

**HP公開用**

2022年5月31日（火）  
土砂災害分野における調  
査・設計に係るDX活用に関  
する講演会

# 防災モニタリングにおける 画像情報の活用について

**省人化、気象激甚化はまったなし**  
ご質問、感想をお待ちしています

**株式会社ラグロフ設計工房**

担当 小林・石澤

E-MAIL [I-kaihatsu@lagrof.jp](mailto:I-kaihatsu@lagrof.jp)

TEL 086-206-1170

FAX 086-206-1171



株式  
会社 ラグロフ設計工房

小林 範之

# 発表内容

1. 防災モニタリング
  - 防災
  - モニタリング
  - モニタリング技術
2. 画像情報の活用
  - イメージセンサー
  - プラットフォーム
  - 使用される波長
  - 取得する情報
3. 画像計測
  - 写真測量の基本原理
  - 写真測量と誤差、解くべき問題
  - 写真測量と標定
  - 単写真測量と立体写真測量
  - SfM/MVSの概要
  - SfM/MVSの応用分野
4. SfM/MVSを応用したCCTV画像等の自動標定手法の開発
  - 革新的河川技術プロジェクト（第4弾）
  - 流速画像解析法
  - 自動標定の着想と原理
5. 自動標定プログラムの開発
  - SfMの処理フローと自動標定
  - 自動標定システムの操作手順
  - Hydro-STIVとの連携
6. 現地試験の実施状況
7. SfM/MVSを応用した自動標定手法
  - SfM/MVSを応用した自動標定の特徴
  - 今後の開発方針と課題
- 参考資料

# 1. 防災モニタリング

---

- 「防災」 + 「モニタリング」
  - 定着した定義 → ??
- ネット検索では
  - ○○防災モニタリング（システム）など
  - 自然災害から人為的災害まで、多岐にわたり使用例がある

↓ 本日は
- 防災に着目したモニタリング技術を紹介します

# (1) 防災

(本日の発表では)

## • 防災→

### ① 災害：「自然災害」＋「人為的災害」

✓ 自然災害：地震、津波、台風、大雨、洪水、土砂災害、高潮、豪雪、竜巻、火山の噴火

✓ 人為的災害：航空機や船舶、鉄道等の事故、建物崩壊、テロ、戦争等

### ② 防災：災害予防（抑止）、災害応急対応、災害復旧、復興、危機管理なども含む場合がある



## • 本日は、

✓ 主として「自然災害」を対象と考えます



## (2) モニタリング

辞書 国語 英和・和英 類語 四字熟語 漢字 人名 専

辞書 > 国語辞書 > 品詞 > 名詞 > 「モニタリング」の意味

ブックマークでき

### モニタリング の意味

出典：デジタル大辞泉（小学館）

意味 例文 慣用句 画像

最新資料を無料ダウンロード

**モニタリング【monitoring】の解説**

[名] (スル)監視すること。観察し、記録すること。

日興アセットマネジメント  
THINK BIG with ARK Invest

Microsoft Bing

モニタリングとは

すべて ニュース 画像 動画 地図

163,000 件の検索結果 時間指定なし リンクを新しいタブで開く

辞書 搭載 Oxford Languages Cortana Bing 翻訳ツール

単語を入力 調べる

### モニタリング

[モニタリング]

**定義**

状態を監視すること。

- 状態を把握するために、観測や測定を行うこと。製品・サービスについての感想や評価を調べること。

発地  
monitoring

詳細を表示

### モニタリング【monitoring】の解説

[名] (スル)監視すること。観察し、記録すること。

#### 定義

状態を監視すること。

- 状態を把握するために、観測や測定を行うこと。製品・サービスについての感想や評価を調べること。

### (3) モニタリング技術

---

#### 状態監視、観測の技術

- 河川巡視など、人が定期的に直接・間接に行うモニタリングもありますが・・・
- 様々なセンサー技術や、ICT技術を活用した、**状態監視・観測の高度化、省力化、自動化等**が期待される

# 状態監視、観測の技術

---

## • センサー

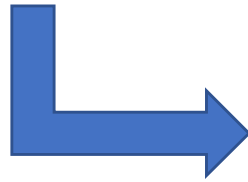
- 自然現象や人工物の機械的・電磁氣的・熱的・音響的・化学的性質あるいはそれらで示される空間情報・時間情報を、何らかの科学的原理を応用して、信号に置き換える装置
- 「センシング」は、センサを利用した計測・判別を行うこと
- 接触式、非接触式

# 状態監視、観測の技術

---

- センシングに利用される科学的原理

- 電磁波（光、電波、放射線）
- 磁気
- 熱
- 音
- 電気
- 力
- 速度、加速度
- 化学反応
- その他



- 画像情報  
イメージセンサーによる一次元画像、  
二次元画像を利用する  
さらに、以下によっても分類される
- 使用する波長
- 解析方法
- 時間変化
- その他

## 2. 画像情報の活用

---

- イメージセンサー
- プラットフォーム
- 使用される波長
- 取得する情報
  - 対象物の3D形状、大きさ
  - 性質や変位、変状の把握
  - 速度計測
  - その他

## (1) イメージセンサー

---

- リモートセンシング（衛星、航空など）
  - フィルムカメラ
  - オプティカル・メカニカル・スキャナ  
Landsat MSS/TM（セマティック・マップパー）など
  - CCDカメラ
  - 画像レーダー
- CCTV、産業用カメラ、デジカメ等
  - CCDセンサ、CMOSセンサ

## (2) プラットフォーム

---

- リモートセンシング
  - 人工衛星
  - 航空機
  - ドローンなど
- 地上写真による測量や観測
  - CCTV、防犯カメラ（可動式、固定式）
  - 車載カメラ
  - ドローン
  - 手持ち撮影



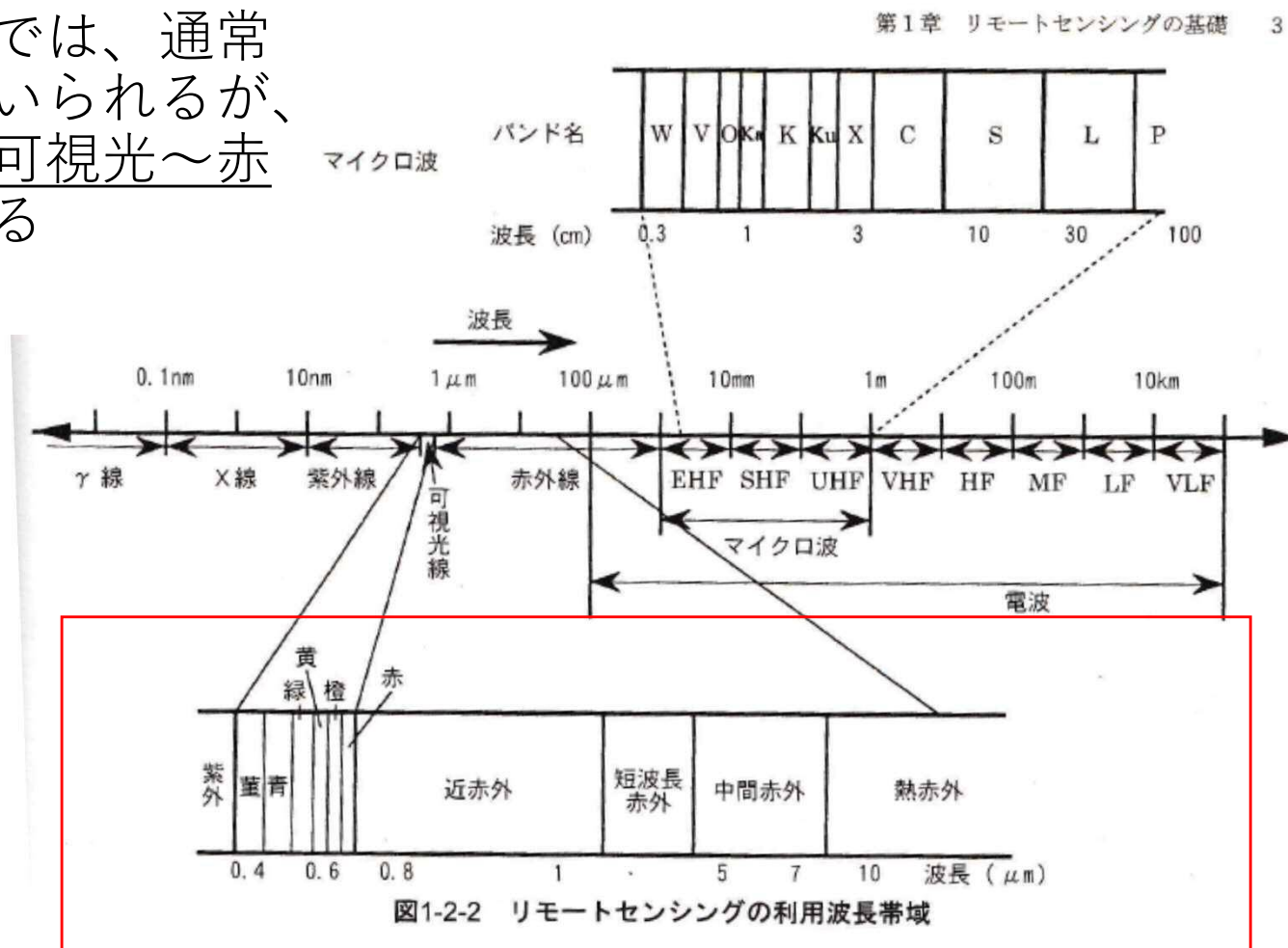
図3-7 プラットフォームの例

出典：「デジタル写真測量の基礎」、社団法人日本測量協会

### (3) 使用される波長

- リモートセンシングでは、紫外線から熱赤外線の波長帯が主に用いられる
- 地上写真測量では、通常は可視光が用いられるが、特殊な用途で可視光～赤外が用いられる

可視光（波長380nm～780nm）より波長が長く、波長780nm～1000 $\mu$ mの人の目に見えない電磁波を赤外線といい、そのうち波長780nm～2.5 $\mu$ mは近赤外線（NIR）と呼ばれる。赤色の可視光線に近い性質を持つため、赤外線（暗視）カメラや赤外線通信、家電用リモコン、静脈認証（生体認証）などに利用されています。



出典：「衛星画像解析の基礎 手軽にできるリモートセンシング」、古今書院



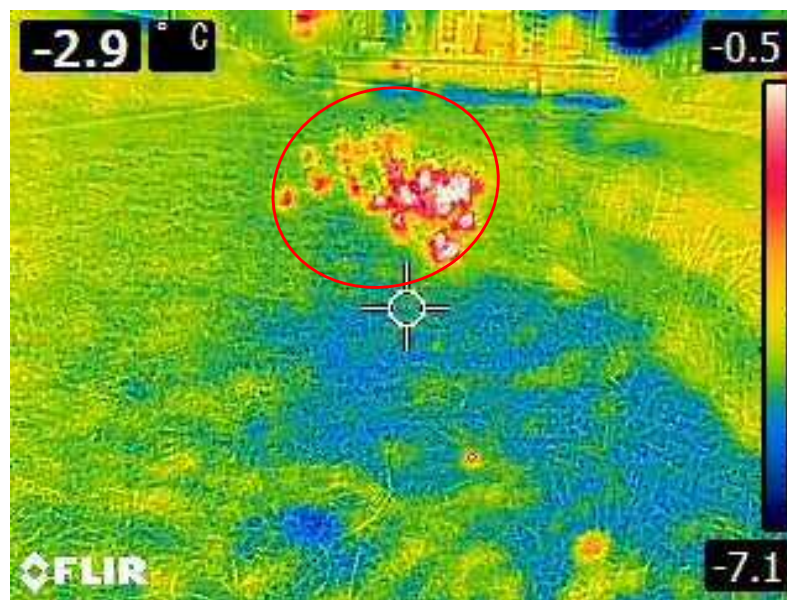
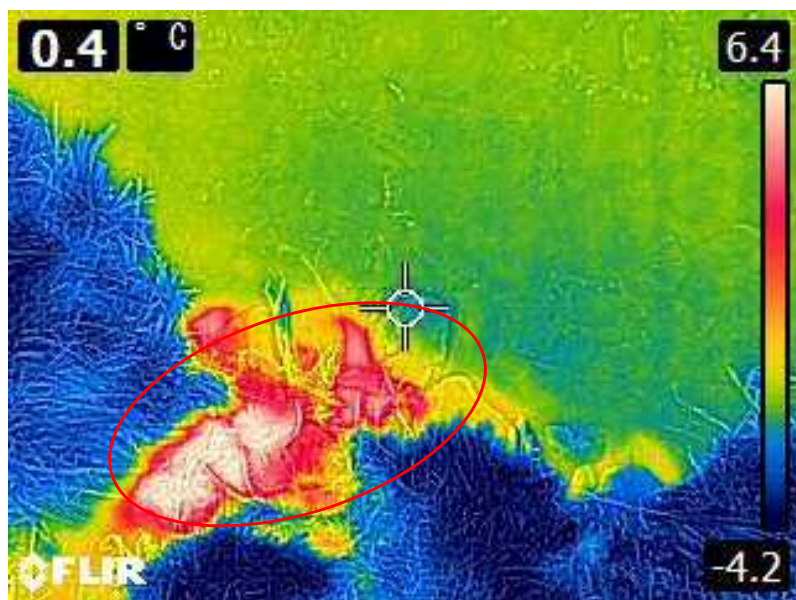
# 可視光と遠（熱）赤外の画像



湧水の確認



動物の活動



## (4) 取得する情報 (リモートセンシング)

---

- リモートセンシングの応用分野
  - 土地被覆分類  
土地利用、植生分布、森林資源、都市変遷等
  - 崩壊地調査
  - 地震活断層
  - 洪水調査
  - 水温分布
  - 沿岸流
  - 水質

**【画像によるリモートセンシング】** 広域の状況把握、時系列的な変遷等の把握に適する

## (4) 取得する情報 (地上写真測量)

---

- 地上写真の活用、応用分野

### 【特徴】

- 情報収取の手軽さ
- リアルタイム性が高い
- 比較的狭いエリア
- 詳細な情報取得が可能

### 【応用分野】

- 地形、地物 (建物や構造物) の 3D形状測定
- 文化財の計測
- 建設工事の土工管理や出来形計測
- 工業製品の計測、3Dモデリング
- ゲームのキャラクターデザイン
- 速度計測 (PIV)
- ロボットビジョン (ロボットの目)
- 自動車の緊急ブレーキ制御 (例: アイサイトなど)
- その他にも様々な分野で活用されている



# 3. 画像計測

---

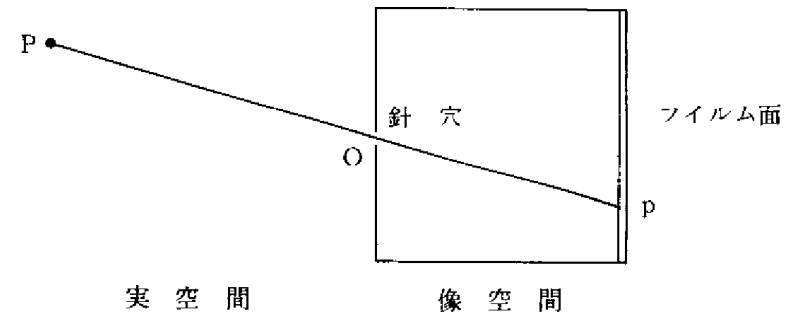
- 写真測量
  - 2か所以上から撮影した写真画像から物体の三次元形状を測定する手法（立体写真測量）
  - 従来はアナログ写真とアナログ図化機で図化
  - 現在はデジタル写真とデジタル図化機に進化
- SfM/MVS（近年発展し、計測自動化に）
  - SfM(Structure From Motion)  
コンピュータビジョンやロボットビジョンからきた概念で、画像に写った対象物の幾何学形状とカメラの動きを同時に復元する
  - MVS(Multi-view Stereo)多視点ステレオ  
ステレオマッチングを3枚以上の画像も同時利用するように拡張した手法

# (1) 写真測量の基本原則

- 【写真測量】 中心投影である写真の平面座標を測定し、さらに被写体、レンズ、フィルムを結ぶ光の幾何学的条件を利用して被写体の空間位置、すなわち3次元座標を求めること。

- 【写真測量の基本原則】

右図のピンホールカメラにおいて、点P、針穴O及び像pが同一直線上になければならない ←



共線条件

..... 唯一の基本的条件

## (2) 写真測量と誤差、解くべき問題

写真測量で3次元座標を求めるためには、以下の問題を解く必要がある

- ① 座標測定の精度に起因する誤差問題
- ② カメラの内部機構に起因する誤差問題
- ③ 撮影時のカメラの位置と傾きを求める問題
- ④ 写真に写っている被写体の3次元座標を求める問題

