

UAV写真測量による簡易な河川地形把握手法 を活用した河道管理の検討

平成29年8月2日

東京大学大学院情報学環
特任講師 齋藤正徳



- 新たな技術を導入し計測する際に、計測精度、項目等はニーズと合致しているか、対策・施工コストに対して、モニタリングコストは妥当か、を考える必要がある。

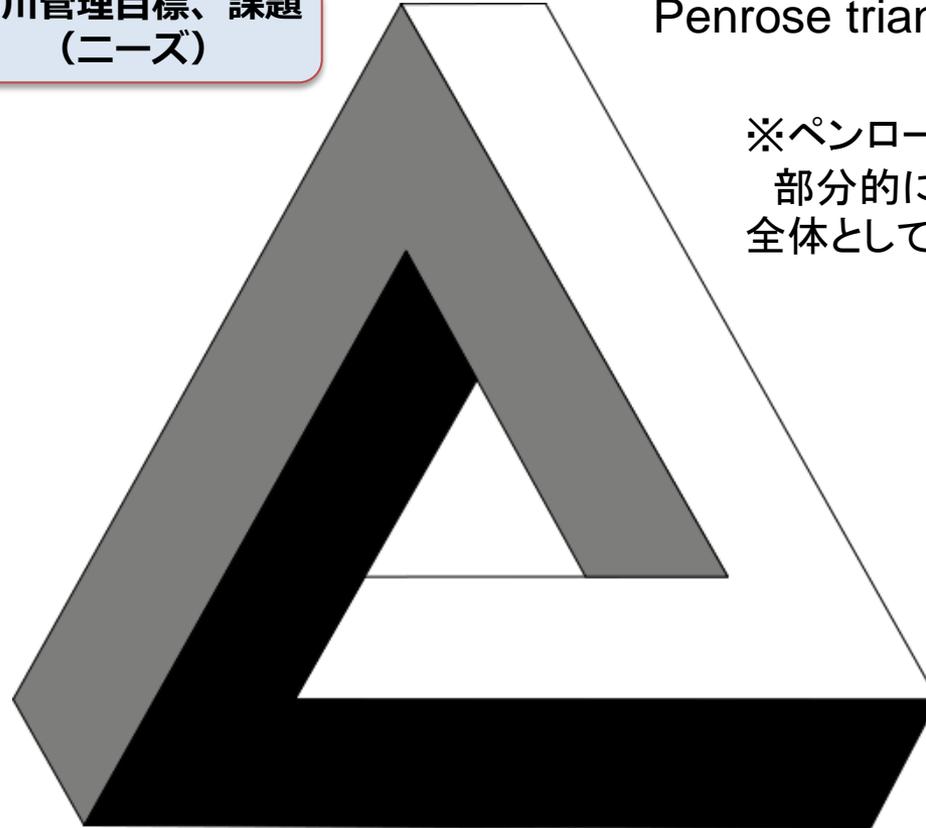
河川管理目標、課題
(ニーズ)

Penrose triangle※

※ペンローズの三角形
部分的には正しいように見えるが、
全体としては、成立しない

計測、モニタリング

対策、施工



<本日の発表内容>

○河川管理の課題

○UAV等に関する現在の技術動向

○研究事例

UAV－SfMによる河道管理

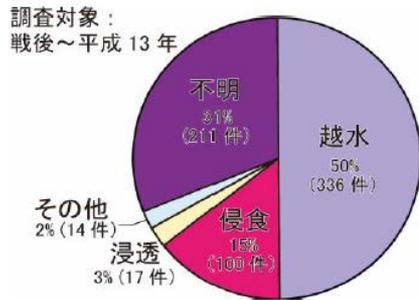
○河川管理におけるAIの活用方策について

河川管理の課題

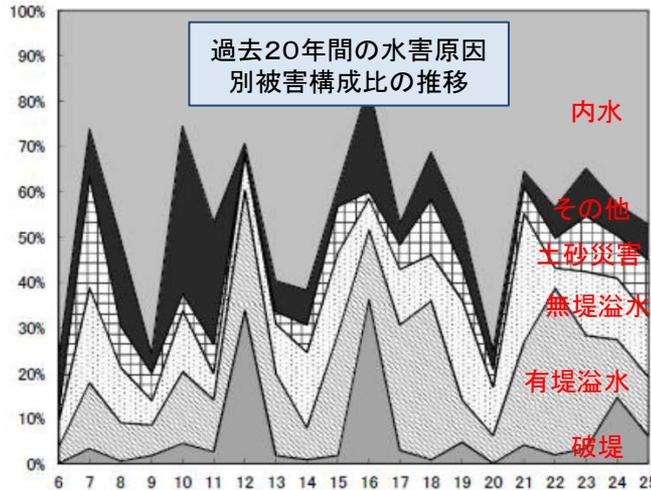
洪水被害の要因等について

- 過去の洪水の被災要因として、流下能力不足による越水、浸食が大半を占める。
- 河道の変化が堤防や施設に与える影響が大きく、河道の管理が重要。

堤防決壊の要因

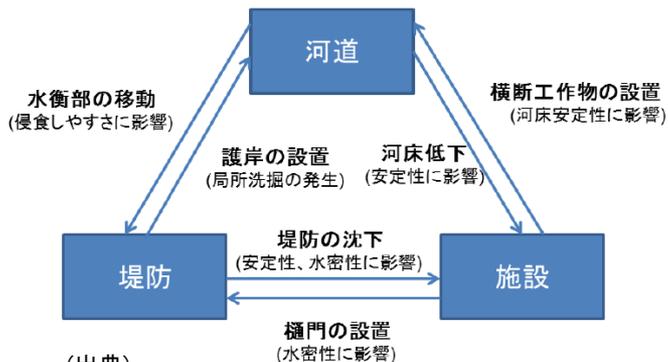


出典：国土交通省治水課資料



✓ 水害の被害構成として、内水、越流が大きく、浸透による決壊が少ない

部位間の相互作用



(出典) 土木学会; 社会インフラ・メンテナンス学(河川編), 2016

樹林化による河道の二極化



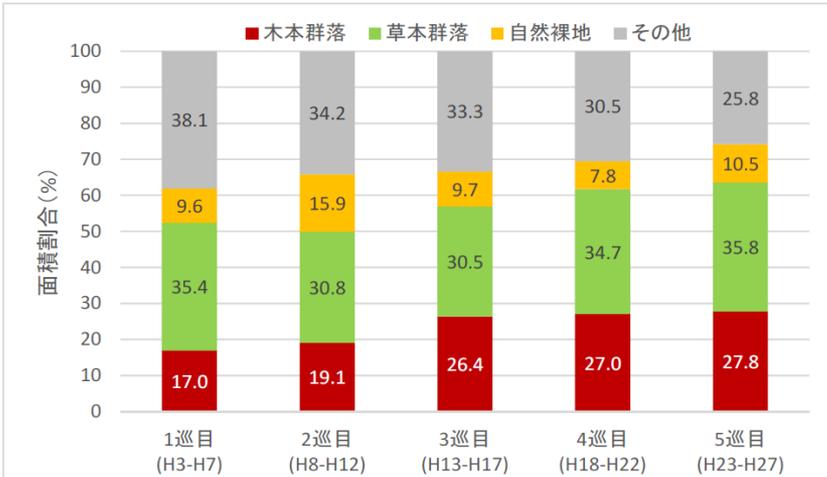
変流の発生による高速流派生による堤防浸食



✓ 河道の変化(樹林化)によって、偏流の発生による堤防の浸食、流下能力の低下が生じる。→ 樹木管理が最重要

- 全国の樹林化の状況として、河道内における樹木の面積の割合が上昇している。

全国の直轄河川における植物群落の面積割合の変遷



河川水辺の国勢調査により

- ✓ 樹木のうち、ヤナギ、竹林、ハリエンジュが6割を占める。
- ✓ ヤナギは、特に成長速度が速く1年に2m成長する。

多摩川上流 (46~47k付近) における樹林化

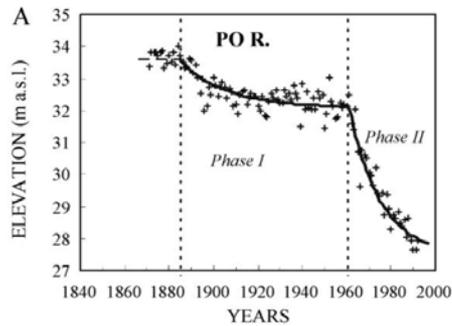


国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課 資料

イタリアにおける河道管理の現状と課題

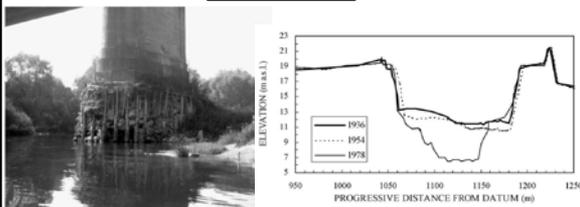
- イタリアでは、1950年代～1960年代にかけ、ダム建設、砂利採取、河道直線化等が実施され、多くの河川で河床低下(10m)、川幅の縮小(50%)が発生している。その変化は、現在進行形であり、河床変動計算結果による予測では、2023年まで続くと想定されている。

ポー川

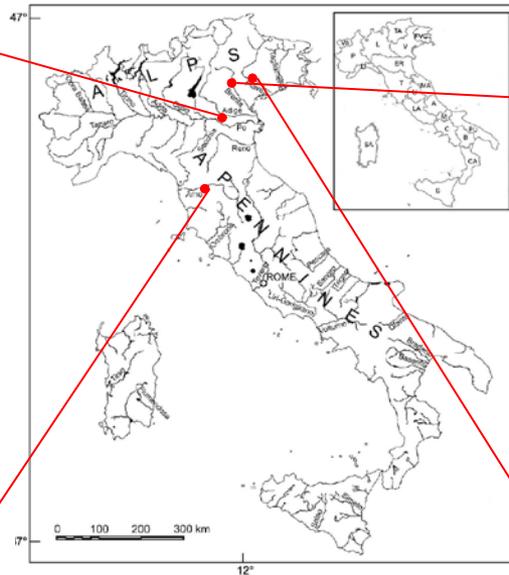


- ✓ ポー川流域で、1960-1980年の期間に年間300万m³(年間土砂生産量と同等)の砂利採取が実施。

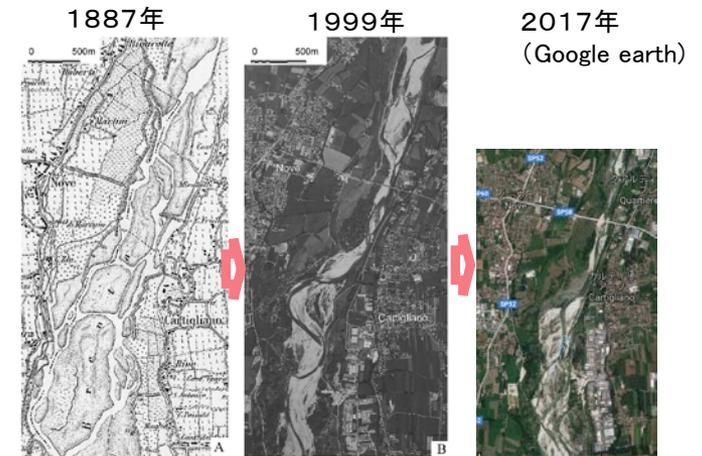
アルノ川



- ✓ 穿入河道化が発生。
- ✓ 橋脚の基礎の露出が発生。

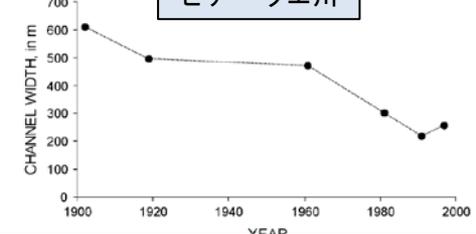


ブレンタ川



- ✓ 網状から交互砂州へと変化。
- ✓ 樹林化・川幅の縮小が発生

ピアヴェ川



- ✓ 平均川幅が縮小している

(出典)

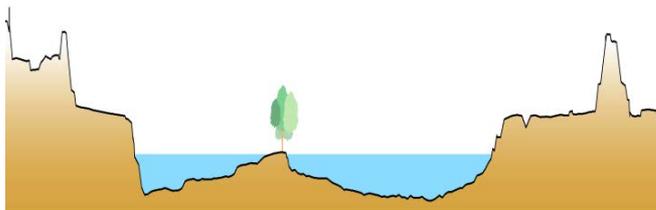
Nicola Surian, Massimo Rinaldi, Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy, Geomorphology, 2003

将来の河道断面形状について

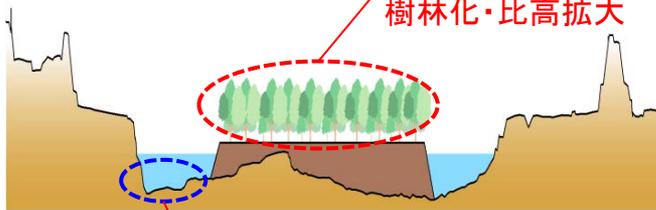
- 河道に流入する土砂量や攪乱頻度に応じて、将来の河道断面を見据えた掘削のあり方を検討する必要がある。

