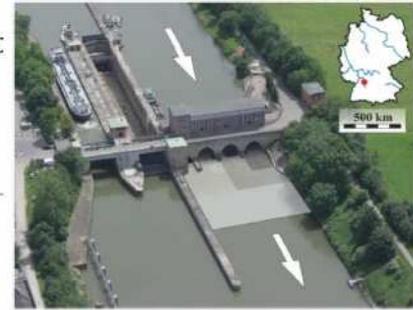


Fig. 1. Aerial view of Kochendorf double navigation lock (left), powerhouse (right), and tailrace model area (highlighted, darker areas show increasing mesh density). Inset shows site location (dot) at the Neckar River with respect to the German federal waterways (Courtesy Amt für Neckararabau Heidelberg). Decimal degree coordinates: N 49.217348 E 9.207492.

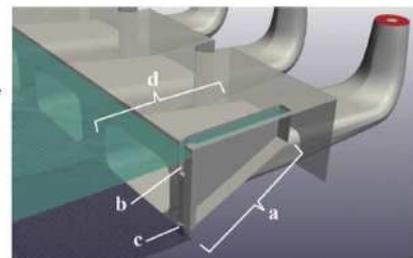


Fig. 2. (a) Left bank entrance pool of the projected fishway with (b) surface notch (0.5 m wide x 1.1 m high during low tailrace water level W_{low}) and (c) submerged orifice (0.5 m wide x 0.5 m high) adjacent to (d) the draft tube extensions. Flow from right (inlets) to left.

- 発電ダム魚道における水理状況を、3次元水理解析とADCP観測により詳細に分析

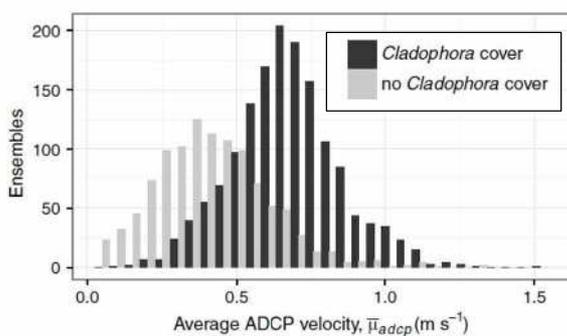
J. Environ. Eng., 2020, 146(3): 04019126



ASCE

Evaluating Hydraulic Habitat Suitability of Filamentous Algae Using an Unmanned Aerial Vehicle and Acoustic Doppler Current Profiler

Kyle F. Flynn, Ph.D., P.E., M.ASCE¹; and Steven C. Chapra, Ph.D., F.ASCE²

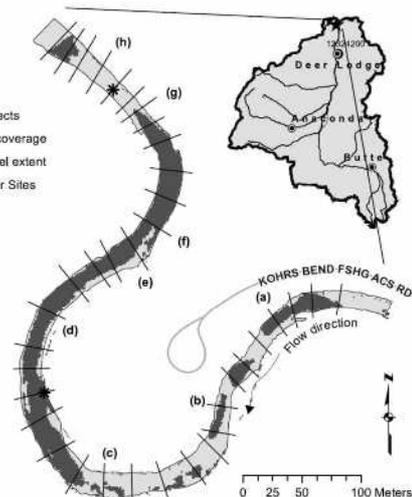


— ADCP Transects

■ Cladophora coverage

□ Active channel extent

* Current Meter Sites



UAVで観測した
Cladophora (大型糸状緑藻、カワシオグサ) の分布する水理条件を記述

Table 2. Summary statistics of ADCP velocity measurements made on the Clark Fork River

Image date and source	Category	Statistic	\bar{u}_{ADCP} (m s^{-1})	\bar{u} (m s^{-1})	$s_{0.8}$ (m s^{-1})	u_w (m s^{-1})	Depth (m)	$R^{2,3}$
June 28, 2013 UAV (0.25 m)	Cladophora covered	Mean (μ)	0.67	0.65	0.68	0.071	0.42	0.71
		Std. dev. (σ)	± 0.18	± 0.17	± 0.19	± 0.058	± 0.14	
		Completeness ^b	66%	43%	66%	56%	100%	
	No Cladophora cover	Mean (μ)	0.41	0.39	0.41	0.05	0.53	0.72
		Std. dev. (σ)	± 0.19	± 0.18	± 0.20	± 0.055	± 0.24	
		Completeness ^b	72%	43%	72%	55%	100%	
July 10, 2013 NAIP (1 m)	Cladophora covered	Mean (μ)	0.69	0.66	0.7	0.075	0.42	0.71
		Std. dev. (σ)	± 0.18	± 0.17	± 0.20	± 0.061	± 0.14	
		Completeness ^b	64%	41%	64%	54%	100%	
	No Cladophora cover	Mean (μ)	0.44	0.42	0.44	0.049	0.51	0.72
		Std. dev. (σ)	± 0.19	± 0.19	± 0.20	± 0.051	± 0.23	
		Completeness ^b	73%	45%	73%	57%	100%	

¹The R^2 reflects the average of all individual regressions used to characterize the unmeasured portion of the velocity profile (i.e., either log- or power-law), for which values less than 0.4 were excluded from the average (see the Methods section).
²Completeness reflects the percentage of cross-section ensembles for which calculated attribute data were available to develop statistics.

なぜ、いま河川生態に ADCPなのか？

(足りない部分を補うために・・・)

- 生物は一カ所に留まってくれない
生息場所の空間的変異、連結性を短時間で把握可能！
 - 他のリモートセンシング技術は、地形・画像情報に留まる
地形把握⇔数値解析・・・だけではわからない物理環境！
 - 水中の情報を高精度に、一度に大量に取得可能
他計器の計測結果、数値解析の有効な検証材料！
目的次第も、工夫次第でひとりでも実施可能！
- (自分勝手な主張：プロトコルも取得情報も自分仕様に)
- 最近のADCPは「初心者」に優しい
難しいコマンドが分からなくても後処理・分析が可能！
 - (おまけ) 若手研究者が頑張っってギリギリ届く？ 価格設定
200~700万程度、仕様次第でバリエーション！

試行錯誤の研究経過 の紹介

①実河川における複雑な流れ場の可視化

田代ほか, 2014年度日本陸水学会東海支部会研究発表会にて発表



流速計測の実際

- 固定設置と可搬式
- 接触と非接触
- 点と線(面)
- 一方向と多方向

本報で紹介する超音波流速計, ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) は, **流向・流速の鉛直分布**を計測でき, 移動しながらの計測により, **水理学的仮定**を必要とせずに河川水流量を算出可能な唯一の計測機器(萬矢ほか, 2012).



1次元電磁流速計(一方向, 点計測)



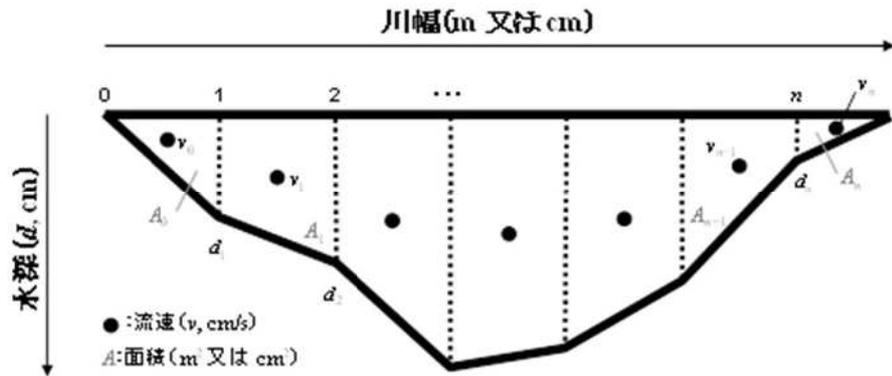
写真は現在販売中のSentinel ADCP

Teledyne RD Instruments社が開発したADCP 複数の超音波ビームを送受信可能なセンサーを備え, 水中懸濁物に反射して戻る際に生じる周波数の変化から流れ場を計測. 現在, 開発から30年余り経過.

流量観測における水理学的仮定

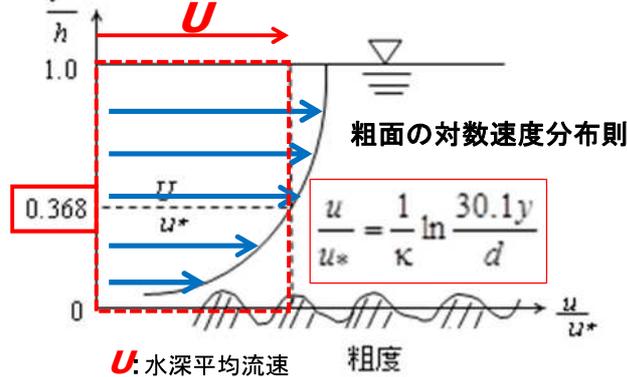
1次元流速計を用いた流量観測

横断面を分割した短冊状の各領域内で、**代表流速** (右図の●)と水深を測り、これらを掛け合わせて積分する



出典:身近な水の世界科学[実習・測定編]-自然のしくみを調べるために-

開水路(河川)における流速分布のモデル

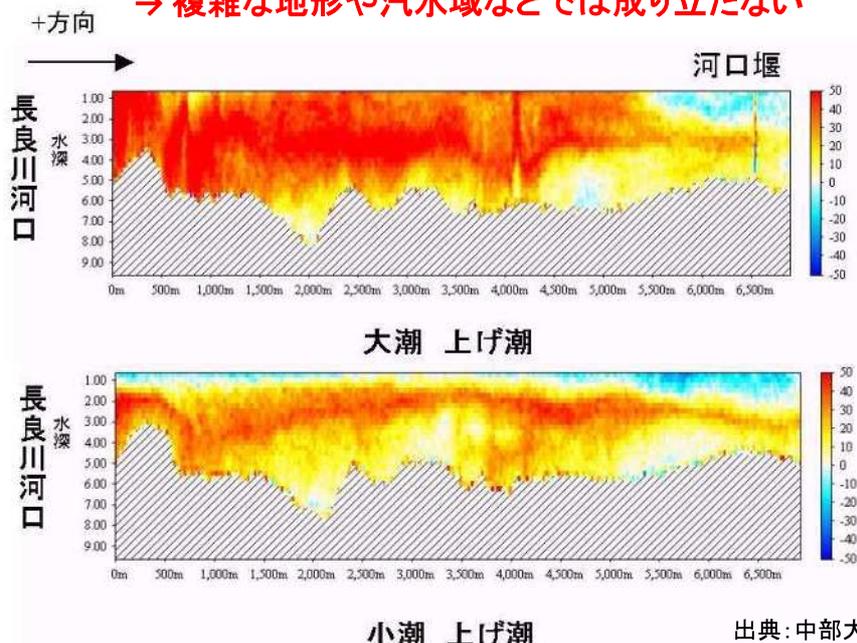


左図のモデル(≡水理学的仮定)では、局所流速 u が水深平均流速と等しくなる高さは水深 h の 0.368 倍

代表流速は、水面から60%の深さで計測すればよい

水理学的仮定はどのような場で成り立つか？

=直線で同じ断面が続く水路やそれに準ずる流れ場
→ 複雑な地形や汽水域などでは成り立たない



長良川河口域の流心でとった流速の鉛直方向分布 (赤色は北流、青色は南流)

可搬式超音波流速計を用いた観測の概要 (本調査の例)



ハイドロボードに据え付けられた
超音波流速計※と移動局GPS受信機

※本調査では、RiverSurveyor M9
(SonTek/YSI 後述)を使用

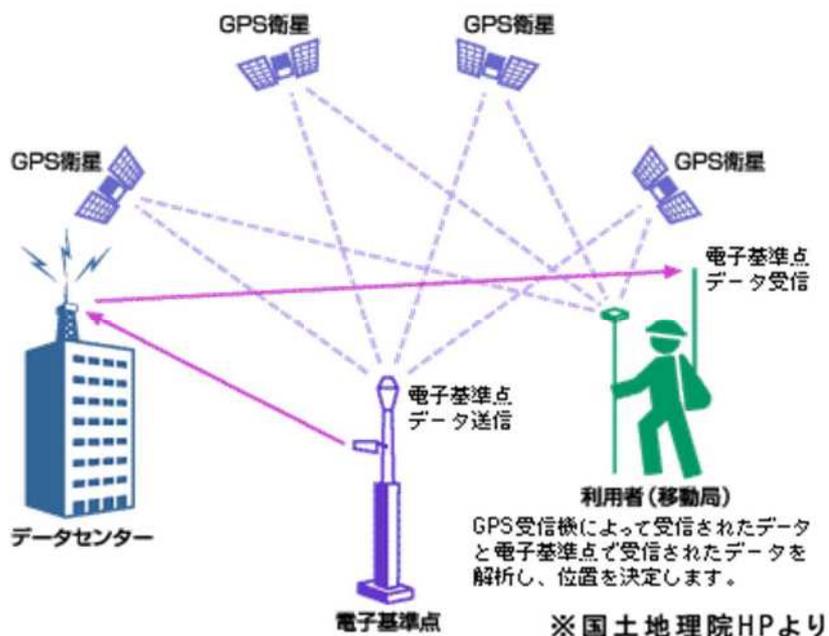


見通しの良い場所に設置された
固定局GPS受信機

SonTek RiverSurveyor M9(Xylem / YSI nanotech) の特徴

	S5	M9	計測範囲
基本仕様			
流速計測			流速計測
-計測範囲(距離)	0.06m ~ 5m	0.06m ~ 40m	・機器からの距離: 0.06m ~ 40m
-計測範囲(流速)	+/- 10 m/s	+/- 10 m/s	・範囲: ±10m/s
-計測精度	最大 +/- 0.25% (計測値) または +/- 0.2cm/s	最大 +/- 0.25% (計測値) または +/- 0.2cm/s	・精度: ±0.25% or ±0.2 cm/s
-分解能	0.001 m/s	0.001 m/s	・分解能: 0.001 m/s
-セル数(層数)	最大128	最大128	・セルサイズ: 0.02m ~ 4m (最大128層)
-セルサイズ	0.02m ~ 0.5m	0.02m ~ 4m	
トランスデューサ			水深計測
水深計測			・範囲: 0.20m ~ 80m
-トランスデューサ数5; 4ビーム: 3.0MHz (流速用) 取付角25度; 垂直ビーム1.0MHz (水深用)		トランスデューサ数9: 3.0MHz・1.0MHzそれぞれ 4ビーム 取付角25度; 垂直ビーム0.5MHz (水深用)	・精度: 1%
-計測範囲	0.20m ~ 15m	0.20m ~ 80m	・分解能: 0.001 m
-計測精度	1%	1%	
-分解能	0.001m	0.001m	トランスデューサー
流量計測			✓ 2対(×2バリエーション※) + 1
-計測可能水深(トトラック利用時)	0.3m ~ 5m	0.3m ~ 40m	✓ 2対の取付角度: 25度
-計測可能水深(RTK GPS利用時)	0.3m ~ 15m	0.3m ~ 80m	
-流量計算	プロセッサ内部	プロセッサ内部	※水深5mを境に自動切換え