①、②は撮影または測定機材に起因する誤差の問題で、計測用カメラの場合はメーカーから定数として与えられる場合もあるが、未知変量として間接的に解析する場合もある。

③、④は写真測量における解析計算の領域で、射影幾何学、座標変換、最小二乗法による誤差の調整などを含む。

### (3) 写真測量と標定 (Orientation)

#### － 内部標定と外部標定 －

- 【内部標定】 写真測量の基本となる共線条件式を成り立たせるために、焦点距離、主点位置、レンズ歪などカメラ内部の諸要素を定める
  - 内部標定要素
    - 焦点距離 ;  $c$
    - 主点位置ずれ ;  $x_p, y_p$
    - レンズ歪 ;  $K_1, K_2, K_3, P_1, P_2$  (主に放射方向と接線方向歪)
- 【外部標定】 写真を撮影したときのカメラの位置や傾きを再現する
  - 外部標定要素 (単写真標定の場合)
    - 撮影時のカメラ位置 ;  $X_0, Y_0, Z_0$
    - カメラの傾き ;  $\omega, \varphi, \kappa$

## (4) 単写真測量と立体写真測量

- **単写真測量**：写真が1枚の場合 → 共線条件式の他に、次のような特殊条件が加えられなければ、3次元座標は求められない
  - i. 求めるべき3次元座標のうち、少なくとも1つが与えられる
  - ii. 求めるべき点が、幾何学的に定義される平面または曲面上にある
- **立体写真測量**：2枚以上の異なる位置から撮影された写真の場合 → 複数の共線条件から被写体の3次元座標を求める
- ビデオ画像から河川表面流速を測定する「STIV」は、単写真計測の応用である → 水面を3次元空間上の平面として定義し、単位時間内の移動距離から速度を計測する



## (5) SfM/MVSの概要

---

- **SfM(Structure From Motion)** (移動撮影された)画像に写った対象物の幾何学的形状とカメラの動きを同時に復元する手法

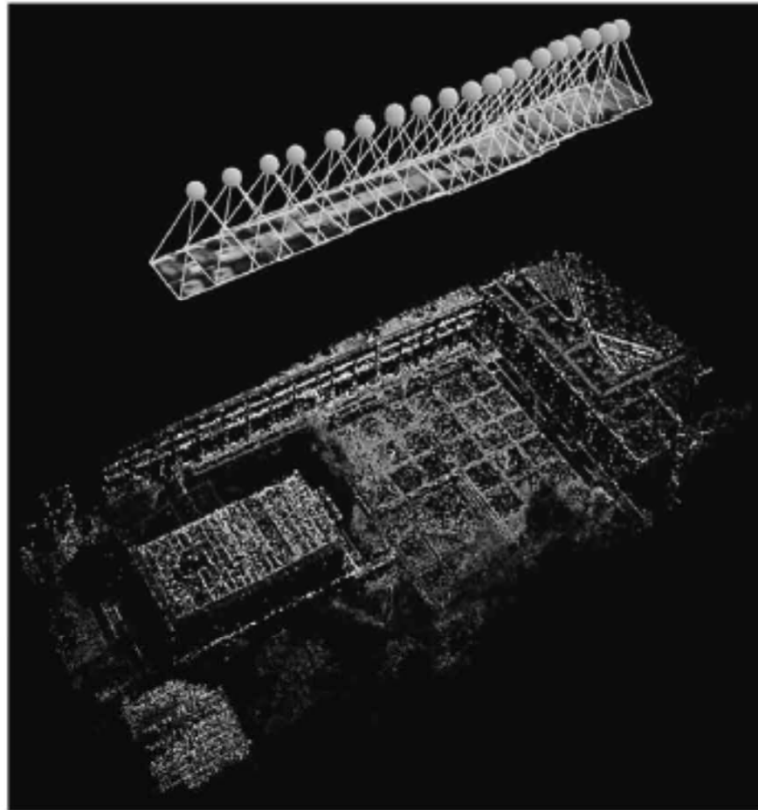


- もともとコンピュータビジョンやロボットビジョンからの概念
- 3つ以上のカメラを使い、安定した3次元計測を行う「**多眼ステレオ計測法 (Multi-view Stereo,(MVS))**」に発展
- 固定された複数カメラや、撮影位置が未知の複数カメラ画像からカメラ位置・姿勢、被写体形状の復元手法  
=SfM(Structure From Motion)へと発展→バンドル法はSfMの一手法

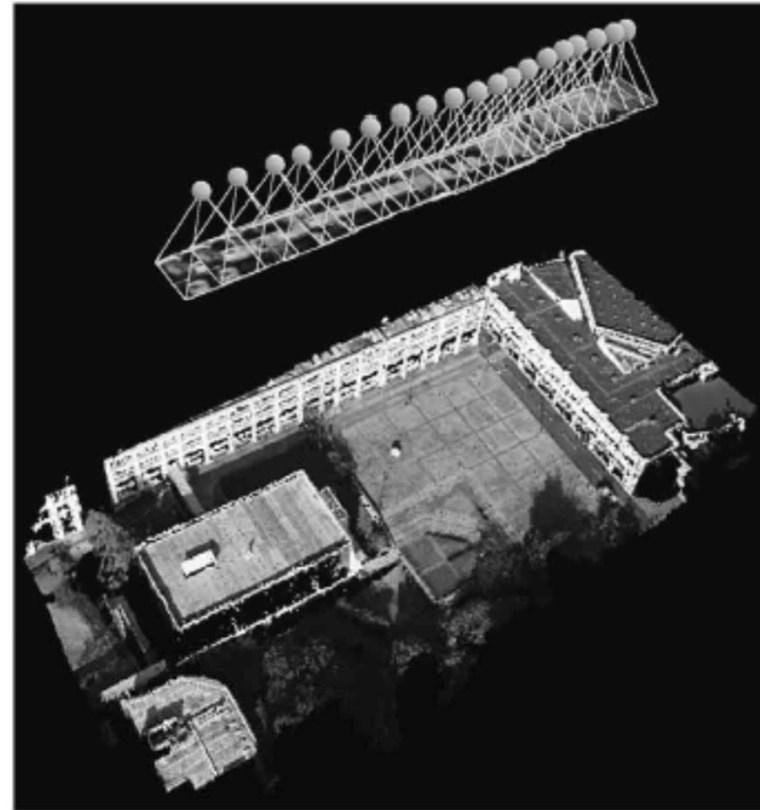
# SfM/MVSの活用事例

- ドローンの普及により様々なSfMソフトが利用されるようになった（代表例）
  - 「Pix4Dmapper（ピクスフォーディー マッパー）」
  - 日本で開発されたドローン測量サービス「KUMIKI（くみき）」
  - 「Metashape（メタシェイプ）」
  - 「TerraMapper（テラマッパー）」

# SfM/MVS解析事例



(a) SfMによる疎な点群 (タイポイントのみ)



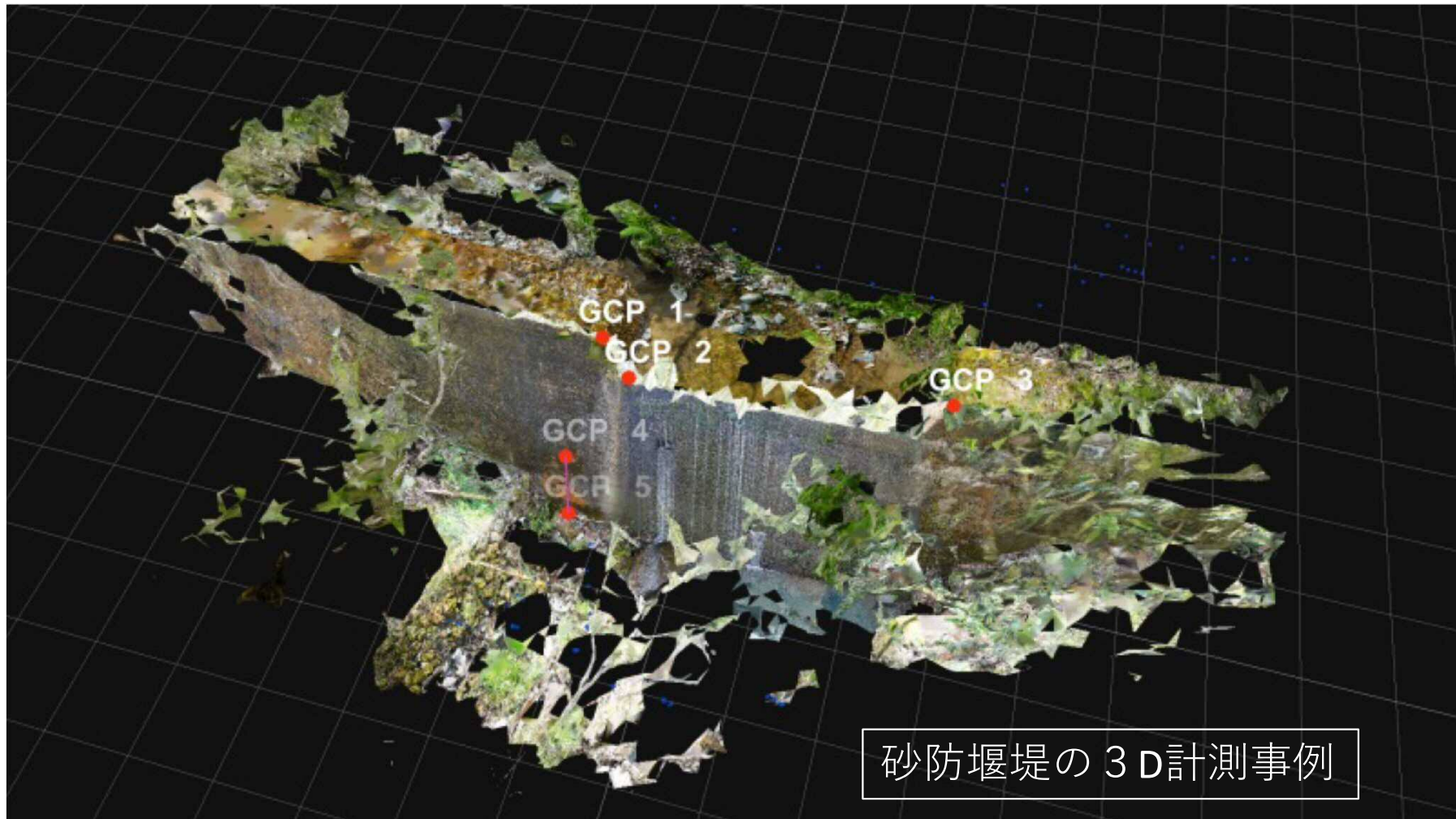
(b) MVSによる密な点群

図1 3次元点群の密度の比較

(処理前撮影画像提供：東京電機大学 近津博文教授 (以下同様), Pix4DMapper により作成)

出典：「写真測量とリモートセンシング」VOL.55、No.4

# SfM/MVS解析事例



- 現地で撮影したデジカメ画像をもとに3Dモデルを作成
- 3Dモデル上で構造物の計測が可能



# SfM/MVS解析事例



## (6) SfM/MVSの応用分野 (建設、防災系)

---

- 地形等の3D計測
  - ドローン画像等から自動で図化
  - 崩壊地、崩壊土量計測
  - 工事の土工管理
  - 構造物の変状計測
  - 土運船等の土量計測 (海上工事の管理)
  - 都市等のモデリング (デジタルツインの作成)  
(LPや地上3Dスキャナとの組み合わせも可能)
  - よう壁や護岸、壁面の熱映像をSfM/MVSで解析  
→隠れた変状や空洞個所の探査と計測

CCTVカメラ映像の自動標定への応用  
→ (単写真測量への応用)

# 4. SfM/MVSを応用したCCTV画像等の自動標定手法の開発

1. 地球温暖化等による気象災害の頻発
    1. 想定外の規模の出水も発生
    2. 安全面から観測できないケースが増加
    3. 重要なピーク流量が観測できない事態の発生
  2. 少子高齢化による観測の担い手不足
    1. 観測業務の入札辞退や落札なし
    2. 将来的に観測員不足、技術継承にも課題
  3. 観測体制の継続性に課題
    1. 観測自動化や省力化が必要
    2. 新技術は既に研究開発が進み実用段階なのに、制度上の制約が普及を妨げているという指摘
      - ⇒官需：実績主義、規定等による硬直化など
      - ↓
- **革新的河川技術プロジェクト（第四弾）**
  - **オープンイノベーション型（異分野連携型）技術開発**
  - **【流量観測機器】の募集：平成30年12月～**

# (1) 革新的河川技術プロジェクト (第4弾)

---

別添1募集要領



## 革新的河川技術プロジェクト(第四弾) オープンイノベーション型(異分野連携型)技術開発

---

【流量観測機器】

参加企業 募集要領

平成30年12月

---



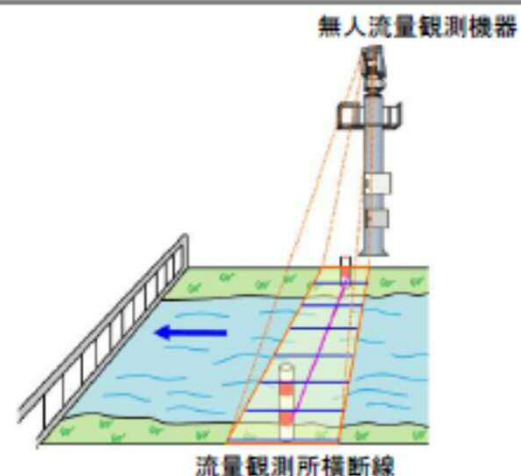
## 流量観測機器のコンセプト

### ○流量観測機器

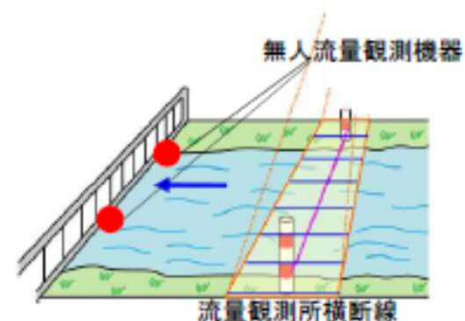
- ・ 無人もしくは省力（2人程度）で流量算定のための表面流速観測等が可能な観測機器
- ・ 水位流量観測所近傍（河川堤防や橋梁等）に固定し、水面幅に応じた測線間隔での表面流速等の観測が可能（測線間隔は浮子計測の間隔を基本とする）
- ・ 電源は水位流量観測所が使用している電源の活用を想定
- ・ 洪水後に流速等の観測データをデータロガーに保存、また流速観測時に流速データの速報値をインターネット等で送信可能

（参考）

水位流量観測所（国交省管理）：約1,100箇所  
年間観測回数：約2回/箇所



無人流量観測のイメージ①



無人流量観測のイメージ②

# 現場実証サイト(案) 信濃川水系信濃川 小千谷観測所

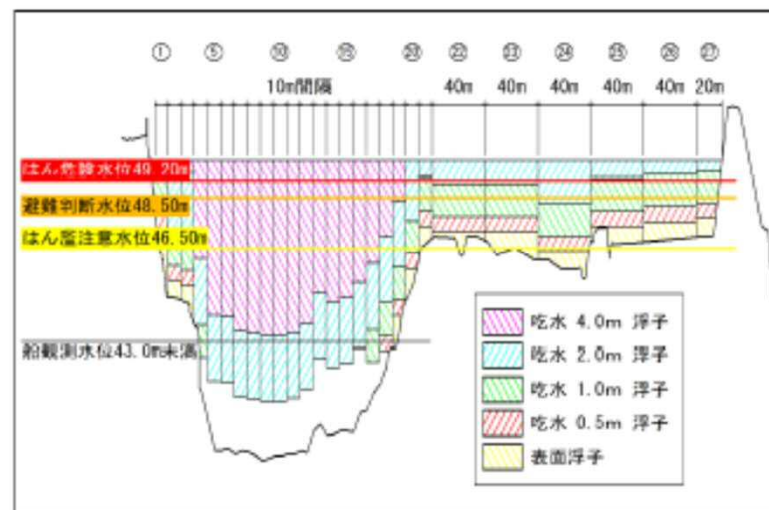
観測所名	小千谷
観測項目	水位・流量
水系・河川名	信濃川水系信濃川
所在地	新潟県小千谷市元町
観測種別	水晶式(正・副)
水位標ゼロ点高	T.P.0.00m
計画高水流量	11,000m <sup>3</sup> /s
河川幅員	約440m
浮子割	27測線(緊急法)
流速	年平均流量時1.0m/s程度 融雪時期1.5~2.5m/s程度