攪乱小河川（流入土砂量少）

現状



中州が発達
樹林化・比高拡大



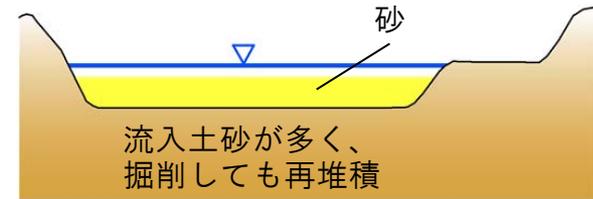
洪水流の集中→浸食→堤防決壊

将来
(対策なし)

- ✓ 低水路内の砂州の樹林化により、局所的な偏流が発生し、流下能力の低下や堤防浸食の発生へと繋がる恐れがあるため、砂州の地形変化や植生変化を監視し、樹林化する前に、砂州の掘削等を行う必要がある。
- ✓ 砂州の掘削のあり方は、渡良瀬川で実施している掘削路（清水ら）が代表的

攪乱大河川（流入土砂量大）

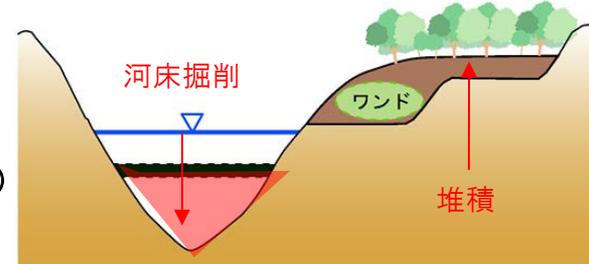
現状



流入土砂が多く、
掘削しても再堆積



将来河道
(対策あり)



河床掘削

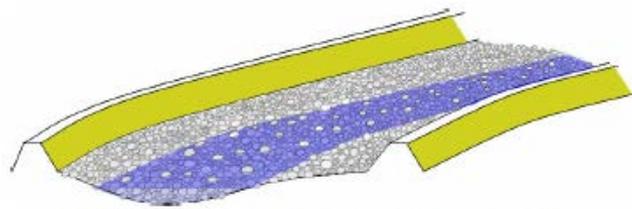
ワンド

堆積

- ✓ 低水路幅を拡幅した場合、土砂堆積により、元の断面に戻るため、再堆積しにくいよう、穿入河道化を意識してはどうか。
- ✓ 掘削形状は、斜め掘削、船底掘削、河岸存置型掘削等を実施。

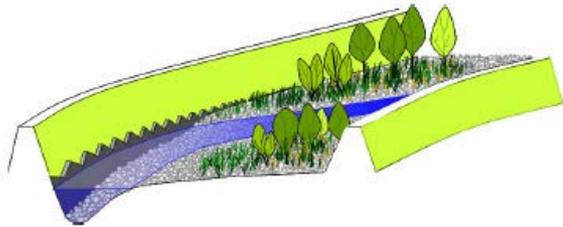
河川掘削について(対策)

- 甚大な被害に直結する堤防の管理は重要であるが、それと同等に、低水路の管理が重要。
- 流下能力の低下、局所洗堀を予防するために、低水路幅や地被状態の管理（樹林化抑制等）が必要ではないか。



(a) 平衡した安定した河道 (大きな河床材料で構成)

攪乱の減少、土砂供給量の減少



(b) 河道整備により平衡が破れ、滞筋の縮小・深掘れと樹木の繁茂が生じた河道 (掃流力に耐える河床材料が少ない)

事例 (阿賀川)

工事実施前 (H21.5撮影)

現況 (H24.5撮影)

出水後の攪乱により、再樹林化が抑制されている。

伐採工事の概要 (22.6K)

平均年最大流量 (700m³/s) 水位

樹木伐採

最大2m程度の掘削

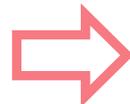
伐採後、出水時に中州の攪乱が生じるよう掘削を実施。
(河道中央に主流が流れるように川幅を広げ、左岸側の水衝部を緩和)

- ✓ 中州の切り下げ(掘削+樹木伐採)により洪水流の集中を抑制。
- ✓ 洪水による攪乱により自然営力で局所洗堀箇所を閉塞させた。

出典) 北陸地方整備局より
2012全国樹林化WS等より抜粋

<対策案>

- ✓ 滞筋幅が減少した場合、洪水が河道全体で流下せず、滞筋に流れが集中。
- ✓ 砂州の樹林化や局所洗堀が発生。



- ✓ 供給土砂量見合いの適切な滞筋幅(低水路幅)を設定し、滞筋が減少しないよう、砂州の掘削や植生管理(樹木伐採)を実施。
- ✓ 滞筋幅拡大による河床の安定化。
- ✓ 樹林化した砂州の減少による流木の発生の抑制。

樹木管理について

全国的に課題となっているヤナギ等に対し、成長する前の段階で対策を施すことにより、コスト縮減を図る。

信濃川中流域

表4・2. 各サイトにおける生活型別の出現種数

生活型	自然草地	焼き払い	遷移		遷移	
			初期林	水際	後期林	水際
一年生	18	25	22	25	10	
一、越年生	1	4	6	6	1	
越年生	2	4	14	14	0	
越、多年生	0	0	1	1	1	
多年生	35	38	31	36	27	
木本	10	5	13	6	12	
シダ	5	5	1	3	7	
ツル	10	13	7	6	6	

※「ツル」は他項目と重複有り

焼き払いは、地表面に定着している萌芽したヤナギは死滅させ、オギ等の地下茎は影響を受けないことが影響

✓ 毎年実施している高水敷の焼き払いにより草本類のオギが優先し、木本類の抑制に貢献している。

出典)
新潟大学紙谷ら
河川財団資料より

千代川



写真) ブルドーザー踏み倒し状況

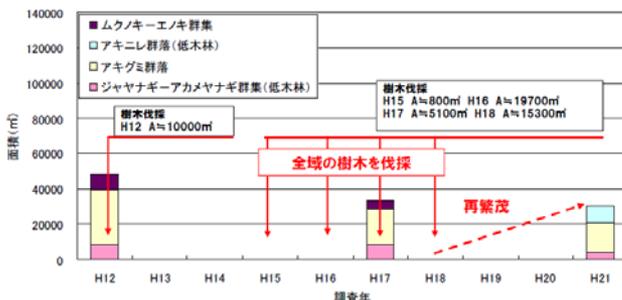


通常の樹木伐採	伐木・除根・整地		【伐採サイクル】		ブル踏み倒し	踏み倒し		【伐採サイクル】	
	集積・運搬	処分費	8年/1回	40年/8年=5回		集積・運搬	処分費	2年/1回	40年/2年=20回
合計	131円/m ²	77円/m ²	200円/m ²	408円/m ²	6円/m ²	—	6円/m ²	—	120円/m ²

✓ 2年に1回のブルによる踏み倒しによって、樹木伐採コストの縮減

出典)
中国地方整備局より
2012全国樹林化WS等より抜粋

那賀川



アキグミ群落は5年で一般的な樹高まで成長。



機械による伐採(引抜き)

✓ 樹木伐採伐根のコスト縮減のため、秋季出水の供給種子から発生した実生株を、毎年速やかに伐採する手法を採用

出典)
四国地方整備局より
2012全国樹林化WS等より抜粋

淀川



✓ 除根せず、切り株から萌芽する枝葉を大きくなる前に伐採。
✓ コストダウン
✓ 芽掻きにより枯死すれば、外来種の駆除に期待

出典)
近畿地方整備局より
2012全国樹林化WS等より抜粋

UAV写真測量を活用した河道管理手法

- 洪水に対する氾濫リスクの低減に資する、または、早期対策によるコスト縮減に資する河川維持管理行為を重点的に実施する。

現在の主要な河川管理項目	目的	課題
日常巡視 週1回～2回	異常及び変化等を 概括的に把握。	巡視・点検で、発見される 亀裂や陥没等の表面上の データは、堤防の破堤に 対する安全性と関係性が ない。(森・服部ら, 2015)
出水期前/出水後/台風期前 の職員の堤防点検	治水上の機能につ いて異常及び変化 を発見・観測・計測 する	低水護岸の流出や洗掘は、 発見が遅れると、その後の 河岸浸食→破堤に繋がる 可能性がある
船上巡視による低水護岸(河 岸)、河道の点検 (1～2回/年)		
被災後の緊急点検	復旧のための被災 の早期把握	把握に時間を要する。
出水後の洪水痕跡調査	河道の粗度管理の ため(流れやすさの 把握)	手間がかかる。
定期縦横断測量 (1回/5年、出水後)	流下能力の把握	砂州などの変化が激しい 箇所の経年変化を捉えら れていない。
樹木調査 (5年～10年に1回の航空写 真測量により実施。また、年1 回の目視点検により実施。)		樹木の繁茂の傾向は把握 されるが、経年変化を定量 化されていない。

UAV写真測量の活用の視点

✓ 死角箇所を網羅的に発見する。
✓ 定量化を図る。

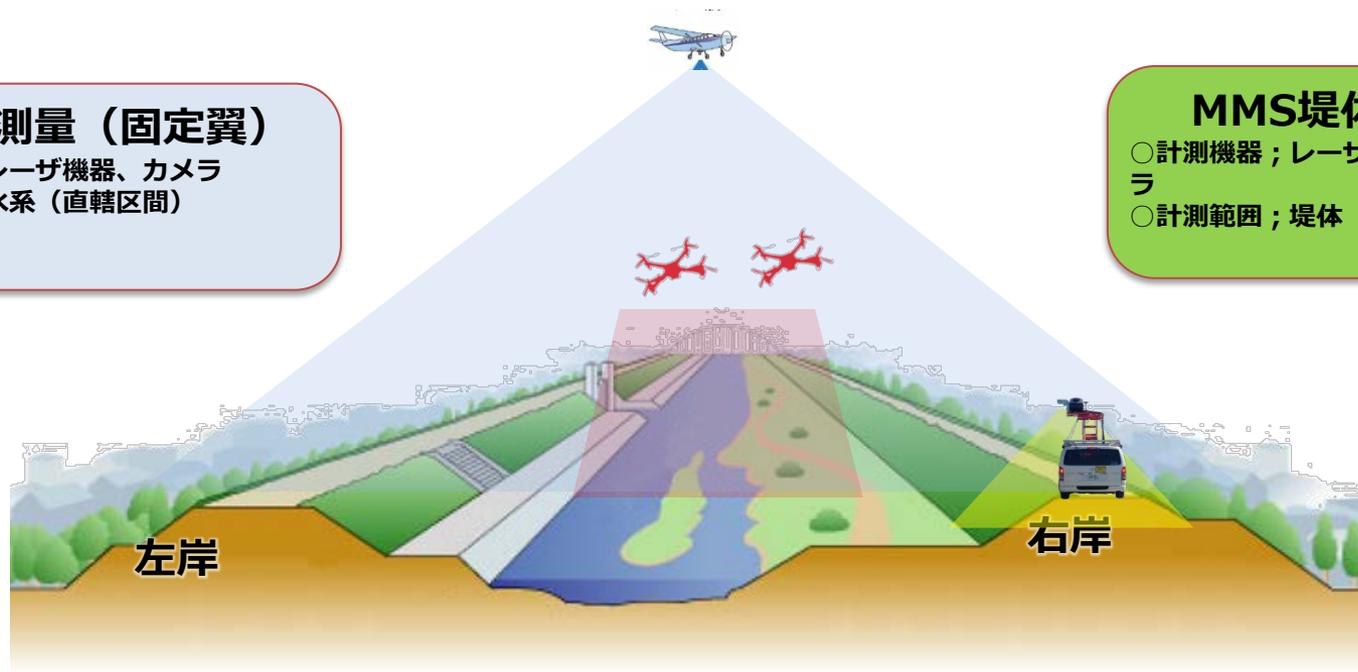
✓ 中小洪水で変化する低水路内の地形を把握し、洪水に対する水位上昇の危険性を評価する