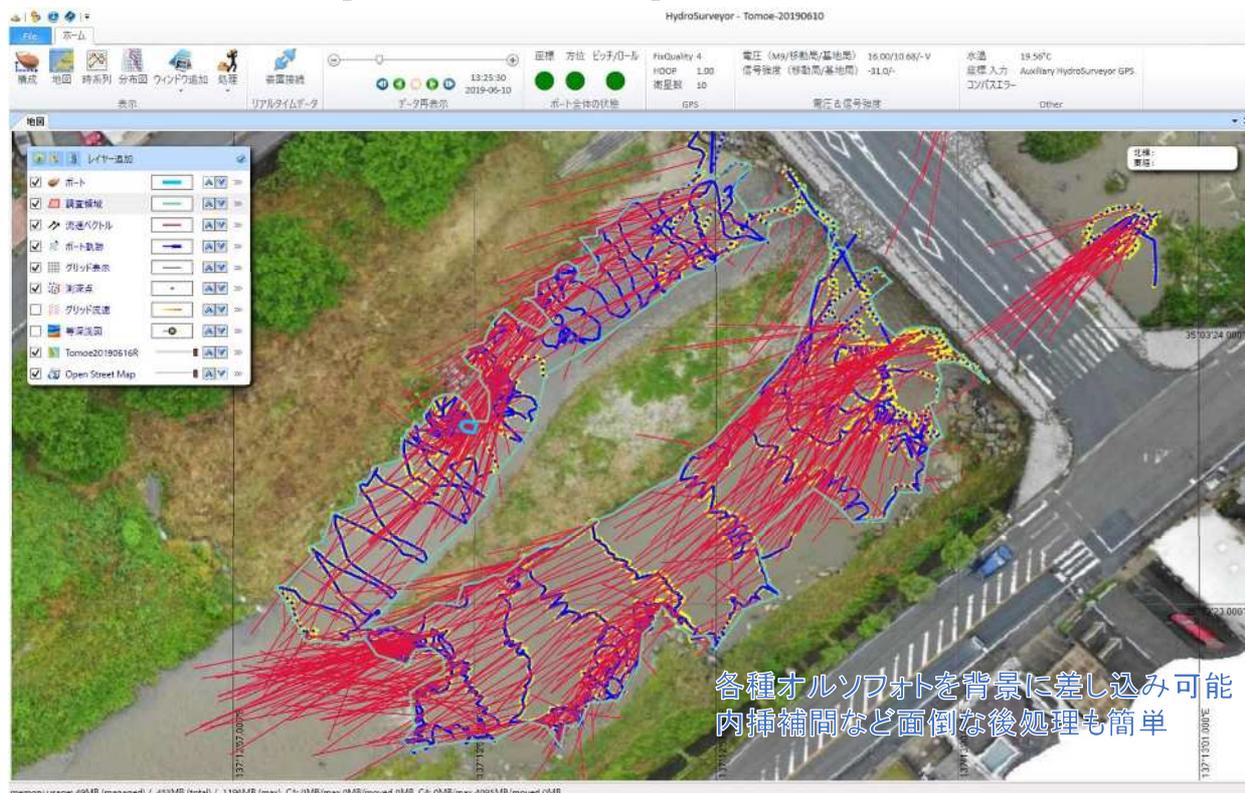
主要なオプション: RTK (Real Time Kinematic) - GPS



移動局の正確な位置 (xyz方向) が1cm程度の精度で求められる

SonTek HydroSurveyor

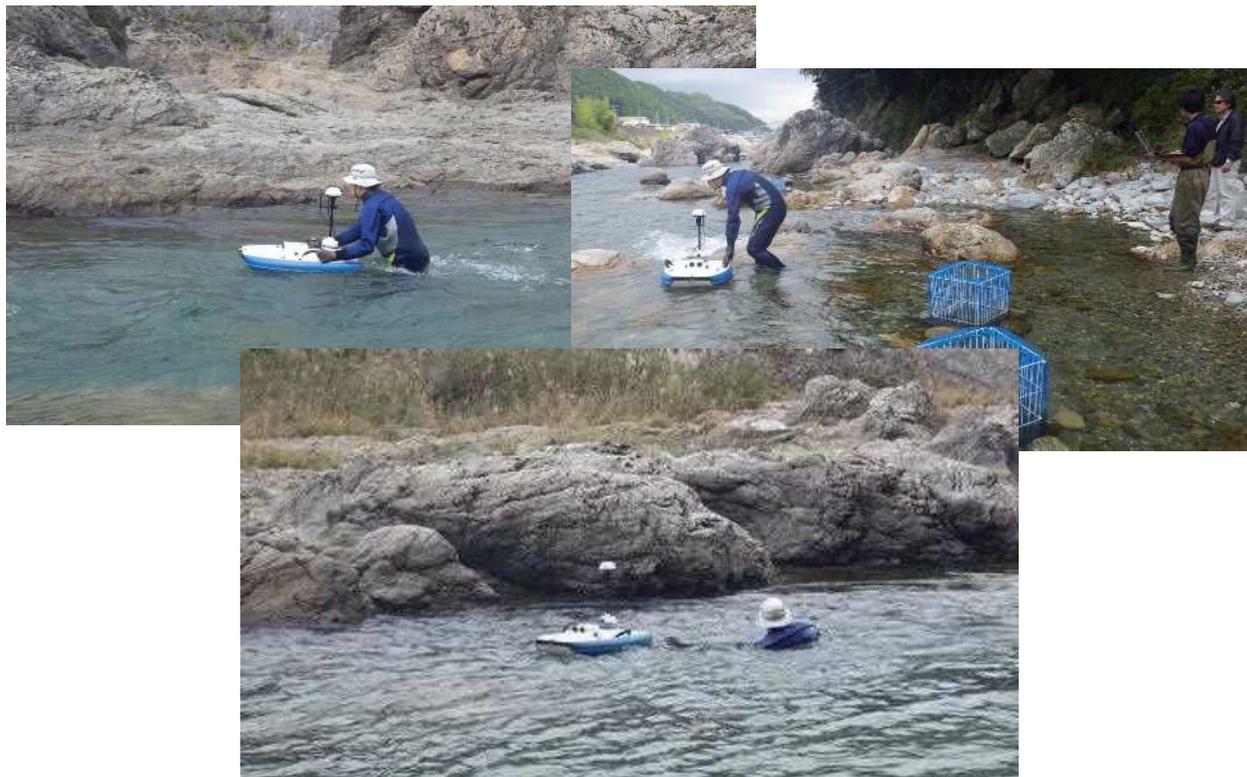
直感的で分かりやすい
GUIインターフェース



各種オルソフォトを背景に差し込み可能
内挿補間など面倒な後処理も簡単

調査風景

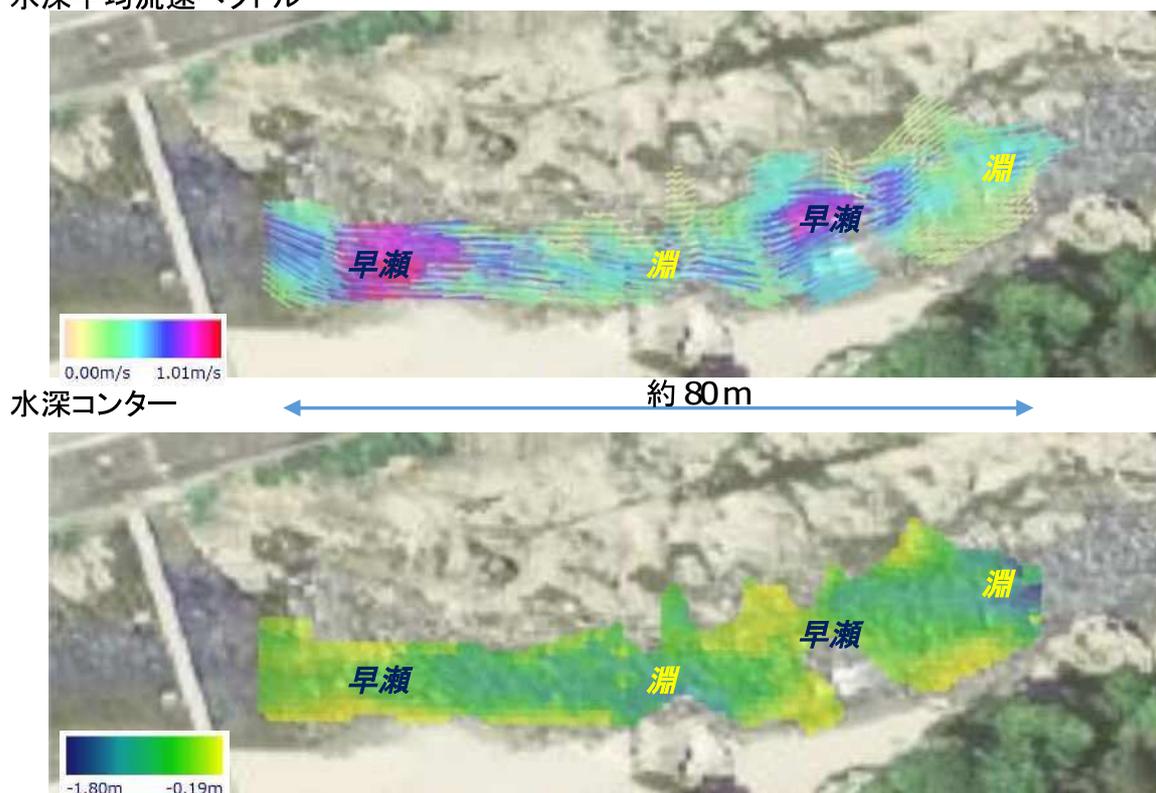
2014年10月30日に実施



流されそうになりながら(一時流されながら)も約90mの流路長の範囲を正味1時間程度で計測

観測結果を用いた流れ場の可視化

水深平均流速ベクトル

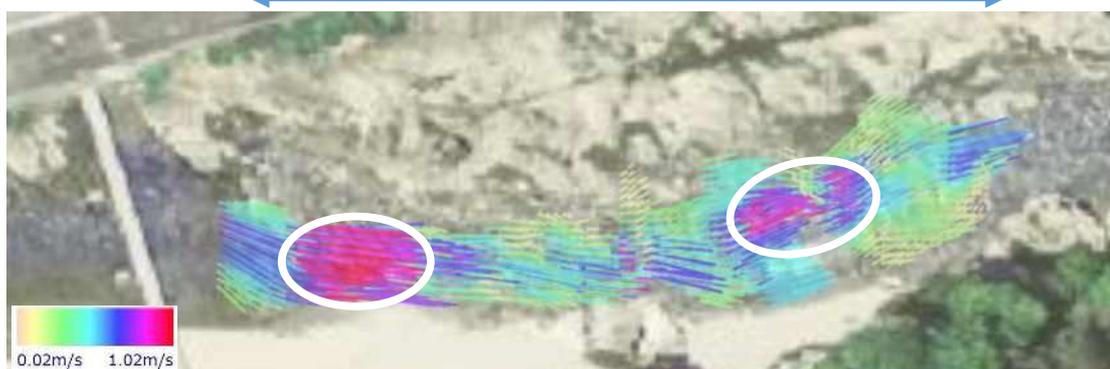


背景の空中写真は三重県自治会館提供

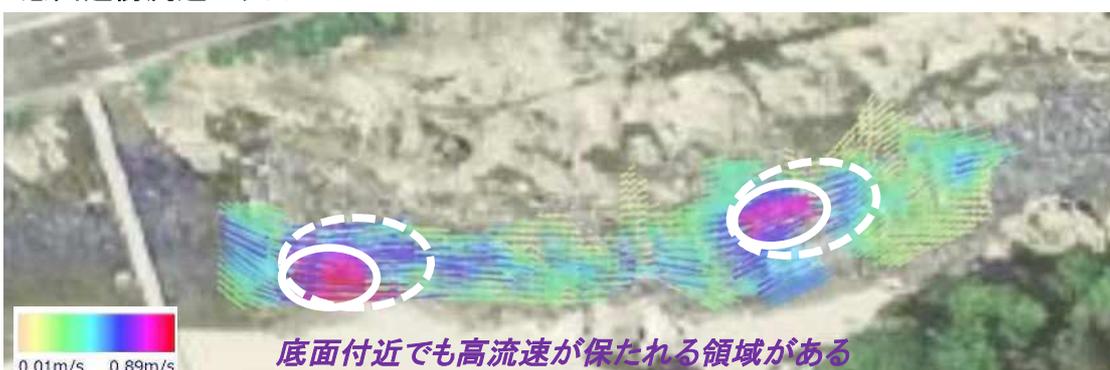
早瀬を対象とした鉛直方向の流れの変化

表面流速ベクトル

約 80m



底面近傍流速ベクトル



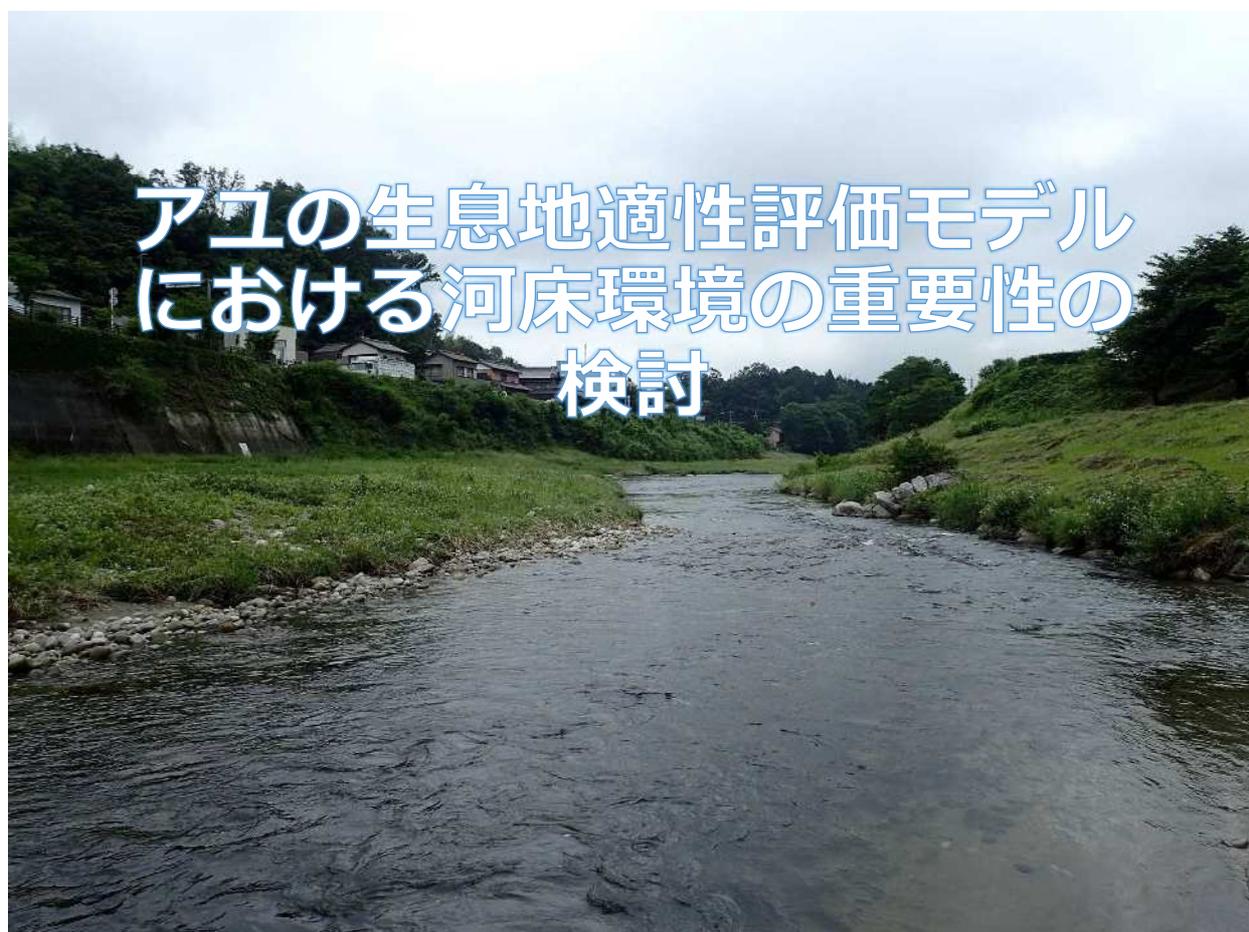
まとめ

- RTK-GPS基地局設置などの準備時間(30分程度)を勘案しても、**90m長程度のリーチを対象とする調査時間は延べ1時間半程度(調査人員3名)**であった。**調査コストを大幅に軽減できたものと思われる。**(・・・発表者の経験上、**1~3次元(点計測)の流速計**、同じ調査員数で同様の分布を得ようとする、丸一日前後要する。)
- (機器の特性上、河床近傍の流速分布は測れないが、) **岩盤が露出し複雑で入り組んだ形状の礫床河川でも、流れ場を把握し可視化できた。**
- (本機器の解析ソフト、HydroSurveyor(SonTek社)による) **底面近傍の流速分布は、河床近傍の生息場所解析に適用できるか検証が必要だが、流れ場の3次元性を表現するうえで有効である可能性が示唆された。**

試行錯誤の研究経過 の紹介

①生息場適性のための底質指標

宇佐美ほか, 河川技術論文集26 : 361-366, 2020に発表



背景・目的

◆ 研究背景

- (1) ダム下流の河床の粗粒化が問題となっており、その改善策として土砂還元事業が計画、実施されている。
→土砂供給の際には生物の応答の把握が必要不可欠である。
- (2) これまで魚類の生息地適性評価は、水理量（水深と流速）に基づいて行われていたが、近年では河床環境も重要であると指摘されている。
→アユについては、石礫が細粒土砂で埋もれていない（露出高が大きい）状態を好むことが報告されている。