位置図



※参加企業の数等により別のサイトとなる場合があります。



第1断面 横断図

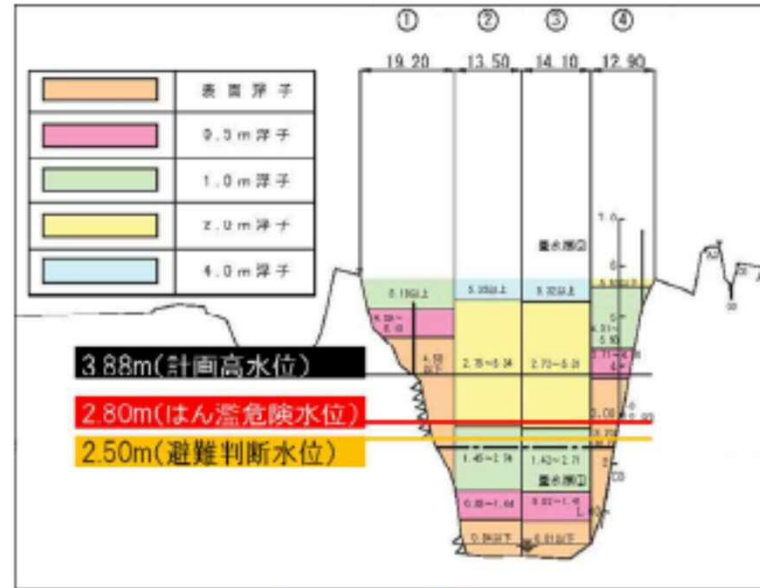


# 現場実証サイト(案) 雲出川水系中村川 島田橋観測所

観測所名	島田橋
観測項目	水位・流量
水系・河川名	雲出川水系中村川
所在地	三重県松阪市嬉野八田町
観測種別	水晶式(正・副)
水位標ゼロ点高	T.P.13.000m
計画高水流量	1,100m <sup>3</sup> /s
河川幅員	約60m
浮子割	4測線(緊急法)
流速	氾濫危険水位程度で 5~6m/s程度



位置図



第1断面 横断図

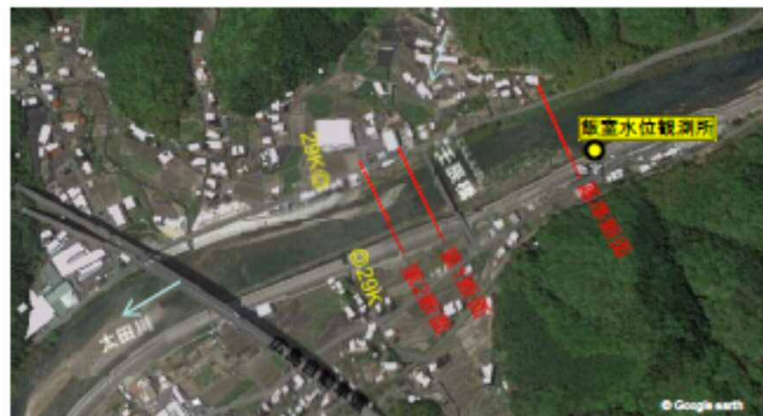
※参加企業の数等により別のサイトとなる場合があります。

# 現場実証サイト(案) 太田川水系太田川 飯室観測所

観測所名	飯室
観測項目	水位・流量
水系・河川名	太田川水系太田川
所在地	広島市安佐北区安佐町大字飯室
観測種別	水晶式(正・副)
水位標ゼロ点高	T.P.47. 500m
計画高水流量	6,000m <sup>3</sup> /s
河川幅員	約130m
浮子割	16測線(標準法)
流速	避難判断水位程度で5m/s程度



位置図



第1断面 横断図

※参加企業の数等により別のサイトとなる場合があります。

## (2) 流速画像解析法 (代表事例)

---

- **PIV**：動画像から流体の速度を計測する技術の応用 (主として室内観測で発展した技術)
- 洪水観測など、**PIV**のフィールド観測への応用  
神戸大学の藤田名誉教授等が多くの研究実績あり
- 洪水観測用には、**STIV**が多くの実績あり (藤田名誉教授考案)

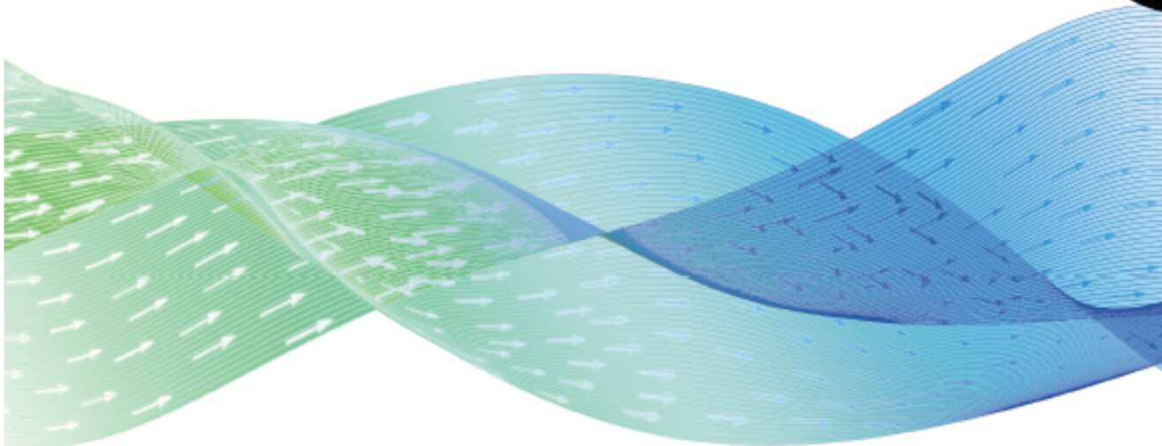


# Hydro-STIV<sub>≡</sub>



流速・流量計測ソフトウェア

## 映像を用いた非接触型流速・流量計



### AI

- 高速かつ高精度な流速解析処理を実現
- 画像解析の自動化
- 水滴やブレなどのノイズにも強い

### ドローン

- ドローンからの撮影映像に対応
- 災害時の緊急撮影映像から流速・流量測定が可能
- 空撮映像により川幅の広い河川にも対応

### リアルタイム

- 遠赤外線カメラの利用で、河川流量を昼夜 24 時間監視
- 異常流速・流量警告表示

### 安全・簡単

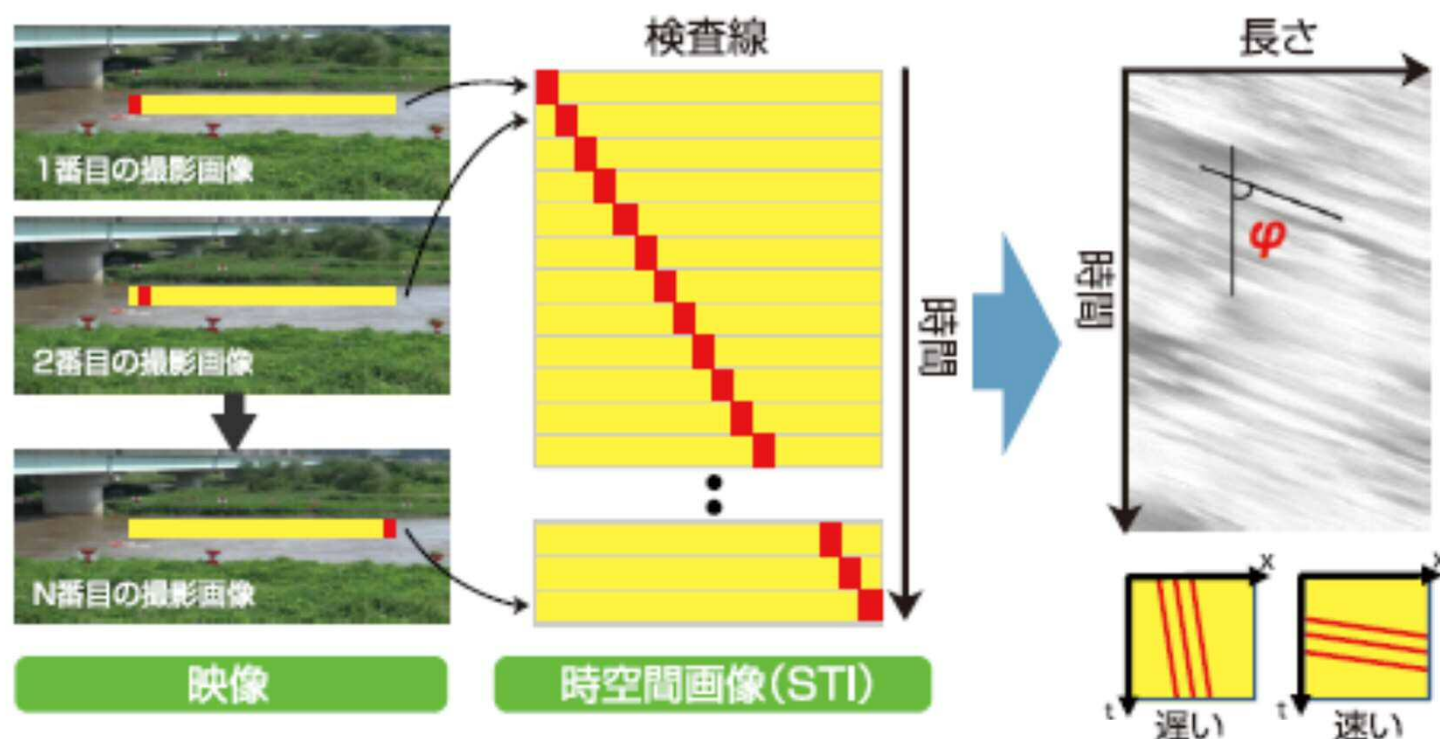
- 悪天候・洪水時等の危険を伴う現地での作業が不要
- 浮子が不要で、超過洪水時でも測定可能

神戸大学藤田一郎名誉教授による最新の STIV 技術を搭載

Fujita I. Discharge Measurements of Snowmelt Flood by Space-Time Image Velocimetry during the Night Using Far-Infrared Camera. Water. 2017; 9(4):269.

## 1. 理論

## Space-Time Image を用いた流速測定



左図：映像から時空間画像（Space-Time Image：STI）を生成

図中の黄色線は検査線、赤四角は表面波紋等の輝度値の特徴を表しています。

時空間画像 (STI) は検査線上の輝度値を時間方向に並べることで生成され、流速に応じた輝度分布の縞模様が現れます。

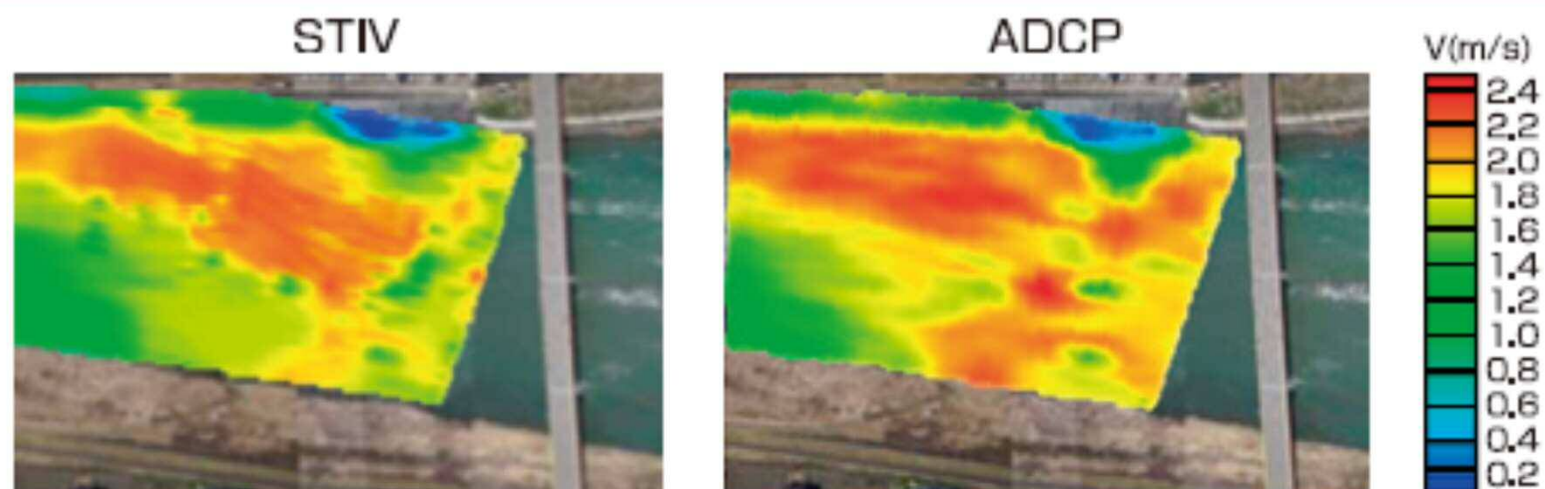
右図：時空間画像 (STI) から流速 (V) を計算

流速は時空間画像 (STI) の縞模様の傾き ( $\phi$ )、長さ、および時間から計算されます。

右下図は、 $\phi$  が小さい場合には流れが遅く、 $\phi$  が大きい場合には流れが速いことを表します。

## 2. 精度

### STIV による流速の測定精度評価



左図：空撮画像を用いた STIV による測定結果

右図：超音波流速計（Acoustic Doppler Current Profiler：ADCP）による測定結果

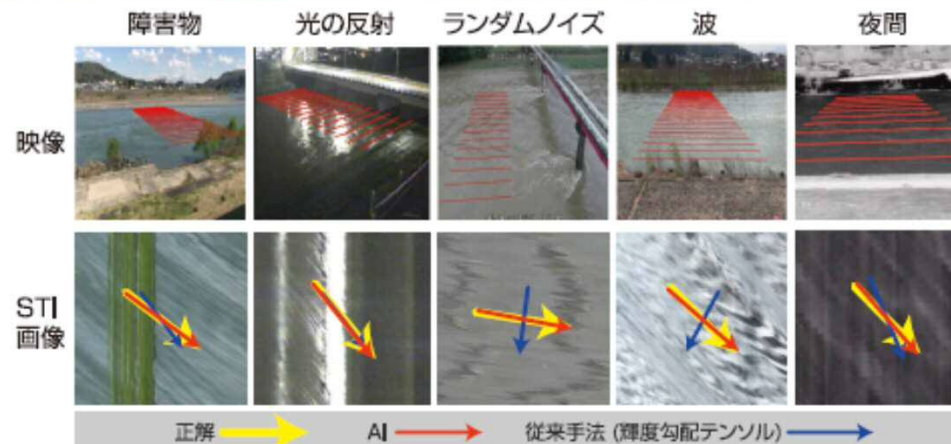
STIV による測定結果は、ADCP によって測定した流速分布をよく再現しています。

※この図は精度評価のため、別の描画ソフトを用いて作成しています。



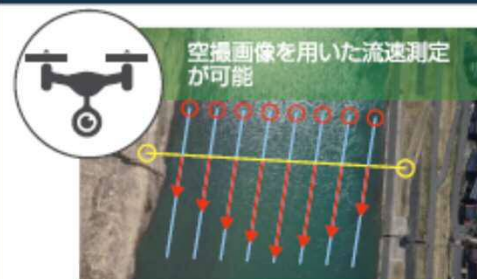
### 3. 特徴

#### ▶ Point 1 : AI による高速・高精度な測定

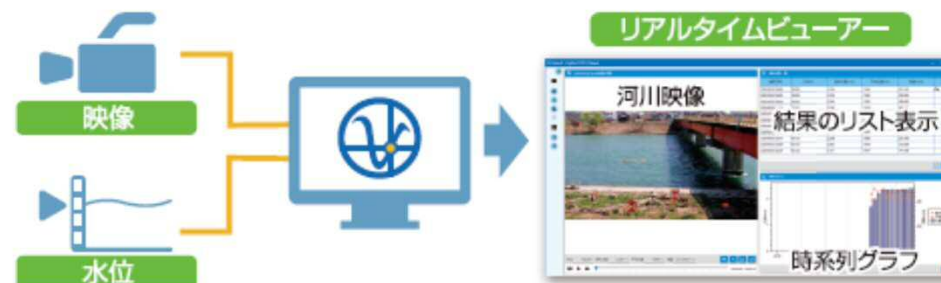


AI (ディープラーニング) による画像解析により、従来手法よりも安定した測定が可能です。手動でのパラメータ調整が不要で、障害物・光の反射・ランダムノイズ・波などによる画像の乱れがあっても、高精度で測定できます。また、夜間の画像でも高精度で測定可能です。

#### ▶ Point 2 : ドローン や夜間の画像でも測定できる



#### ▶ Point 3 : リアルタイム 測定 (アドバンスドエディション)



リアルタイムモードはアドバンスドエディションで利用可能です。セットアップ終了後、連続で映像と水位情報を取得し、検査線に沿ってリアルタイムの流速・流量を自動的に出力します。アドバンスドエディションでは、危険時の警告表示も可能です。

## 4. 手順

### ▶ Step1 : 現地調査 カメラの設置地点にて下記の現地調査を行います。

- ① 川の両岸に 8 地点以上の標定点を設置し、座標値を測定 (垂直撮影の場合は 2 点間の距離で対応可)
- ② 解析対象動画に対応した水位情報の取得

### ▶ Step2 : STIVによる測定 ウィザード形式で設定が簡単!



① 標定点の設定と  
幾何補正



② 測線と横断面  
の設定



③ 検査線の設定




測定

- ① 動画上に標定点をマウスで指定し、その点に対する座標値を設定 (初回設定のみ)  
さらに水位を入力し、幾何補正を実行
- ② 流速から流量に変換するため、河川横断面を設定
- ③ 流向に沿って検査線を作成 ⇒ 流速・流量を測定

悪天候時でも室内で  
安全に測定できる!