✓ 成熟する前の幼木の早期段階で、対策を実施し、伐採コストを削減する

UAV・河川調査に関する現在の技術動向

将来の河道管理イメージ

- 職員の徒歩による目視や地上測量で、地形の変化や変状を把握している従来手法から、将来、UAVを始めとして、様々な機器を活用し、河道管理の高度化が進むと想定。



航空LP測量（固定翼）

- 計測機器；レーザ機器、カメラ
- 計測範囲；水系（直轄区間）

MMS堤体調査

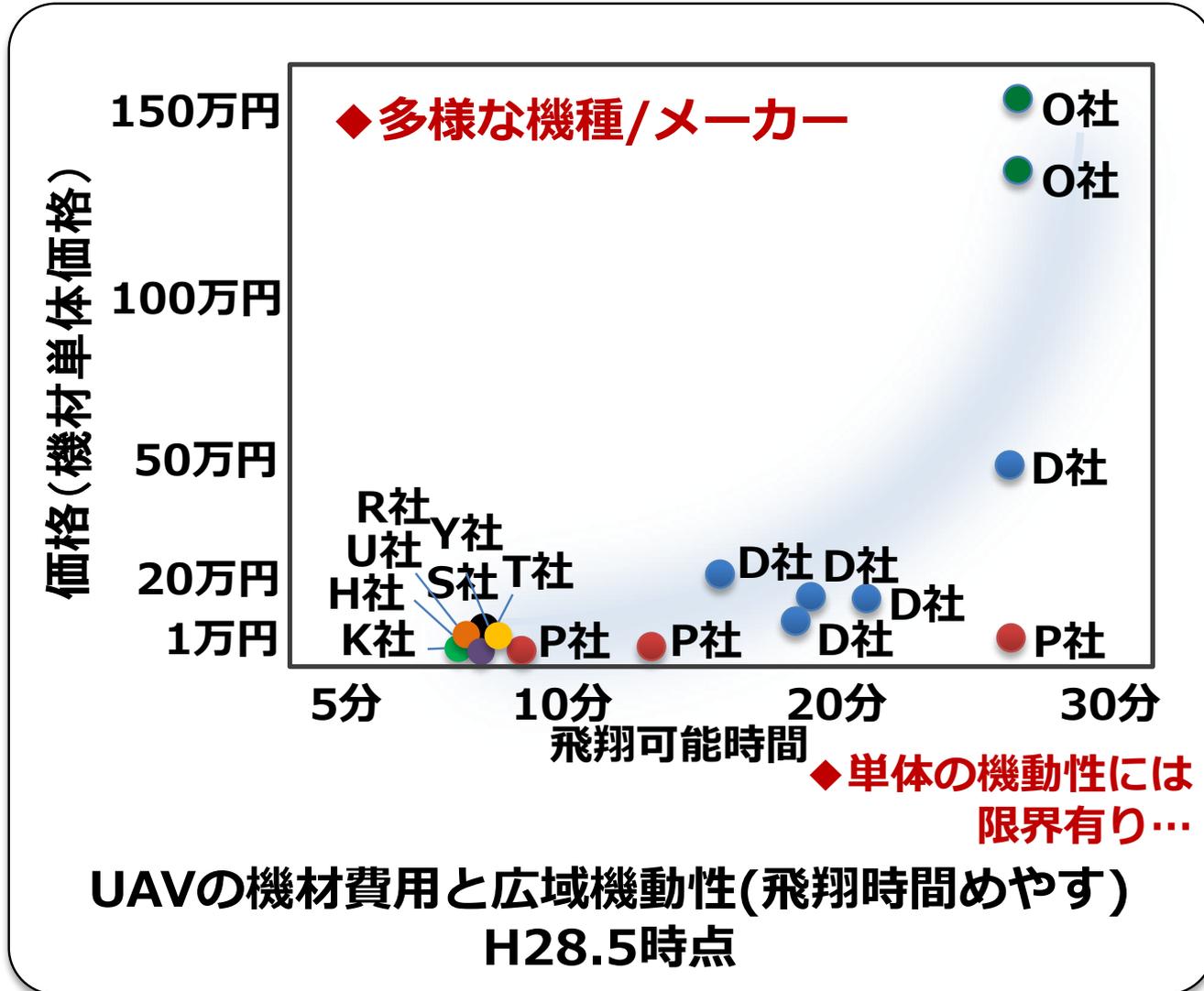
- 計測機器；レーザ機器、カメラ
- 計測範囲；堤体

UAV写真・LP測量

- 計測機器；カメラ
- 計測範囲；堤防上から見えない範囲（低水路、砂州、河道内樹木）

UAVにおける現在の技術的な課題

- UAVによる計測の制約として、飛行時間が挙げられ、現在は約30分が限界である。また、UAVに搭載する機器の重量によって飛行時間が短くなる。



UAVに関する既往研究

- 土木学会の論文(河川技術、水工学)を中心に関連研究を検索。
- UAVに搭載する機器はデジカメ、画像データの活用とする研究が多い。

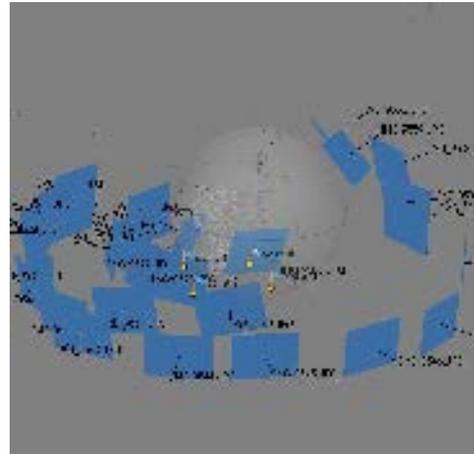
年度	論文名	著者	タイトル	ポイント(齋藤記入)	搭載機器	一次データ	2次データ
2014	土木情報学	田中 成典(関西大学、今井 龍一(国総研)ら)	LPデータと過年度の河川定期横断測量成果を用いた横断図生成手法に関する研究	直接UAVを使用していないが、 航空レーザー測量(LP)と地上測量を比較 し、LPデータのフィルタリング方法を提案している。 課題としては、植生が繁茂している面では、補間や推定する方法しかない。	LP、GPS	点群データ	横断図
2016	河川技術論文集	掛波優作、赤松良久(山口大学)ら	UAV-SfM手法を用いた高解像度かつ簡便な 河道測量技術の検証(★)	1リーチ区間において、水中部の地上測量とUAVによる写真データを用い、標高データの精度の比較検証 を実施。水中部は光の屈折により補正が必要。	デジカメ、GPS	画像	地形データ(X、Y、Z)
2009	水文・水資源学会誌	長井正彦(東京大学)ら	無人ヘリコプターによる河川環境モニタリング手法の開発	1リーチ区間において、無人ヘリに、デジタルカメラ、赤外線カメラを搭載し、植物の赤領域と青領域の波長帯の吸収能力を利用し、波長の反射度合から植物の活性度を推定 している。	デジカメ、赤外線カメラ、GPS	画像、反射波	植生の活性度
2016	水工学論文集	渡辺豊(ルーチェサーチ)・河原能久(広島大学)	UAVを利用した空中写真の河川地形計測への適用性(★)	2横断面において、地上測量とUAVを用いた画像からSfMによる3次元形状とを比較検証 。 樹木が繁茂している箇所はUAVによるものは地表を捉えることはできない。水中部は光の屈折率1.33の補正を行えば一致する。	デジカメ、GPS	画像	横断図
2015	水工学論文集	藤田一郎(神戸大学)ら	マルチコプターから撮影されたブレ動画の高精度補正に基づく Aerial STIVの開発(★)	1リーチにおいて、UAVに搭載したカメラにより、洪水中の河川水の表面流速を計測。背景画像から自動でブレ補正を実施 。	デジカメ	画像	表面流速
2016	河川技術論文集	原田守啓、沢田和秀(岐阜大学)ら	UAVと水域可視化処理による河川地形計測手法の検討(★)	1リーチにおいて、UAVに搭載したカメラにより、画像を水中可視化し、水中の地形及び河床材料の調査を実施し、従来手法と比較検証 を実施。	デジカメ	画像	横断図 河床材料
2015	河川技術論文集	佐貴方城(ウエスコ)ら	3種の航空測量技術を使用した河道地形の効率的測量の実装展開に向けた比較検討(★)	1リーチにおける複数断面において、航空機写真測量、有人ヘリLP測量、UAV写真測量の3手法を比較 。スケールにより調査コストが異なる。	デジカメ	画像	横断図
2016	河川技術論文集	原田 紹臣(三井共同建設コンサル)・中谷 加奈(京都大学)・里深 好文(立命館)・水山高久(政策研究大学)	小型ドローン空撮機及び数値解析モデルを活用した山地河川の土砂管理に関する一考察	砂防堰堤1基の上流において、UAV-SfMにより、土砂捕捉量を算定 。砂防ダムは、調査しにくい地点が多く、また、土砂捕捉量によって、土砂調節効果に大きく影響されるので、定期的な調査が求められ、本手法は有効である。	デジカメ	画像	砂防ダム 上流堆積 土砂量

SfM (Structure from Motion)

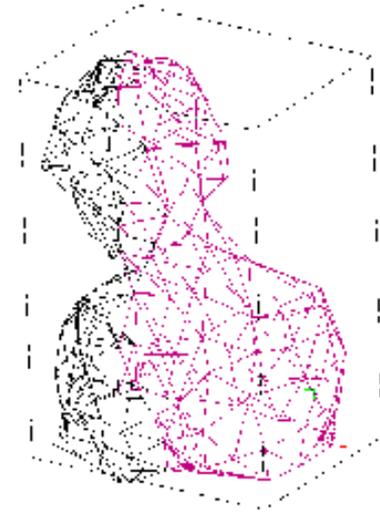
○ オーバーラップした写真画像から、撮影対象の3次元形状を復元する技術



GPSにより位置情報を持った静止画を取得
(ラップ率60%以上)



- ・位置情報により静止画を整列
- ・ラップした写真から類似点を抽出し、XYZの情報を持った点群を発生



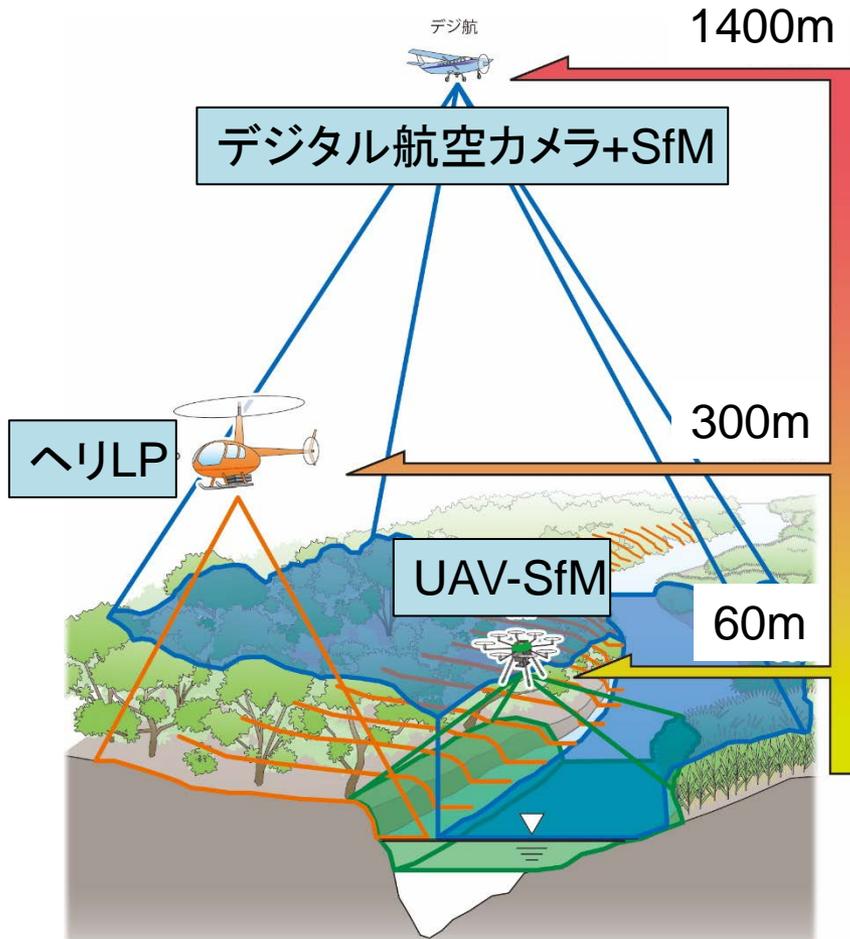
- ・点群を線で結びポリゴンを作成

UAVで何がどこまで計測できるのか(まとめ)

- 1リーチスケールで従来手法との精度について比較検証している事例が多い。
- デジカメによる画像から、計測可能な項目として下記の技術が挙げられる。
 - ✓ SfMによる3次元地形
 - ✓ STIVによる表面流速
 - ✓ 水中可視化による河床材料(直径4cm以上)
- SfMによる3次元地形の適応範囲として、
 - ✓ 水中は平常時において水深2mまで計測可能
 - ✓ 植生や樹木が繁茂している箇所は表層の高さを計測することになる。
 - ✓ 裸地や除草している箇所(堤防、砂州等)は標高を計測可能。
- セグメントスケール(数十キロ)で調査・管理している河川の現場において、UAVを活用した実証実験の事例がない。

UAVと他の計測方法とのコスト比較

■ 河川地形計測方法について、UAVと有人飛行計測とをコスト比較したところ、水系単位のスケールであれば、有人飛行の方が安価である。



空間スケール別のコスト比較

(リーチスケールのUAV-SfMのコストを1とした場合)

航測技術	対象スケール		
	水系	セグメント	リーチ
デジ航	50	10	2
ヘリLP	100	15	3
UAV	100	13	1

- 従来の定期縦横断測量と比較して、情報量は圧倒的に多い。
- 樹木、草本等の植物が繁茂する区間、水深が浅い場面では、UAV-SfMが有利。
- 要求される計測精度，規模，頻度に応じた使い分けを提案。

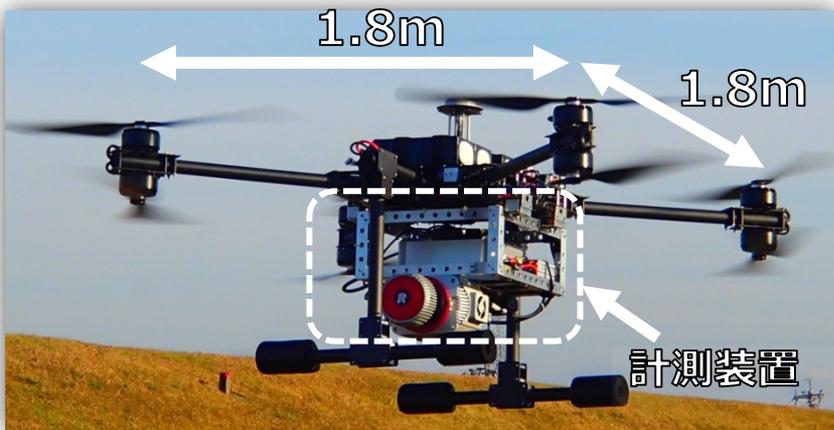
出典)

・第31回 インフラ・イノベーション研究会 岐阜大学資料

・佐貫方城, 渡辺敏, 宮田真考, 草加大輝: 3種の航空測量技術を使用した河道地形の効率的測量の実装展開に向けた比較検討, 河川技術論文集, 21, pp.105-110, 2015.

