河川情報取扱技術研修
河川情報センター

流速画像解析手法

2019.10.16

神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻
藤田　一郎

ifujita@kobe-u.ac.jp

河川の流速計測の方法

□ 平水時
--- プローブ型流速計
電磁流速計，超音波流速計，プロペラ式流速計
ADV（2成分，3成分）

□ 洪水時
--- 接触型
浮子法，プロペラ式流速計，ADCP
--- 非接触型：表面流速計測
電波流速計，超音波流速計，**画像解析型流速法**

海外のプロペラ流速計（フランス）

・最大流速3~4m/sまで計測可能
・車に取り付けたクレーン（伸縮性）で吊り下げる
・洪水中でも安定とのこと

画像解析型流速計測の特徴・利点

- □ 画像には活用できる大量の二次元情報が格納されている.
  特にビデオ映像の情報量は膨大
- □ 現在だけでなく過去の情報も普遍的に利用できる.
  - ・報道ヘリビデオ
  - ・空撮写真（連写）
- □ 非接触で情報を取得できる.
- □ 誰でも画像を取得できる.
  - ・家庭用ビデオ
  - ・スマートホン
- □ 色の情報も取得できる.
- □ 安全にデータを取得できる.

河川ビデオ画像の利用法

□　動画であることの利点を最大限利用する
□　動画には「物の動き」の生データが格納されている
　通常のビデオで１秒間に３０フレーム
□　「物の動き」としては，
　・人の動き
　・河川浮遊物（流木，ごみなど）の動き
　・流量観測時における浮子の動き
　・堤防の破堤状況
　・氾濫流の流動状況，浸水状況
　・Flash flood
　・土石流，etc.

画像解析型流速計測手法とは

□ 河川表面を撮影した画像から表面流速分布を計測する手法
□ 非接触型
□ 動画像から流速を求める手法には４通りの流れがある
　1. PTV（particle tracking velocimetry）
　2. PIV（particle image velocimetry）：真の開発者は，神戸大筧教授
　3. STIV(Space-time image velocimetry)：by Fujita
　4. Optical Flow ：最近，ビジョンセンシング分野で発展，多くのバージョン有
□ 現在，河川流計測で使われているのは
　1. PTV → Float PTV :　in KU-STIV , by Fujita
　2. PIV→ Large-Scale PIV : by Fujita, ERSTEA（仏）USGS(米)が採用
　3. STIV : in KU-STIV

画像解析型流速計測におけるトレーサ

□　低水時・平水時のトレーサー
　-- 生分解性の粒子，梱包用緩衝
　-- 木片,バイオチップ

□　洪水時のトレーサー
　-- 水面波紋：水流の乱れなどで生じる水面の複雑な凹凸
　-- 流木，浮遊物，泡，ごみ
　-- 浮子

□　水面波紋の追随性の仮定
　-- 水面の凹凸は画像としては水面のテクスチャーとして認識される
　-- 水面のテクスチャーは表面流速で移流すると仮定　➡　後でチェック

流速画像解析手法が注目される理由

□ 安全な場所からの非接触計測

□ 計画規模かそれ以上の流量の場合，浮子観測は困難

□ 越水あるいは破堤のような究極の状態での観測が可能

□ 昼夜を問わない観測 ～ 遠赤外線カメラの導入

□ 河川監視カメラ CCTVの有効利用

□ 過去の洪水動画からの流れのデータの抽出

□ 航空写真・ヘリコプター・UAVからのビデオの解析

浮子法による流量観測の問題点

- □ ピーク流量の欠測が生じ得る
- □ ピーク流量の計測に間に合わないケース
- □ 大洪水時には危険を伴う
- □ 専門業者（熟練者）の不足 ⇒入札不調の頻発
- □ 計測に人手がかかる⇒　最低5名で一カ所を担当
- □ 浮子は高流速側へシフトする傾向
  測線の代表値を正確に表さない，流量が過大評価される懸念
- □ 浮子長さと更正係数（0.85など）の根拠
- □ 橋がなければ観測しにくい，橋脚の影響
- □ 多地点の同時計測は困難
- □ 感潮部の計測は困難

二級河川における問題点

- □ 規模の大きな二級河川では，基準点での流量観測が行われている場合がある
- □ 出水が急なため，現場到着時にはピーク流量が経過し測れないケースが多い
- □ 大部分の二級河川では，流量データの蓄積はほとんどない
- □ この傾向は，中小規模の河川ほど顕著となる
- □ 水位観測のみの河川が大部分である
- □ 小規模河川では，何も測られていないケースもある
- □ 近年の洪水災害は，流量が急増する中小河川に集中している
- □ 水深の小さい急勾配河川では浮子法は使えない

国土交通省

次世代型流量観測検討会

（目的）

洪水の流量観測は、1891年（明治24年）より100年以上にわたって浮子観測を基本に実施してきた。しかしながら近年、現地観測の人手不足や計画規模を上回るような洪水の発生などにより観測員の安全性確保や観測の継続が課題となってきている。

そのため、次世代型流量観測検討会（仮称）を設立し、流量観測の無人化・省力化により、観測員の安全性や観測の確実性の向上を図る。

国土交通省は，流量観測の問題点の解消に向けて具体的な方針転換に乗り出しつつある

土木研究所　水工研究グループ　水文チーム　山本上席研究員
国土総合政策研究所　水循環研究室　川崎室長
国土交通省　水管理・国土保全局　河川情報企画室　島本室長
国土交通省　各地方整備局

国土交通省

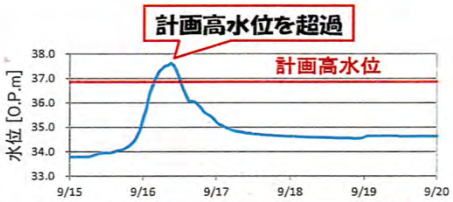
高水流量観測の課題

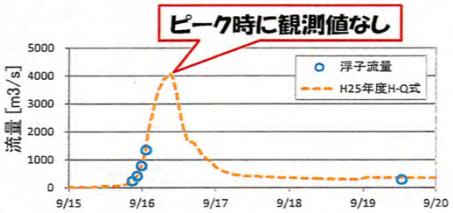
高水流量観測時に、**観測員が退避を余儀なくされ**、ピーク時の流量を観測することができない事例が発生。