### (3) 自動標定の着想と原理

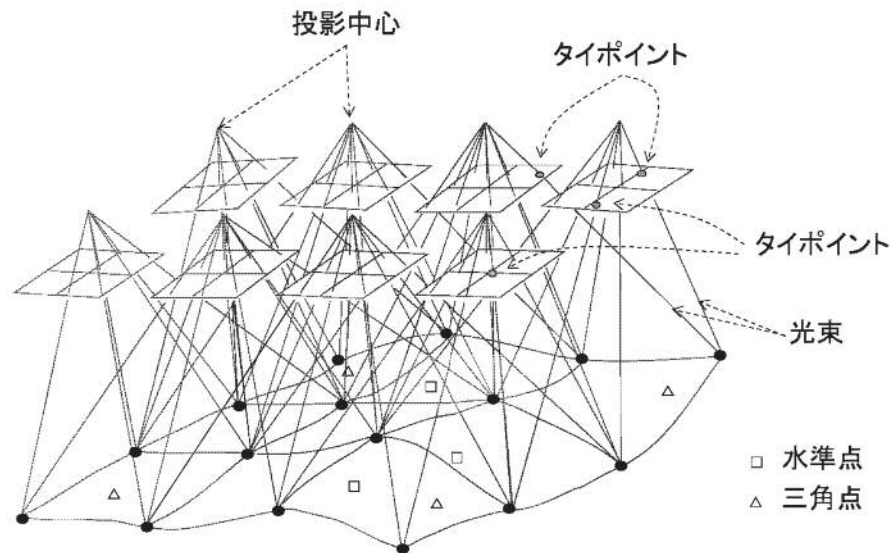
---

- 画像解析法 (STIV等) による河川流量観測高度化
  - 主要河川に配備されたCCTVの観測への活用
  - 【課題】カメラ標定作業が煩雑
    - ◆撮影画角内にバランスよく標定点を配点する必要性
    - ◆遠隔地のモニター画面を見ながら現地と連携して配点する作業が煩雑
    - ◆CCTVのカメラ画角や焦点距離が変更されると再標定が必要になる (カメラの遠隔操作機能が裏目に)
- 
- 標定作業の制約条件を減らす方法はないか？
  - SfM/MVSを応用して撮影された画像を自動標定する (デジタルツイン上で自動標定する) 方法を考案

# バンドル法

(コンピュータビジョン分野でも重要性が着目される)

- コースやステレオモデルの概念を介さず、各写真の外部標定要素を直接調整する



バンドル法 of 概念図

## セルフキャリブレーション付きバンドル法

- 外部標定要素および標定点の地上座標に加え、内部標定要素も未知変数として同時解を得る方法
- 非計測用カメラによる計測や宇宙写真測量で使われる



この技術を用いて自動標定する



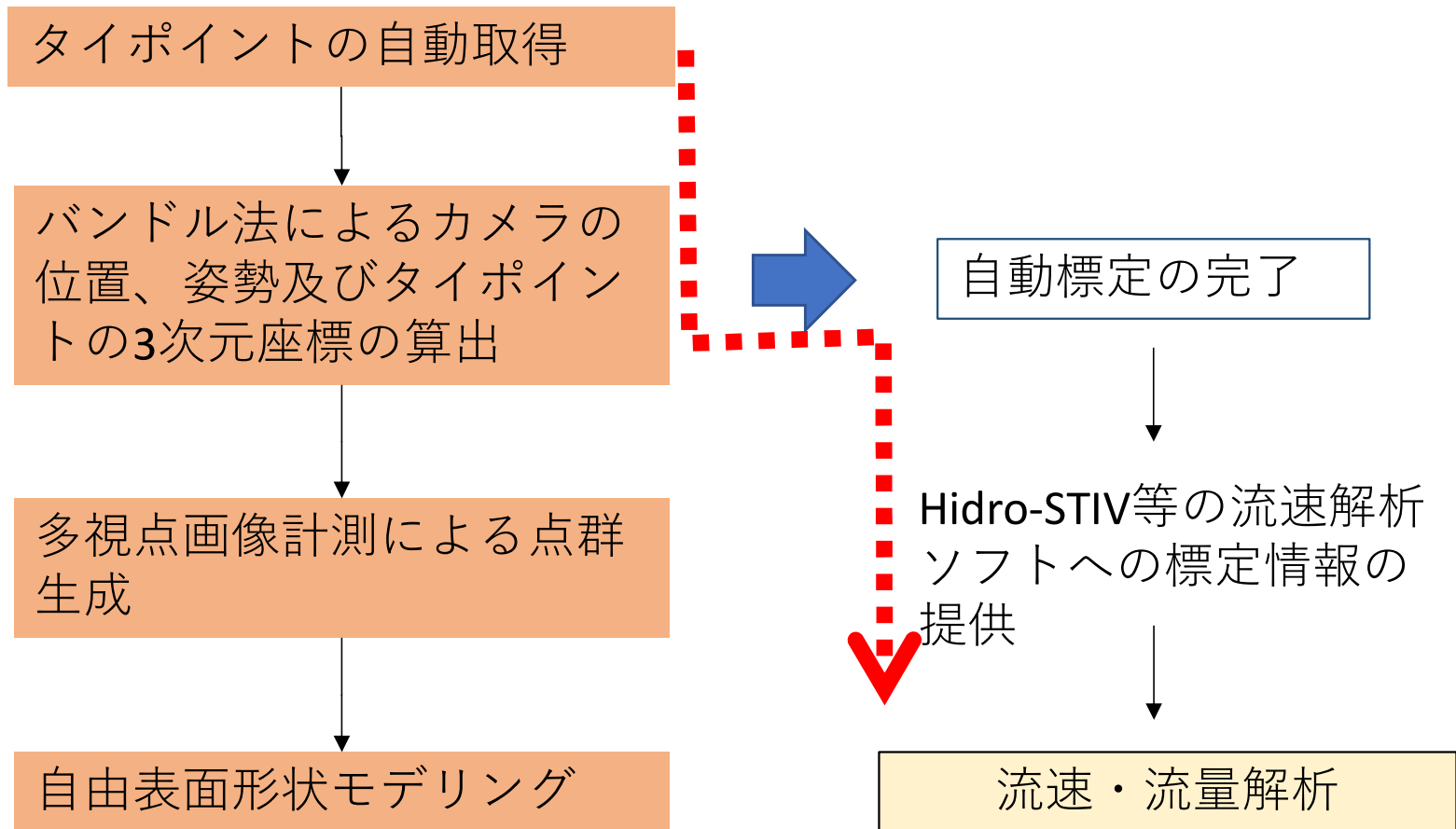
## 5. 自動標定プログラムの開発

---

- CCTVの流量観測への活用を推進するための新たな標定手法を開発
- 令和元年度補正ものづくり・商業・サービス生産性向上促進補助金（独立行政法人中小企業基盤整備機構）により実施
- 指導 神戸大学 藤田一郎名誉教授

# (1) SfM (Structure From Motion) の処理フローと自動標定

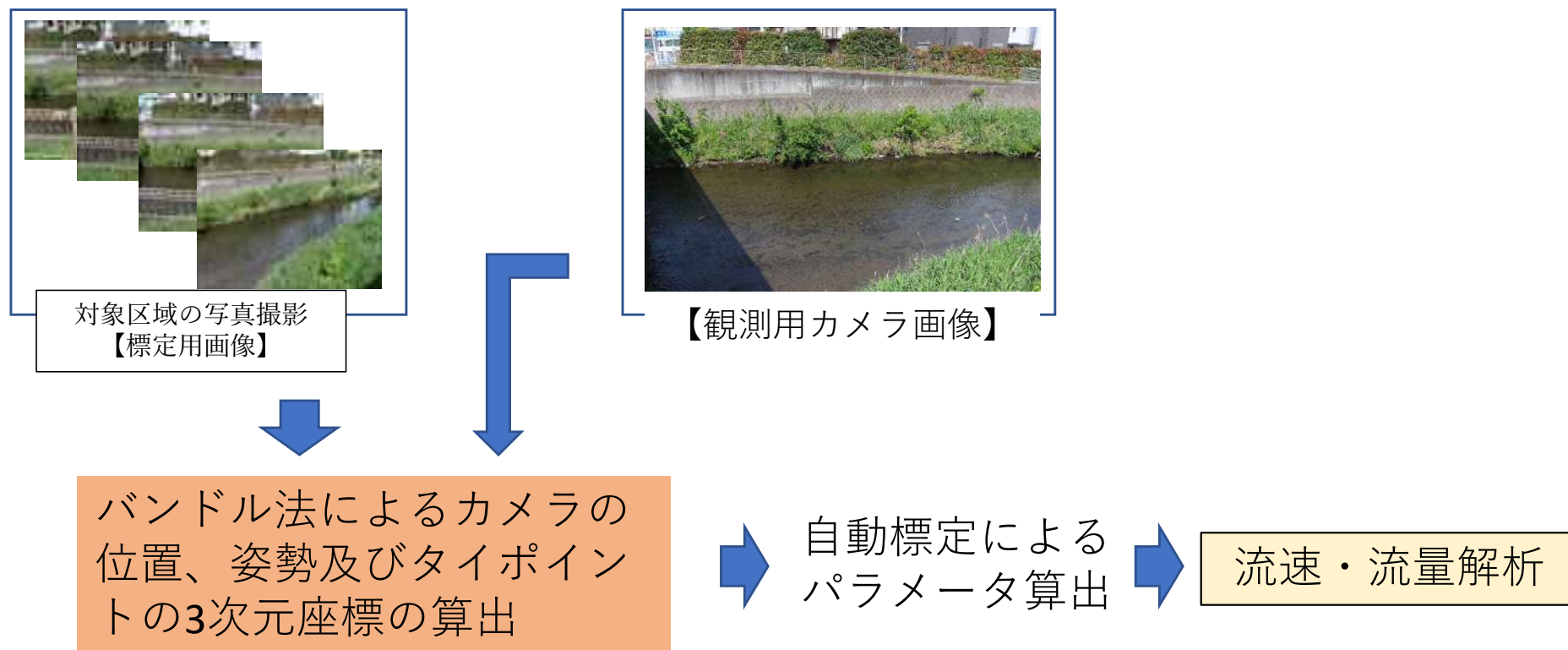
## • カメラ標定の手順



SfMの処理フロー

## SfMによる自動標定の適用条件と作業手順

- SfMには3枚以上の画像が必要 ⇒ 観測用カメラだけでは適用不可
- 観測対象空間を異なる複数の場所から撮影する【標定用画像撮影】
- 観測用カメラ画像と標定用画像を合わせてバンドル法で座標算出



# 地形計測用画像の撮影





## (2) 自動標定システムの操作手順

---

1. 標定用画像（動画・静止画）の登録
  2. SfMによる3D点群作成
  3. 観測動画の登録（CCTV、トレイルカメラ、4K動画等）
  4. 観測用カメラの自動標定
- ◆ 条件：4点以上の標定点または2点間の距離情報
    - 標定点は観測カメラの画像内になくても標定可能

# 標定用画像データのアップロード

画像・動画データ管理

画像 データ管理

画像データセット追加

画像データセット名

追加 キャンセル

データセット	作成日時	選択
フォルダ オルソ化用テスト画像セット	2021/3/23 08:34	<input type="checkbox"/>
フォルダ オルソ化用テスト画像セット2	2021/3/23 12:07	<input type="checkbox"/>



画像・動画ファイル管理

画像 動画

八斗島\_フォトグラメトリ用

追加 ダウンロード 削除

プレビュー	ファイル名	作成日時	選択
	C0026.MP4	2021/04/06 15:08	<input type="checkbox"/>

Showing 1 to 1 of 1 entries

Previous 1 Next

戻る

# S f Mによる点群作成 (標定点登録)

フォトグラメトリ

対象画像

【画像ID:16】 0180\_240.png

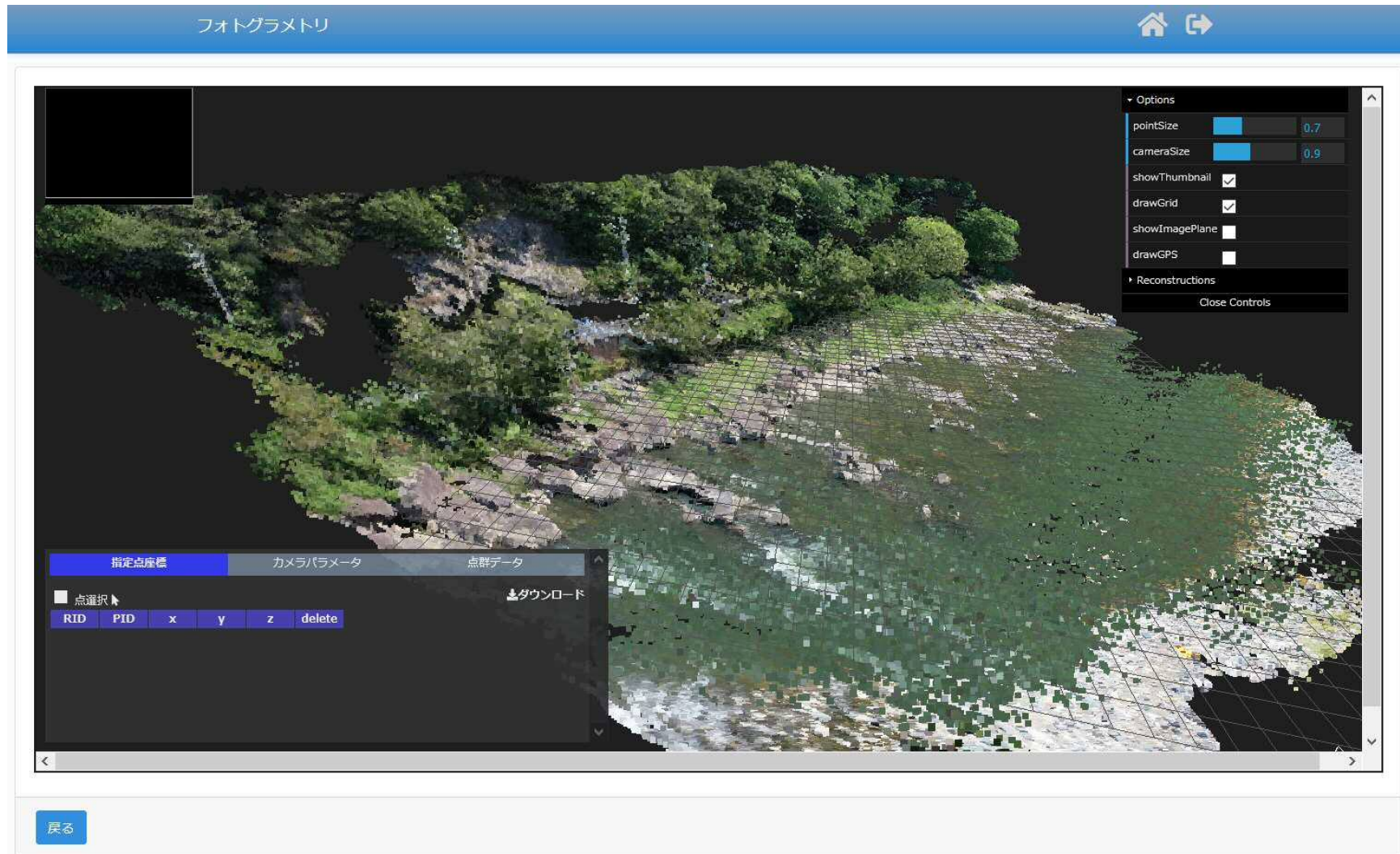
標定点一覧

ファイルからインポート

画像ID	標定点名	X座標(m)	Y座標(m)	高さ(m)	X(pixel)	Y(pixel)
------	------	--------	--------	-------	----------	----------