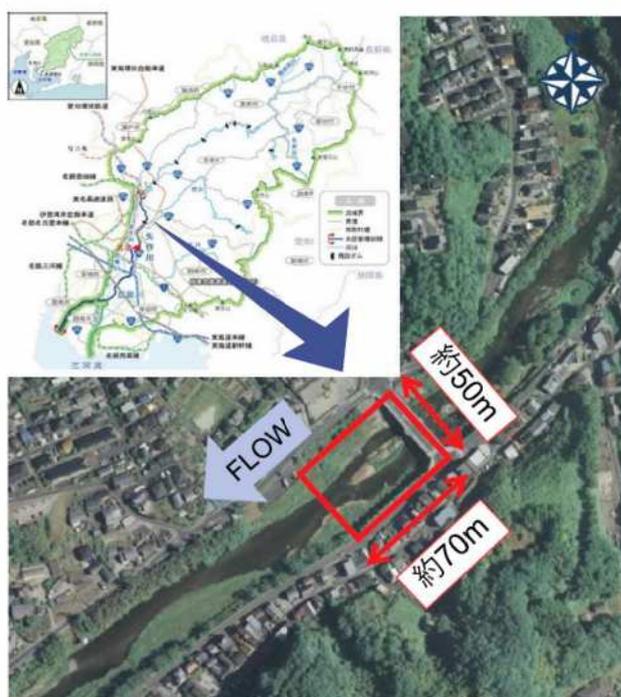
◆ 研究目的

本研究では、なわばりアユを対象として、水理量に基づく生息地適性評価モデルの再現性を確認し、河床環境を導入することの必要性を検討する（佐木研究所HP）

出典：宇佐美（埼大）卒論発表資料

方法

①対象地点



- 場所
愛知県豊田市
- 河川名
矢作川水系巴川
(合流から上流約5km地点)
- 検証領域（図の赤枠内）の特徴
 - アユとその餌資源である付着藻類が生息・繁茂
 - 河床材料が2粒径集団
(大礫と粗砂)
 - 中州を挟んで分流

対象地点（出典；国土地理院HP，国土交通省HP）

出典：宇佐美（埼大）卒論発表資料

方法

①対象地点

◆ 現地観測

- (1) 2019/6/10 ADCPを用いた水深, 流速, 標高の観測
- (2) 2019/9/7-8 なわばりアユの分布調査
- (3) 2019/9/19 UAVを用いた空撮



UAVオルソ画像 (ADCP: 青色点群)

分流する2つの流路において、
河床環境の違いを確認した。



流路Nは河床表面の砂被度が小さく、
流路Sは逆に大きい傾向を確認した。



流路N (赤丸枠) 流路S (橙丸枠)

出典: 宇佐美 (埼大) 卒論発表資料

方法

②生息地適性評価モデル

■ 使用モデル

溝口ら(2015)が構築した平面2次元解析モデルを使用

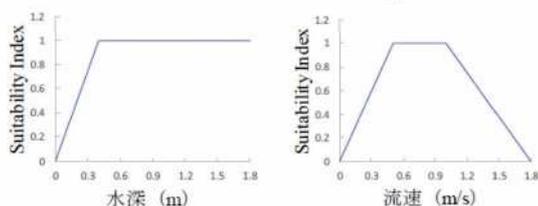
■ 入力条件

- 水位, 流量は観測所のデータを使用
- 地形データは空撮写真から作成したDEM

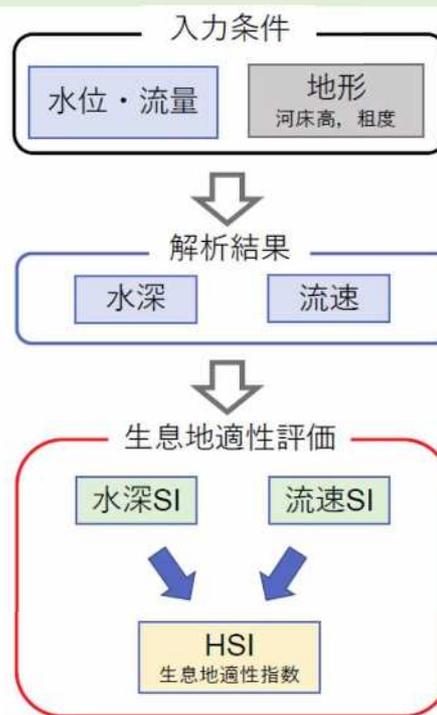
■ 生息地適性評価

水深と流速のSI(Suitability Index)曲線をもとになわばりアユの生息地適性を評価する。

$$HSI = (SI_h \times SI_v)^{1/2} \quad \left(\begin{array}{l} SI_h: \text{水深SI} \\ SI_v: \text{流速SI} \end{array} \right)$$



アユのSI曲線 (水深と流速)

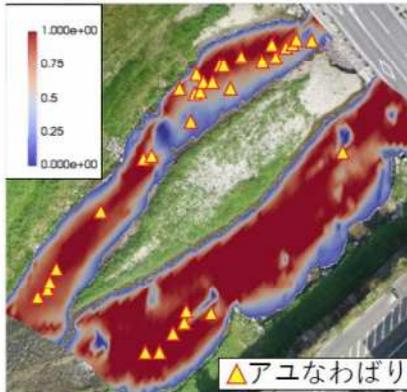


モデルの概要

出典: 宇佐美 (埼大) 卒論発表資料

結果と考察

◆ 平水時のHSIとアユのなわばり分布の比較



HSIとアユのなわばり分布

- HSIの高いエリアになわばりが形成されている。

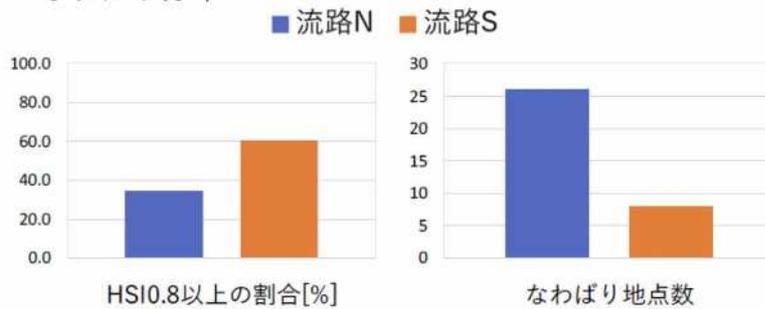


水理量だけでもある程度の生息地適性評価が可能。

- 適性がより高いと思われる流路Sよりも、流路Nの方がアユのなわばり密度が大きい。



一因として、河床環境の違いが考えられる。



出典：宇佐美（埼玉大）
卒論発表資料

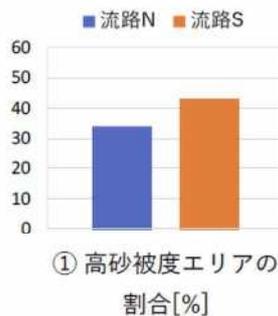
結果と考察

◆ 河床環境の影響の検討

①画像解析で河床表面の砂被度が高い部分を検出し2流路で比較。



画像解析の結果



① 高砂被度エリアの割合[%]

流路Nは細粒成分が少なく、流路Sは多い。

出典：宇佐美（埼玉大）
卒論発表資料

②ADCP標高データを用いて20cm方形区のばらつき（凹凸）を確認。

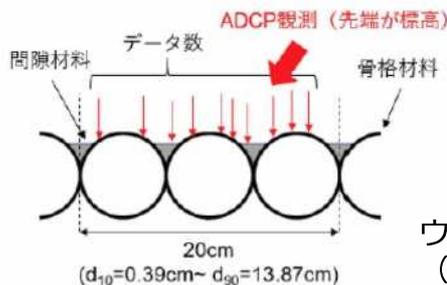


表-1 河床凹凸指標（標高データの標本標準偏差）

	平均値(cm)	不偏分散(cm ²)	サンプル数
流路N上流域	3.2	0.15	49
流路S中流域	2.2	0.01	36

ウェルチのt検定より両者の平均値に有意差（ $P<0.05$ ）。

大礫が露出する流路N上流域と、小礫が堆積する流路S中流域の河床の鉛直構造の違い、

結論

◆ 本研究で行ったこと

- 河床環境に違いがある2つの流路における、
 - 水理量に基づいたなわばりアユの生息地適性評価
 - 適性評価の結果となわばりアユの分布との比較

◆ 得られた成果

- 水理量だけでもある程度は生息地評価ができることを確認
- 水理量だけでは説明できない領域も確認
- 河床環境がなわばり分布の要因であることを示唆

土砂還元などで河床環境が変化する要因が増えている。



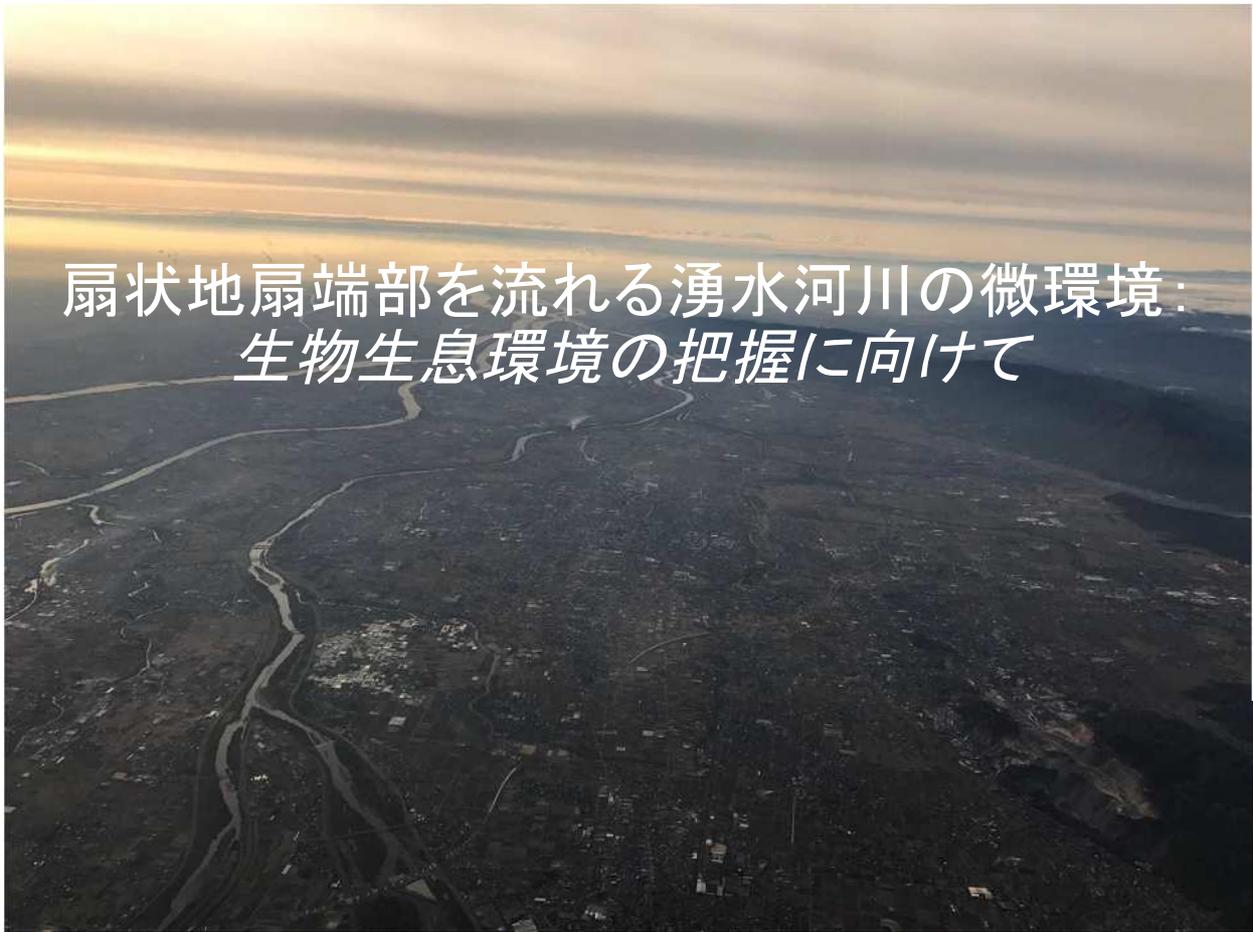
今後、**露出高等の河床環境を考慮すること**で、
より高い精度で生息地適性評価を行うことが期待される。

出典：宇佐美（埼大）卒論発表資料

試行錯誤の研究経過 の紹介

②湧水河川における流量の縦断的变化

国土交通省河川砂防技術開発公募事業・地域課題分野（河川生態）「木曾三川流域における生物群集と対象とした河川生態系の管理手法に関する研究」（2017-2020、代表：森誠一）として実施中



扇状地扇端部を流れる湧水河川の微環境：
生物生息環境の把握に向けて



濃尾平野ほぼ全景: 岐阜県西濃地域(本巣市)から伊勢湾を望む

津屋川(岐阜県海津市)

◆流域面積71.2km²

◆幹線流路延長12.6km

伊勢湾

木曾川
羽島

長良川

海津

揖斐川

★
津屋川

養老山地

養老山地

津屋川

2016.8.12

養老山地の東斜面に
小規模扇状地が多数形成

津屋川は扇状地末端部を
縫うように流下

2016.11.25 名古屋-熊本便から撮影

調査地(津屋川)選定の背景





調査地近景



調査項目

- 水温・水質、水位の連続観測：投込み式ロガー
 - 2016/6/7～（継続中，10 min～1 hr毎） *起源の異なる水塊の判定*
水深：HOBO U20(L)、電気伝導度：U24-001(Onset社)
 - 2016/11/28～12/2(10 min 毎)ほか *生産・呼吸の測定*
溶存酸素濃度：HOBO U26(Onset社)
- 流況の計測：超音波式流向・流速計ADCP *流れ場を直接計測*
 - 2016/6/7, 12/2, 2017/6/13の3回実施



ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler

使用機器：RiverSurveyor M9(SonTek/YSI)

水深15cm以上であれば計測可能！

RTK-GPSにより高精度な位置情報を記録しながら、水面下の水深および3次元流速場を計測

RiverSurveyor M9(SonTek/YSI nanotech) の特徴

従来のADCPよりも浅水流の3次元場が計測できるように！

	S5	M9
基本仕様		
流速計測		
-計測範囲(距離)	0.06m ~ 5m	0.06m ~ 40m
-計測範囲(流速)	+/- 10 m/s	+/- 10 m/s
-計測精度	最大 +/- 0.25% (計測値) または +/- 0.2cm/s	最大 +/- 0.25% (計測値) または +/- 0.2cm/s
-分解能	0.001 m/s	0.001 m/s
-セル数(層数)	最大128	最大128
-セルサイズ	0.02m~0.5m	0.02m ~ 4m
トランスデューサ		
-トランスデューサ数5;		トランスデューサ数9;
-4ビーム:3.0MHz(流速用)		3.0MHz・1.0MHzそれぞれ
-取付角25度;		4ビーム 取付角25度;
-垂直ビーム1.0MHz(水深用)		垂直ビーム0.5MHz(水深用)
水深計測		
-計測範囲	0.20m ~ 15m	0.20m ~ 80m
-計測精度	1%	1%
-分解能	0.001m	0.001m
流量計測		
-計測可能水深(トトラック利用時)	0.3m ~ 5m	0.3m ~ 40m
-計測可能水深(RTK GPS利用時)	0.3m ~ 15m	0.3m ~ 80m
-流量計算	プロセッサ内部	プロセッサ内部