UAV-LPの計測事例

■ UAVは手軽さ、迅速性の観点から災害時の状況把握に有効である。



TOKI仕様

大きさ	1.8m×1.8m
羽根の枚数	8枚
搭載機器	VUX-1 (RIEGL製)

330°視野による超広角データ収集!

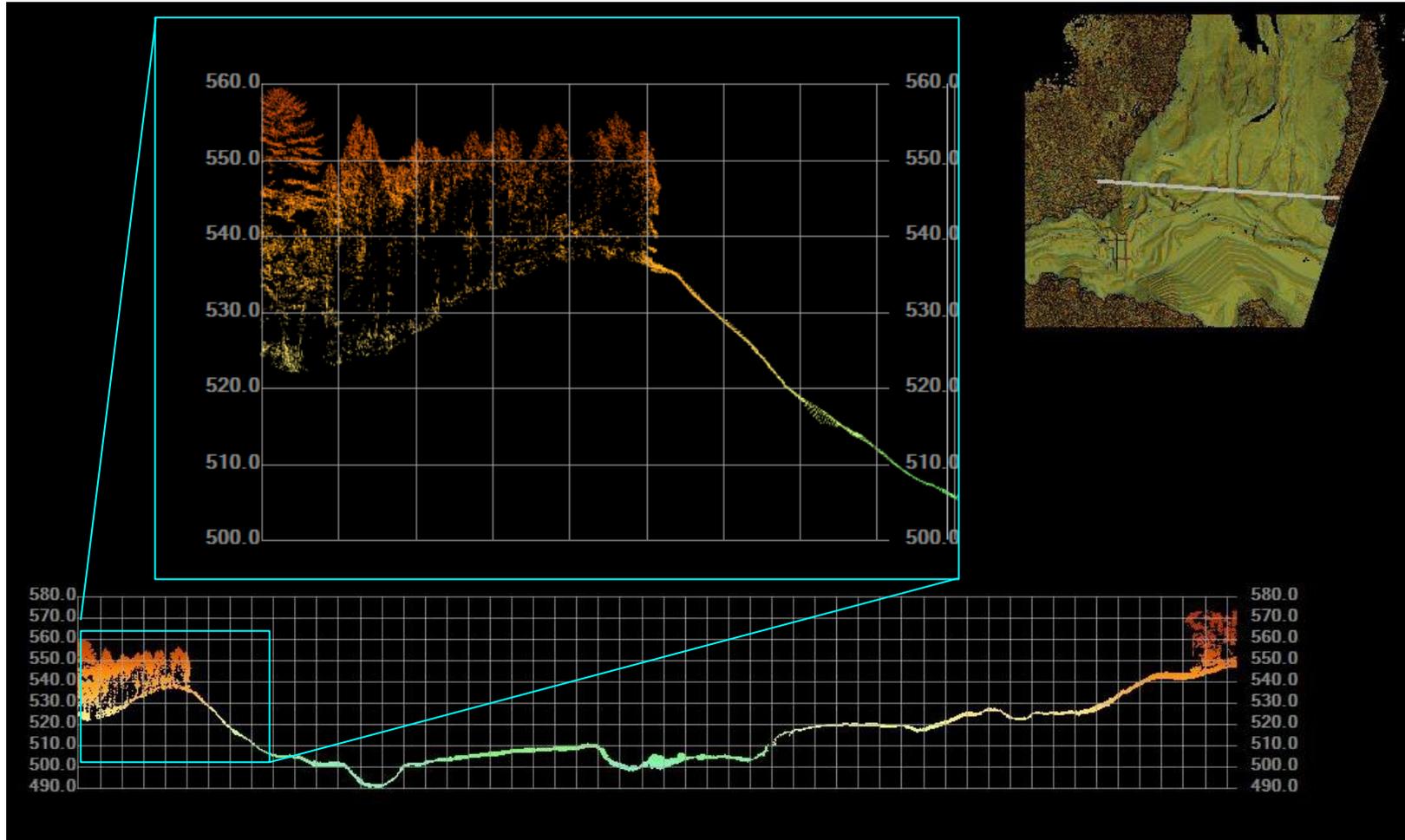
VUX-1仕様

最短距離	3 m
アイセーフ	レーザクラス1 (JIS C 6802)
有効測定レート	500,000測定/秒 まで
視野角(FOV)	330°
最大差動飛行高度AGL	350m/1,150ft



 RIEGL JAPAN

- レーザの優位性は解析速度と植生下（樹木○、草地×）の地形把握

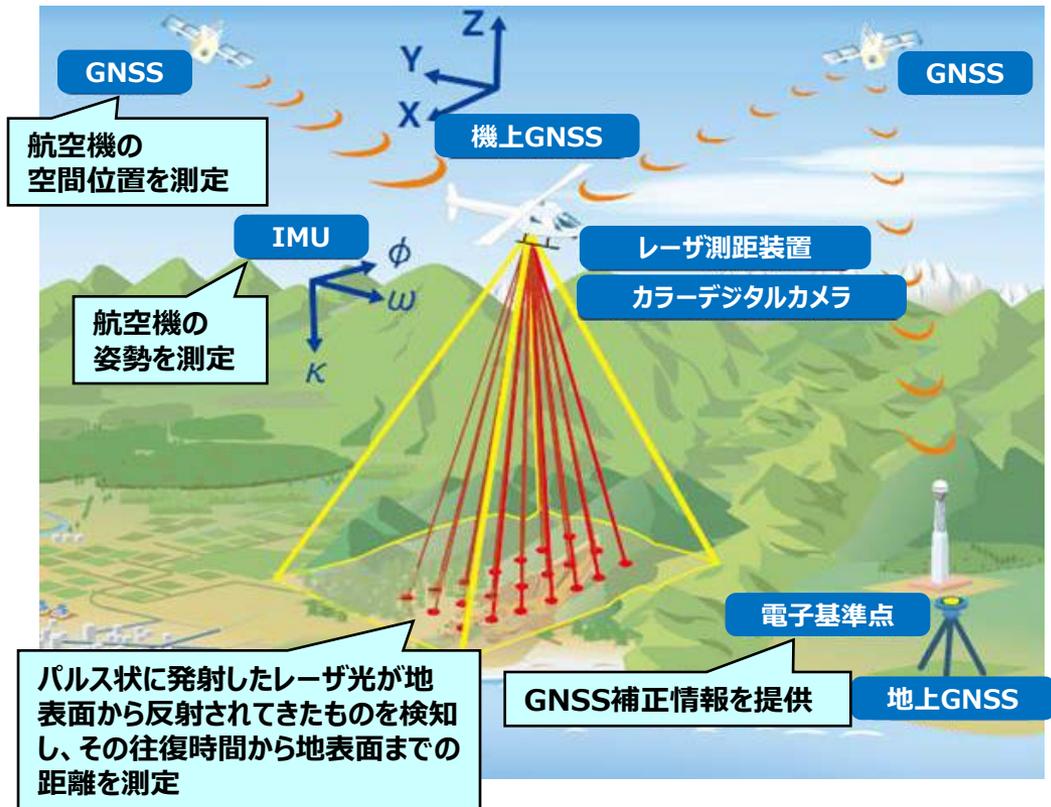


出典)

・第31回 インフラ・イノベーション研究会 (株)中日本航空資料

航空レーザ計測の原理

飛行機やヘリコプターから地上に向けてレーザを発射し、地表面で反射して戻ってきたレーザの時間差から、3次元データを取得する測量技術



- 「近赤外」か？ 「緑」か？
- 「波形の違い」であるということ
- したがって、計測方法は同じである

グリーンレーザ機材の特徴

●レーザ測距装置は、**水域用と陸域用の2つ**を搭載し、同時に運用する。

また、スキャン方式は楕円方式（オブリークスキャン）を採用しているため、樹木・建物・地形等の側面データも取得できる。

●航空レーザ測量のうち、**水中の計測**においては**可視域のレーザ光（緑色）**を用いることで、**河床の地形も計測が可能**になる。



IMU
(姿勢制御装置)