戻る 実行

# S f Mによる点群作成（点群作成）

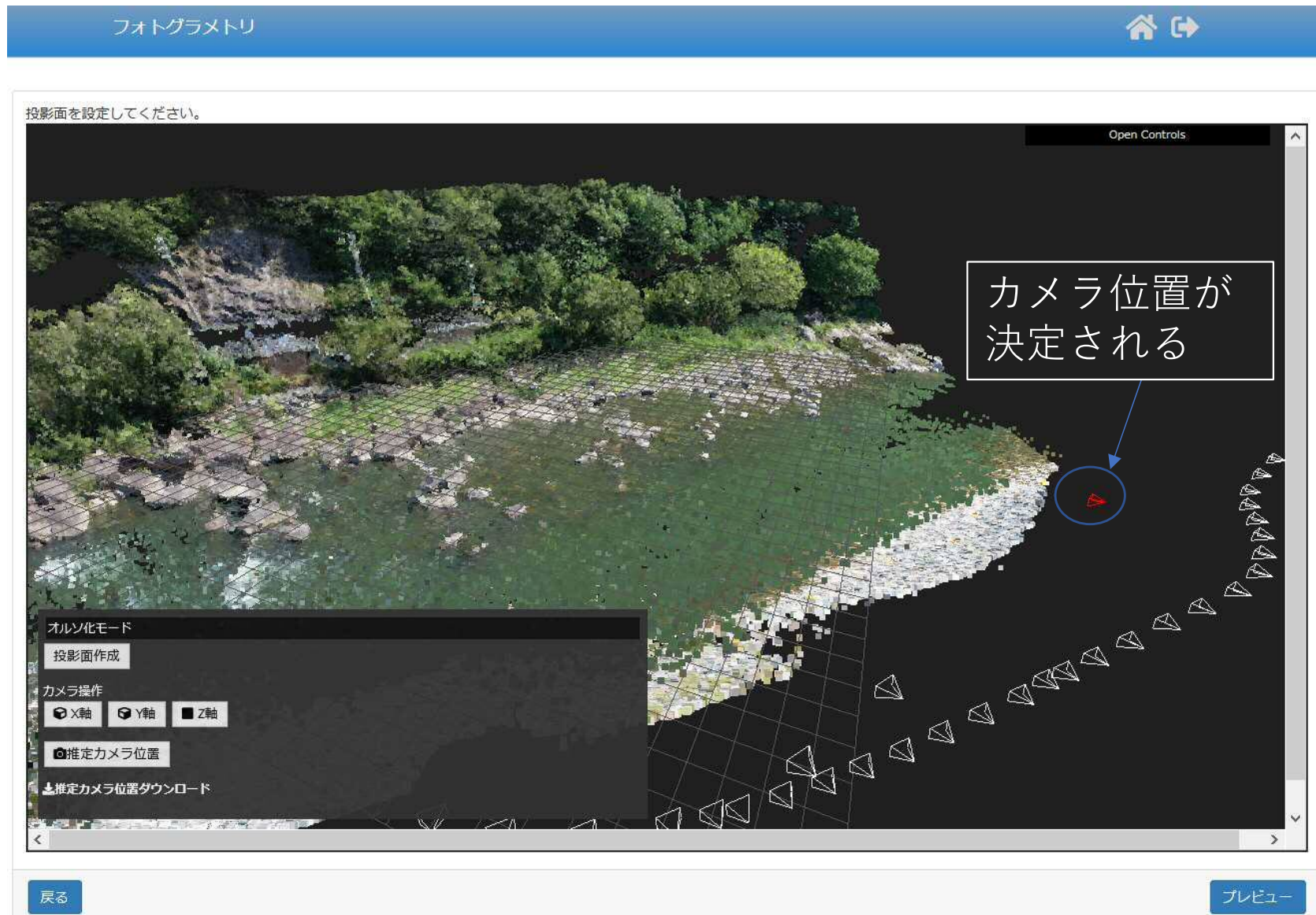


# S f Mによる自動標定（観測動画の選択）





# S f Mによる自動標定（自動標定）



### (3) Hidro-STIVとの連携

---

- 自動標定プログラムで求めた標定パラメータをHidro-STIVで読み込み可能なパラメータファイルとして出力可能

## ②カメラパラメータの直接入力

Hydro-STIVの操作手順上、標定点6点以上の入力が必要であるが、カメラパラメータの直接入力を行う場合には標定点は使用しない。ダミーで6点入力しておく。

The screenshot displays the Hydro-STIV software interface. The main window is titled "新規プロジェクト\* - Hydro-STIV". It features a menu bar with "ファイル(F)", "設定(O)", "ウィンドウ(W)", and "ヘルプ(H)". The interface is divided into several panels:

- メイン動画 (Main Video):** Shows a video of a river with a blue callout box stating "①任意の場所にダミーの標定点を6点以上入力する" (Enter 6 or more dummy calibration points at any location).
- 幾何補正画像 (Geometry Correction Image):** Currently empty.
- 流速グラフ (Flow Velocity Graph):** A graph with "Velocity (m/s)" on the y-axis (0 to 100) and "Distance (m)" on the x-axis (0 to 100).
- STIVオペレータ (STIV Operator):** Contains sections for "標定点手動編集" (Manual Calibration Point Editing) and "標定点ファイル読み込み" (Load Calibration Point File).
- 標定点一覧 (Calibration Point List):** A table with 6 rows of dummy points. A blue callout box points to the table with the text "②標定点はダミーのため、座標の入力は不要" (Calibration points are dummy, so coordinate input is not required).

The "標定点一覧" table is as follows:

有効	標定点名	X座標(m)	Y座標(m)	高さ(m)	X(pixel)	Y(pixel)	ErrorX(m)	ErrorY(m)	
<input checked="" type="checkbox"/>	#1	0.000	0.000	0.000	34.853	103.235	0.000	0.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	#2	0.000	0.000	0.000	93.088	101.912	0.000	0.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	#3	0.000	0.000	0.000	103.676	103.235	0.000	0.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	#4	0.000	0.000	0.000	152.647	113.824	0.000	0.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	#5	0.000	0.000	0.000	197.647	117.794	0.000	0.000	
<input checked="" type="checkbox"/>	#6	0.000	0.000	0.000	226.765	119.118	0.000	0.000	

At the bottom, a navigation bar shows the current step is "幾何補正" (Geometry Correction).



## ②カメラパラメータの直接入力

水位を入力し、幾何補正パラメータファイルの読み込みを行う。

STIVオペレータ

基本設定

水位 65.8 m

追加設定(カメラパラメータ)

幾何補正パラメータファイル読込

幾何補正の実行

①標定点を使用するときと同様に、水位を入力

②幾何補正パラメータファイル読込タブを開く

STIVオペレータ

基本設定

追加設定(カメラパラメータ)

幾何補正パラメータファイル読込

[ファイル読込]ボタンを実行し、幾何補正パラメータファイルを指定してください。

ファイル読込

幾何補正の実行

③ダウンロードしたカメラパラメータファイルを読み込む

## ②カメラパラメータの直接入力

読み込んだカメラパラメータを確認し、全てのパラメータを固定して幾何補正を実行する。標定点に関する警告メッセージが出るが、無視して良い。

The screenshot shows the 'STIVオペレータ' (STIV Operator) interface. It has a '基本設定' (Basic Settings) section and an expanded '追加設定(カメラパラメータ)' (Additional Settings (Camera Parameters)) section. The camera parameters are as follows:

カメラ位置座標	値	単位	固定
X	20063.880	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Y	-113959.778	m	<input checked="" type="checkbox"/>
Z	74.967	m	<input checked="" type="checkbox"/>

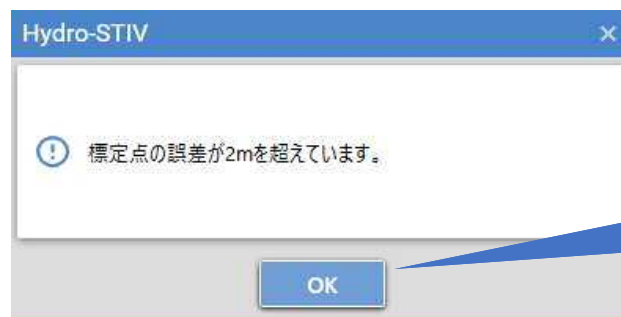
カメラ角度	値	単位	固定
ロール	-2.128	rad	<input checked="" type="checkbox"/>
ピッチ	-1.048	rad	<input checked="" type="checkbox"/>
ヨー	-2.643	rad	<input checked="" type="checkbox"/>

There is a 'rad→deg' button next to the Yaw parameter. Below the angles is a diagram of a camera with axes for Roll, Pitch, and Yaw. The 'レンズ主点位置' (Lens Principal Point Position) section shows X: 960.000 pixel and Y: 540.000 pixel, both fixed. The '焦点距離' (Focal Length) is -1602.409 pixel, also fixed. At the bottom, there is a '幾何補正の実行' (Execute Geometric Correction) button.

①追加設定（カメラパラメータ）を開く

②読み込んだパラメータが表示されていることを確認し、全ての「固定」チェックボックスにチェックを入れる。

③幾何補正の実行ボタンを押下



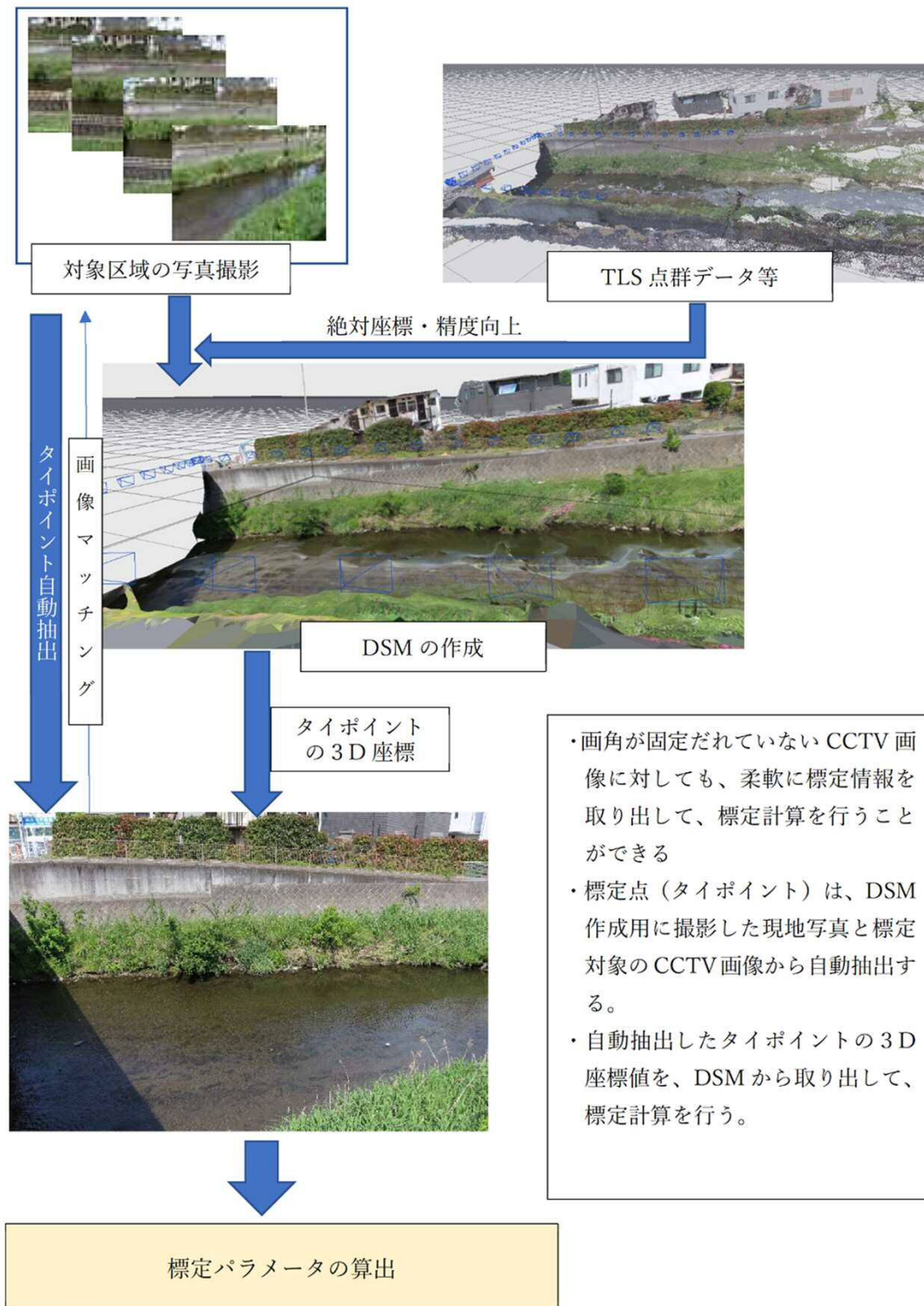
④標定点がダミーなために警告メッセージが出るが、問題ないため、OK

## 画像法適用時の単写真標定法（従来法）



撮影画像内に6点以上の標定点（標識）を設置し測量していた  
⇒カメラアングルが少しでも変われば、やり直し（CCTVではありがち）





SfM/MVSの技術を応用し、  
観測動画の標定を自動化。

カメラアングルが変わっても柔軟に対応できる。

- ・画角が固定だれていない CCTV 画像に対しても、柔軟に標定情報を取り出して、標定計算を行うことができる
- ・標定点 (タイポイント) は、DSM 作成用に撮影した現地写真と標定対象の CCTV 画像から自動抽出する。
- ・自動抽出したタイポイントの 3D 座標値を、DSM から取り出して、標定計算を行う。