■H25台風18号時の渡月橋の事例

・出水時の状況

浮子投下地点の渡月橋の桁上まで洪水流が迫り、観測員の退避を余儀なくされた。





⇨ 安全な流量観測手法が必要

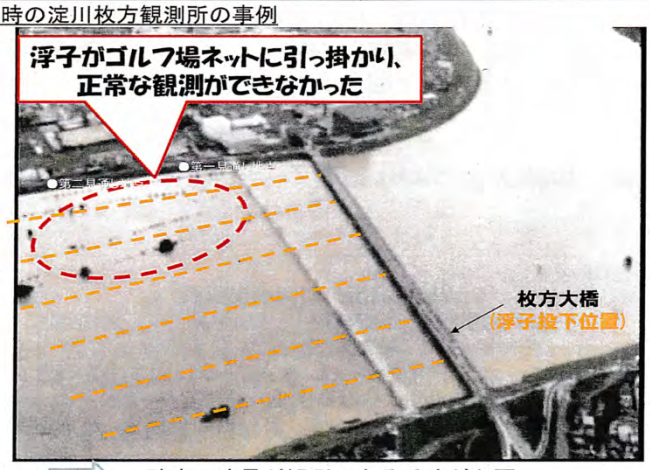
高水流量観測の課題

国土交通省

高水流量観測において、**障害物に浮子が引っ掛かり、正常に観測できない事象が発生**。

■H25台風18号時の淀川枚方観測所の事例

出水時の状況



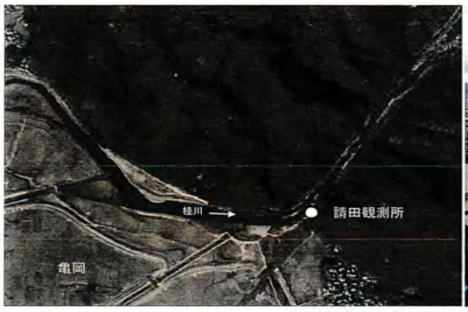
⇨ 確実に流量が観測できる手法が必要

2018.9.20 準備会

高水流量観測の課題

国土交通省

治水計画上重要なポイントであるが、**地形特性（アクセスの問題）や河川間の背水の影響などから流量観測が困難な場所が存在**。



桂川請田観測所

木津川八幡観測所

⇨ 確実に流量が観測できる手法が必要

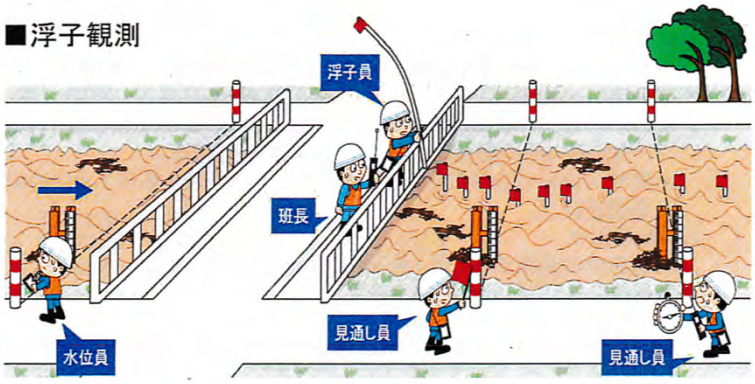
2018.9.20 準備会

国土交通省

高水流量観測の課題

浮子観測では、最低５人の観測員が必要。長期化する場合、交代要員も必要であり、要員確保が課題となっている。

■浮子観測



無人化・省力化が急務

5

水管理・国土保全局　革新的河川技術プロジェクト（第４弾）

募集内容 概要

【応募テーマ】
無人化・省力化に向けた「流量観測機器」の開発

■応募テーマについて参加企業等を公募

【応募期間】
平成30年12月13日（木）
～ 平成31年1月10日（木）17時まで（必着）

現在進行中

【費用負担等】
現地実証にあたって、機器の持ち込み、機器の設置・調整、河川・道路占用等の許可申請については、参加企業等が行うことを原則とします。
なお、電源の確保、機器の設置、各種申請へのアドバイス等、国土交通省が支援する予定です。支援の詳細については、事業計画書の提出後に実施内容等を踏まえ、調整します。

画像による河川表面流速計測の基本的な考え方

- 河川表面に現れる凹凸のパターンは河川表面流速で移流する

電波流速計はこの凹凸パターンの移動速度をドップラー方式で計測（スピードガン）
計測対象は同じ水面の凸凹

- 明るい濃淡の部分は凹凸の山，暗い部分は谷の部分に対応する

1993　淀川

2012　魚野川

2018　信濃川

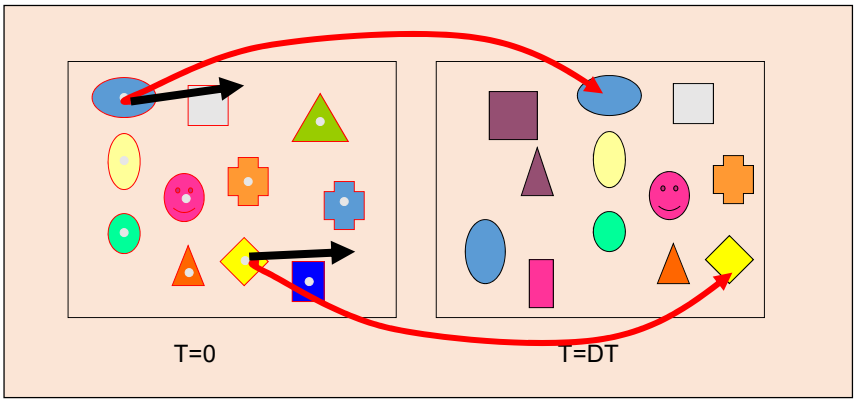
非接触型流速計の比較

表 1　非接触型流速計の特徴比較

	電波流速計	超音波流速計	ＬＳＰＩＶ	ＳＴＩＶ
計測原理	ドップラー効果		テンプレートパターンマッチング	テクスチャ解析
使用周波数他	マイクロ波 20.4KHz	超音波　10.525GHz	可視光	同左
計測対象	水面の凹凸（3.6mm 以上）	水面の凹凸	表面画像濃淡分布	同左
計測領域	一辺 2～4m の楕円	一辺 2～4m の楕円	1 ベクトル当たり数 m～10m 四方，テンプレートの取り方により変化	主流方向の数 m から数 10m の線上
俯角	30～45 度	30～45 度	最遠点で 6 度程度以上～	2～3 度以上
偏角	0 度	0 度	制限なし	0 度
横断流速分布の計測	流速計を平行移動	流速計を平行移動	固定点（河岸高所）からの全幅同時計測可能，河川幅 100m/台(目安)	同左
測定範囲 (m/s)	0.5～10.0（水面の状態により異なる）	0.5～10.0（水面の状態により異なる）	0～10.0（目安） 逆流も測定可能	0.1～10.0（目安） 逆流も測定可能
流速成分	照射方向の 1 成分	照射方向の 1 成分	二次元成分	線分上の一次元成分
設置場所	橋（水面まで１０m以内）	橋（水面まで１０m以内）	河岸，橋	同左
夜間計測	可能	可能	照明を利用，暗視カメラ	同左
ﾘｱﾙﾀｲﾑ計測	可能	可能	水位計との連動で可能	同左
特徴	実際河川での計測実績が豊富にある	基本原理は電波流速計と同様	橋がない場所でも計測可能，複数カメラ利用で 100m以上の河川幅をカバー可能，CCTV カメラを利用可能	同左 LSPIV より効率的

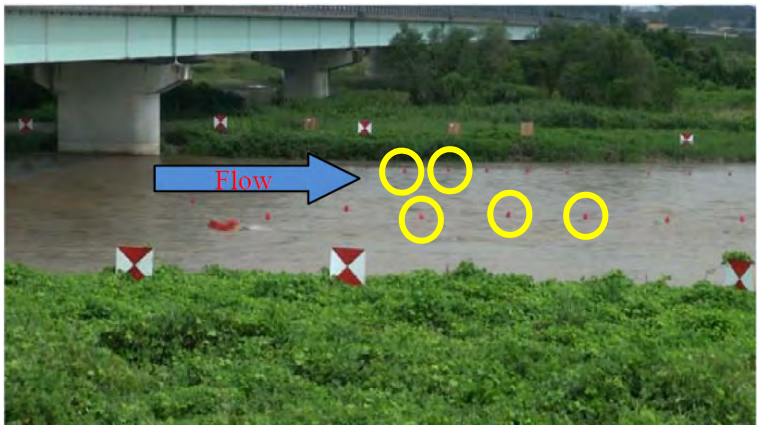
PTVの概念

二枚の画像の粒子の重心を求め，DT時間後の移動距離と移動時間から速度ベクトルを算出
ランダムな点における速度ベクトルが算出される



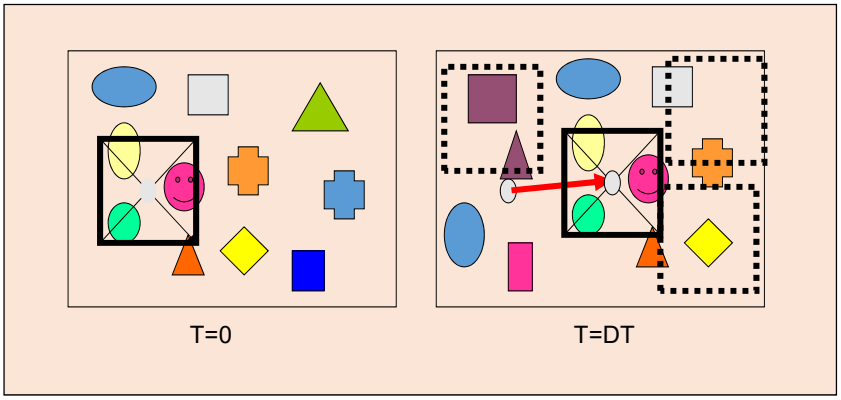
PTVの河川流計測への応用　→　Float PTV

1秒間隔の浮子の移動画像を合成する
斜め画像と測量座標の対応関係はあらかじめ求めておく（後述）
浮子の頂点を順次，マウスでクリックすることで各点での速度ベクトルを算出