水域用レーザ
・レーザ波長：515nm
・照射頻度：35kHz
・対地高度：500m
・計測密度：1点/m²

陸域用レーザ
・レーザ波長：1,064nm
・照射頻度：最大500kHz
・対地高度：最大1,600m
・計測密度：10点/m²

デジタルカメラ
・バンド数：4バンド
(RGB+近赤外)
・画素数：8,000万画素

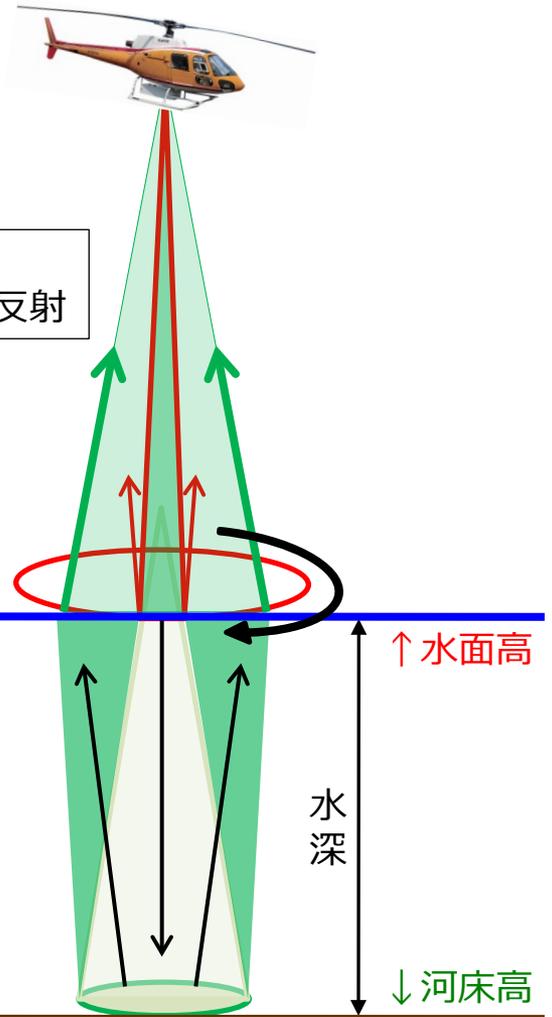
使用した機材（Chiroptera II）

●測深性能は、透明度や水質に大きく依存するが、**最大で15m程度**（九頭竜川では5m）

水域用レーザ（緑色）と
陸域用レーザ（赤色）の反射

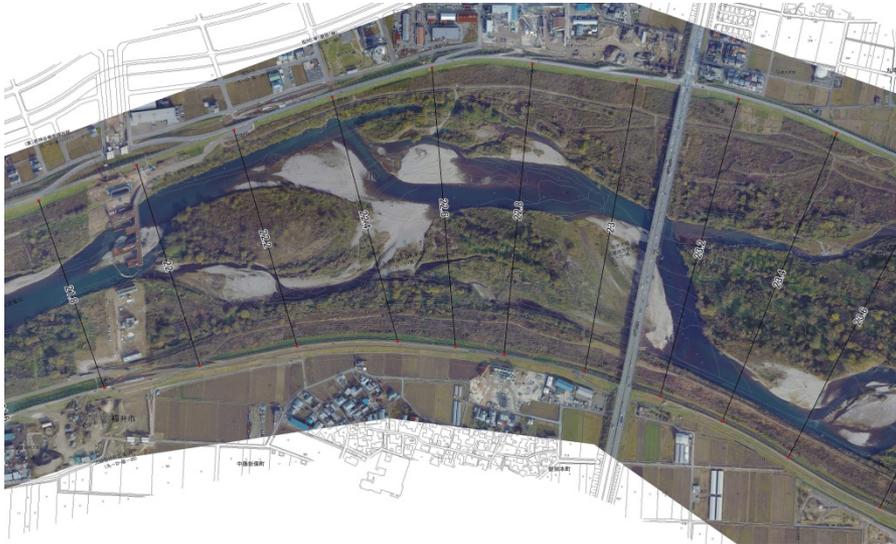
水面での反射

水底での反射

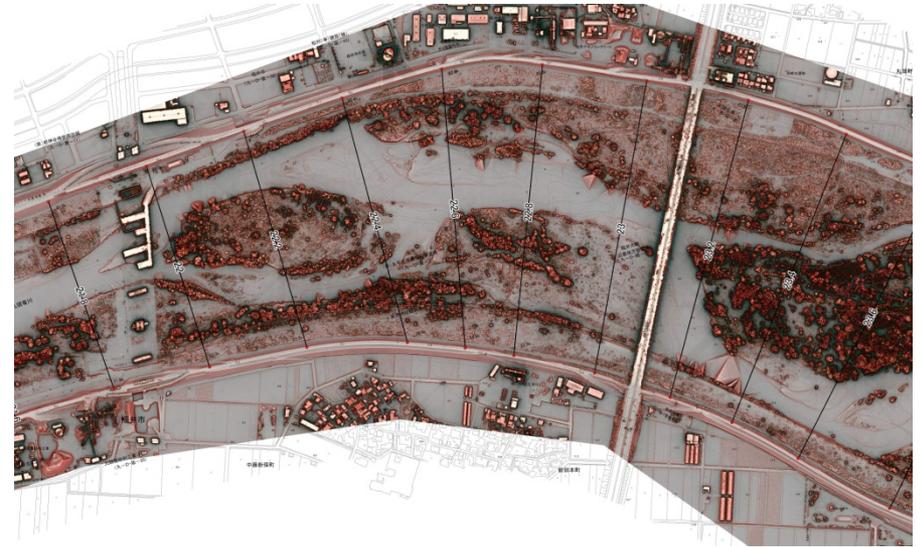


ALBによる測深概念図

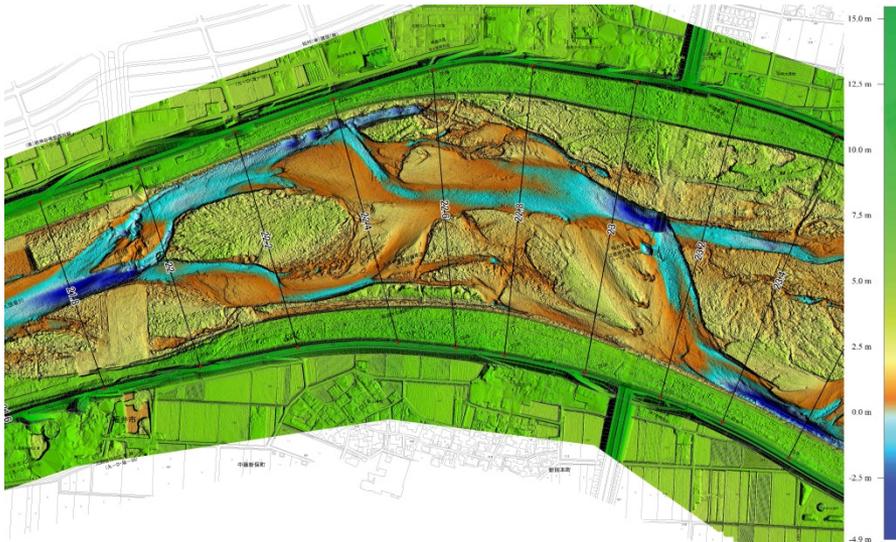
主題図の作成



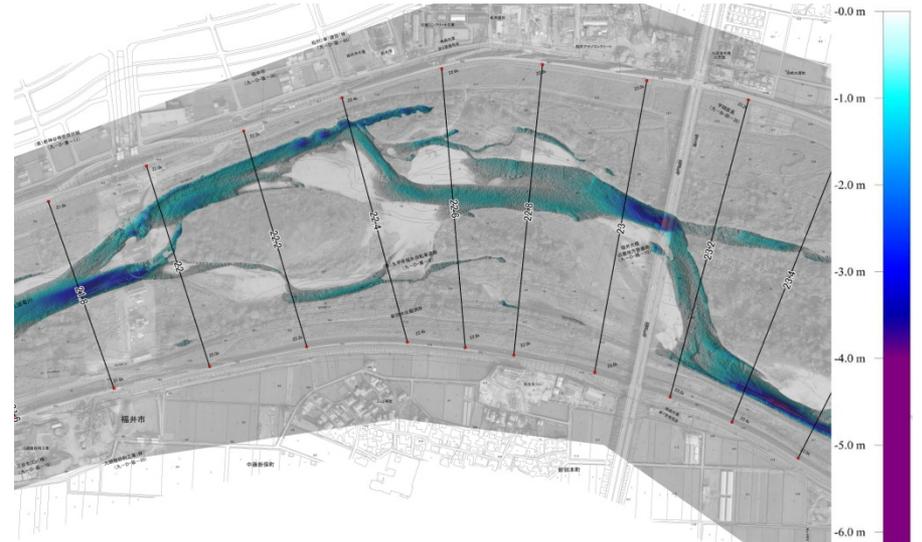
航空写真図により、河道の状況を把握



赤色立体地図により、樹木分布等を確認



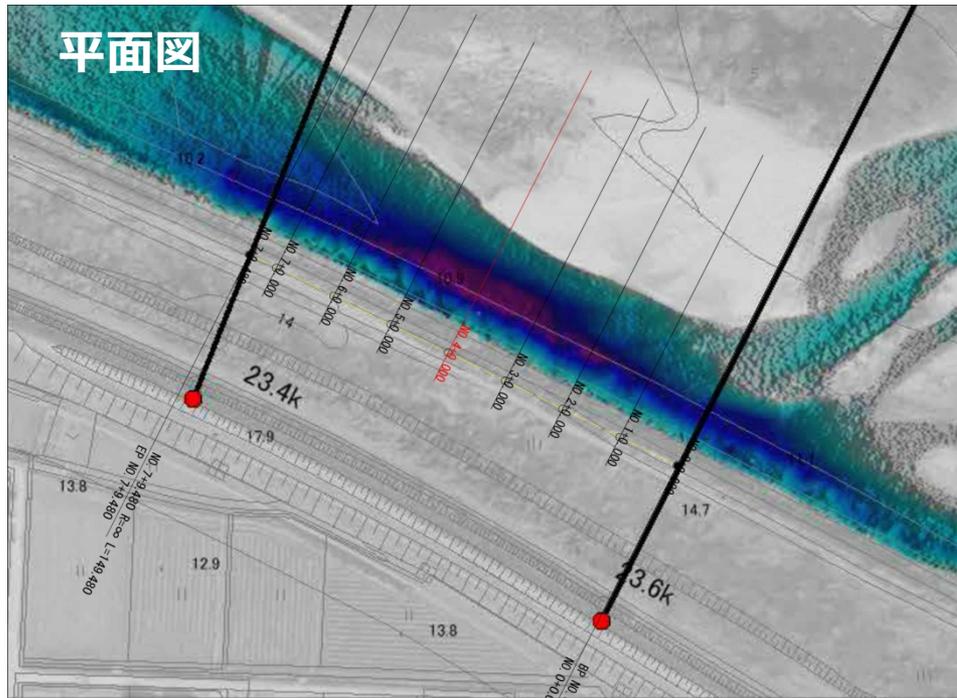
比高図により水深分布や砂州の比高を把握



水深分布図より水深分布比高を把握

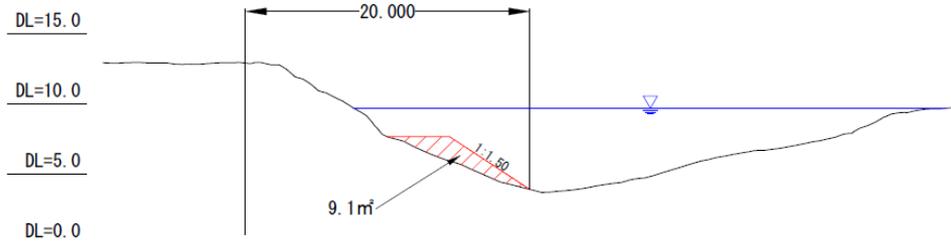
出典) 国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所 資料

河岸浸食の対策検討への適用



横断面図

NO. 4+0.000



平均断面積計算書

測点	点間距離	根固め工		
		断面積	平均断面	立積
No.0-60m	0.00	0.0		
No.0	60.00	18.9	9.45	567.0
No.1	20.00	16.0	17.45	349.0
No.2	20.00	15.8	15.90	318.0
No.3	20.00	11.0	13.40	268.0
No.4	20.00	9.1	10.05	201.0
No.5	20.00	10.4	9.75	195.0
No.6	20.00	8.2	9.30	186.0
No.7	20.00	11.8	10.00	200.0
No.7+40	40.00	0.0	5.90	236.0
合計	240.00			2520.0

根固めブロック **V=2,520m³**

UAVの活用事例(下水道分野)

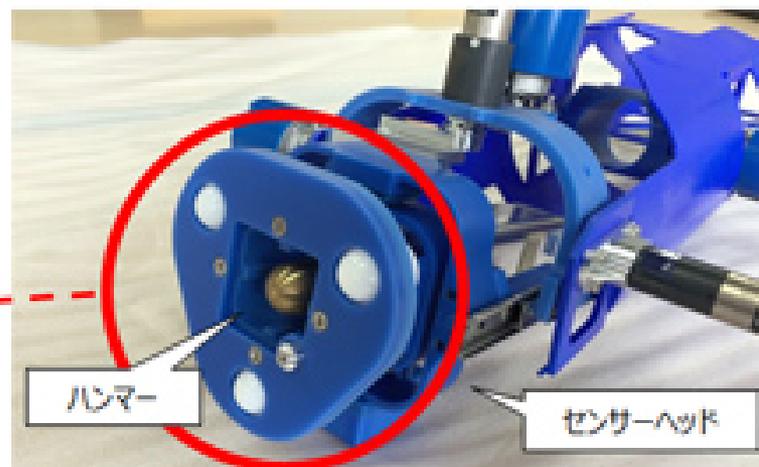
- ✓ 硫化水素中毒の危険がある下水道管渠の点検をUAVを用いて点検。(現場実証中)
- ✓ 赤外線センサーで、壁面との距離を計測しながら延長100mを自律飛行。



- ✓ 機体のサイズはA3程度。下水管直径400mmを飛行。
- ✓ 壁面にぶつかっても壊れないよう周囲をガード

UAVの活用事例(橋梁打音)

- ✓ UAVにマイクとハンマーを取り付け、捉えた音を点検員が聞き取り、コンクリートの健全性を診断する。
- ✓ 将来は、UAV打音から得られた音をAIを活用し、良しあしを判断する技術を開発中。



UAV写真測量を活用した簡易な 河川管理手法の検討

研究目的と概要

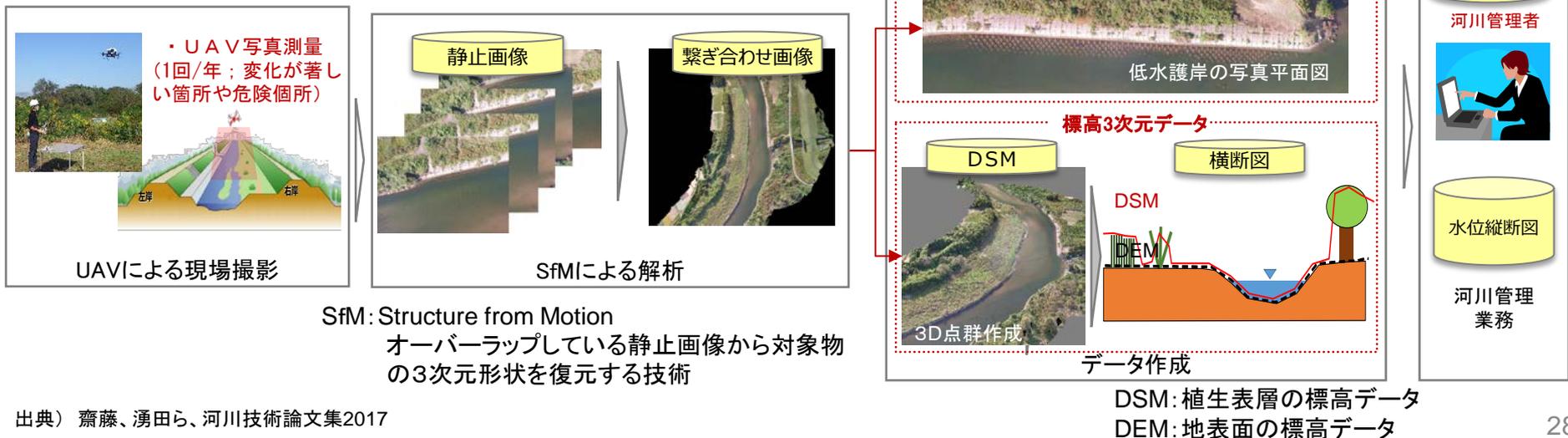
(現状の課題)

- 国管理河川では、5年に1回の地形測量や目視を基本とする樹木調査が実施されているが、**低水路内の地形の変化や樹林化速度は著しく、経年変化を客観的に把握されていない。**
- 県管理河川では、**災害発生後に災害申請のために地形測量を実施するのみの河川が多く、事前の状況が把握されていない。**