計測範囲

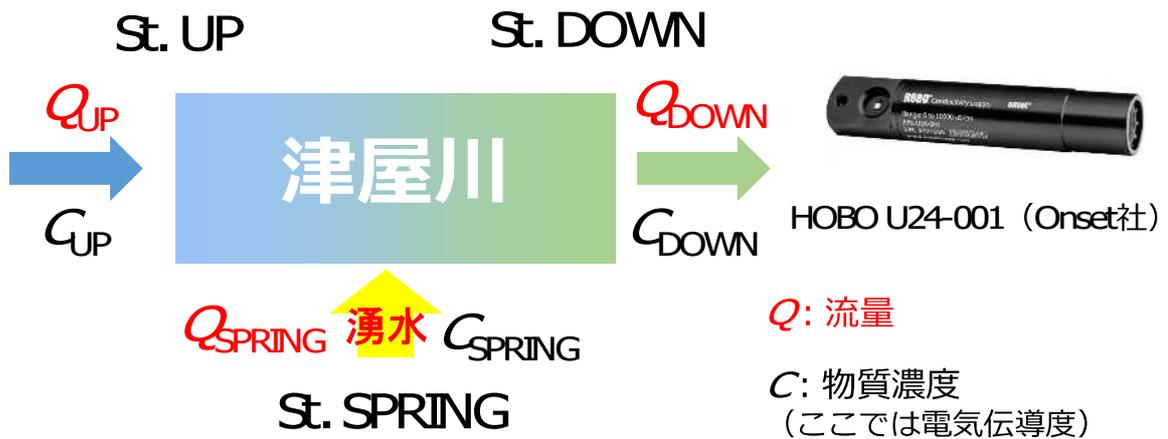
流速計測

- ・機器からの距離：**0.06m～40m**
- ・範囲：**±10m/s**
- ・精度：**±0.25% or ±0.2cm/s**
- ・分解能：**0.001 m/s**
- ・セルサイズ：**0.02m～4m**
(最大128層)

水深計測

- ・範囲：**0.20m～80m**
- ・精度：**1%**
- ・分解能：**0.001 m**

電気伝導度を用いた水収支推定



起源の異なる水塊の判定

※他水塊の流入無く完全混合として連続式を適用

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{UP} + Q_{SPRING} = Q_{DOWN} \\ C_{UP} Q_{UP} + C_{SPRING} Q_{SPRING} = C_{DOWN} Q_{DOWN} \end{array} \right.$$

流量比を評価

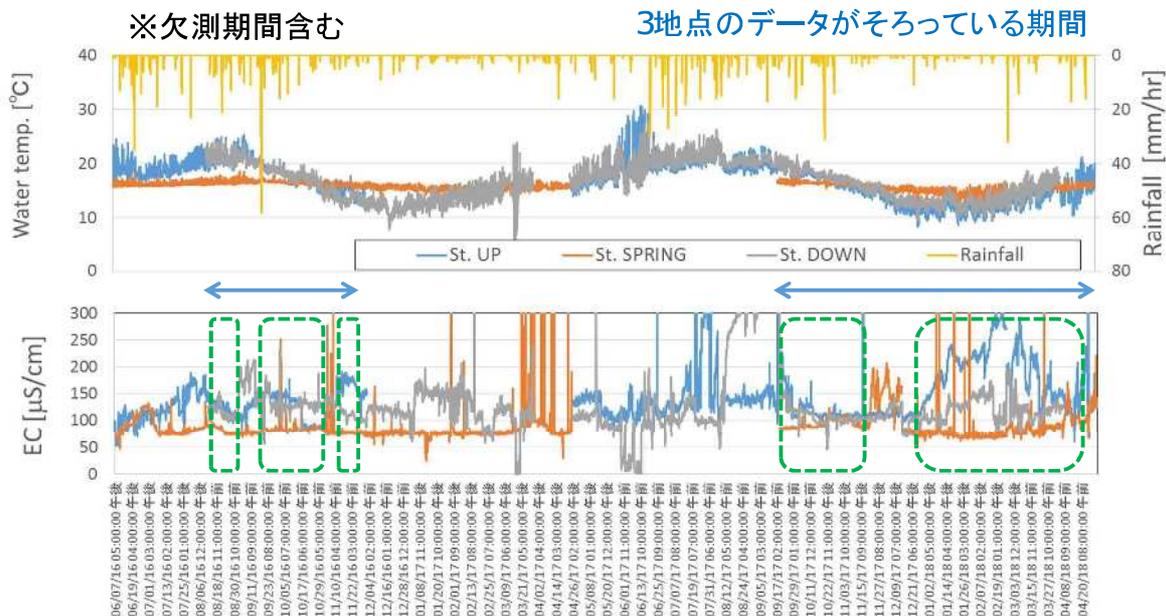
湧水寄与度:

$$Q_{SPRING} / Q_{DOWN}$$



調査期間中の水温・電気伝導度 (EC) の変動

- 安定的な湧水の水温・ECに対し、本川の水温・ECは降雨や季節によって大きく変化
- 本川の電気伝導度は降雨などによって急変し、上下流間で変異が確認



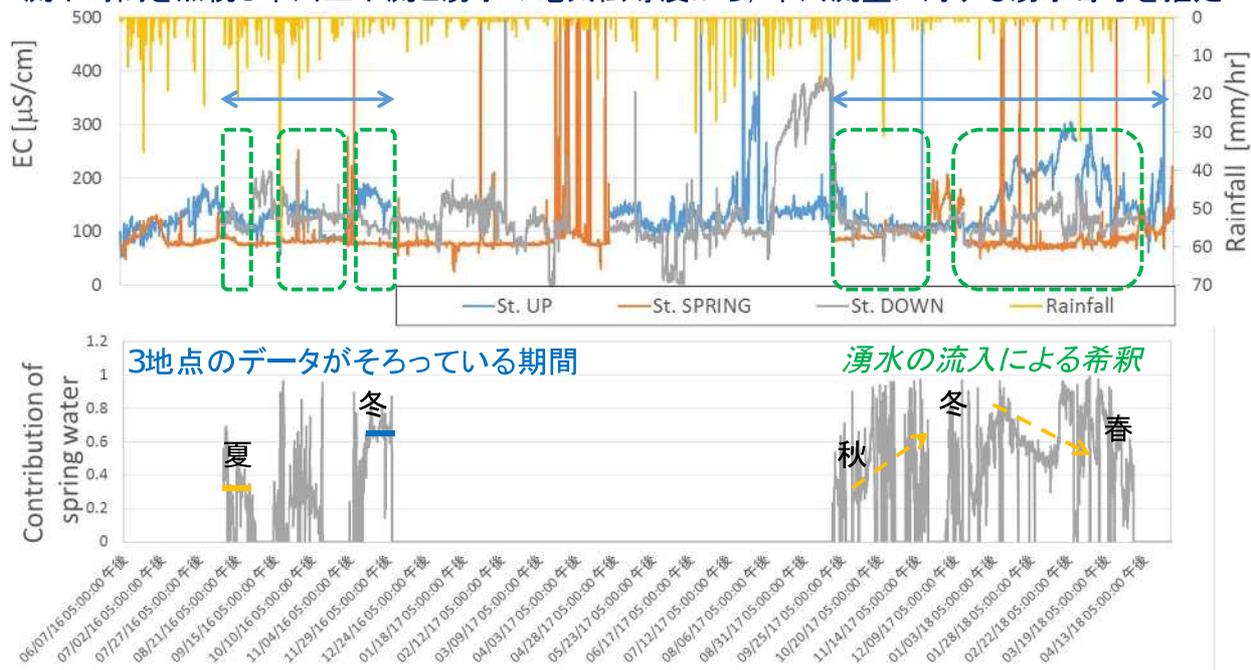
6/7, 2016

湧水の流入による希釈が示唆

4/20, 2018

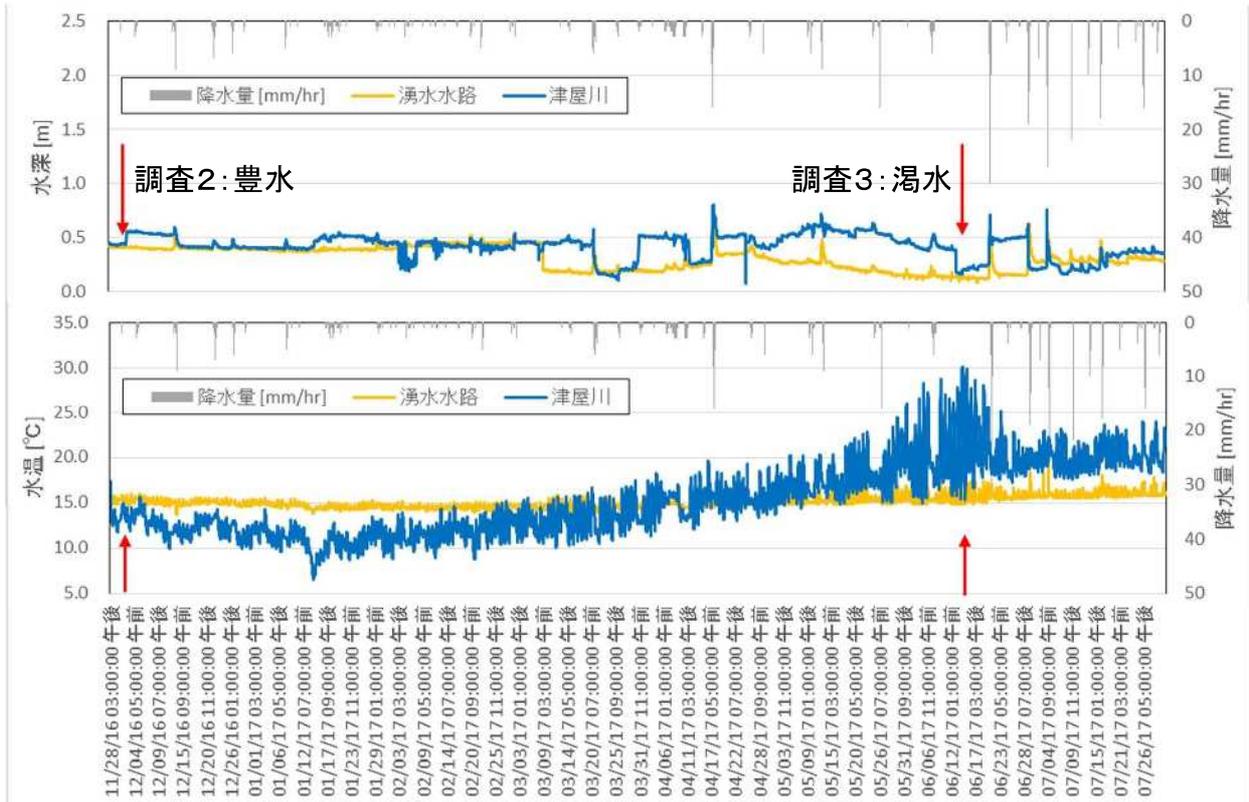
本川流量への湧水流入量の寄与

流下時間を無視し本川上下流と湧水の電気伝導度から、本川流量に対する湧水寄与を推定



- 降雨があると湧水寄与が減少するなどの傾向を表現
- 夏季 (31.6% 8/12-9/2) の方が冬季 (61.9% 11/11-12/2) よりも河川流量に対する湧水寄与量が小さくなった (2016年。。。)

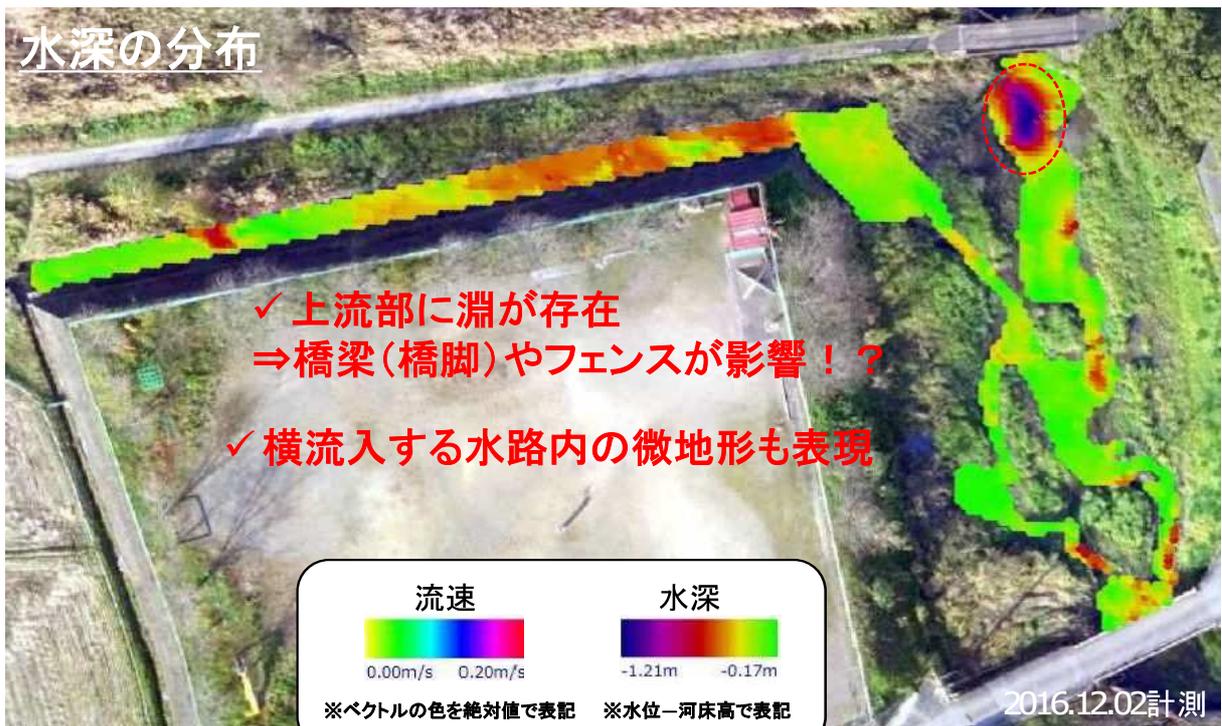
調査時期間の水位変動: 2016年冬季～2017年夏季



2016.11.28

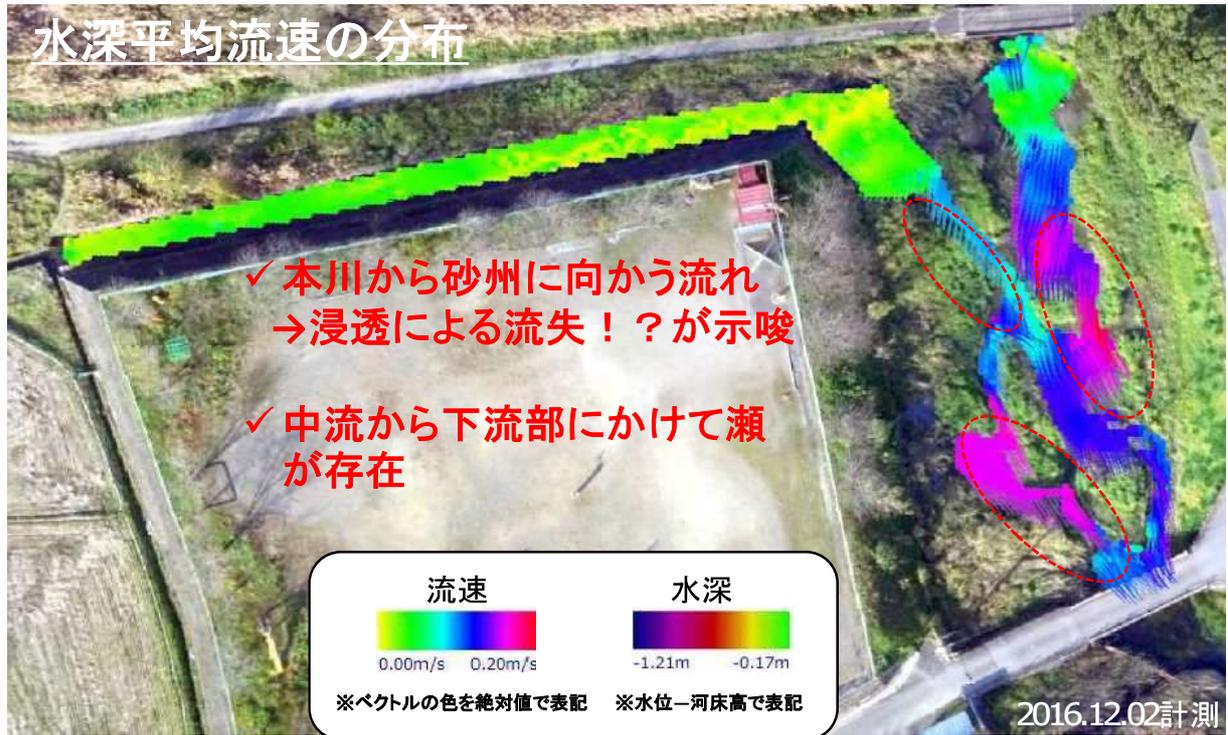
2017.7.31

River Surveyor M9 (ADCP)による計測結果 (背景のオルソフォト写真はPhantom 3 (DJI社)により撮影)