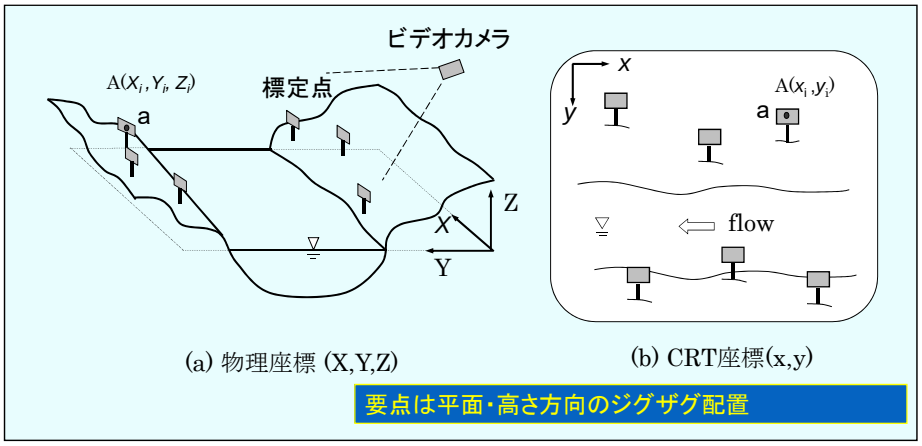
PIVの概念

画像上に設定した枠（参照フレーム）内の輝度分布と最も類似した分布を相互相関関数を用いたパターンマッチングで求める
任意の枠（グリッド上）の中心点における流速ベクトルが算出される



LSPIVの概念

河岸などに設置した標定点（GCP）の測量座標とCRT座標の関係と水位データから斜め画像を幾何補正（オルソ画像生成）し，補正後の画像にPIVを適用する



LSPIVの概要

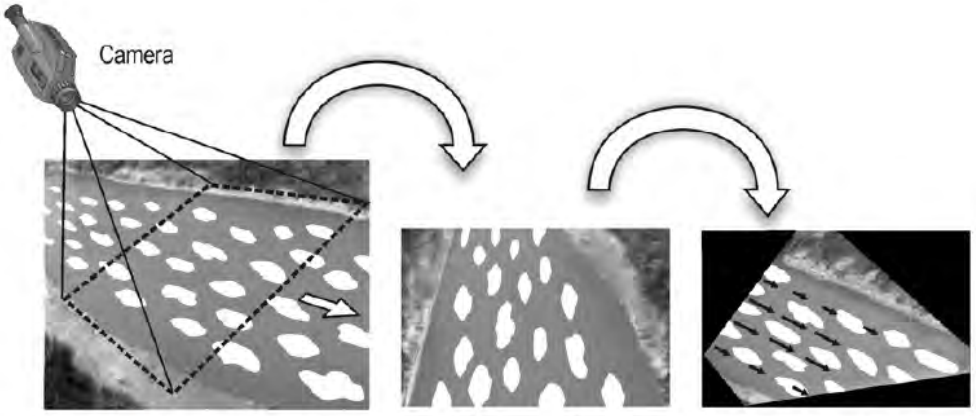
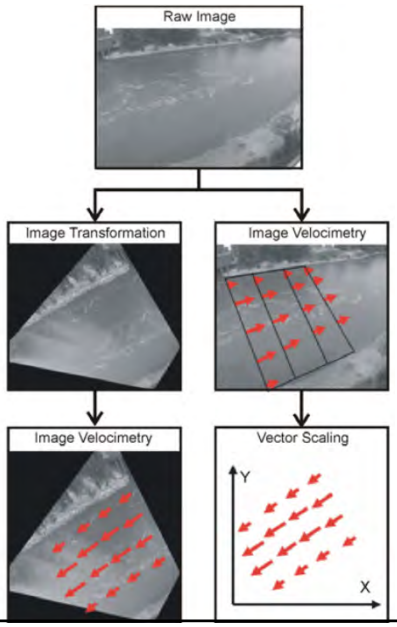


Figure 1. LSPIV measurement sequence: a) imaging the area to be measured (white patterns indicate the natural or added tracers used for visualization of the free surface); b) the distorted raw image; c) the undistorted image with the estimated velocity vectors overlaid on the image

ＬＳＰＩＶの２通りの手順



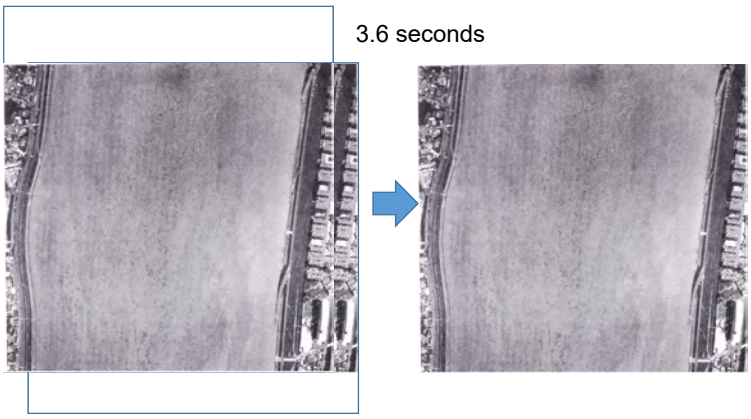
アイオワ大学のMarian Muste氏による

Hauet, A., Muste, M. and Bradley, A., (2008.b). "Large-Scale Particle Image Velocimetry Using Adaptive Processing of Distorted Images". Submitted to *Journal of Hydraulic Engineering*.

24

PIV の最初の適用例：淀川の航空写真の解析（1993）

1982 Flood of the Yodo River

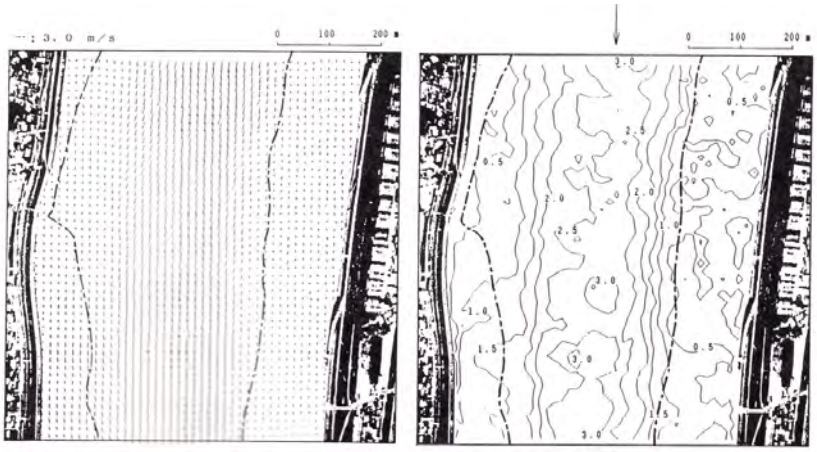


従来はカメロン効果を用いて立体視しながら手作業で行っていた航空写真を利用
スキャナは，岐阜大学情報センターに整備されていたスキャナを利用し，1000x1000pixelで読み取る
当時としては，高解像度

Fujita, I. and Komura, S.:Image Analysis of Aerial Photographs of Flood,Proceedings of the 25th Congress of IAHR,Vol.II, P-27, pp.728-735,1993.

PIV の最初の適用例：淀川の航空写真の解析（1993）

1982 Flood of the Yodo River



高水敷から低水路への流速変化をよくとらえることができた
主流速3m/sは妥当な数値

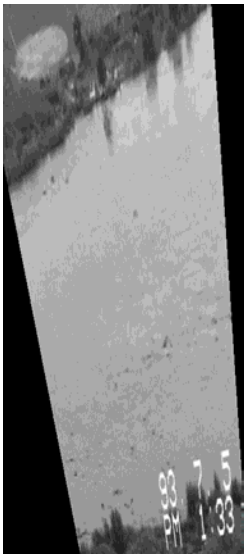
Fujita, I. and Komura, S.:Image Analysis of Aerial Photographs of Flood,Proceedings of the 25th Congress of IAHR,Vol.II, P-27, pp.728-735,1993.

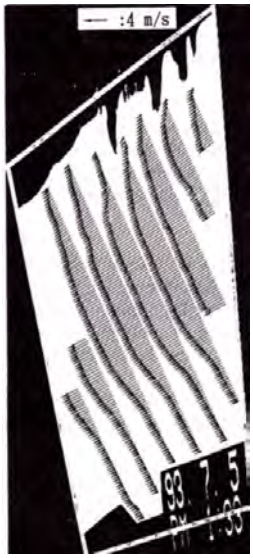
LSPIV の世界最初の適用例：淀川の洪水流（１９９３）
大阪工業大学の校舎屋上から撮影（綾教授による）

Original data is recorded in Hi8 video tape !