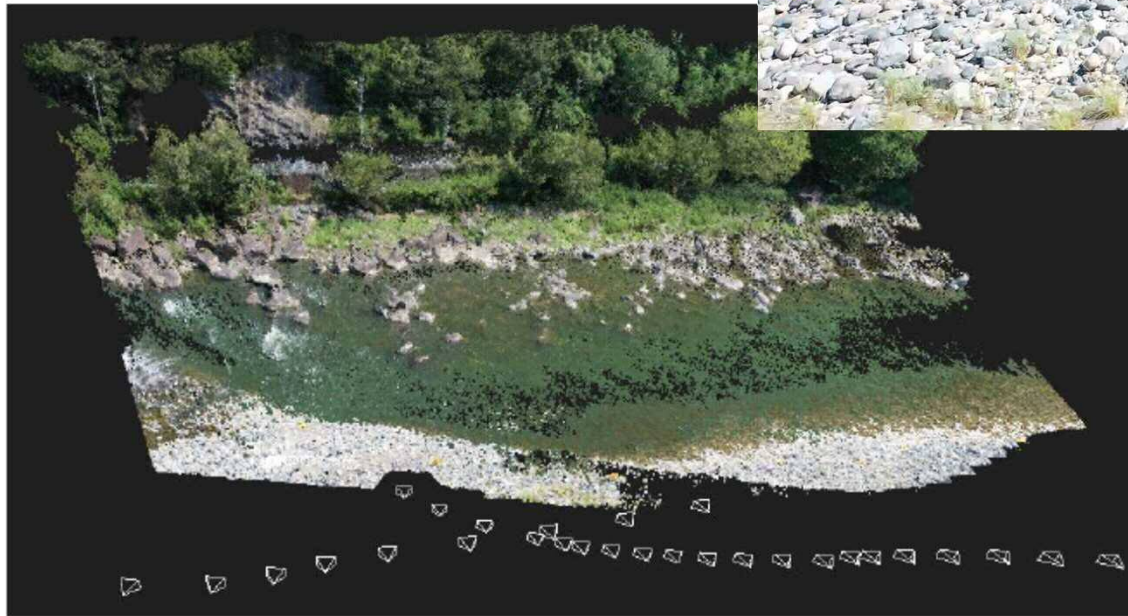
## 6. 現地試験の実施状況







# 揖保川現地試験



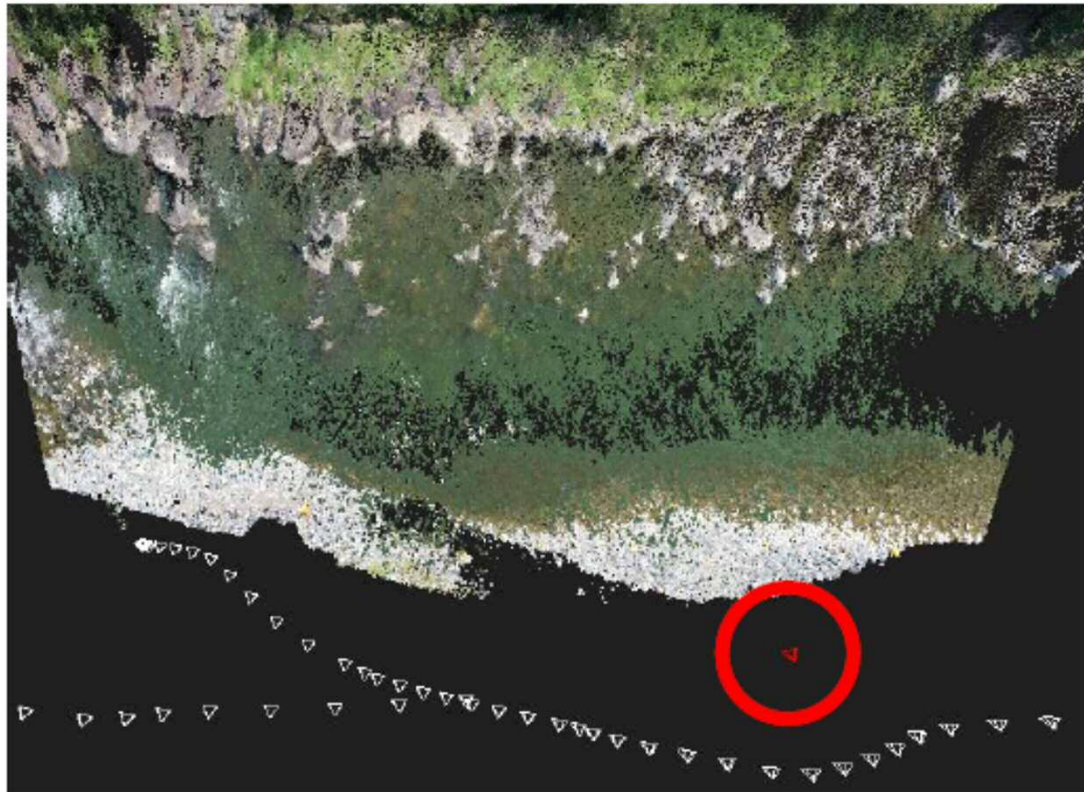
入力動画

SfM/MVSによる点群計測結果





観測カメラの撮影画像



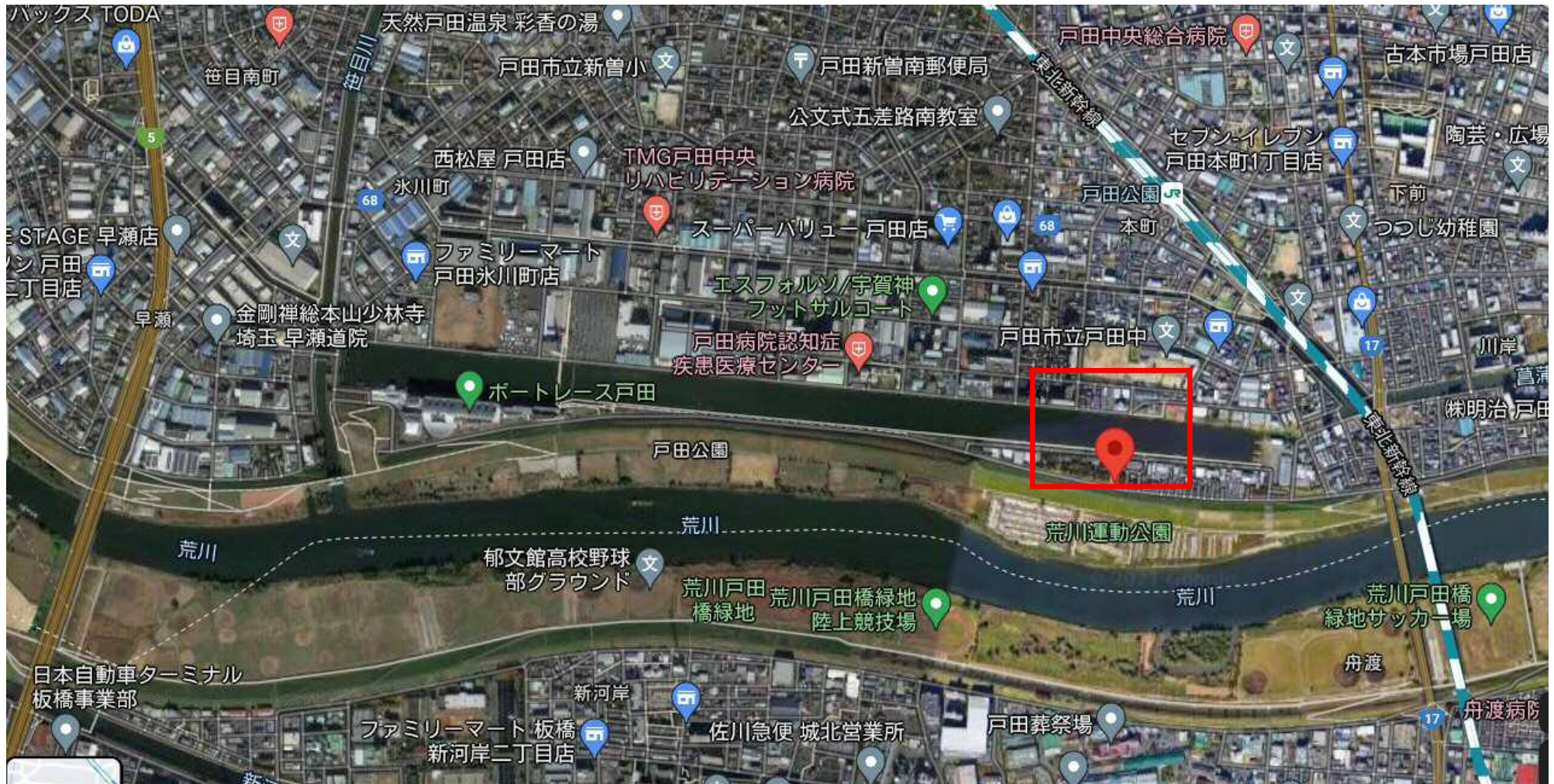
自動標定で推定したカメラ位置

```
-<GeoCorrectionParameter>  
<C>-1596.8103774206002</C>  
<X0>20064.074787967085</X0>  
<Y0>-113959.84518896954</Y0>  
<Z0>74.90158918040646</Z0>  
<Omega>1.8426267756442547</Omega>  
<Phi>0.002686682474654847</Phi>  
<Kappa>2.0227781831817384</Kappa>  
<Xc>960</Xc>  
<Yc>540</Yc>
```

カメラパラメータ推定値



# 戸田公園漕艇場 埼玉県戸田市

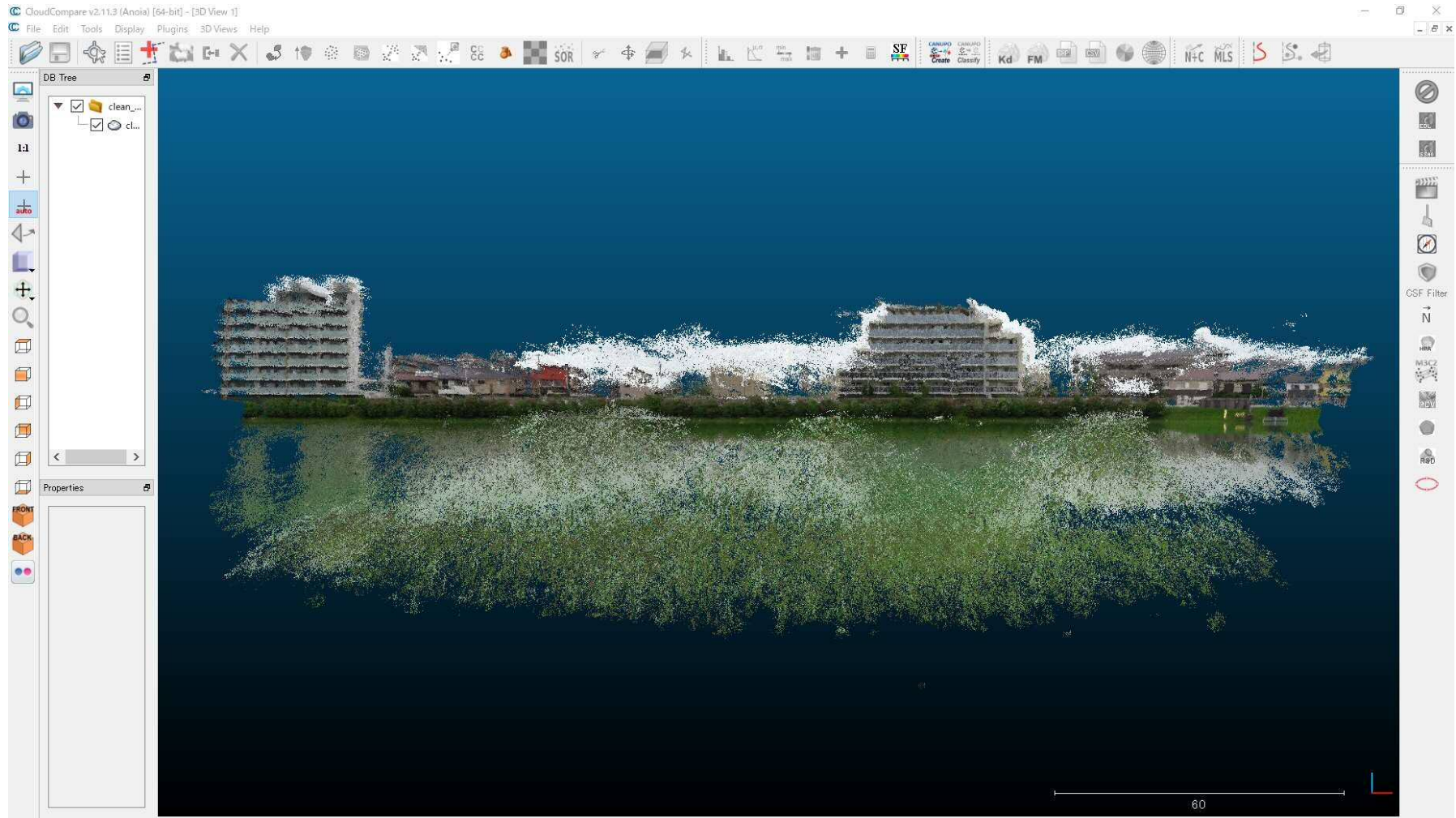




# 地形計測用画像



# 動画からSfMにより作成した点群





投影面を設定してください。

# 観測カメラの推定位置



オルソ化モード

投影面作成

カメラ操作



X軸



Y軸



Z軸

推定カメラ位置

推定カメラ位置ダウンロード



観測用動画



幾何補正画像

# 7. SfM/MVSを応用した自動標定手法

---

## 【開発目標】

- 流量観測への画像解析法適用のために「**標定作業**」の効率化と精度向上
- SfM/MVSの技術を応用し、標定自動化
- CCTVによる観測の現地作業の簡略化
  - 観測画角内に標定点がなくても自動標定
- 内部標定要素、外部標定要素を同時に決定

# (1) 自動標定プログラムの機能・特徴

- 標定点使用の場合（測量座標系で管理する場合）
  1. 観測対象（点群作成領域）に4点以上の標定点を設置
  2. 標定点は観測カメラの画角内になくてもよい
    - 観測エリアの点群作成のために使用する
  3. カメラパラメータはHydro-STIVに直接入力可能
  4. 事前にカメラの内部標定を行う必要なし
  5. 観測カメラの画角変更に柔軟に対応可能

→ CCTVカメラや防犯カメラなど、内部標定要素が未知の非計測用カメラによる観測（単写真計測）に対応



- 既設カメラ（CCTV、防犯カメラ）の画像を用いて、大きさや形状を計測するための標定作業の簡素化 → **画像活用の可能性拡大**が期待される

## (2) 課題と今後の方針

---

- 画像品質（画角、鮮明度、他）が標定精度に影響する
- 水面など特徴点の自動抽出が難しい被写体が卓越すると標定精度低下の原因となる

### 【今後の開発】

- ◆ 安定した標定結果を得るための撮影方法の標準化や機材選定
- ◆ プログラムの速度やインターフェースの充実
- ◆ 土石流や斜面崩壊、雪崩等への適用試験
- ◆ 構造物の変状調査、点検等への適用

# 參考資料



# 流量觀測高度化技術

# 流量観測の実施方法（高水）

- 浮子観測：高水時のみ、日本のスタンダード
  - $\Sigma$ （区分面積×区分流速×構成係数）
- 流速計観測（海外で実施）
  - 洪水時以外は国内でも実施（低水流量観測）
- ADCPによる観測
  - 断面内の流速分布を計測する方法で、最も正確な方法とみなされている
  - 洪水観測時には、橋上での観測作業の安全確保等で課題あり
  - 感潮域等の下流部では有用な手法
- 電波流速計観測（洪水時・表面流速）
  - 橋梁等からの移動観測、固定設置、ドローン搭載等
  - スピードガンと測定原理は同じ（ドップラー）
- 画像解析による観測（洪水時・表面流速）
  - 河川表面を撮影した動画から流速を測定
  - STIV、LSPIV等の解析手法が用いられている
  - （特徴）平面2次元の表面流速分布計測が可能
- 数値解析による流量把握
  - 多点に設置された水位計による水面計把握をもとに、数値解析により流量を求める取り組み