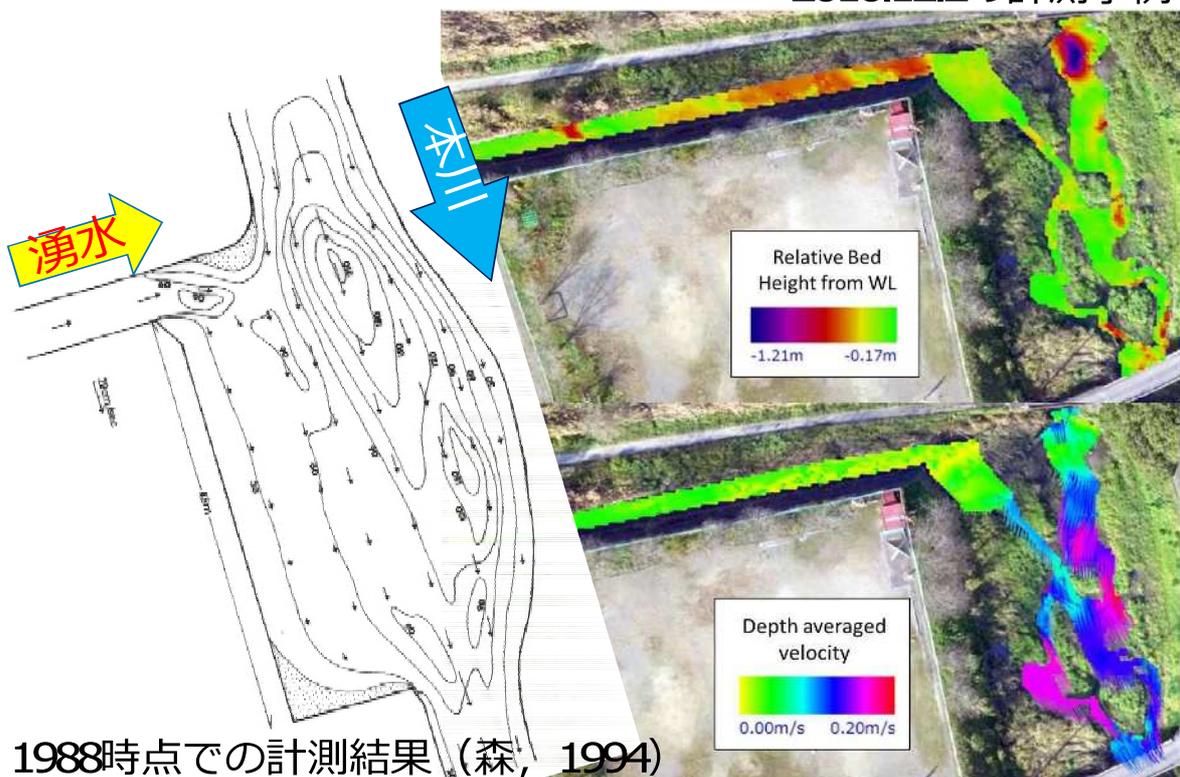
River Surveyor M9 (ADCP)による計測結果 (背景のオルソフォト写真はPhantom 3 (DJI社)により撮影)

水深平均流速の分布



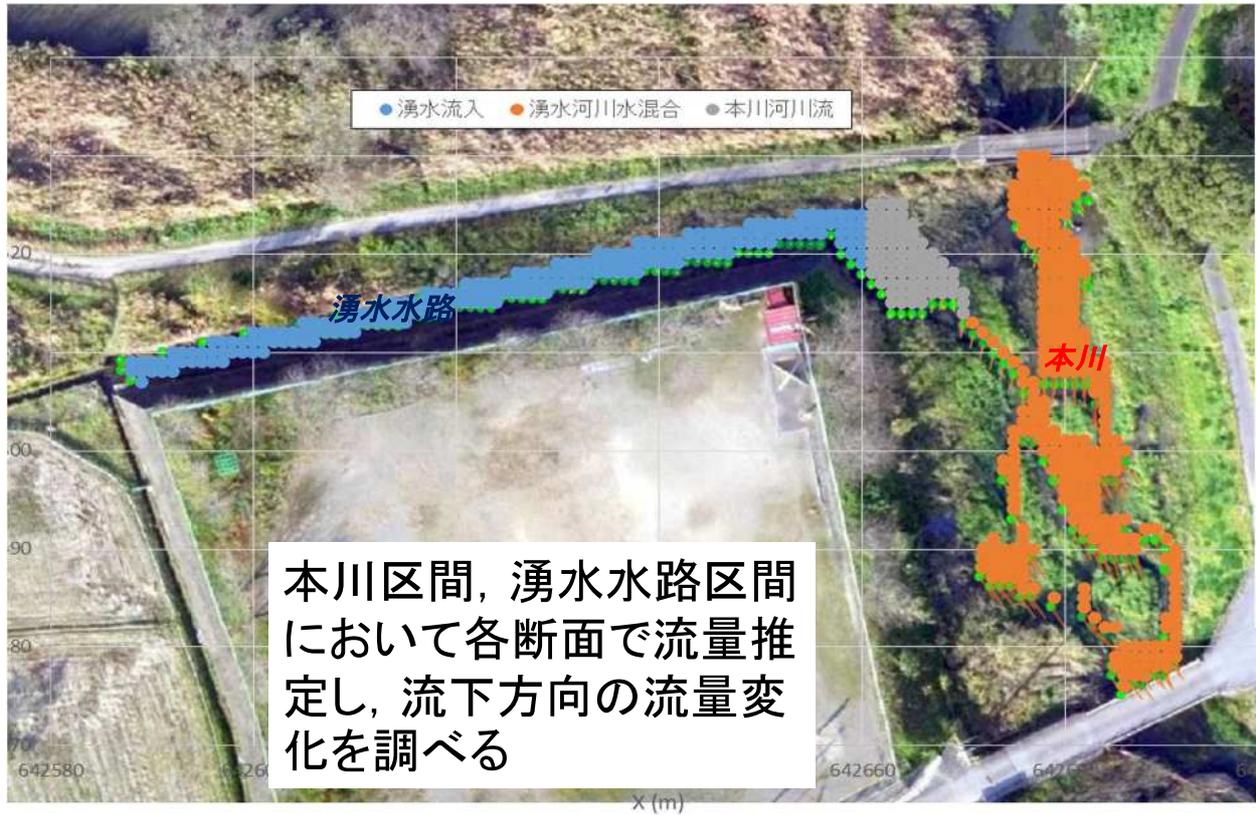
過去の計測事例との対比

2016.12.2の計測事例



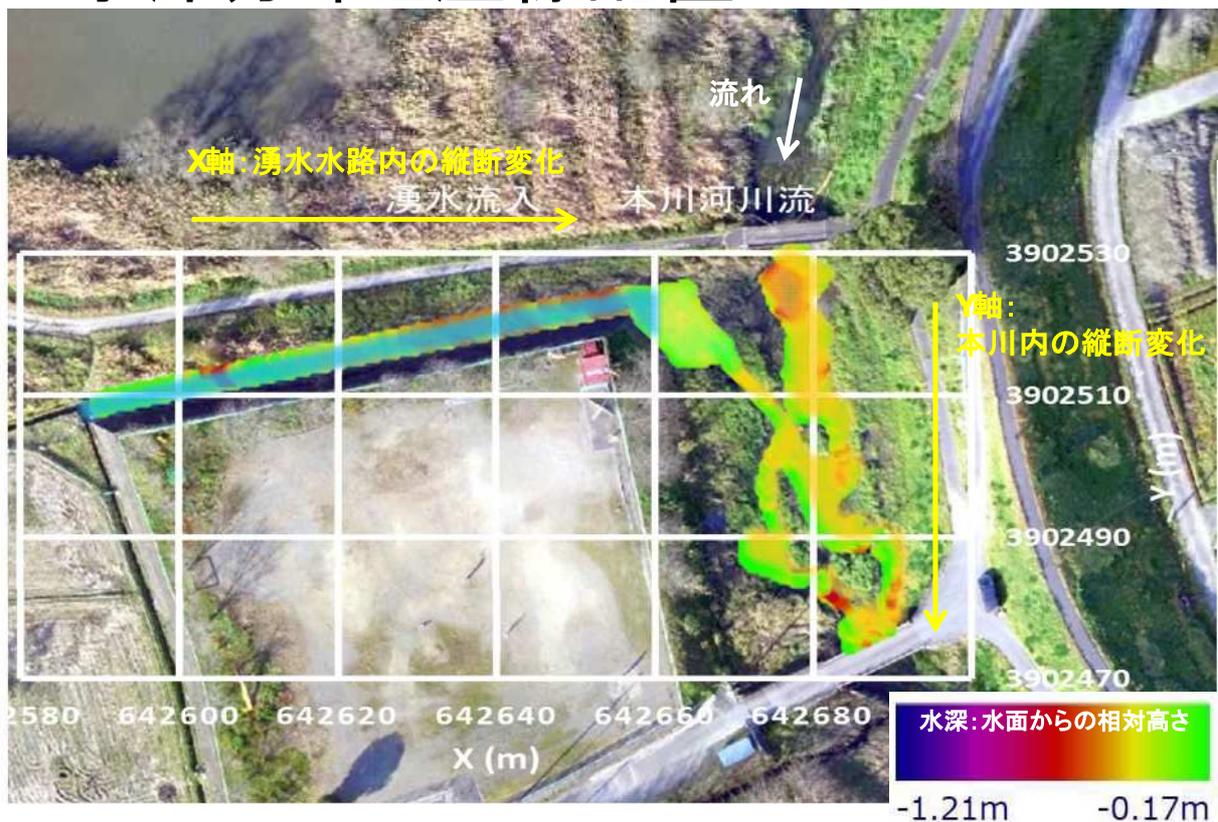
森(1994)湧水域を中心に生息する淡水生物の生態学的研究—湧水域と本流部におけるハリヨの営巣環境の比較—。第1期・第2期プロ・ナトゥーラ・ファンド助成成果報告書, pp.181-197.

湧水流入量の河川流量に対する寄与を推定



水深分布と座標配置

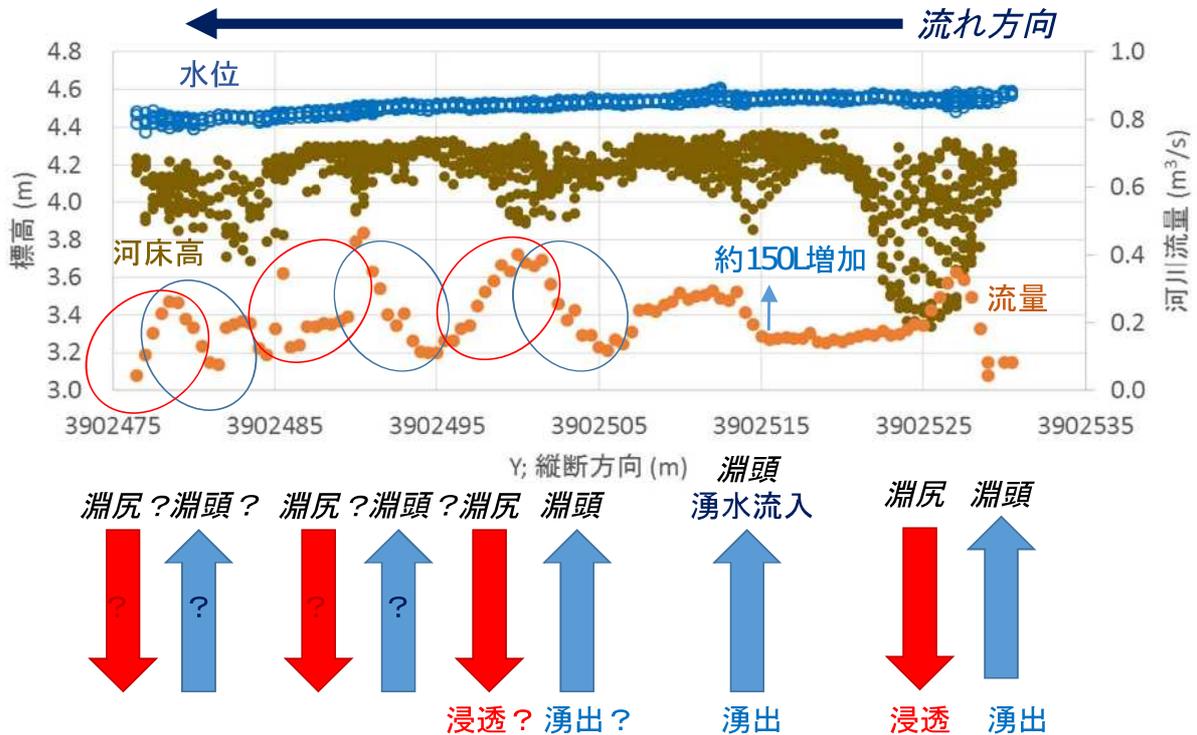
2016.12.2計測



河川流量の流下方向変化

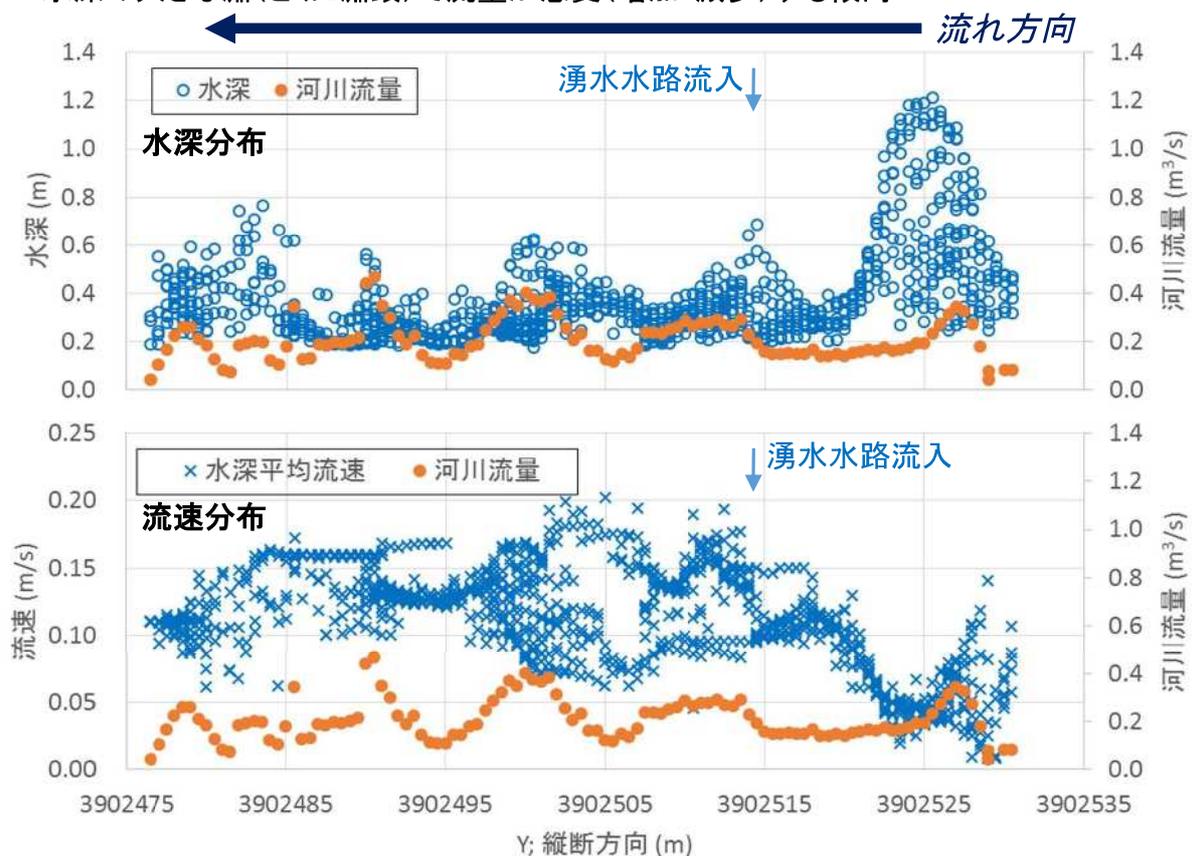
2016.12.2(豊水)時点

流下に伴って大きく変動する(100~400L/s程度)



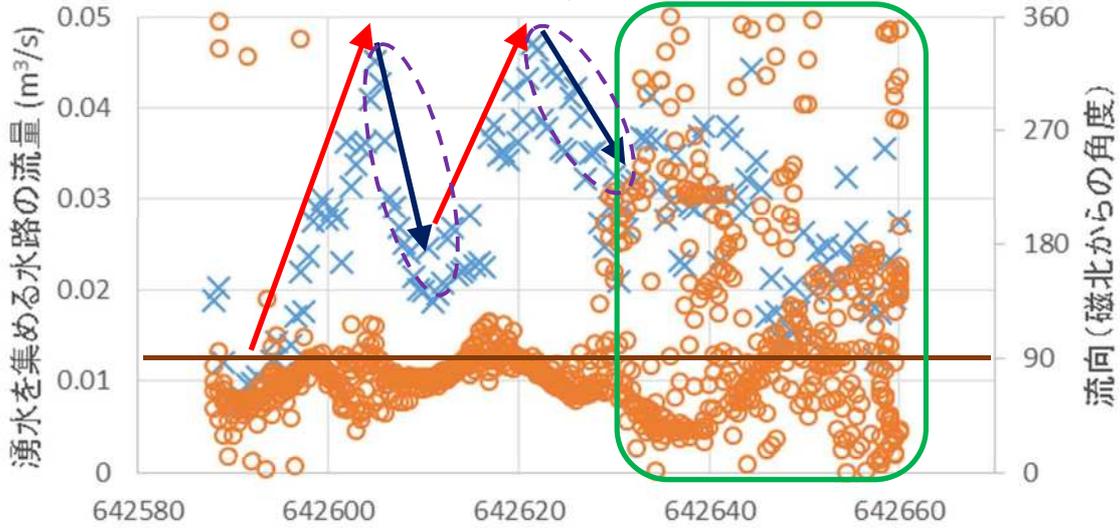
2016.12.2(豊水)時点

水深の大きな淵(とくに滞頭)で流量が急変(増加・減少)する傾向



湧水を集める水路内の流量・流向の変化

流下に伴って増加 流下に伴って減少 本川からの流入(逆流)
 伏流による流失!?