(研究の目的)

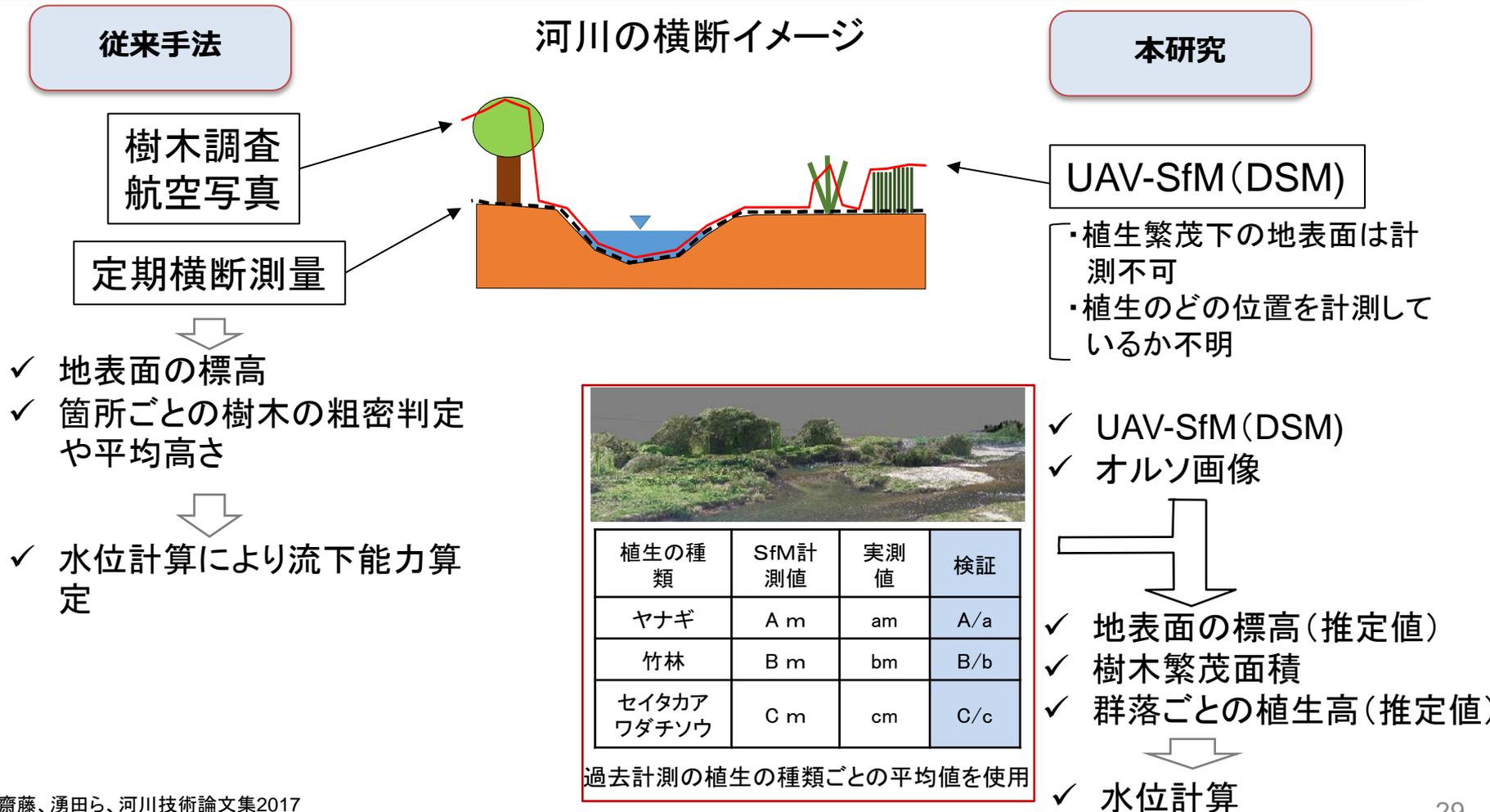
- 砂州地形や河川植生の経年変化を、**安価な方法で計測し、簡易に流下能力を評価する手法**について、その実行可能性を現場実証を通じて確認する。

■ 簡易な評価手法イメージ



本研究の特徴

- UAV-SfMから得れた表層データ(DSM)は、**植生繁茂下の地表面は計測不可**及び**植生のどの位置を計測しているか不明**である。
- 直接、地表面を計測することに注力を注ぐのではなく、**植生のSfM計測値と実測高の関係性を求め、DSMから地表面(DEM)等を推定する方法を研究。**

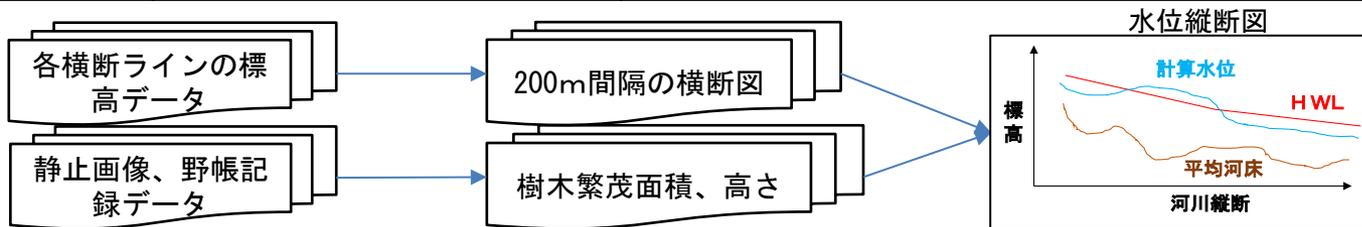


従来手法と本研究

■ 現地実証より、従来手法と比較し、**外業時間が約1/5に短縮**、**地形データ作成までのコストが約1/3に縮減**。本研究は、**危険箇所等を頻度多く計測する手法として適している**。

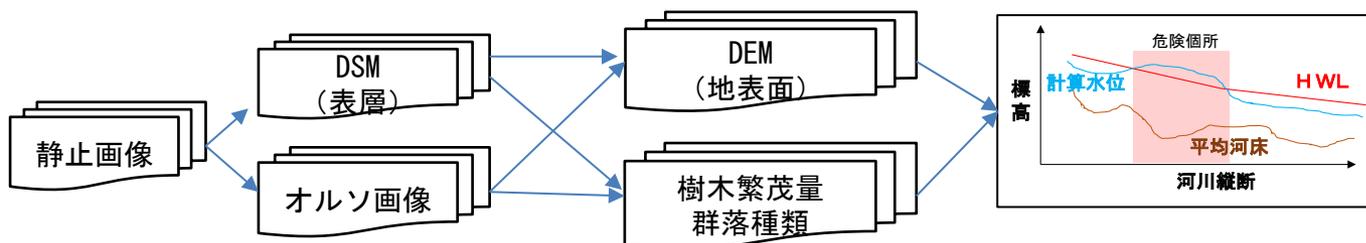
従来手法

項目	外業	内業
定期縦横断測量 (1回/5年)	・ 地上測量	・ 横断図の作成
樹木調査 (1回/5~10年)	・ 航空写真撮影 ・ 樹木の高さの現地調査	・ 写真や現地調査結果から樹種を判定 ・ 樹木繁茂の面積の算出及び各箇所の高さ



本研究

項目	外業	内業
UAV写真測量 (1回/年；変化が著しい箇所や危険箇所)	・ UAV飛行の監視	・ SfMによるDSM作成 ・ 蓄積された群落ごとの平均植生評価高を差し引きDEMを作成
		・ DSM, DEMから樹木の繁茂量を算定 ・ オルソ画像から樹種を判定



現場実証概要(計測精度検証)

■ UAV写真測量から得られた標高3次元データ(A)及び画像データ(B)の計測精度を検証した。

(A) **裸地、水域、植生部の各地表面の状態**に対し、標高値の測定精度の実測値との差を検証。(正解データは従来の地上測量【定期横断測量等】)

(B) SfMから得られたオルソ画像を活用して写真平面図を作成し、堤防から死角領域に位置している低水護岸等の変状を確認。

■ 実証現場概要



- ✓ Inspire1 (DJI社製)
- ✓ 市販の4Kカメラを搭載

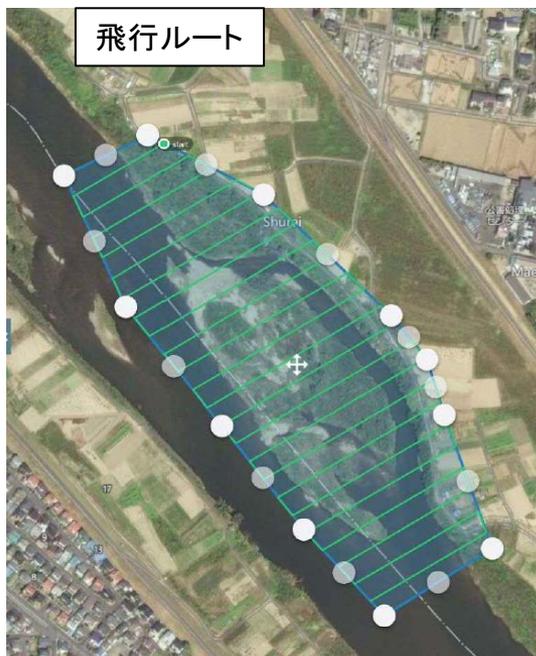
計測時間	計測条件
○ 砂州A (600m × 200m) ・45分 (3フライト)	○ 対地高度60m
○ 砂州B (600m × 300m) ・105分 (5フライト)	○ 写真撮影のラップ率 ・縦断方向60% ・横断方向90%

名取川・広瀬川合流付近
平成28年10月7日、14日に実施

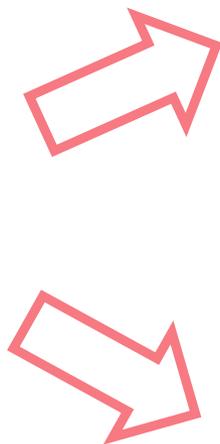


(出典: 国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所)

SfMによる3Dデータ・樹林化範囲用 砂州A



オルソ画像



計測条件、解析条件等

- 画像数; 静止画783枚
- グランド解像度; 1.8cm/pixl
- 面積; 0.17km²
- エラー除去; 設定なし
- SfM処理時間; 10時間28分



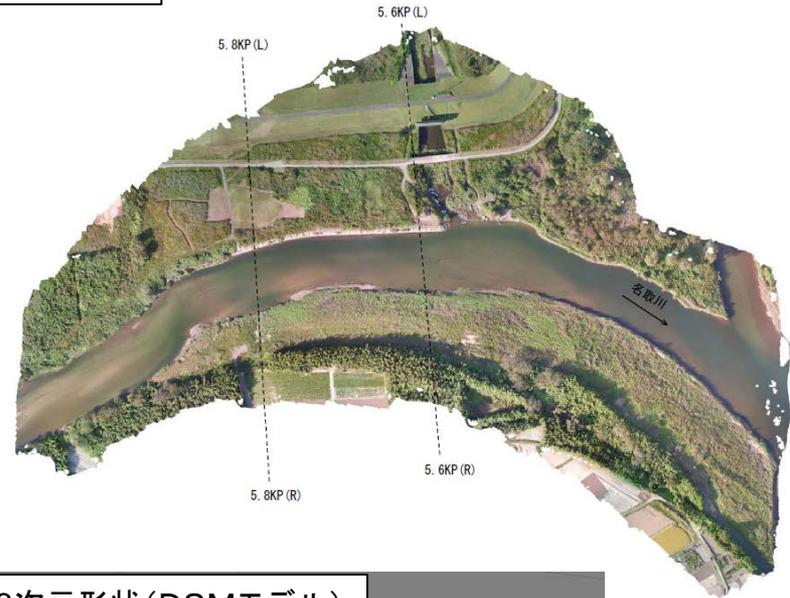
3次元形状(DSMモデル)

SfMによる3Dデータ・樹林化範囲用 砂州B

飛行ルート



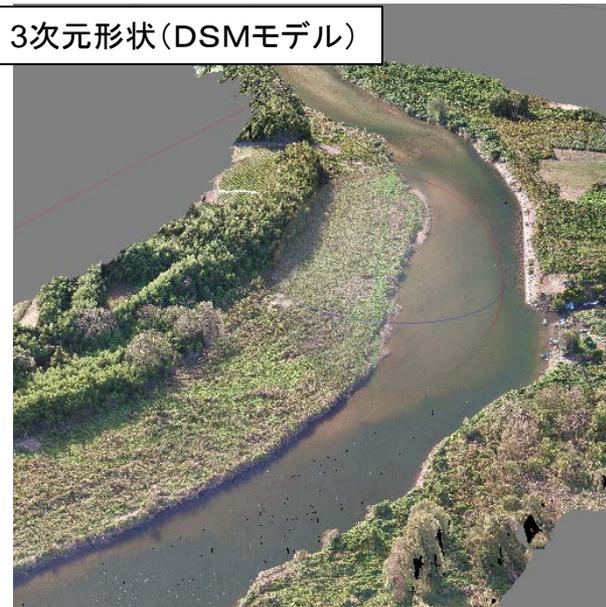
オルソ画像



計測条件、解析条件等

- 画像数; 静止画1413枚
- グランド解像度; 1.8cm/pix
- 面積; 0.259km²
- エラー除去; 設定なし
- SfM処理時間; 30時間24分