綾教授がたまたま校舎（27階建て？）の屋上から撮影されていたビデオを岐阜大学・藤田研に持ち込まれ，解析の可能性を打診されたところから，始まった．
結果は，アイオワ大学でも紹介し，LSPIVによる画像解析の有用性を世界に広める契機となる．
（岐阜大修士出口君の修論に）

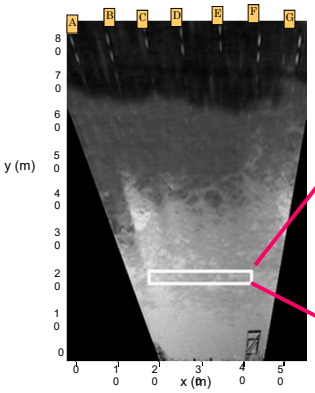
LSPIV の世界最初の適用例：淀川の洪水流（１９９３）
大阪工業大学の校舎屋上から撮影（綾先生による）



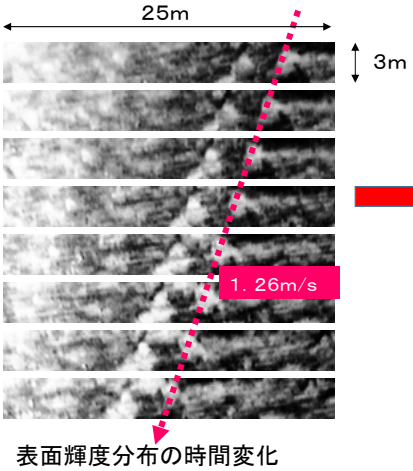


流速分布を良好に取得することができた
国際ジャーナル　J. Hyd. Res.で紹介(1998)したところ，多数引用されることになる

STIVの発想の元となった考え方
水面微小擾乱の移流状況のプロット（２００１頃）



フレーム位置とサイズ
（無歪画像上）



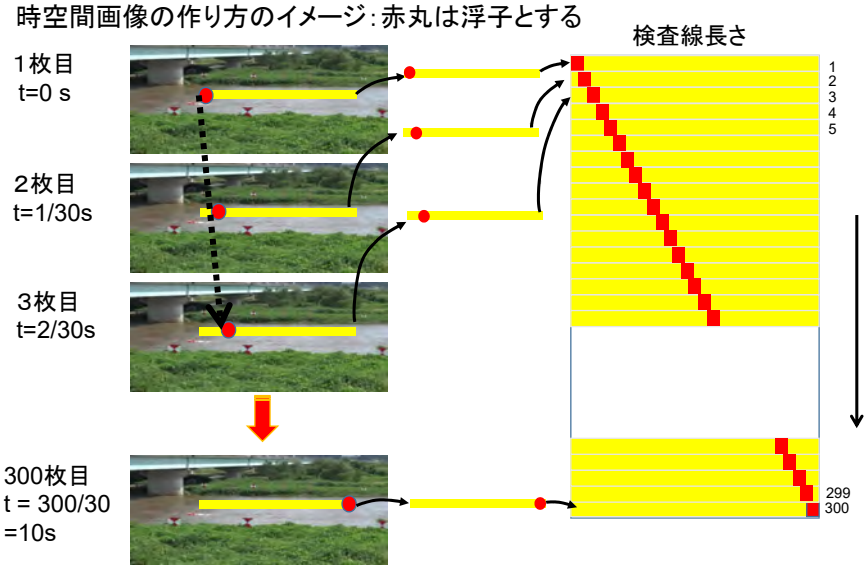
表面輝度分布の時間変化
（上から順に1秒間隔，フレーム内の輝度はヒストグラム平均化により強調）

高さを極限にして
1ピクセルで表現
すればよいので
はないかと気づく

時空間画像（STI）
の原点となった図

STIVの考え方

□ 時空間画像の作り方のイメージ：赤丸は浮子とする

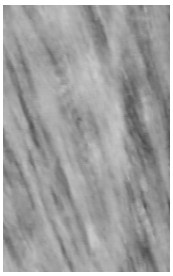


連続するすべての画像を使っている

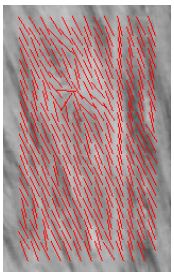
STIVの方法

□　輝度勾配テンソル法を用いたＳＴＩＶ：自動計測用

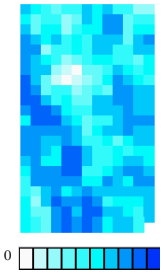
・画像解析を利用してパターンの傾きを求める方法
・まず，ＳＴＩの領域を多数の重複するブロック（テンプレート）に分け，各ブロックごとにその中のパターン勾配を求める
・次にパターン勾配のヒストグラムを作成し，ピークを挟む範囲から，コヒーレンシー(C)を重み関数としてパターン勾配の平均値Φを計算する
・コヒーレンシーは，明瞭なパターンの時に１，ホワイトノイズで０となるような画像の鮮明度を示す指数で画像の輝度分布から計算できる



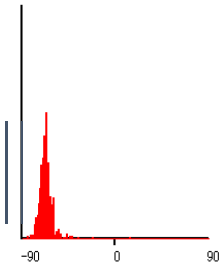
(a)　時空間画像



(b)　方向ベクトル

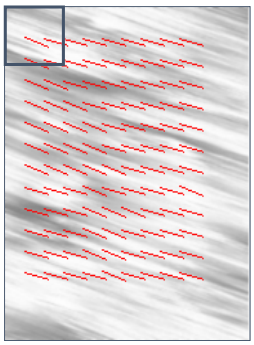


(c)　コヒーレンシー

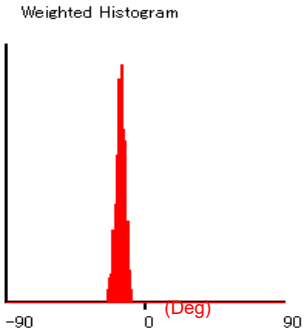


(d)　ヒストグラム

輝度勾配テンソル法



①時空間画像にテンプレートを複数設置し,テンプレートごとに輝度勾配テンソルホウを用いて勾配を算出



②テンプレートごとの勾配をヒストグラム化

$$J_{pq} = \int_A \frac{\partial g}{\partial x_p}\frac{\partial g}{\partial x_q}\,dxdt$$

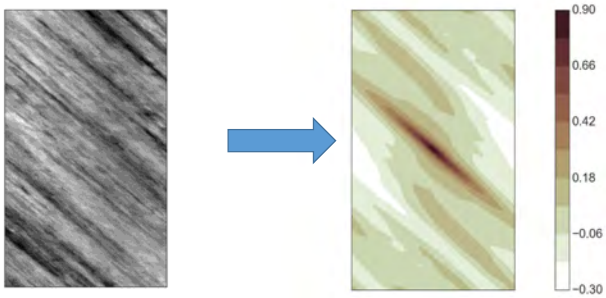
$$\tan 2\phi = \frac{2J_{12}}{J_{22} - J_{11}}$$

$$\bar{\phi} = \sum_{i=1}^{N} \phi(i)C(i) \Big/ \sum_{i=1}^{N} C(i)$$

別のSTIVの解析法：QESTA（2017）

Quality Evaluation of STI by using Two-dimensional Autocorrelation function

STIの2次元の自己相関関数を高速算出：当時，修士学生の能登谷祐一君の研究成果



$$R(\boldsymbol{\tau}) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\boldsymbol{x}) f(\boldsymbol{x}-\boldsymbol{\tau})\, d\boldsymbol{x} \qquad (4)$$

なお $\boldsymbol{\tau}$ はシフト量，$f(\boldsymbol{x})$ はSTI上の位置 $\boldsymbol{x}$ における輝度値である．これより $\boldsymbol{x}$ および $\boldsymbol{\tau}$ は二次元ベクトルである．

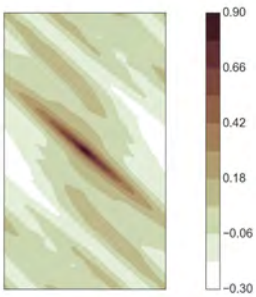
$$\mathcal{F}(\boldsymbol{\omega}) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\boldsymbol{x}) e^{-i\boldsymbol{\omega}\boldsymbol{x}}\, d\boldsymbol{x}$$

$$R(\boldsymbol{\tau}) = \mathcal{F}^{-1}[|\mathcal{F}(\boldsymbol{\omega})|^2]$$