最大で 50L/s程度(平均で21 L/s) 流入

※流向: 90度で水路に平行

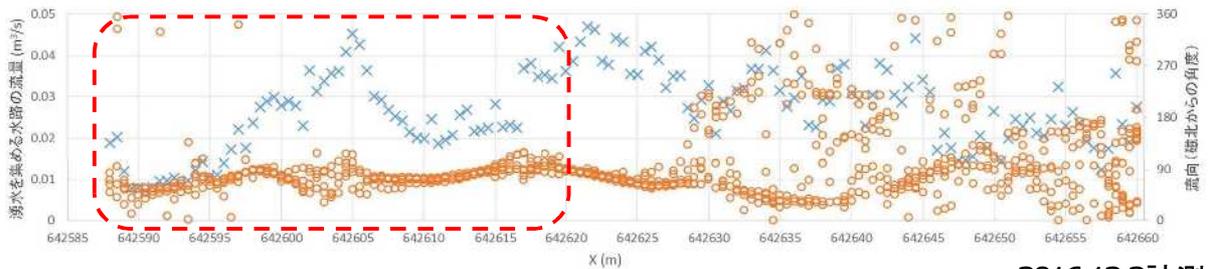
2016.12.2時点(豊水)

× FlowRate ○ DepthAvgDir(deg)

湧水を集めて流れる水路の方向

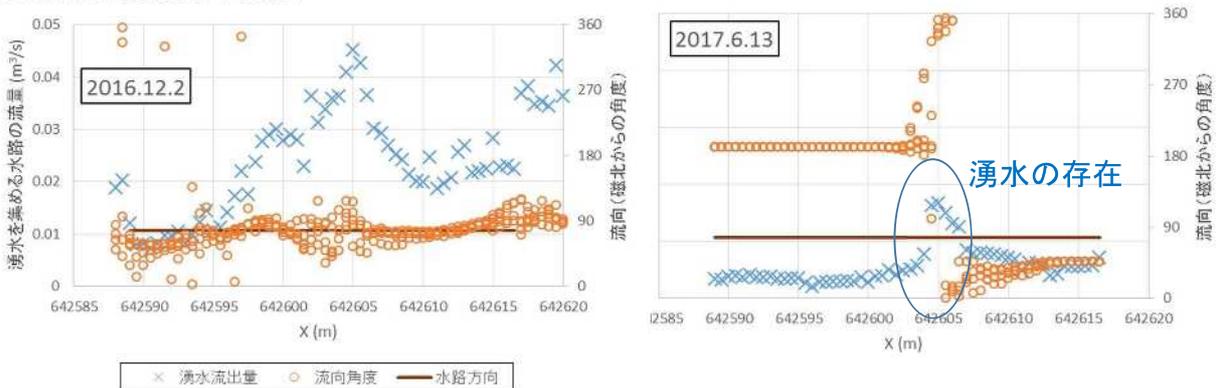
時期による湧水量の変化 湧水水路内の流量・流向分布

流れ方向 → 本川へ



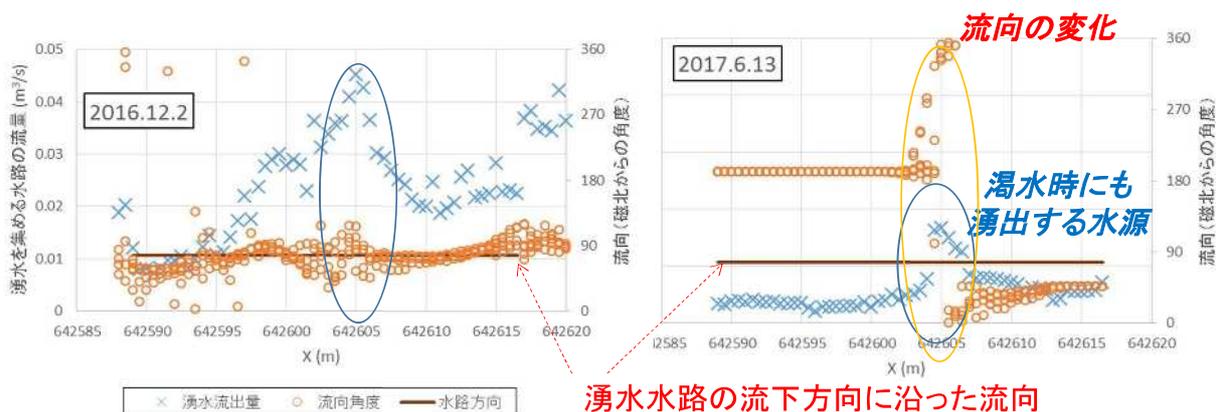
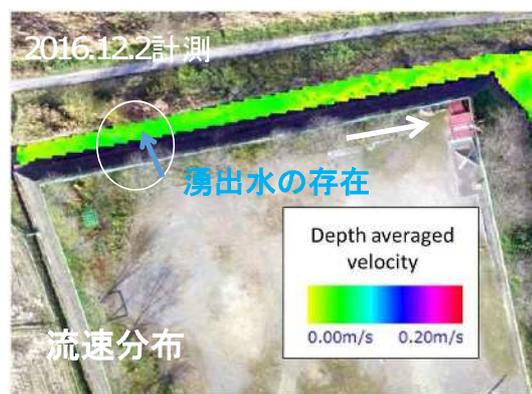
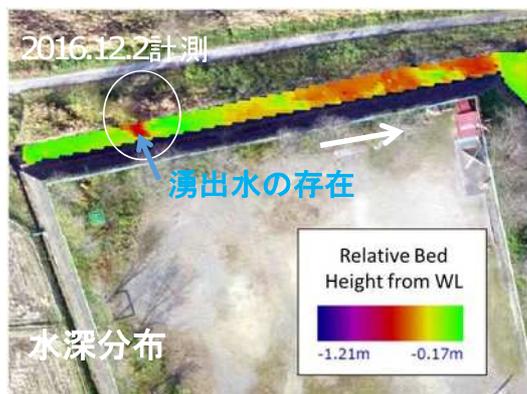
2016.12.2計測

2017.6.13計測との対比



梅雨入り前の6/13(2017年)の湧水量は12/2(2016年)のそのの1/3程度にとどまる

時期による湧水量の変化 湧水水路内の流量・流向分布



まとめ

水質の連続観測結果から:

- 調査区間における湧水量の河川流量に対する寄与を電気伝導度から推定したところ、夏季で**31.6%**(6/8-12-9/2の平均)、冬季で**61.9%**(11/11-12/2の平均)となり、**夏季よりも冬季で湧水寄与量が大きくなる**可能性が示唆された。

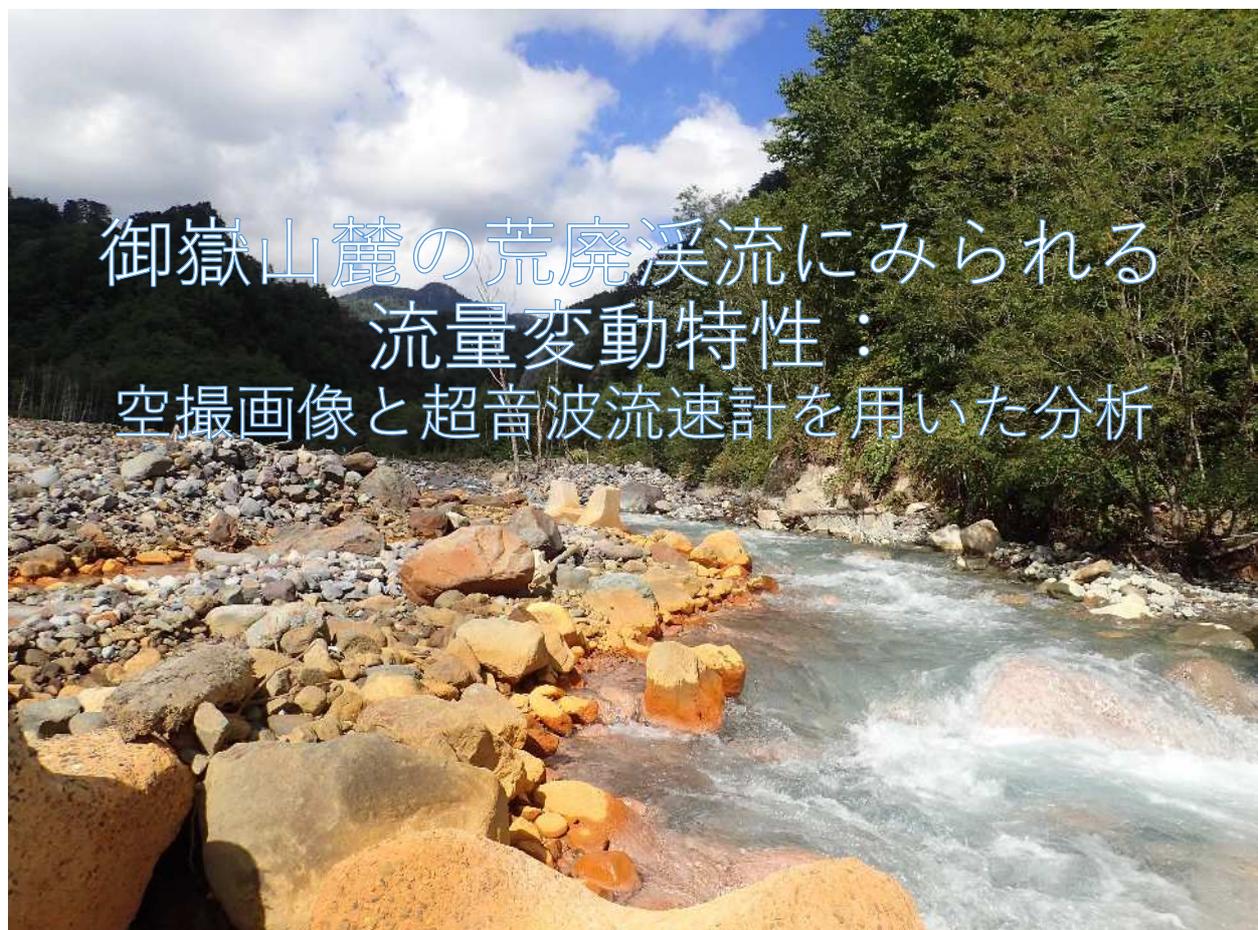
ADCPによる流れ場の観測結果から:

- 湧水流入量の空間分布を推定したところ、最大50 L/s程度で、出水期初期の2016/6/7(平均**22 L/s**)、出水期後の12/2(平均**27 L/s**)は同程度なのに対し、翌年2017/6/13(平均**5.6 L/s**)は少なかった。降雨履歴などを踏まえ湧水動態を把握する必要がある。
- 津屋川では冬季(2016/12/2, 平均**210 L/s**)の河川流量が総じて**大きかった**。イベントを含む流量変動の実態を追跡したい。
- いずれの調査時においても湧水を集める水路の流入や瀬・淵など河床形態の遷移に伴って伏流水との水交換が活発に生じているものと推察された。水路以外からの面的流入、夏季に大きくなる蒸発散による減耗などの要因を精査する必要がある。

試行錯誤の研究経過 の紹介

③山地荒廃河川における流量の縦断的変異

科学研究費補助金・基盤研究（B）「自然災害／資源開発を受容する火山麓地域の自然共生に向けた水文水質・生態機構の解明」（2019-2022、代表：田代 喬）として実施中



背景と目的

- ・河川の流量は、「可能なら、岩・堆積物を除去する（江草，2019）」などといった手順書での記載のように、河道内の微地形や堆積物によって変動
- ・河床間隙を含めた水域内において、流量の変動過程は物質変換や生息場創出など生態系の基盤的機能を担うが、これまで詳細に観測された事例は少ない
- ・晴天時の不攪乱状況下の荒廃溪流において、流量観測を縦断的に行い、その変動特性を考察

調査地

御嶽山南麓の濁沢川と伝上川の合流点



強酸性河川として知られ（例えば、宇佐見ほか，河川技術論文集26：7-12，2020）、水質過程も興味深い箇所ですが、ここでは扱いません





調査方法①：UAV写真測量

UAV（Unmanned Aerial Vehicle：無人航空機／ドローン）により撮影した航空写真を材料として、3Dモデリング技術を適用して、撮影範囲内の地形を測量する

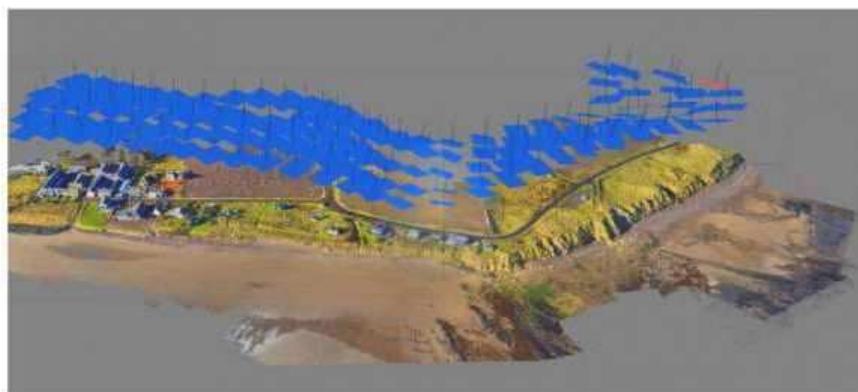


DJI社Mavic Air

Agisoft社 Metashape Professional ver.1.6

複数枚の静止画からテクスチャ（肌理）ポリゴンモデル、オルソフォトやDSM（Digital Surface Model）を自動生成するソフト

複数の空撮写真
（右図中、青色長方形で撮影位置を記載）を組み合わせることで、地形測量を実現



<https://agbusiness.ca/image-processing-software-for-agriculture-index/agisoft-photo-scan/>

調査方法②：超音波流速計による流量計測

超音波式流向・流速計ADCP

ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler

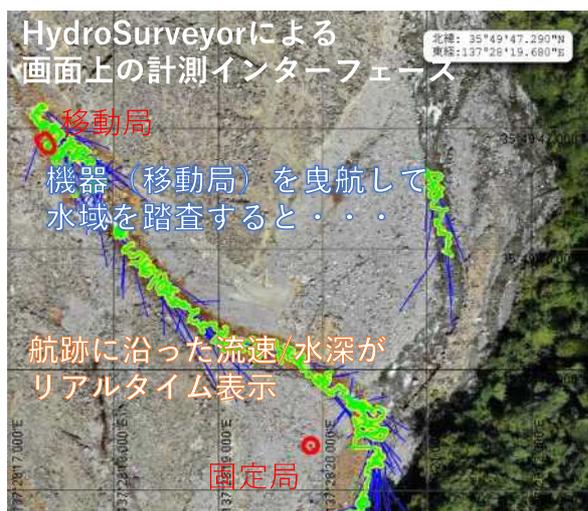
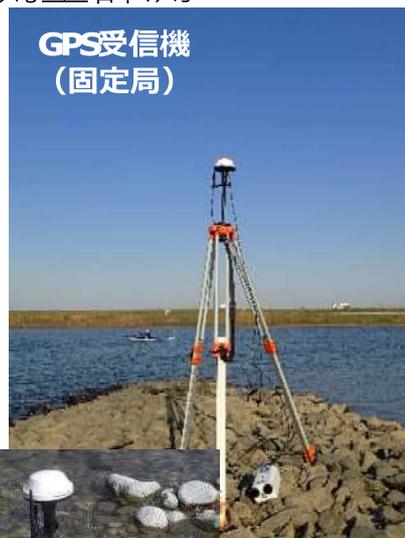
使用機器：SonTek RiverSurveyor M9