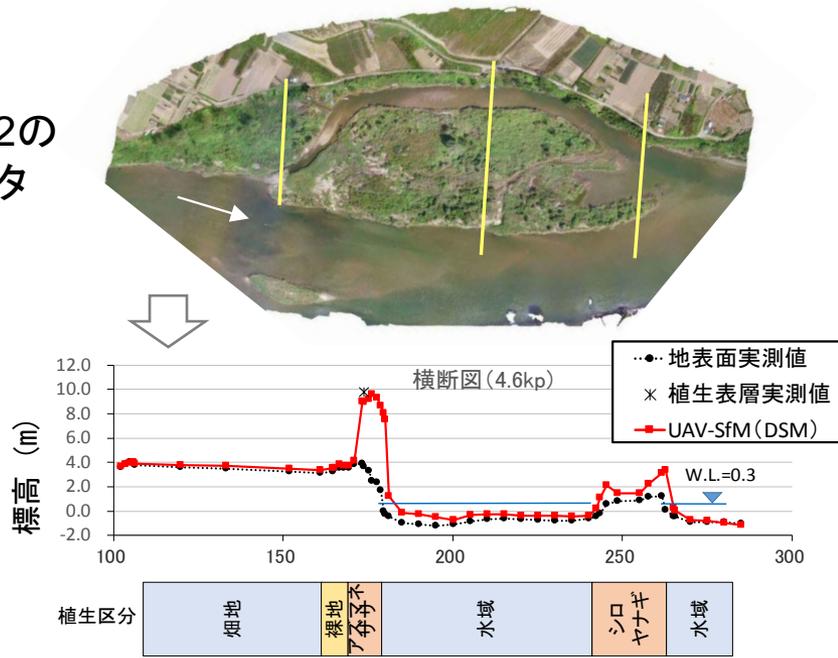
3次元形状(DSMモデル)



現場実証結果

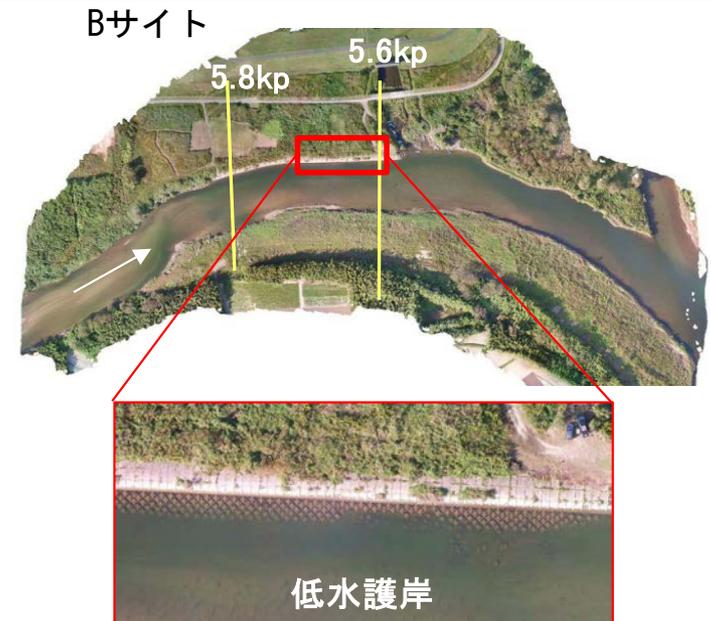
- 定期横断測量 (H28実施) の測線上において、UAV-SfMと実測値とを比較。
- 植生域については、ポール計測による植生実測高と差分 (UAV-SfM・定期横断測量) とを比較。
- また、UAV-SfMで生成されたオルソ画像より、船上巡視の対象である低水護岸の変状を確認できるかどうか検証。

✓ 283点/m²の
点群データ



左岸堤防からの横断方向距

- ✓ 横断5測線上 (数m間隔) の
位置と対応する点を抽出



- ✓ 地上解像度1.8cm/pixlであり、水中部の根固めブロックの様子も十分把握可能

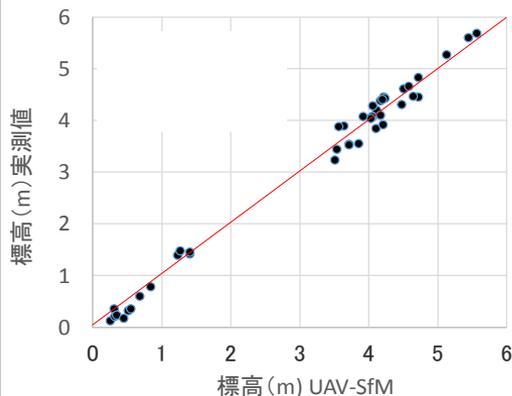
現場実証結果

■ UAV-SfMから得られた地形データ(DSM)と定期横断測量結果との比較結果として、下記の内容が把握された。

- ✓ 裸地部では、従来測量(実測値)と同等の計測精度
- ✓ 水中部では、濁りの影響で、水深が深い領域において従来測量(実測値)より浅めに計測
- ✓ 植生部では、繁茂している表層に空隙がある場合は、より下層の位置を捉える等、植生の繁茂形態に応じて、計測精度が異なった

裸地部

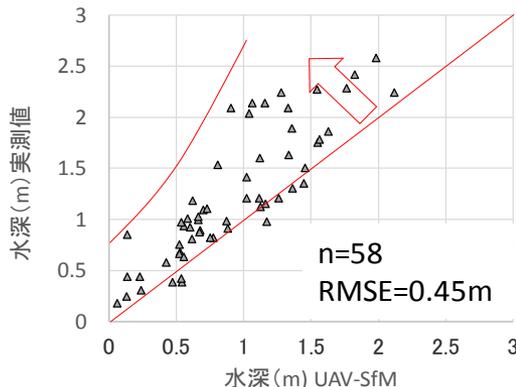
UAV計測値と従来測量との関係



⇒ 従来測量と同等
(要求精度±15cm)

水中部

UAV計測値と従来測量との関係



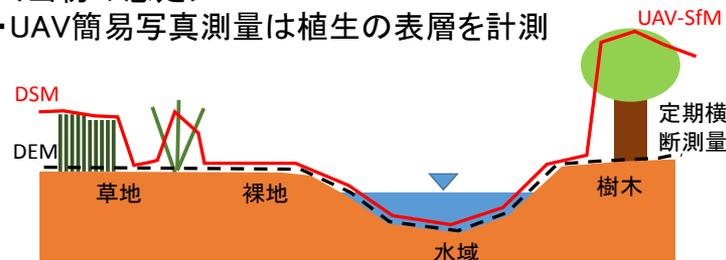
※水の屈折率(1.33倍)の補正実施

⇒ UAV計測値は従来より浅めに評価

植生部

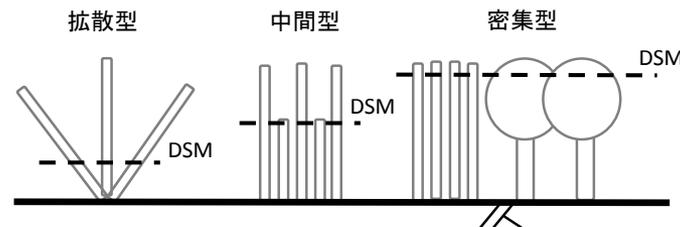
<当初の想定>

・UAV簡易写真測量は植生の表層を計測



<実証結果>

・植生の中層や下層を計測した群落あり



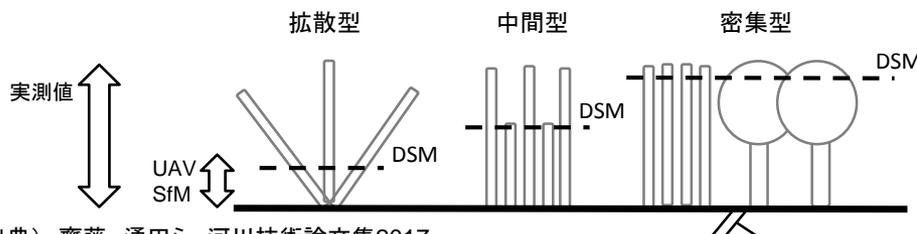
植生の種類ごとのUAV-SfMの植生評価高

- 群落ごとにDSMの植生高の定量的なデータが蓄積されれば、新たに計測したDSMから、群落ごとのUAV-SfMの植生高評価値の過去の蓄積データの平均値を差し引くことで、DSMから流下能力算定に必要な植生下のDEMや樹木繁茂量を簡易かつ安価に推定することが可能となる。

表 植生の群落ごとのUAV-SfMにより得られた植生高と実測値

群落名	UAV-SfM値 (a) ^{※1}	実測値 (b) ^{※2}	a/b ^{※3}	検証 地点 数	繁茂類型
アズマネザサ	5.6m	6.1m	0.9	n= 1	密集型
ヨシ	1.3m	2.2m	0.6	n= 1	中間型
セイタカア ワダチソウ	0.7~2.0m	0.9~2.3m	1.0	n= 2	密集型
カナムグラ	1.0m	0.6m	1.7	n= 1	密集型
オギ	1.3~1.6m	2.1~2.2m	0.7	n= 2	中間型
イタドリ	0.5~1.2m	2.3~3.3m	0.3	n= 2	拡散型
モウソウチク	13~18m	10~22m	1.0	n= 2	密集型
オニグルミ	4.0m	5.0m	0.8	n= 1	密集型

※1 UAV-SfMから得られたDSMと定期横断測量結果の差分により算出
 ※2 ポールを用い地表面から植生の枝葉の最頂部までの高さを現地計測
 ※3 (a)の群落ごとの平均値を(b)の群落ごとの平均値で除した



H28年度実施

- ✓ 特性の環境条件下における計測結果
 - ・時期; 10月
 - ・風速; 0~4m/s

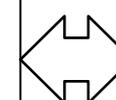


今後

- ✓ 複数の環境条件下における計測を実施し、UAV-SfMの植生高評価値を定量化

植生の種類ごとの
UAV-SfM(DSM)

植生の種類ごとの
の実測値



河川管理

- ✓ 計測時の環境条件に応じて、DSMからDEM等を推定

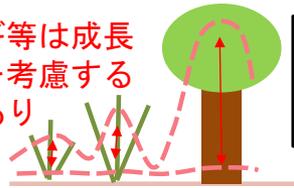
UAV写真測量を活用した河道管理手法

- UAV写真測量により得られたデータを様々な方法により加工することで、流下能力の感度分析、環境調査、低水護岸の状況把握等の河川管理の場面で利活用が可能となる。

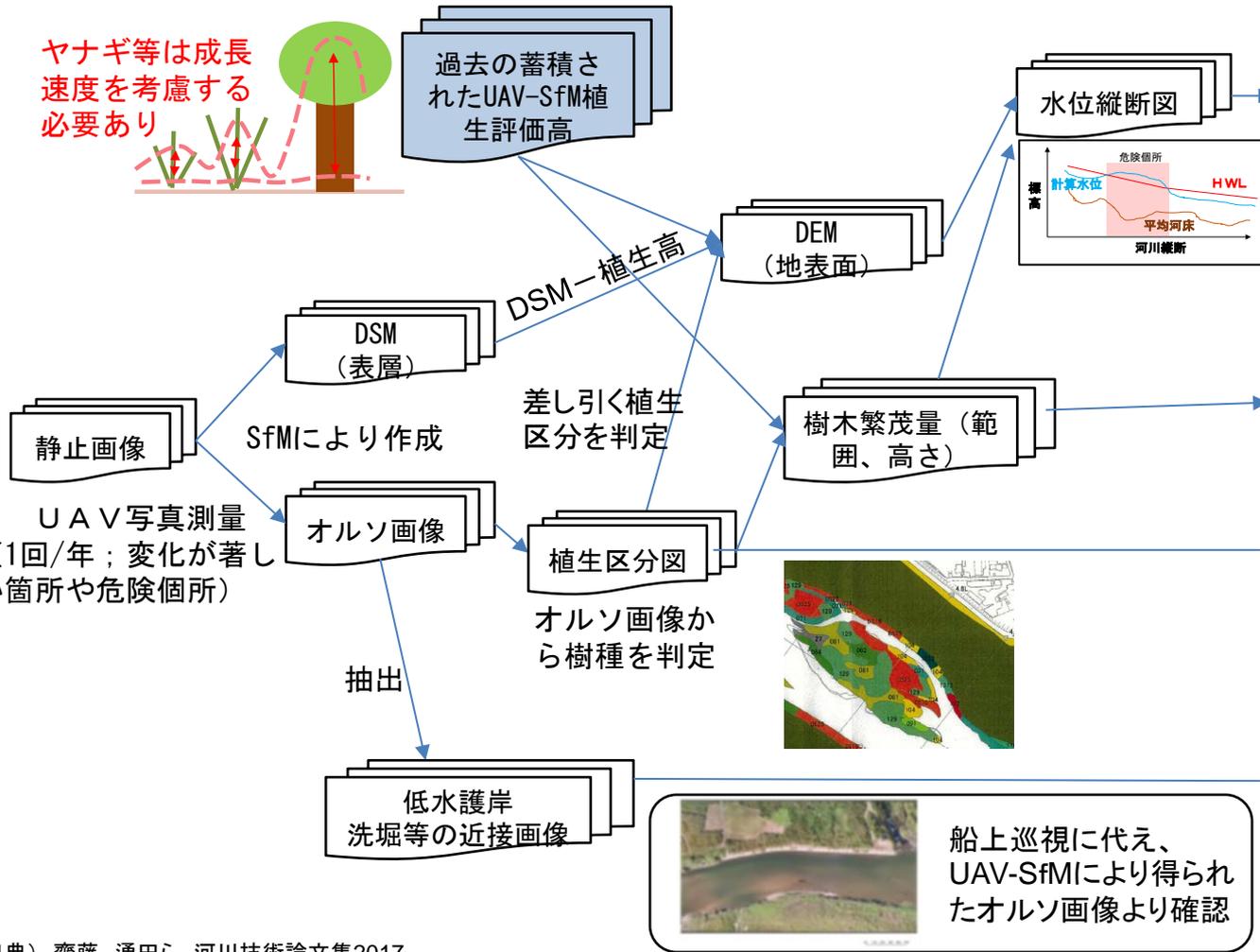
データ取得から解析までの流れ

河道管理への活用

ヤナギ等は成長速度を考慮する必要あり



過去の蓄積されたUAV-SfM植生評価高



- 流下能力の感度分析
 - ✓ 時期；1回/年
 - ✓ 目的；流下能力が不足している箇所において、中小洪水による地形の変化、樹木繁茂の水位上昇の影響を把握し、洪水に対するリスク管理を実施