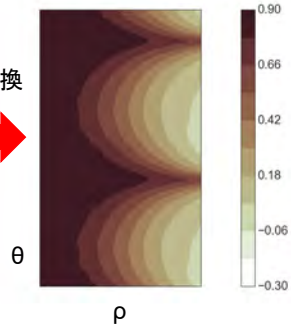
ウィーナーヒンチンの定理を用いて高速に自己相関関数（acf）を算出
パターンは周期的に無限に続いてもよいとし、前処理は敢えて行っていない
理想的には等高線が細長い楕円形となる。
楕円の長軸方向がパターンの傾きと同等

別のSTIVの解析法：QESTA（2017）

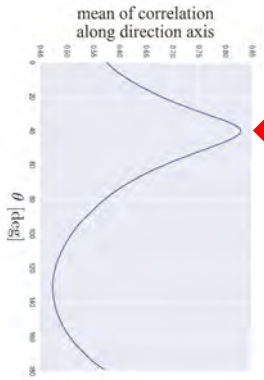
自己相関関数の分布を直交座標から対数極座標へ変換



座標変換



横方向に積分



パターン勾配

二次元配列において扱いやすい形に変換
変換後は縦軸が角度、横軸が中心からの距離となる
中心ほど重みがつく

STIの定量的評価

３つの出力値をグラフから算出

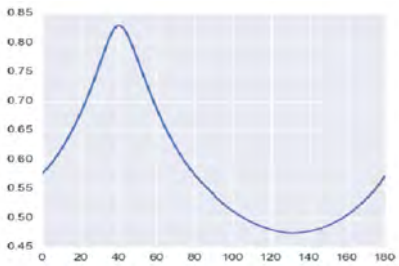
パターン勾配
方向軸相関値平均がピークとなる角度

ポアソン比型指標 (NTI)

$$\mathrm{NTI} = \frac{(\text{方向軸相関値平均の最大値})}{(\text{方向軸相関値平均の最小値})}$$

等高線について正円が引っ張られ、細長い楕円となるイメージ：大きいほど信頼性が高い
実用的な妥当性の指標となる

せん断歪み型指標 (GTI)
等高線について楕円がせん断を受けて歪むイメージ
長軸と短軸の直角関係からのずれ的な妥当性の指標となる。



横軸：角度
縦軸：方向軸相関値平均

せん断歪み型指標（GTI）

$$GTI = \frac{1}{\cos^2\tilde{\phi}\tan\tilde{\phi}}\Delta\tilde{\phi}$$

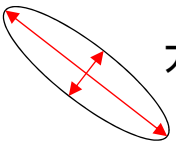
$$\Delta\tilde{\phi} = \left|\left|\arg\max\mu(\theta) - \arg\min\mu(\theta)\right| - \pi/2\right|$$

流速誤差率の推定値示せる

【流速誤差率p】

$$p = \frac{\Delta v}{v} = \frac{1}{\cos^2\phi\tan\phi}\Delta\phi$$

$$\Delta v = k\frac{d(\tan\phi)}{d\phi}\Delta\phi = \frac{k}{\cos^2\phi}\Delta\phi$$



理想的なSTI

方向軸相関の平均が最大となる角度と最小となる角度が直交する

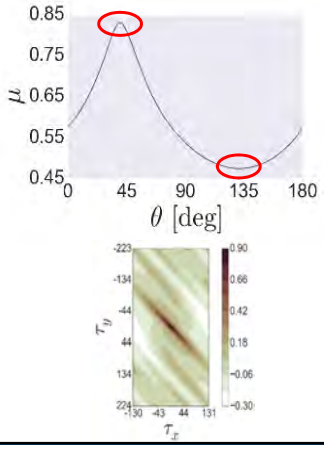
実河川のSTI

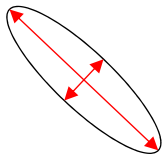
流況によってはSTIのパターンに歪みが生じる

※あたかも楕円がせん断応力を受けたときの歪みを計算していることからせん断歪み型指標と称する

ポアソン比型指標（NTI）

$$NTI = \frac{\max\ \mu(\theta)}{\min\ \mu(\theta)}$$





楕円の長軸方向と短軸方向の長さの比が大きい

||

パターンが単一方向の傾きで構成されている

※正円が引っ張られ楕円形となる場合のポアソン比を計算していることからポアソン比型指標と称する

STI改善のための画像標準化フィルター

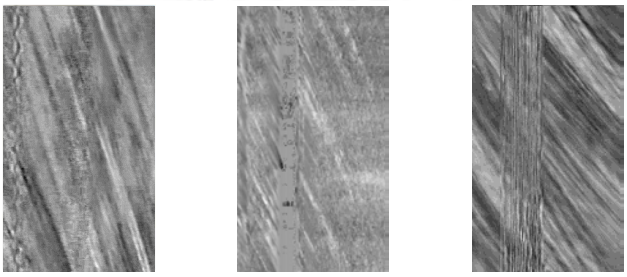
STIの時間軸方向の輝度の分散を求め，平均からの偏差を標準偏差で無次元化してノイズを除去

$$I^S(x,t) = (I(x,t) - \mu_t(x))/\sigma_t(x) \qquad (1)$$

ここに

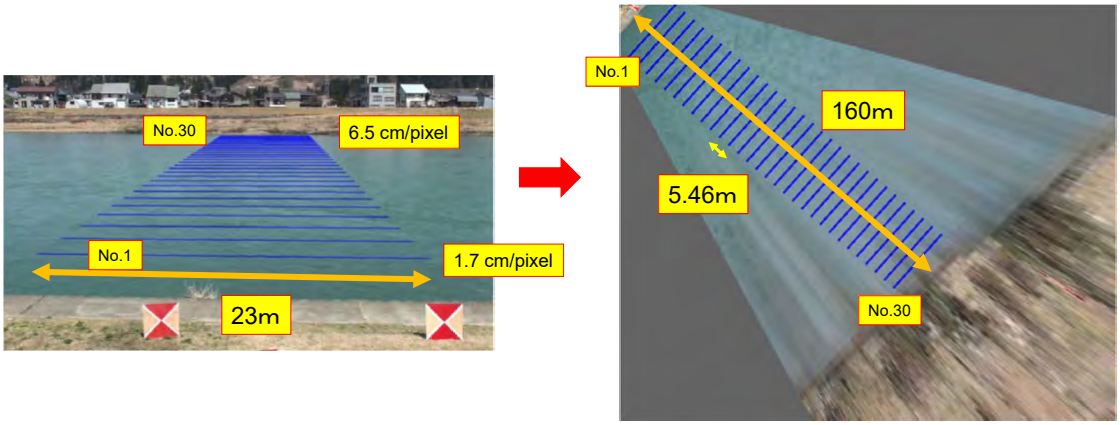
$$\mu_t(x) = \frac{1}{T}\int_0^T I(x,t)\,dt \qquad (2)$$

$$\sigma_t{}^2(x) = \frac{1}{T}\int_0^T \{I(x,t) - \mu_t(x)\}^2\,dt \qquad (3)$$



shadow　　light　　object

STIV解析の例



魚野川融雪洪水

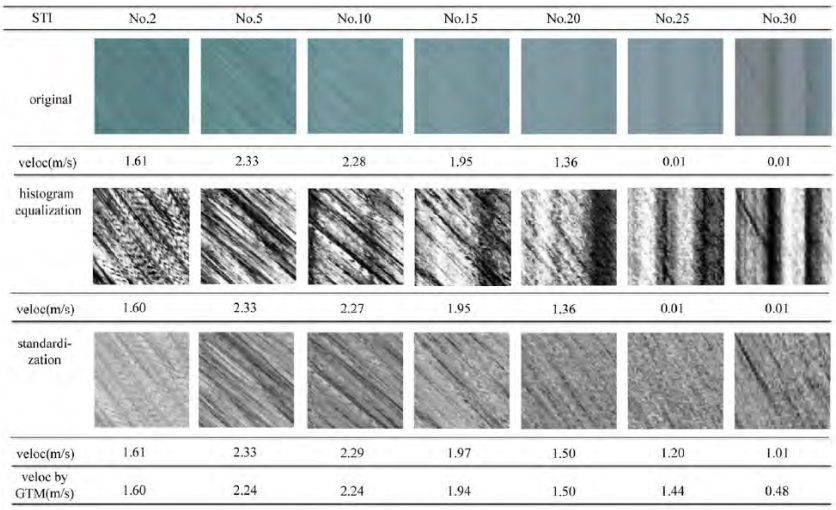
Fujita.Notoya.Tani.Tateguchi:Efficient and accurate estimation of water surface velocity in STIV,Environmental Fluid Mechanics https://doi.org/10.1007/s10652-018-9651-3,2018.