+ソフト：SonTek HydroSurveyor (いずれもXylem社)

水深15cm以上であれば計測可能！

RTK (Real-Time Kinematics) -GPSにより高精度な位置情報を記録しながら、水面下の水深および3次元流速場を計測

GPS受信機
(固定局)



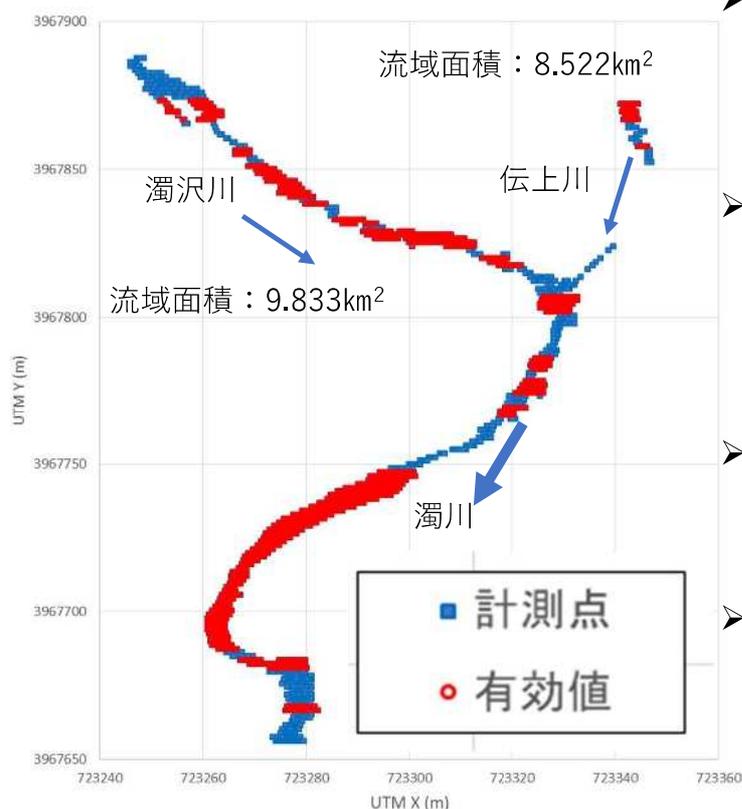
GPS受信機
(移動局)



船体に固定された機器本体

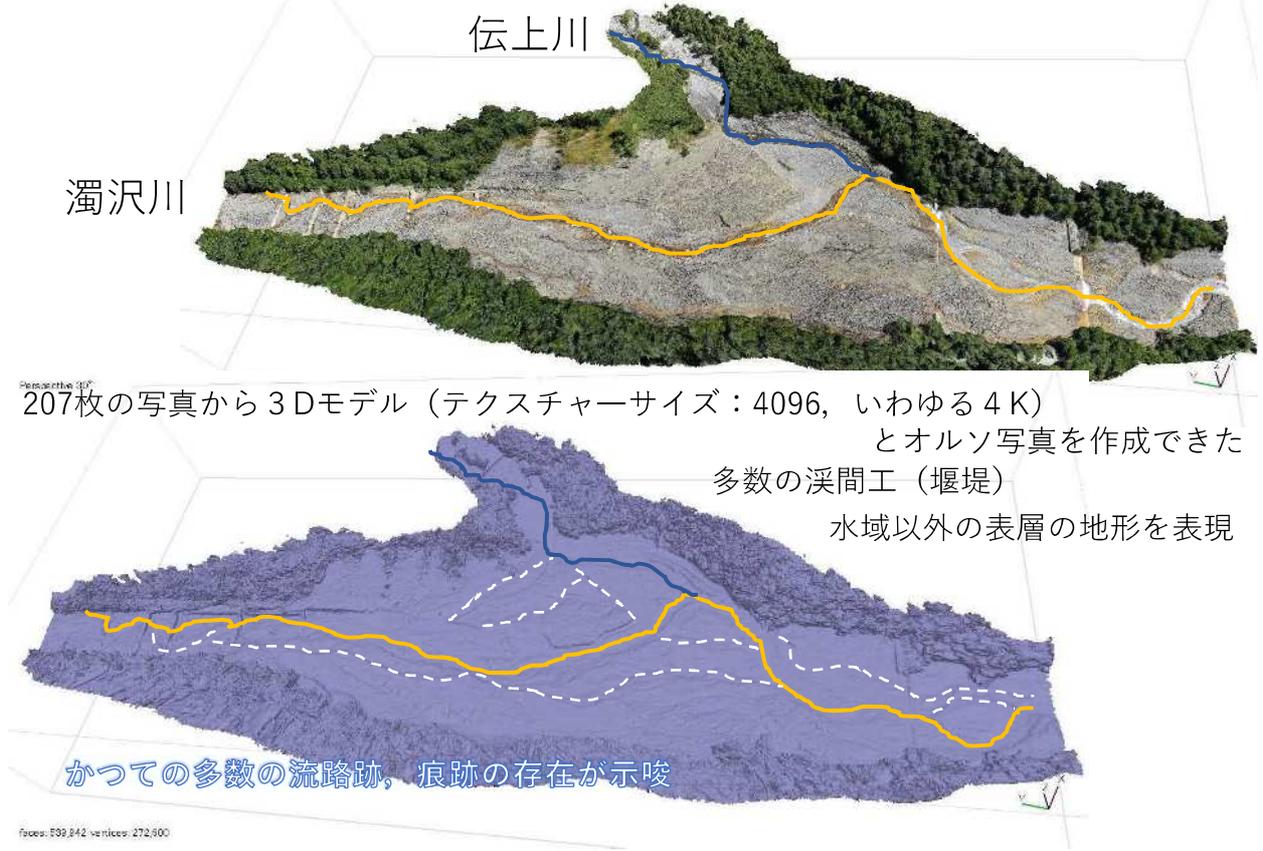
調査の概略的手順

調査日：2019年9月15日

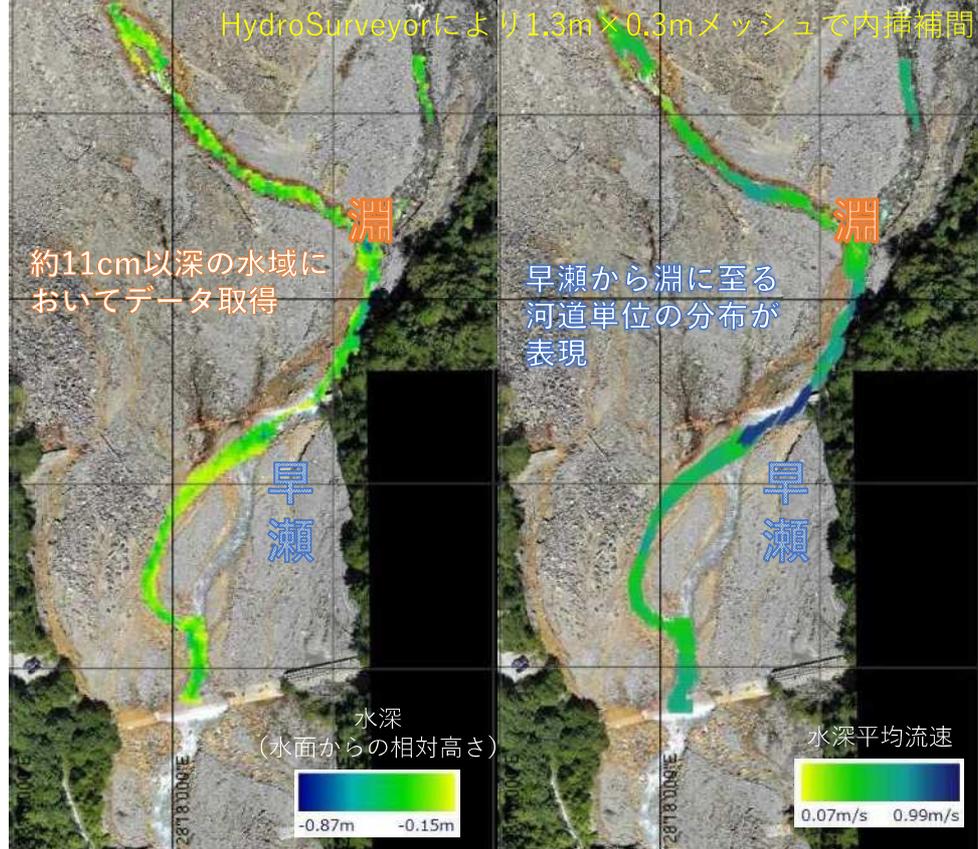


- ドローン (DJI社 Mavic Air) で撮影した空中写真から, AgiSoft社 Metashape Professionalを用いて3Dモデルとオルソ画像作成
- 超音波流速計による計測値は, オルソ画像と重ねて Xylem社 HydroSurveyorにより, 計測範囲の水域内に内挿補間して1.3m×0.3mのメッシュデータ化
- X断面 (東西方向) の川幅全体を計測できた場合のみを有効値とし, 図のY軸方向 (南向き) の流量を算出
- 流域面積は, 公開中の高精細DEM (Digital Elevation Model) を用いてArc GIS 9.2によるHydrological Modeling機能により算定

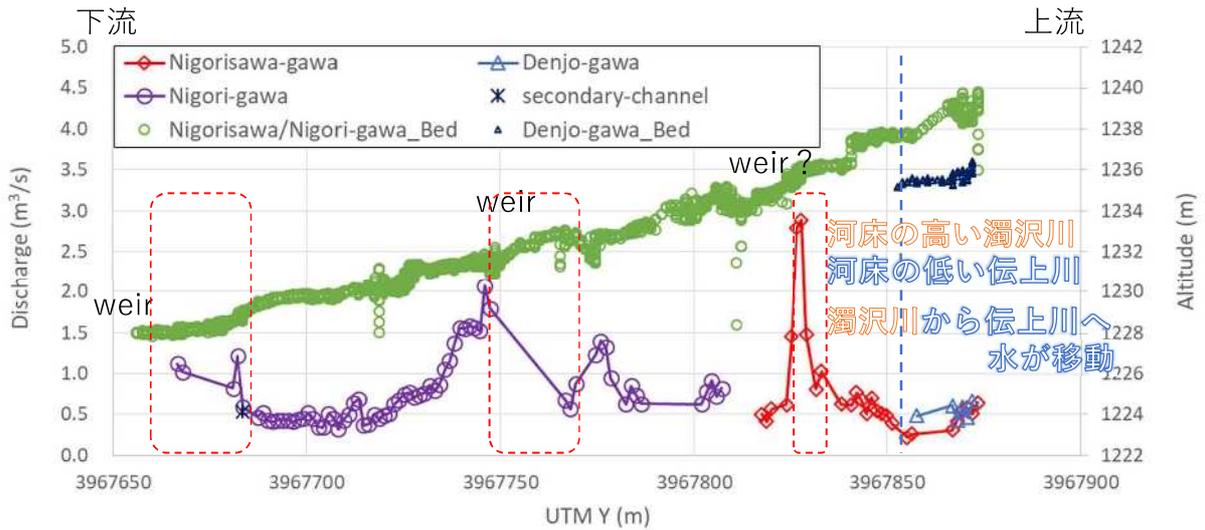
結果①： UAV写真測量による 3D地形モデル



結果①・②-1： 超音波流速計による流況計測



結果②-2：河川流量の縦断的（北から南の）変化



濁沢川（上流）：0.2～0.7 m³/s，伝上川：0.5～0.7 m³/s

濁沢川（下流）～濁川：
0.5～2.0 m³/s

溪間工の上流で増大，基部の根入れ？
により伏流水が塞き上げが示唆

参考値：

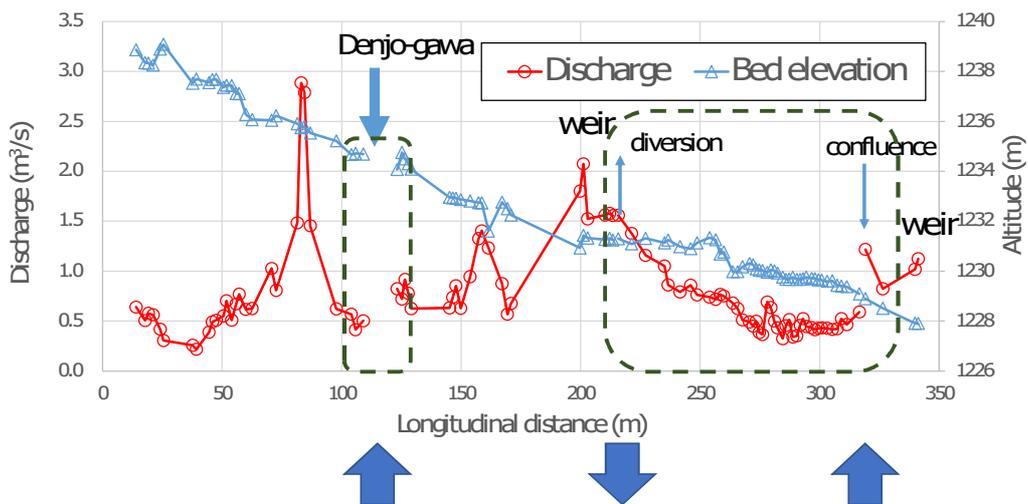
伝上川流量（9/13、約450m上流）：0.9 m³/s

濁川流量（9/13、約3km下流）：2.3 m³/s

（2019/9/14（前日），谷口さん観測による）

結果②-3：河川流量の流下方向変化

濁沢川～濁川の滞筋に沿った変化



伝上川の合流
+0.3m³/s

二次流路への分岐
30 m流下で -0.6 m³/s

分岐する場合，少しずつ減少

分岐した二次流路の合流
+0.6 m³/s

合流する場合，一気に増加

まとめ

UAV写真測量によって・・・

- オルソ写真は、調査地の俯瞰的把握に有効
- 3Dモデルは、陸上の微地形や隠れた構造物の把握に有効

超音波流速計の計測によって・・・

- 高精細な水理量（流速、水深など）が一気に取得
- 流量の空間的なバラつきを詳細に記述

構造物・微地形分布と流量分布を組み合わせることにより流量変動要因を考察可能に！

（おまけ）Google Earth Proは最近10年程度の変化を追跡するのに有効

file:///C:/Users/.../212,000

試行錯誤の研究経過 の紹介

④河川感潮域における流れ場の変動

国土交通省河川砂防技術開発公募事業・地域課題分野（河川生態）「木曾三川流域における生物群集と対象とした河川生態系の管理手法に関する研究」（2017-2020、代表：森誠一）として実施中

揖斐川下流河道における 3次元流れ場： 水制と潮汐の影響



名古屋大学減災連携研究センター 田代 喬

調査場所

揖斐川感潮域の最上流，水制設置域



調査方法

・ 超音波式流向・流速計ADCPによる流況計測

▶ 潮汐に伴う水位変化を考慮して2回実施

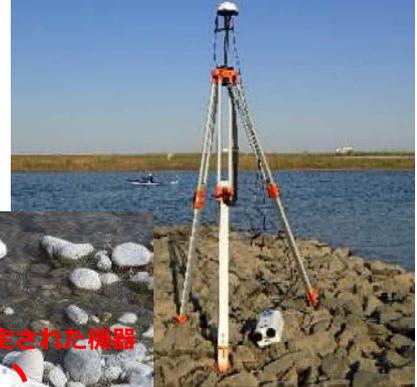
ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler

使用機器：RiverSurveyor M9 (SonTek/YSI)

水深15cm以上であれば計測可能！

RTK-GPSにより高精度な位置情報を記録しながら、
水面下の水深および3次元流速場を計測

GPS受信機
(固定局)