- 樹木管理
 - ✓ 時期；1回/年
 - ✓ 目的；成熟する前に幼木等の段階から早期に対策を実施し、樹木伐採量のコスト縮減

- 環境調査
 - ✓ 時期；1回/年
 - ✓ 目的；人為的インパクトに対する応答を把握。例えば、外来種の有無。

- 船上巡視
 - ✓ 時期；1回/年
 - ✓ 目的；洗掘、異常堆積、低水護岸の陥没、流出等の把握



Deep Learningを活用した植生自動判別

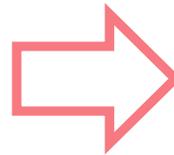
- 5年に1回の河川水辺の国勢調査で、植生区分の判別を行っているが、大いに手間がかかっている。また、成長が著しいヤナギ等について、成長する前の段階や侵入した段階で、早期に発見することで、対策を講じ、コスト削減はできないか。
- UAVにより得られた静止画像から、Deep learningを用い自動的に植生区分を判別したい。

UAV-SfMオルソ画像

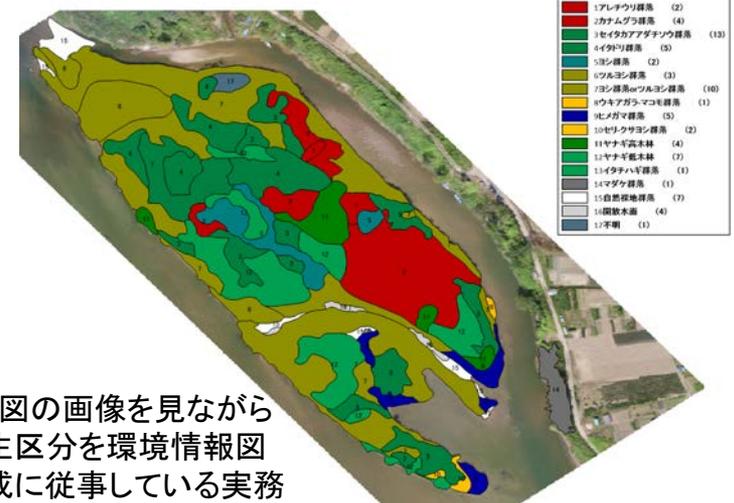


- ・撮影日; H28.10.7
- ・対地高度; 60m
- ・地上解像度; 約2cm/pixl

自動化



植生区分図



- ・左図の画像を見ながら植生区分を環境情報図作成に従事している実務者が2日間かけ判定
- ・その他の情報は一切用いていない

AIのインフラ管理の活用事例

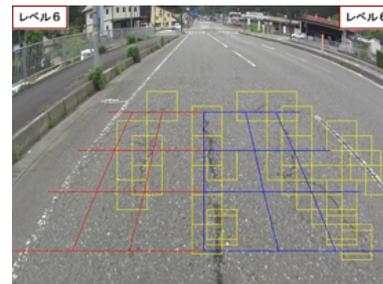
- 一般的なビデオカメラを取り付けた自動車から撮影した路面の映像を分析することで、路面のわだち掘れとひび割れを同時に検出。

データ取得	類型	スマホ型
	測定機器	市販のビデオカメラ
	測定データ	動画
データ処理	測定データ	不明
	データ処理	ディープラーニング技術
	処理後データ	ひび割れ、わだち掘れ
データ利活用	使用するデータ	ひび割れ、わだち掘れ
	サービスの利用者	道路管理者
	使用する場面	路面の維持管理

わだち掘れ検出のイメージ



ひび割れ検出のイメージ



- ✓ 従来の路面の目視点検や専用機器による調査に比べ、安価で効率的に路面の健全度の見える化を実現



- ✓ 本システムを用いた一般道での実証実験において、専門技術者の目視点検と同等のレベルで路面のわだち掘れとひび割れを同時に検出できることを確認した。

出典

NEC HPより http://jpn.nec.com/press/201701/20170131_01.html#ex01

- Twitterデータを活用して災害の発生を推定。
- 目撃以外の情報を排除、発言者の位置を推定、災害の発生を定量的に判定

時刻	内容	写真
14:08:15	竜巻(((o(*°▽°*)o))) 雨やばし(。_-。) http://t.co/eOgB3M05F9	非公開
14:09:50	竜巻が…!!! 我が家付近雷雨風が凄いです。	
14:12:24	春日部市 竜巻なう! 雷と雨! 写真では分かりづらいけど竜巻もゴミ撒き散らして出た! 被害が出るほどではないけどビビった(´△´) http://t.co/GB4k4dF2WM	
14:13:15	竜巻やばい! 雨と雷もやばい! http://t.co/LMgOK8VEwa	
14:14:00	竜巻やんば-----!!! 雷やば雨やば! カラス大変そう← http://t.co/eyOKiG66XH	

■ 災害発生推定方法 (アプローチ)

①データ収集

災害のキーワードを含む発言を収集



SNS

②伝聞情報除去

発言から伝聞情報を除去

災害関連
発言

目撃、観察
直接伝聞
間接伝聞
リツイート

③場所推定

発言のあった場所を推定

A市
B市
C市

④発災推定

災害発言の急激な増加から発災を推定



発災推定

AIのインフラ管理の活用事例

- 道路分野において、AIの活用事例として、トンネル・舗装面のひび割れの自動検出が盛んに実証実験が実施されている。
- 一方、河川分野では、Deep learning を用い、洪水予測、水質の変化予測、土砂動態の要因分析に関する研究事例がある。

事例

＜深層学習の適応による洪水予測精度の向上＞

学習

種別	設定内容
学習データ期間	過去10～36年間の上位20洪水程度
学習データ種類	予測地点水位、上流水位変化、時間雨量
データセット数	2299～2420
バッチサイズ	100
予測時間	1時間～6時間
モーメンタム	0.5
学習率	初期値0.1としてAdaGradで自動設定
ドロップアウト率	0.1

- ✓ 入力データとして、雨量情報、上流の水位情報のみで、予測しており、精度が不十分と思慮される。
- ✓ 特にピーク時の精度が不十分

予測

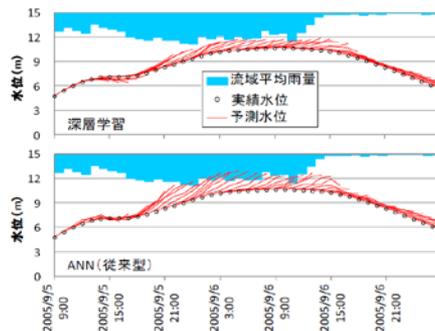


図-12 樋渡（大淀川）の予測水位。

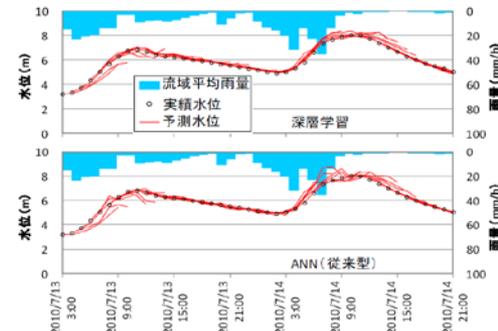


図-14 日の出橋（遠賀川）の予測水位。

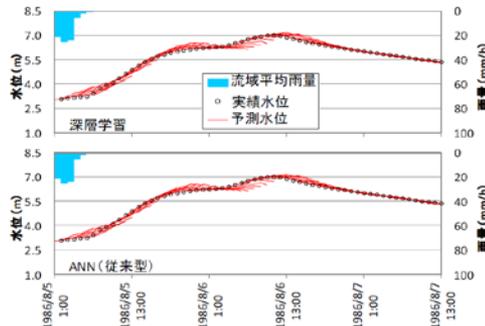


図-13 小貝川水海道の予測水位。

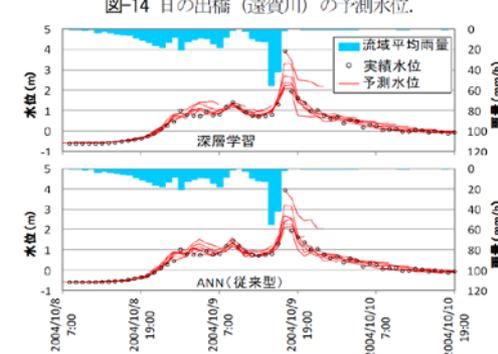


図-15 大仁（狩野川）の予測水位。

(出典)

一言正之、桜庭雅明(日本工営株式会社 中央研究所)、河川技術論文集、2016。

AIの分類

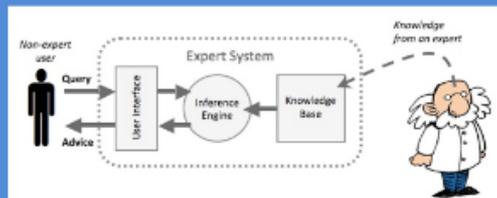
ルールベース・アプローチ

専門家の知識やノウハウを人手によってルール化し、そのルールに従ってデータを処理

if (条件)
then (処理1) else (処理2)

ルール生成
人間が入力

推論処理
機械



統計・確率論的アプローチ

データに内在する因果関係を確率的に記述する統計手法（ベイジアン・ネットワーク）を使ってデータを処理

Aである確率: 98%
Bである確率: 17% → Aが妥当

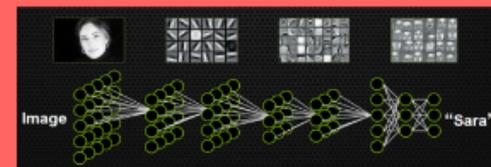
ルール生成
機械

推論処理
機械

$$P(A|H) = \frac{P(H|A)P(A)}{P(H)}$$

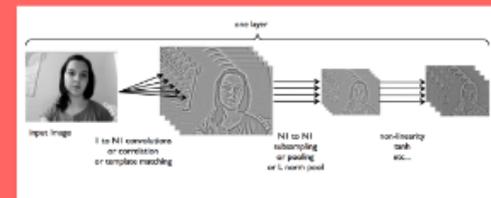
脳科学的アプローチ

脳科学の研究成果を取り入れ、脳の神経活動を再現する数学的モデル（ディープ・ニューラル・ネットワーク）を使ってデータを処理



ルール生成
機械

推論処理
機械



特長要素	ルールベース判別	従来型の機械学習	DeepLearning
データ量	スモールデータでの学習	(統計的機械学習では、それなりにデータが必要)	ビッグデータでの学習
推定処理の解釈性	○ (現場/工学知見に見合った処理を組む為、解釈性は良好)	△ (得られる推定モデルは、解釈できるものも、手法によっては存在)	× (得られる推定モデルはブラックボックス的で、解釈が難しい)

河川管理における情報通信技術の活用の方向性について

現在

データ取得

- ・河川管理に必要な外業を伴うデータ収集

データ処理

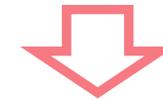
- ・図面作成(植生図)等の単純作業を伴う資料整理

判断

- ・現地確認や資料等を基に判断する行為(河道掘削計画、樹木伐採の判断等)

将来

- 計測機器を導入
(人工衛星、UAV、ドローン)
低コスト、短時間化
→ ビッグデータ化(点群)



- 人工知能により処理
(機械学習、Deep Learning)

- AIが判断
 - ✓ 河川管理者の技術進展 ×
 - ✓ 経験していない事象の対応 ×

- AIが職員の判断を支援
 - ✓ 技術や暗黙知を定量的に評価、技術伝承