STIV解析の例

STI	No.2	No.5	No.10	No.15	No.20	No.25	No.30
original							
veloc(m/s)	1.61	2.33	2.28	1.95	1.36	0.01	0.01
histogram equalization							
veloc(m/s)	1.60	2.33	2.27	1.95	1.36	0.01	0.01
standardi-zation							
veloc(m/s)	1.61	2.33	2.29	1.97	1.50	1.20	1.01
veloc by GTM(m/s)	1.60	2.24	2.24	1.94	1.50	1.44	0.48

Fujita.Notoya.Tani.Tateguchi:Efficient and accurate estimation of water surface velocity in STIV,Environmental Fluid Mechanics https://doi.org/10.1007/s10652-018-9651-3,2018.

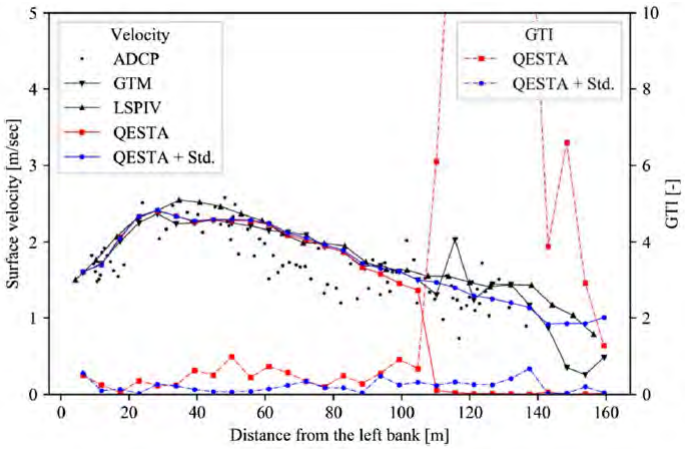
STIV解析の例



STI	No.2	No.5	No.10	No.15	No.20	No.25	No.30
original							
veloc(m/s)	1.61	2.33	2.28	1.95	1.36	0.01	0.01
histogram equalization							
veloc(m/s)	1.60	2.33	2.27	1.95	1.36	0.01	0.01
standardi-zation							
veloc(m/s)	1.61	2.33	2.29	1.97	1.50	1.20	1.01
veloc by GTM(m/s)	1.60	2.24	2.24	1.94	1.50	1.44	0.48

Fujita.Notoya.Tani.Tateguchi:Efficient and accurate estimation of water surface velocity in STIV,Environmental Fluid Mechanics https://doi.org/10.1007/s10652-018-9651-3,2018.

STIV解析の例

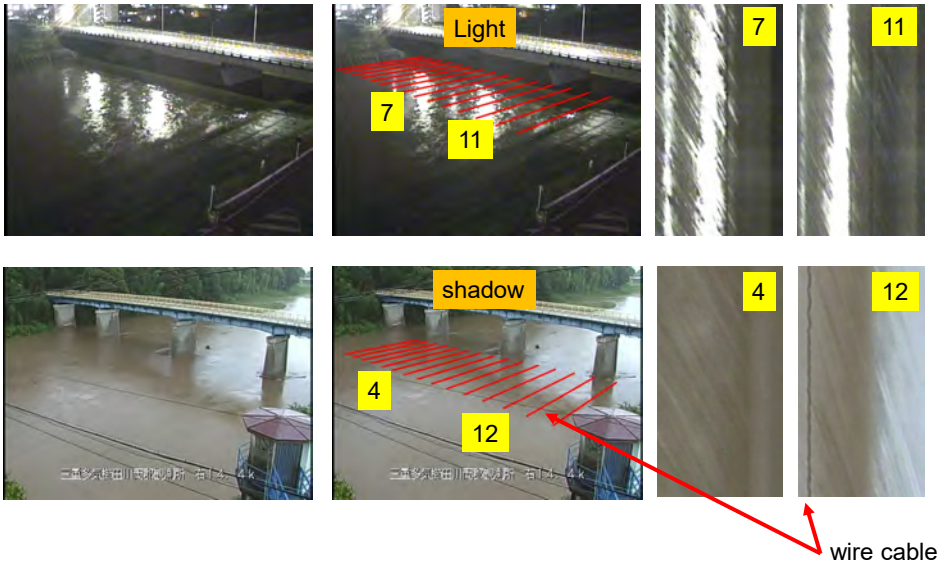


Fujita.Notoya.Tani.Tateguchi:Efficient and accurate estimation of water surface velocity in STIV,Environmental Fluid Mechanics https://doi.org/10.1007/s10652-018-9651-3,2018.

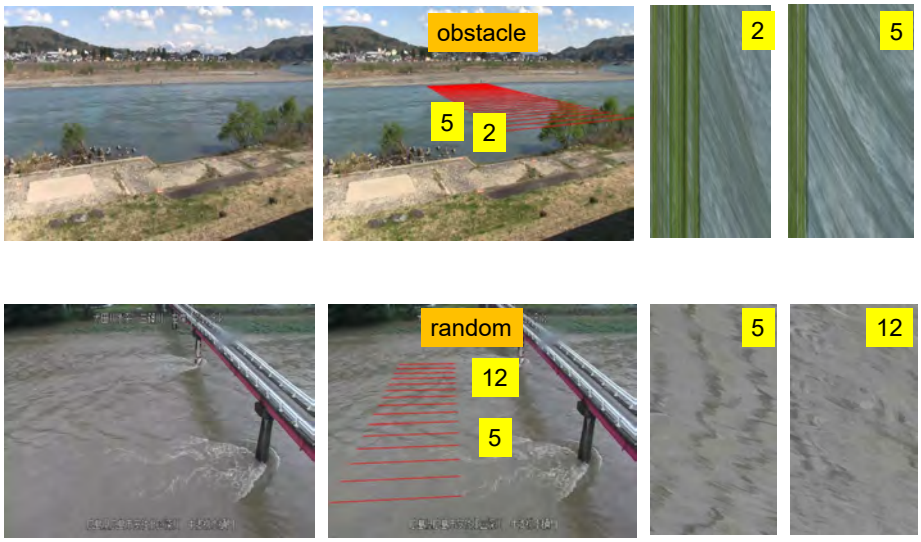
撮影悪条件下のSTIV解析の新たな対処法（2018）

KU-STIVの商品化後，実務で使われることが多くなった．
実務では，洪水期間をカバーした観測が要求されるため，気象条件などによっては水面が乱れるなどして，STIVで用いる時空間画像上に一様なパターンが現れにくいケースもあった．
いくつかのコンサルタントから検討を依頼されたSTIをみると様々なパターンが見られたためこれを分類し，計測精度向上の対策として，STIの波数・周波数スペクトルを活用する手法を開発した．