調査日時

- ・ 2018年10月24日
15時～17時 上げ潮時：干潮⇒満潮
- ・ 2018年10月26日
10時～12時 下げ潮時：満潮⇒干潮

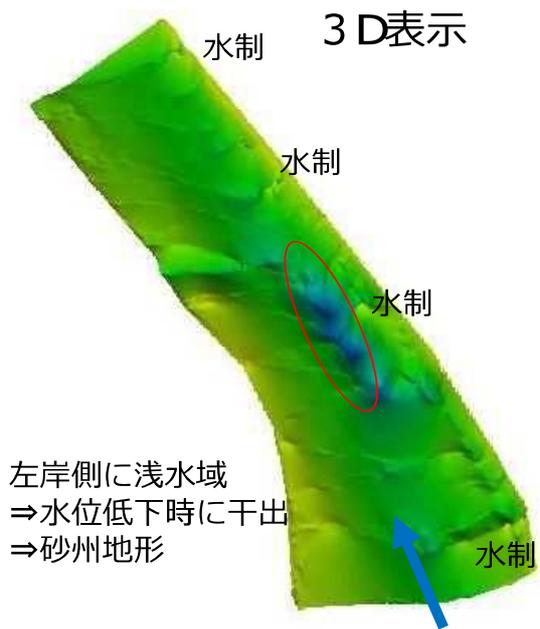


データ出典：国土交通省水文・水質データベース ※水位零点は、TP. -0.620 m

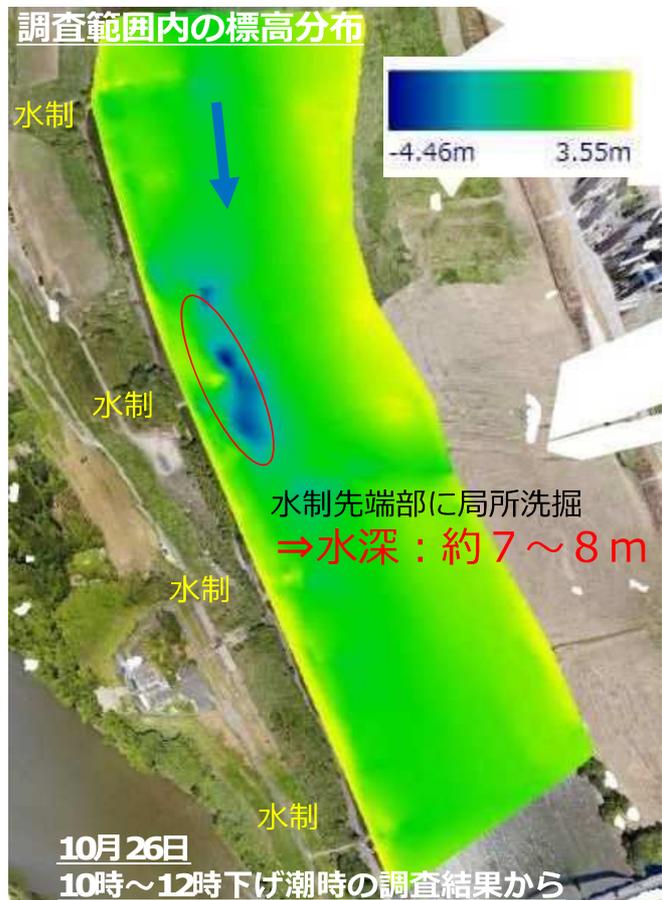
調査の際の航跡. . .



調査結果①

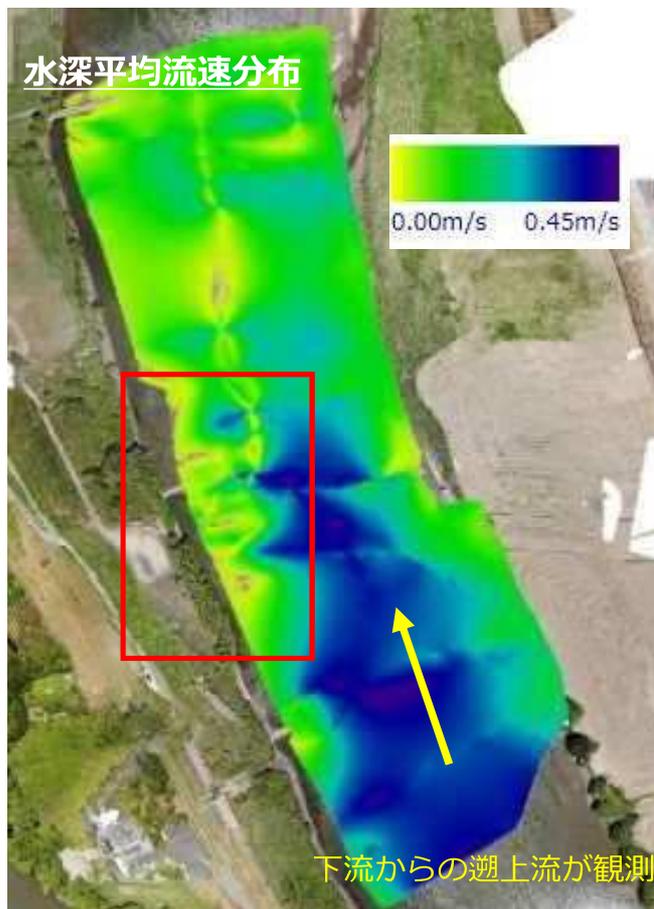
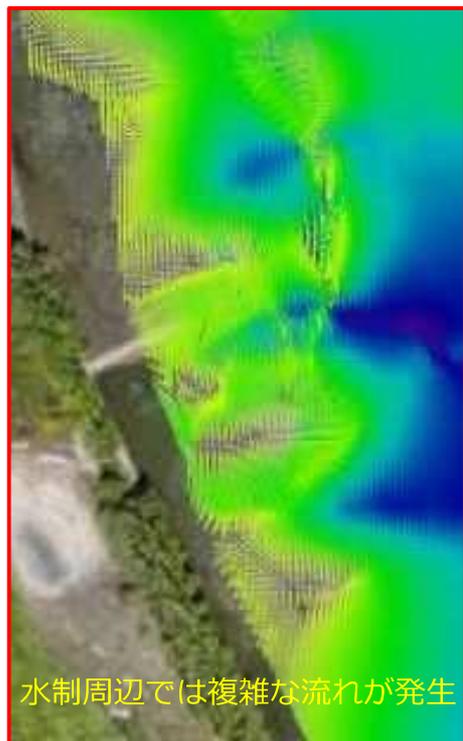


高低差を10倍表示することで
河床地形が鮮明に



調査結果②：10月24日

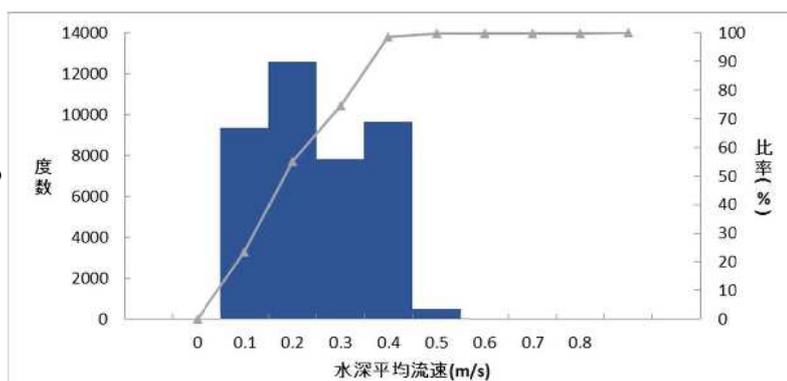
干潮⇒満潮の上げ潮時



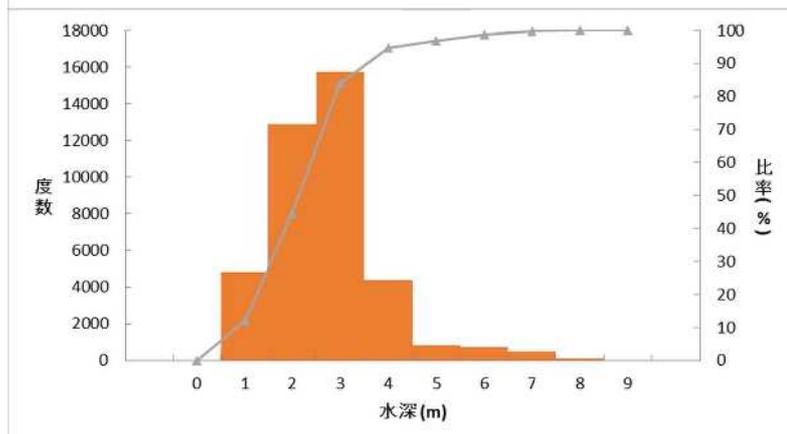
流速と水深の分布：干潮⇒満潮の上げ潮時

0~0.4m/sの領域に占められる

静穏な環境が形成

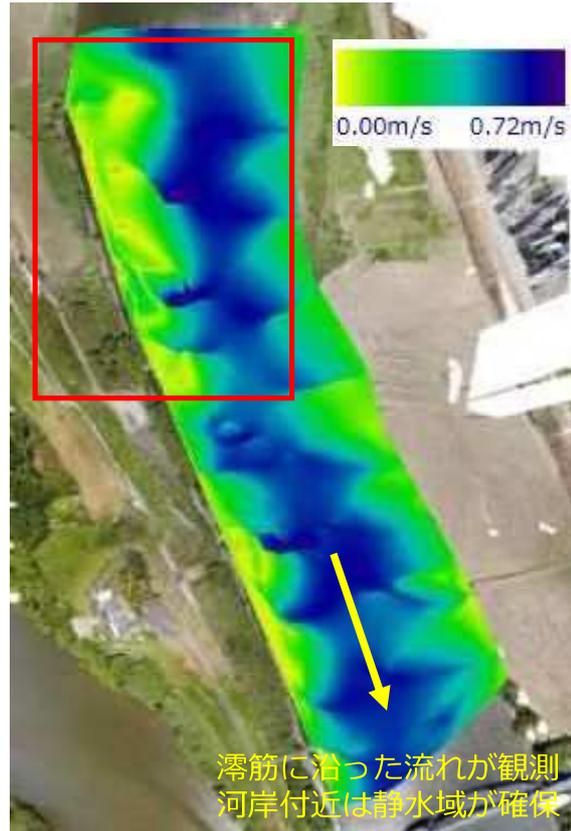
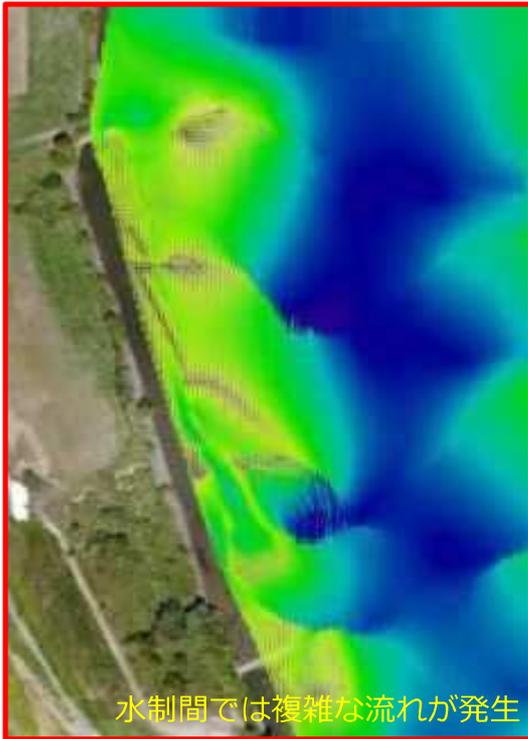


水深は1~3mに分布が集中



調査結果③：10月26日

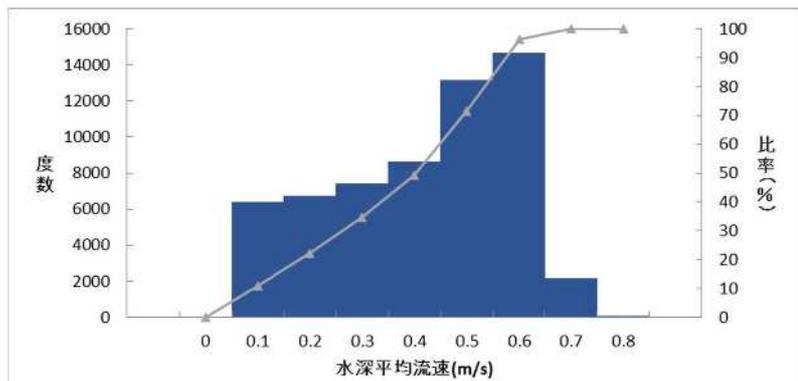
満潮⇒干潮の下げ潮時



流速と水深の分布：満潮⇒干潮の下げ潮時

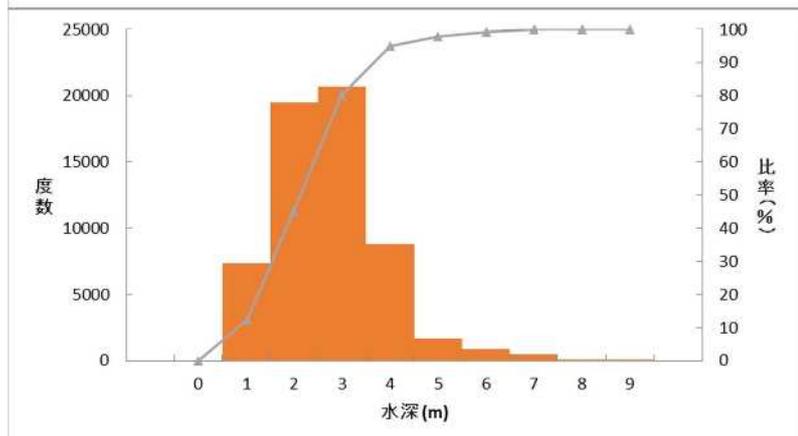
流速の変異は大きいもの、
0.4~0.6m/sの領域が大きい

上げ潮時と比べて
高流速域が増大



水深は1~3mに分布が集中

上げ潮時と同じ傾向



なぜ、いま河川生態に ADCPなのか？

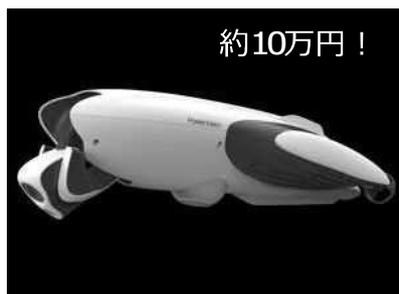
(足りない部分を補うために・・・)

- 生物は一カ所に留まっていてくれない
生息場所の空間的変異、連結性を短時間で把握可能！
 - 他のリモートセンシング技術は、地形・画像情報に留まる
地形把握⇔数値解析・・・だけではわからない物理環境！
 - 水中の情報を高精度に、一度に大量に取得可能
他計器の計測結果、数値解析の有効な検証材料！
目的次第も、工夫次第でひとりでも実施可能！
- (自分勝手な主張：プロトコルも取得情報も自分仕様に)
- 最近のADCPは「初心者」に優しい
難しいコマンドが分からなくても後処理・分析が可能！
 - アウトドア系グッズ・防水系ガジェットを活用可能
(水上) ドローン、防水アクションカメラと好相性！

水上ドローンへの期待

PowerDolphin：世界初の水上ドローン

- 独自の4Kダブルジョイント式可動カメラ搭載
- 132°の広角レンズにより、水上、水中の様々な角度から撮影可能
- 釣りを想定した設計・仕様のため、強力な動力もありADCPのボート曳航も期待できる



約10万円！



サイズ	534 x 230 x 125mm
重さ	約2.3kg
バッテリー	5800 mAh / 64.64 Wh
動作環境温度	0°C to 40°C
最大前進速度	4.5m/s (静水中)
最長動作時間	Uモード:2.5h、CまたはNモード:20min (静水中)
動作周波数	2.4~2.483GHz
最大伝送距離	FCC/IC: 地面との垂直距離3.5m:800m
	地面との垂直距離1.5m:500m
	CE/SRRC/MIC: 地面との垂直距離3.5m:500m
	地面との垂直距離1.5m:350m

https://www.youtube.com/watch?v=1hZ3QvIpc4k&feature=emb_logo

メモ

A large rectangular area with a solid black border. Inside the border, there are 20 horizontal dashed lines spaced evenly down the page, providing a template for writing notes.