従来技術

# 電波流速計



可搬型電波流速計  
による観測



最新式電波流速計  
の試験状況

水面に電波を照射し、反射して戻ってくる電波の周波数が、対象物の速度に応じてドップラー効果により変化する現象を利用して非接触で表面流速を計測する。

洪水の流体力やゴミなどの流下物の影響を受けないため、安全に洪水観測ができる。

# 非接触型流速計

## (3) 画像処理方式 (PIV流速計、オプティカルフロー)

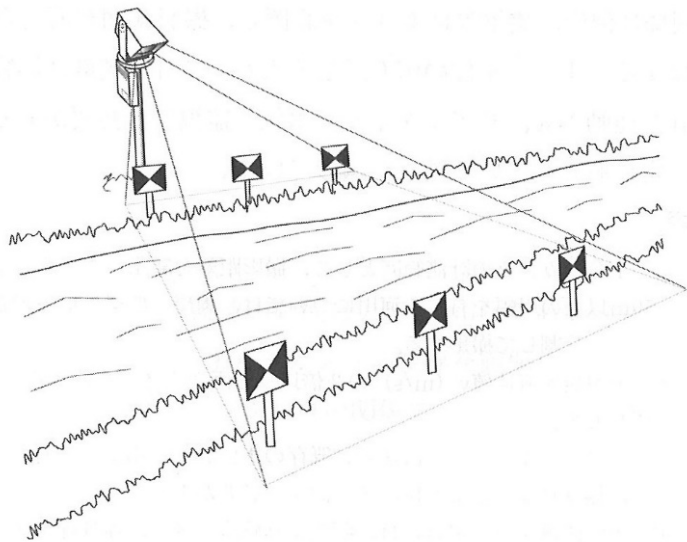


図 画像処理方式流速計  
(PIV及びオプティカルフロー)  
による流量観測イメージ

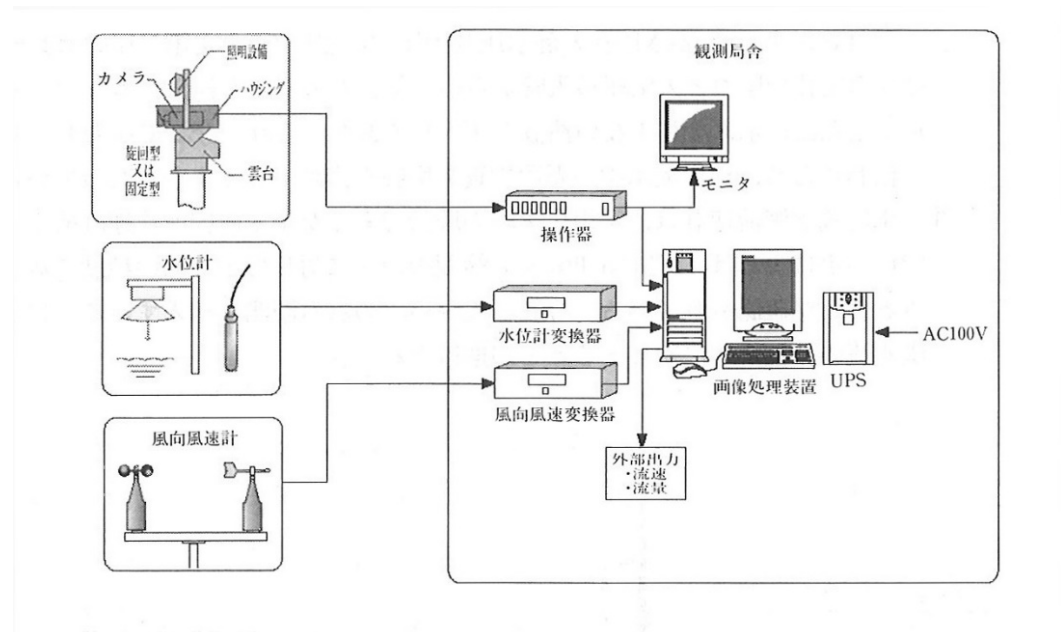
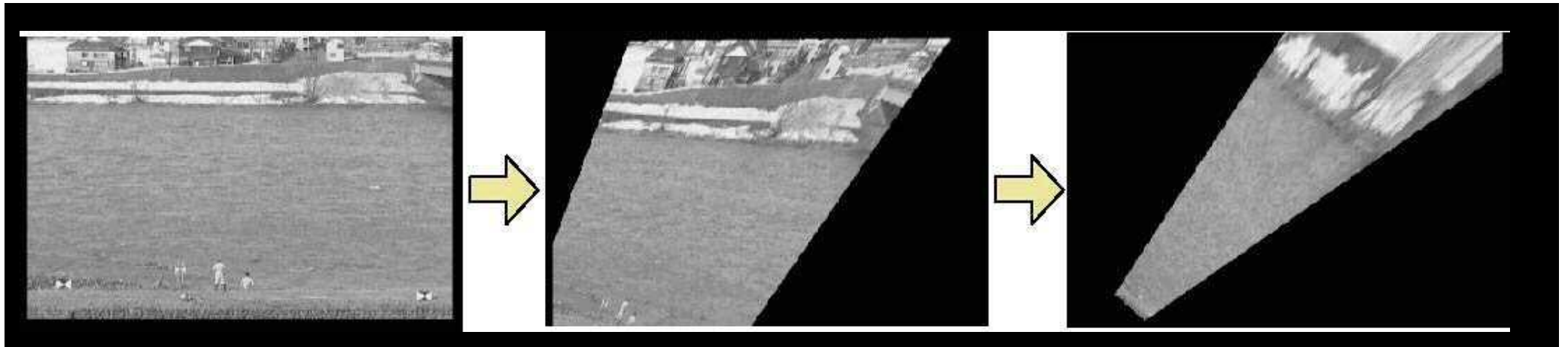


図 画像処理方式流速計  
(PIV及びオプティカルフロー)  
による流量観測システム構成図

# 画像による非接触流速観測 (LSPIV)

## ① 画像を幾何補正



①映像は場所により  
縮尺が一定しない

②幾何補正

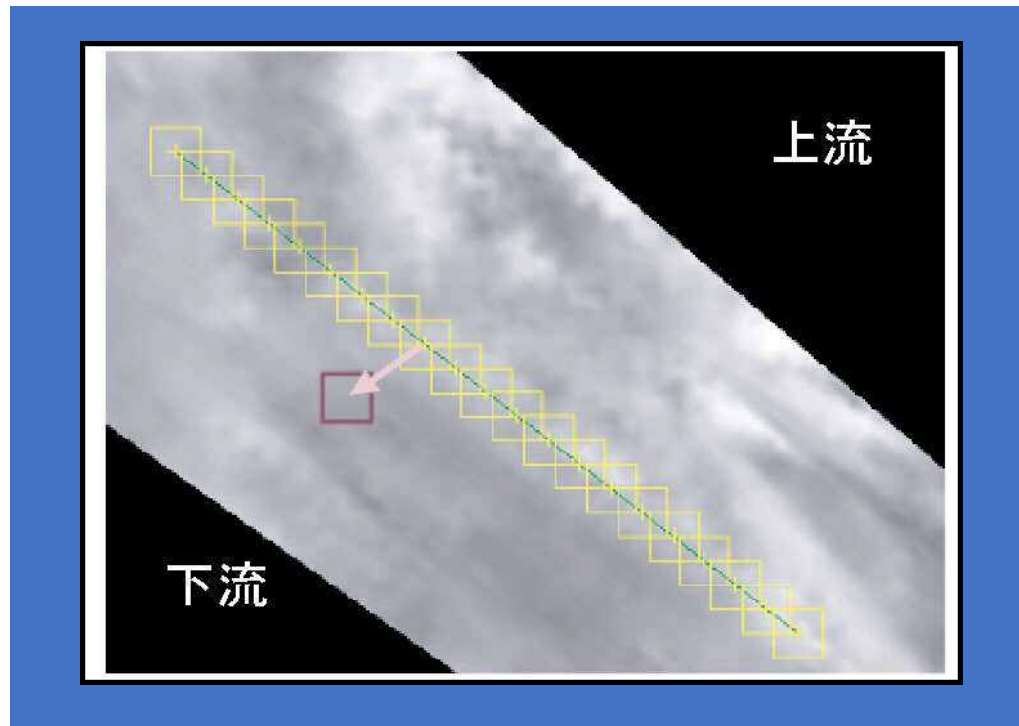
③縮尺が一定にな  
るように画像変換



# 画像による非接触流速観測 (LSPIV)

## ②流速・流向の解析

- テンプレート内のパターンマッチングによる解析



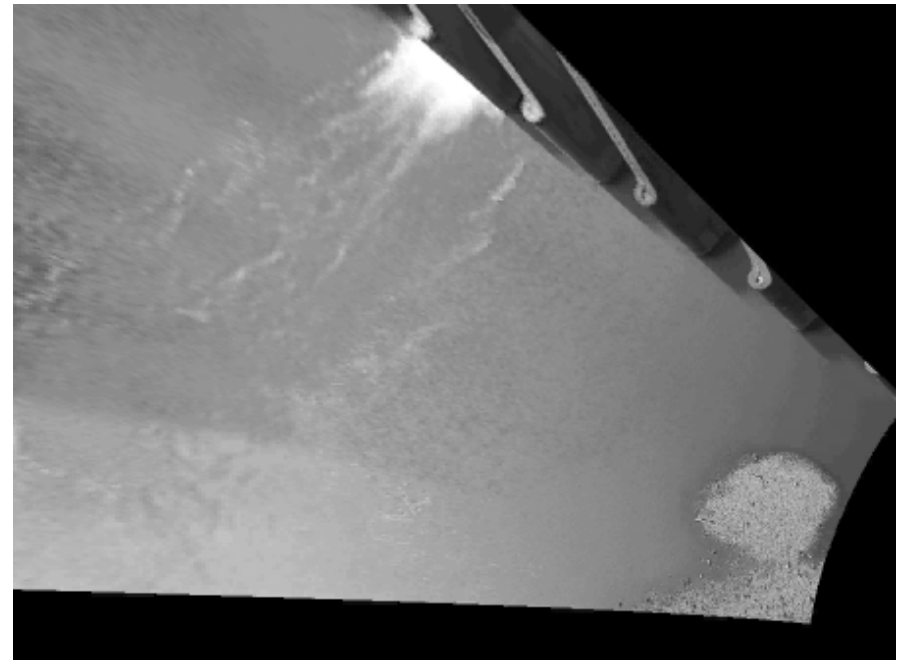
## PIVの解析原理

- 移動量をパターンマッチングにより検出し流速を求める
- 前後の画像を比較し移動距離と時間から速度ベクトルを求める

# 観測事例(魚道機能の確認)

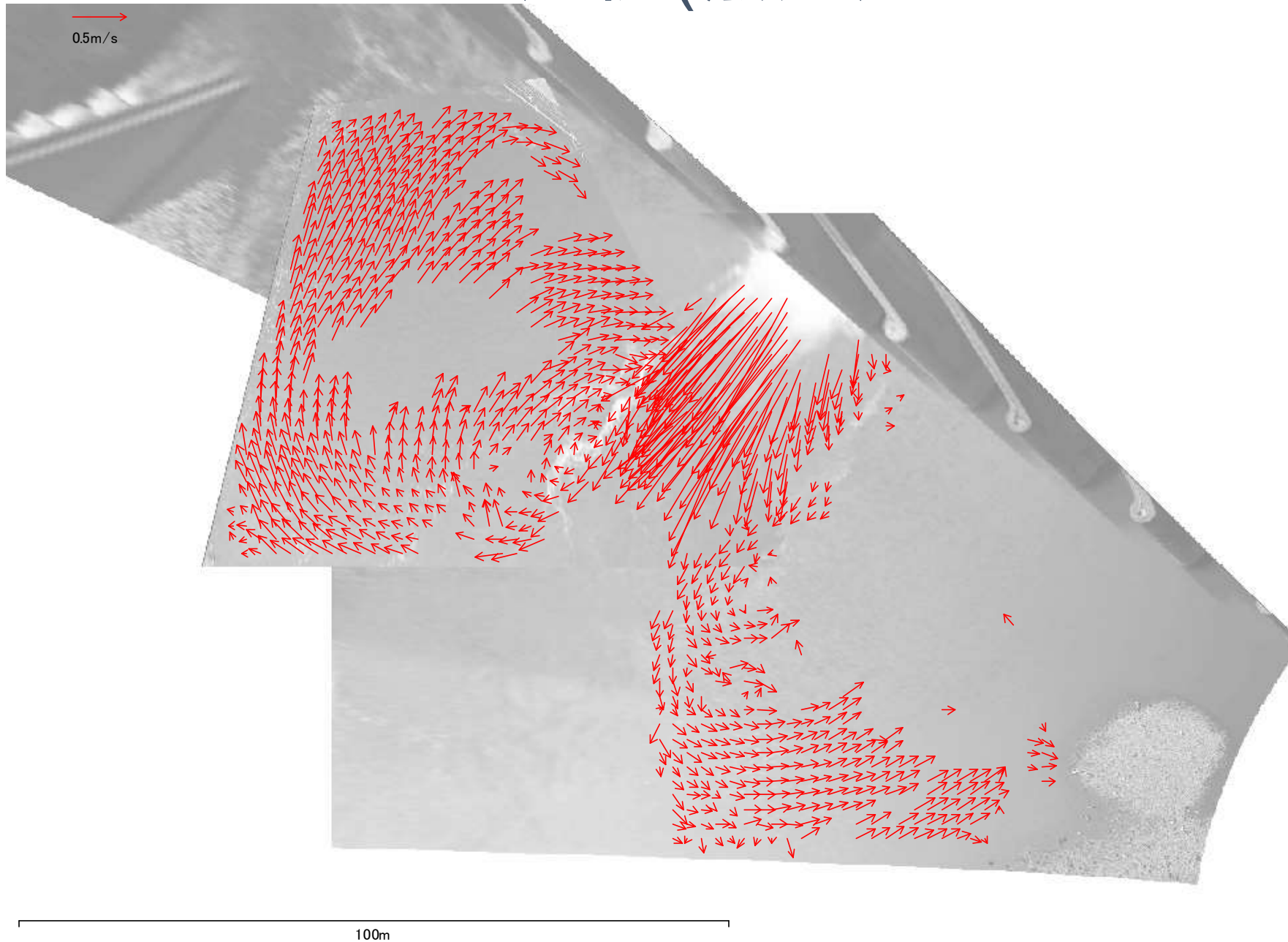


原画像



幾何補正画像(再生60倍速)