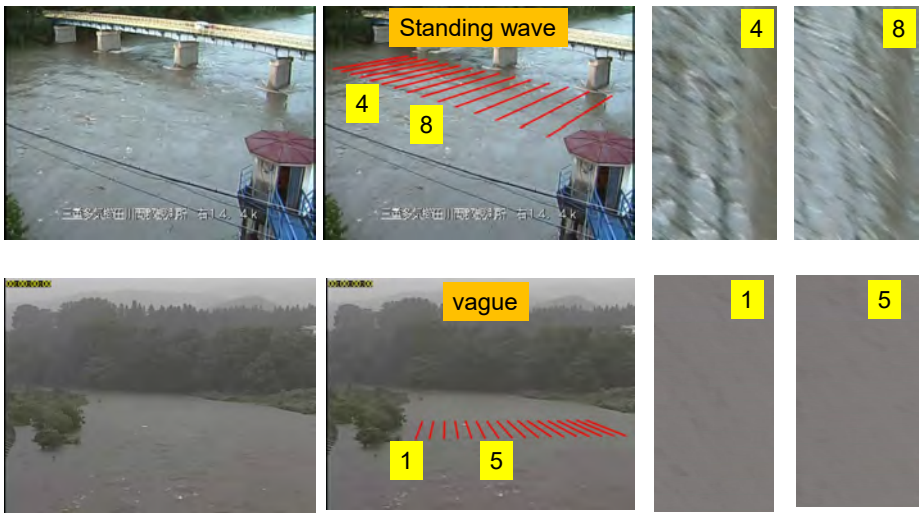
実務で得られた悪条件下のSTI



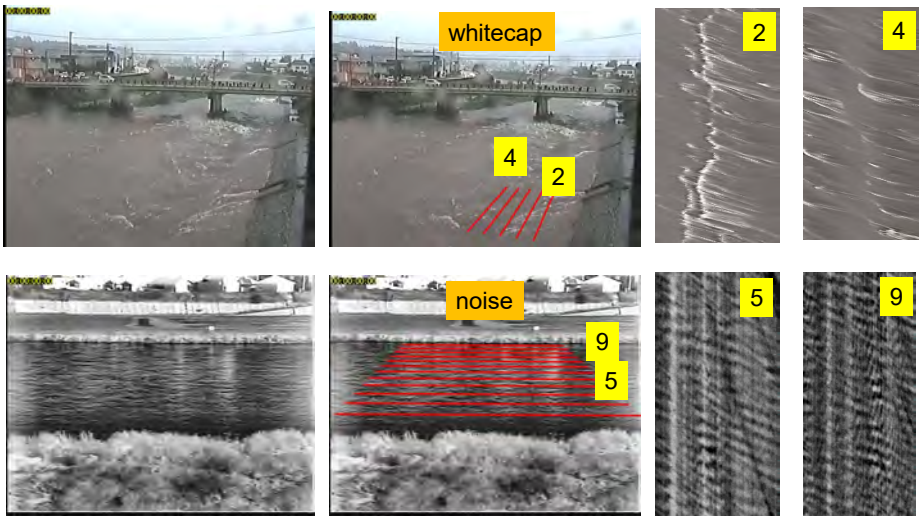
実務で得られた悪条件下のSTI



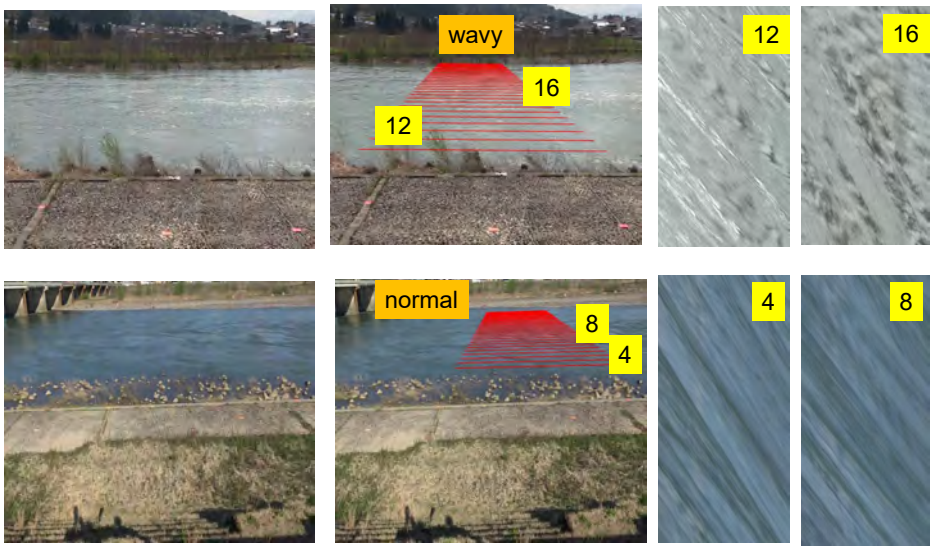
実務で得られた悪条件下のSTI



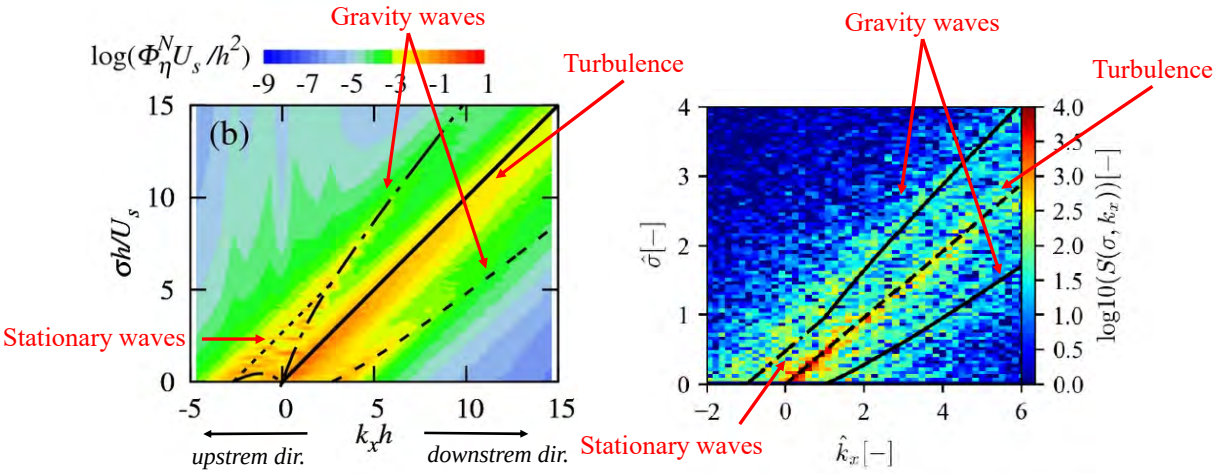
実務で得られた悪条件下のSTI



実務で得られた悪条件下のSTI



STIの波数・周波数スペクトル



Case 2 ($Fr_b \approx 0.48$)

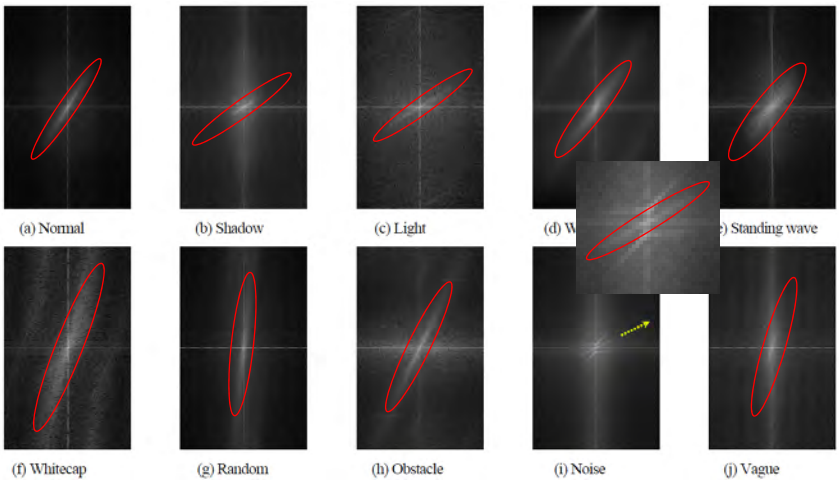
数値解析（DNS）

Actual river
(Shinano river)

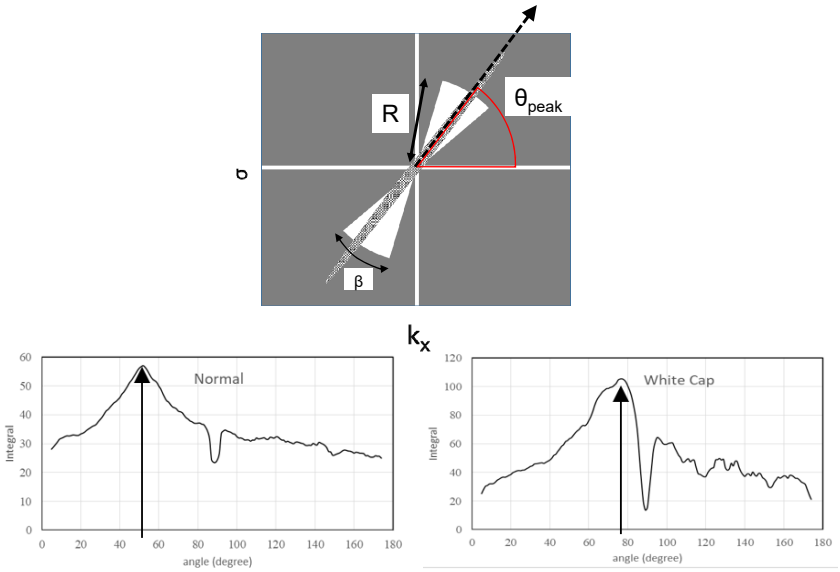
実河川

STIの波数周波数スペクトル

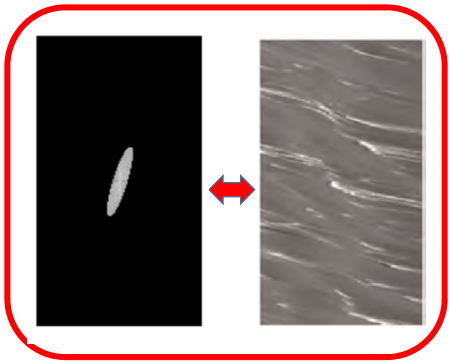
horizontal : wave number, vertical: frequency