# 応用例(魚道)

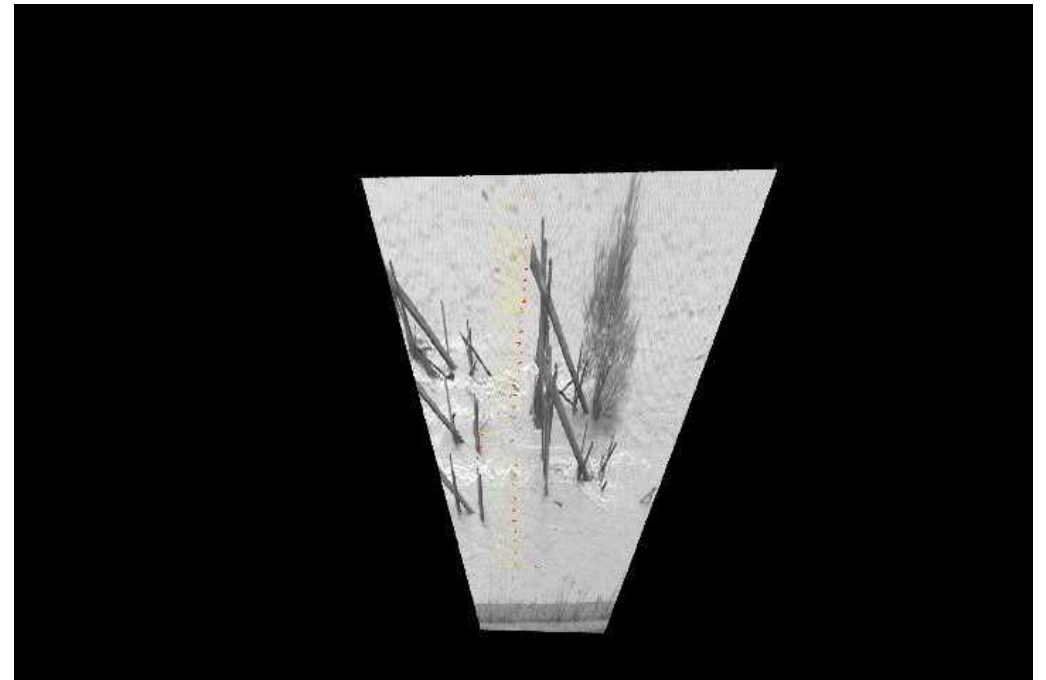


# 応用例（聖牛周辺の流況解析）

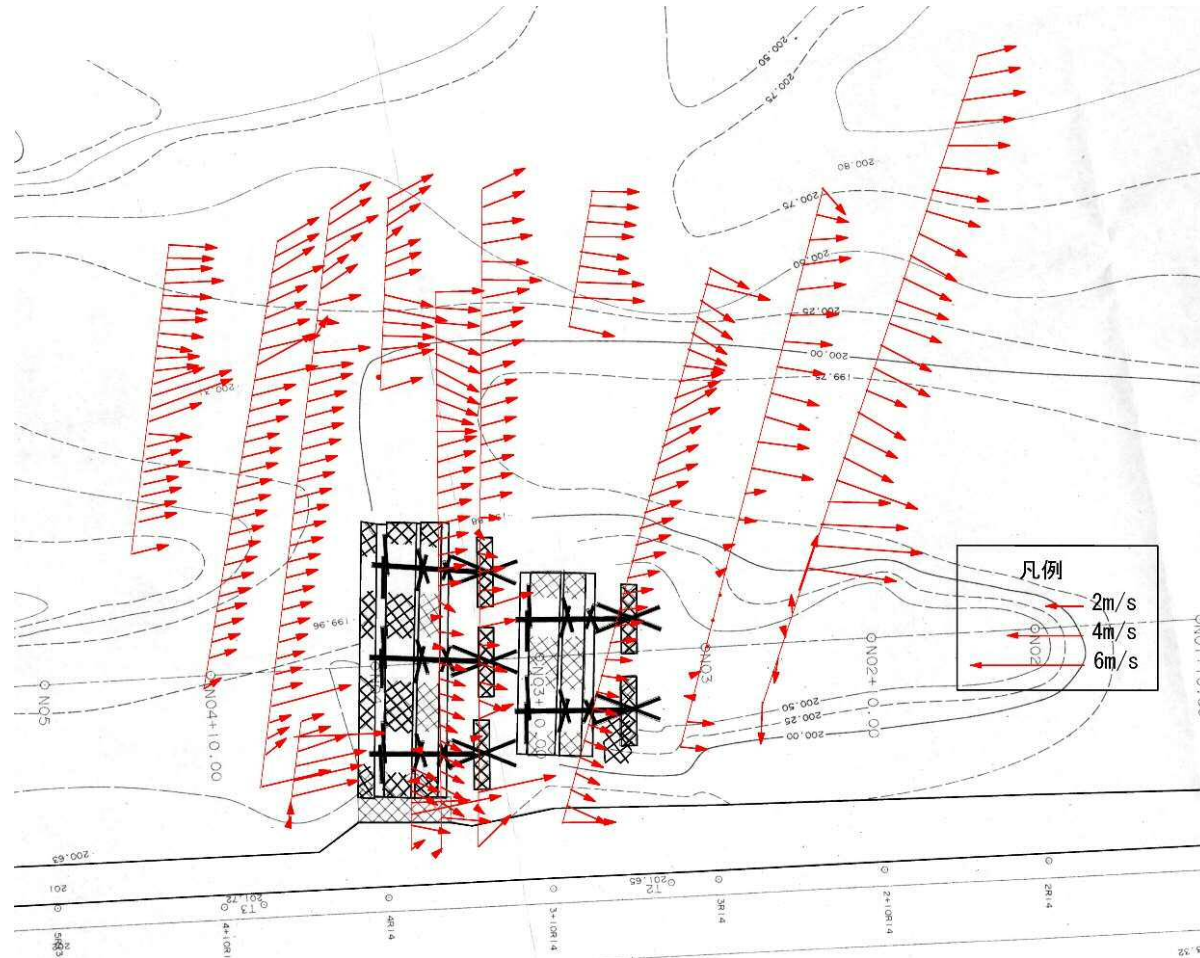
原画像



流速解析画像



# 応用例(聖牛周辺の流況解析)

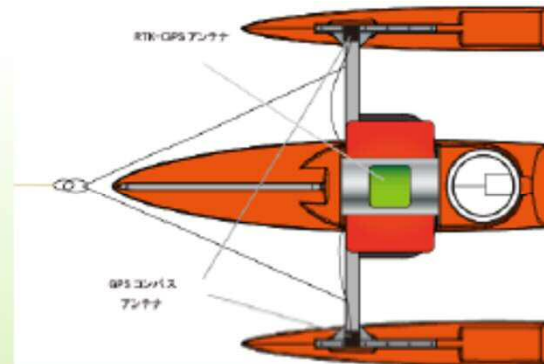
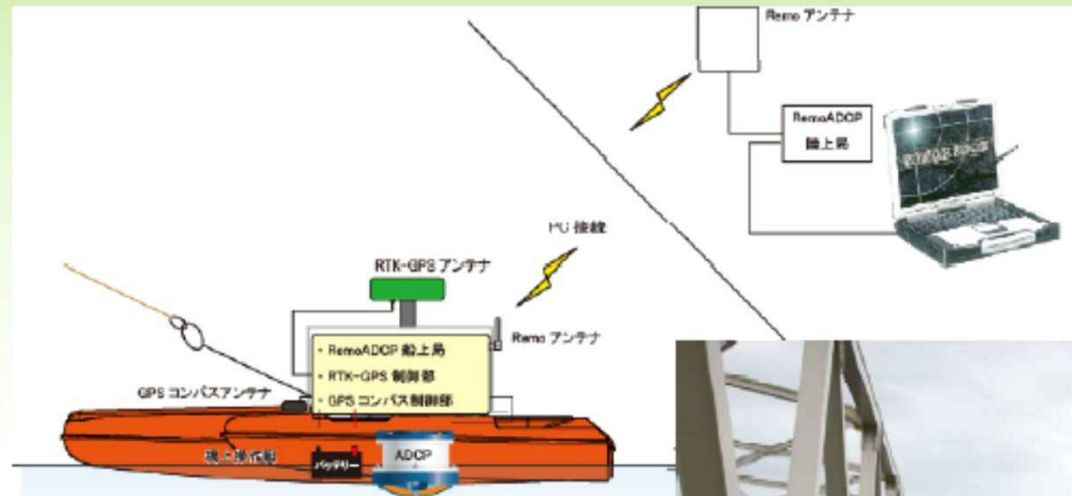




# ADCPに関する技術動向

## ADCPを活用した流量観測に必要な機材構成

1. ADCP
2. 橋上操作艇
3. RTK-GPS
4. GPSコンパス
5. データ転送装置
6. 台車



# ADCPに関する技術動向

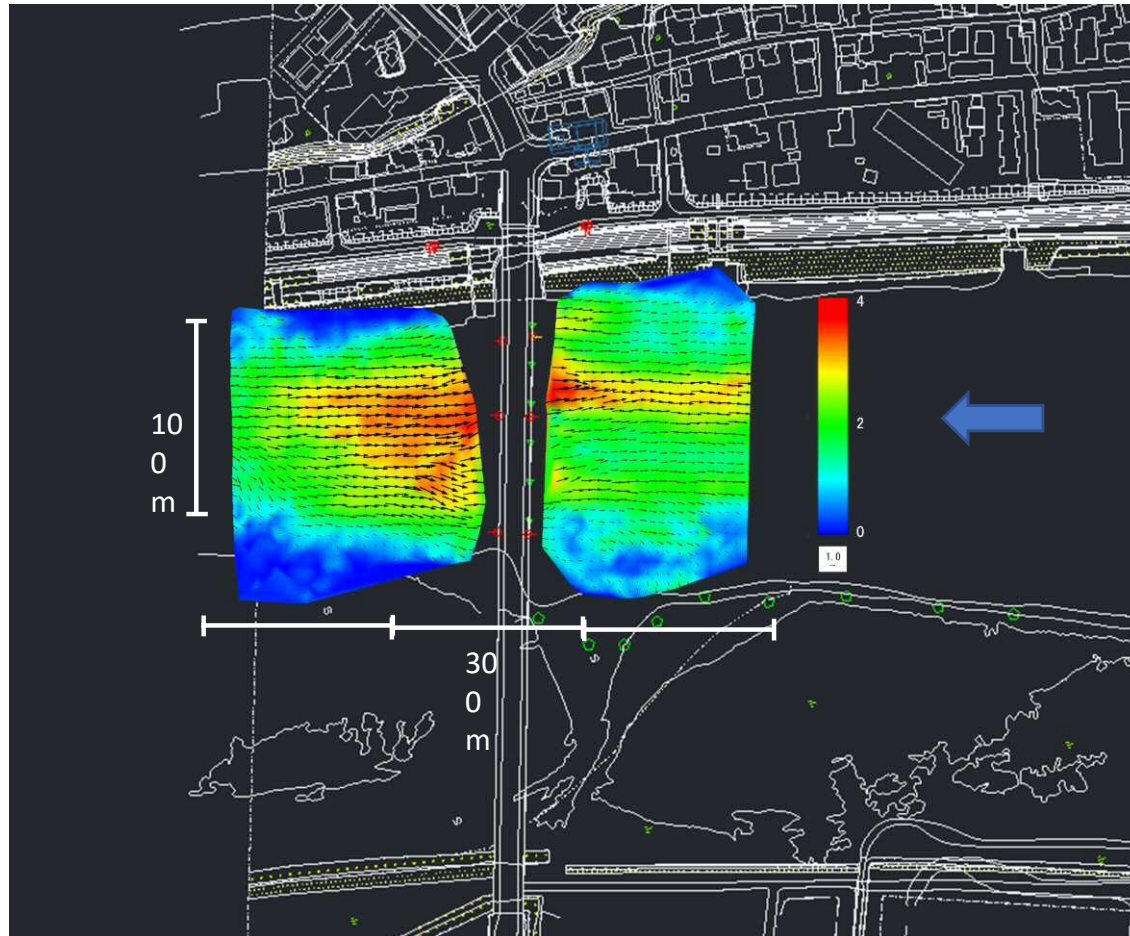


ADCPを搭載した橋上操作艇(高速タイプ)



ADCP搭載のラジコンボート

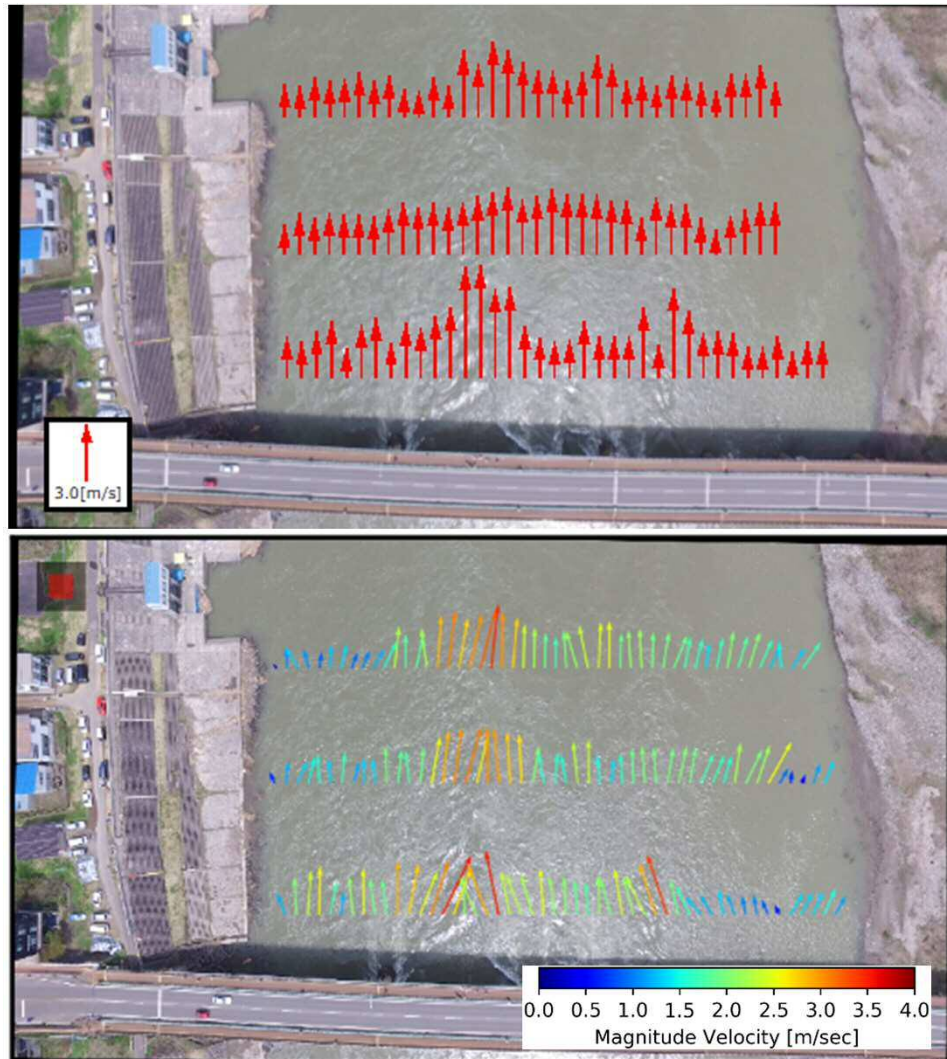
## 画像解析により求めた橋梁上下流の流況



地上からビデオカメラにより撮影した画像から流速分布を求めて合成



## 画像解析により求めた橋梁下流の流況



UAVにより上空からビデオ  
カメラにより撮影し、画像  
解析で流速分布を求めて  
合成  
写真上：STIV解析  
写真下：LSPIV解析



## 画像方式の新たな展開(夜間監視への取り組み)



赤外線ビデオカメラ

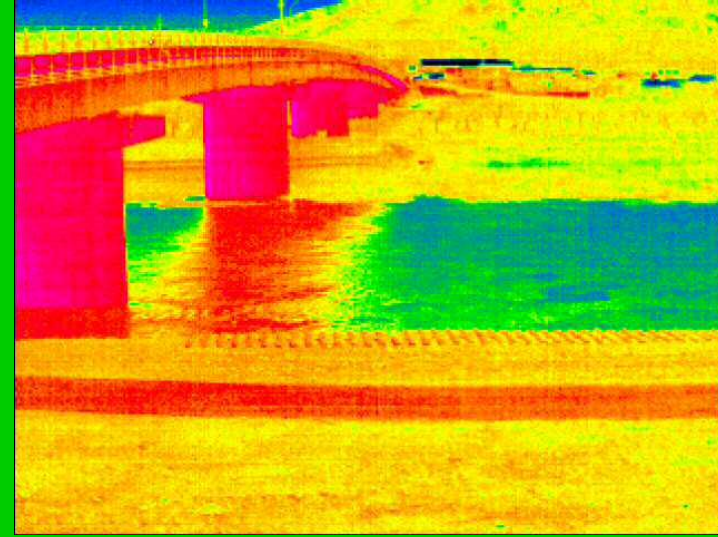
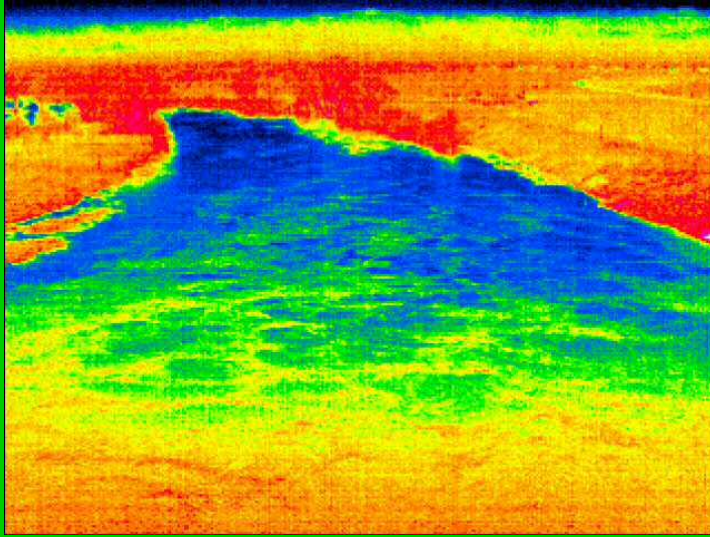
(低価格化が進んでいる)

パッシブ型のセンサーであるカメラ映像による観測では、夜間の観測に問題があったが、近年では高性能の超高感度カメラや高解像度の熱映像カメラ(赤外線カメラ)が開発され、夜間観測の可能性が広がっている。

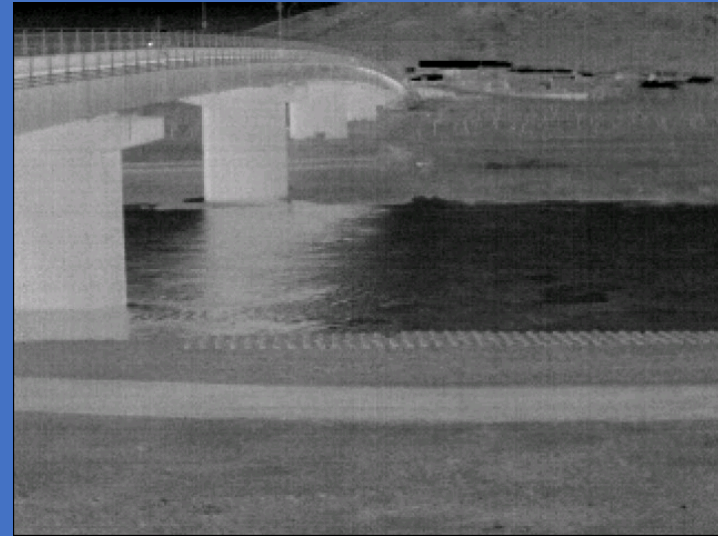
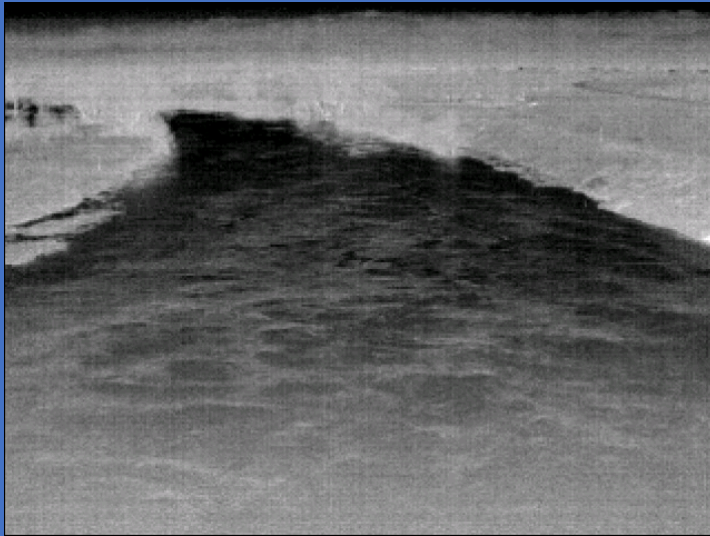
(パッシブ型センサー:レーダーのように自ら電波等を発射して対象物の形状や性質を計るタイプのセンサーをアクティブ型のセンサーという。これに対して自然光や対象物からの輻射等を利用するタイプのセンサーをパッシブ型センサーと呼ぶ。)

# 夜間撮影試験(熱映像)

カラー表示



モノクロ表示



# 夜間撮影試験（高感度カメラ）

最新の高感度カメラ映像



フレーム蓄積あり

フレーム蓄積なし



従来型の高感度カメラ映像

**省人化、気象激甚化はまったなし**  
ご質問、感想をお待ちしています

**株式会社ラグロフ設計工房**

担当 小林・石澤

E-MAIL [I-kaihatsu@lagrof.jp](mailto:I-kaihatsu@lagrof.jp)

TEL 086-206-1170

FAX 086-206-1171