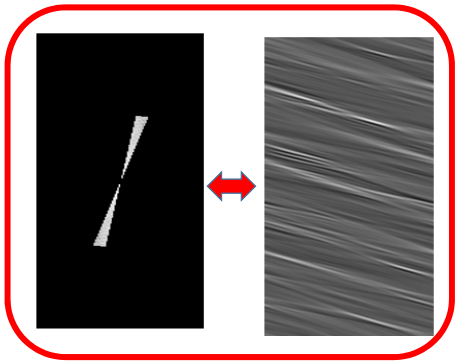
乱流成分を表す傾きの検出法



二種類のマスキング

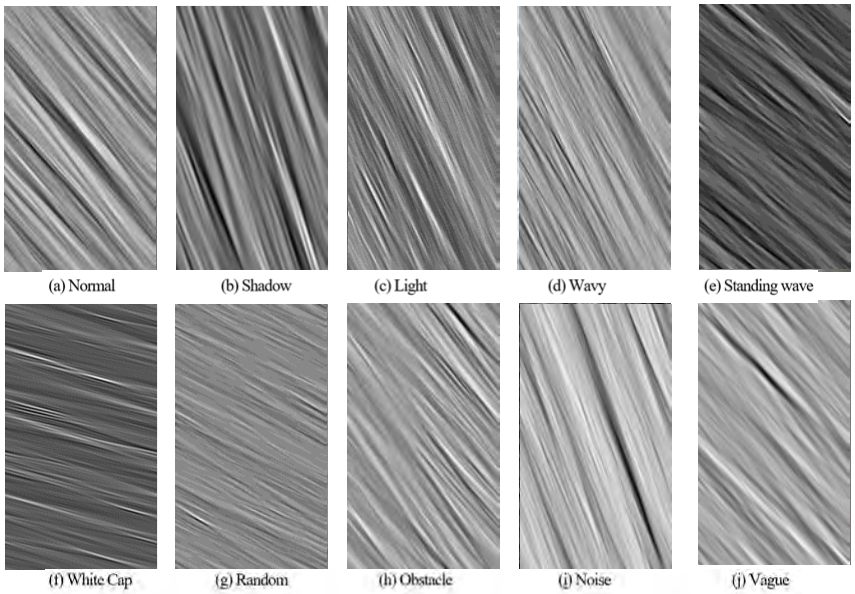


oval type masking

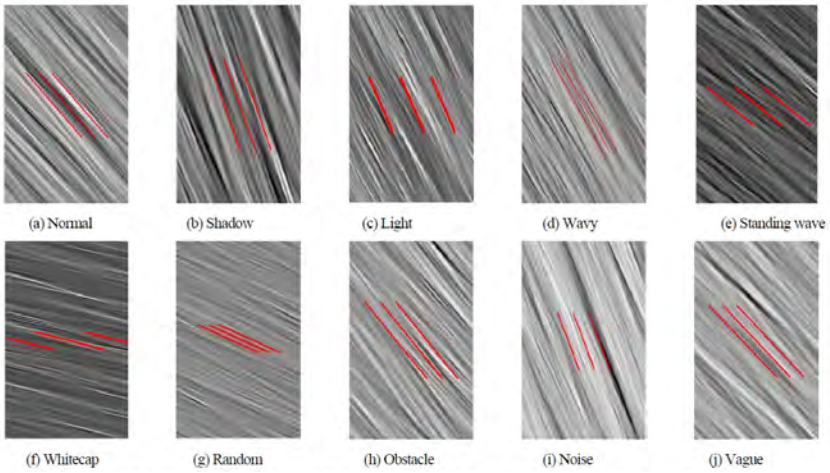


fan type masking

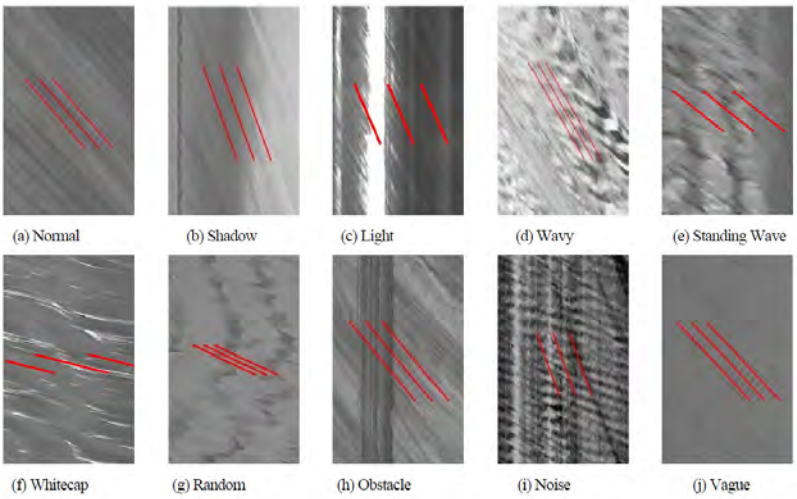
扇型フィルターによる結果



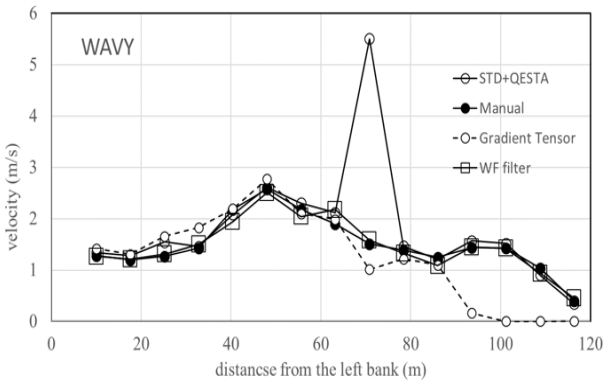
輝度勾配テンソル法の結果の重ね合わせ

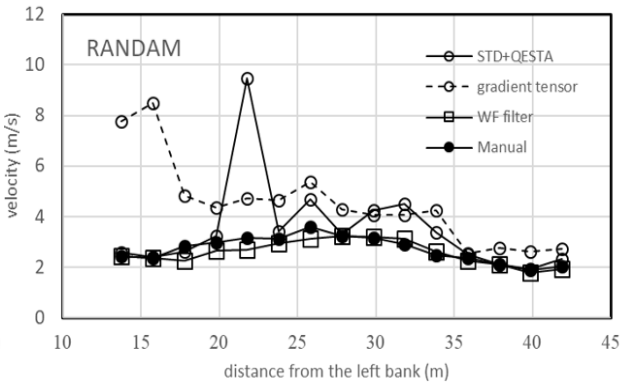


Superposition of orientation vectors onto original STI



既往手法との比較





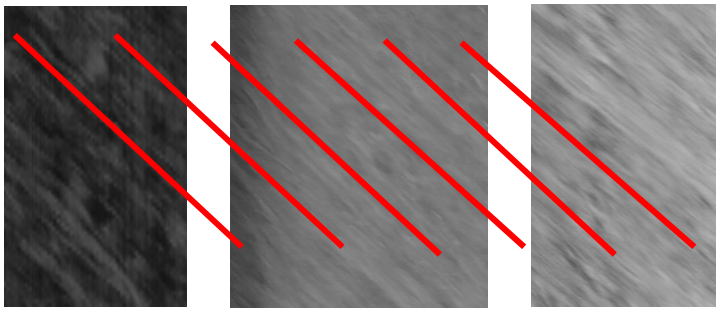
波紋の追随性について

□　同じ場所のSTIを様々な方法，アングルで比較

182pixel×300pixel
(16.2m×10sec)

257pixel×300pixel
(20.5m×10sec)

184pixel×300pixel
(15.2m×10sec)



カメラA(遠赤外線)　　カメラB(通常，左岸)　　カメラC(通常，右岸)

河川監視カメラの問題点

- 夜間の撮影画像の画質が悪い
  - ・画像がほぼ真っ暗
  - ・動画が静止画的になる（フレーム蓄積モード）
- 動画データの記録状態
  - ・記録期間が短い
  - ・数日で上書きされるケースが多い
  - ・ウェブカメラの場合はフレームが不安定

解決策

- ・高感度ビデオカメラの利用
- ・遠赤外線カメラ（＋画像鮮明装置）
- ・高圧縮高画質のDVRの導入（１TBで２か月程度連続記録可能）

神戸市の取組み

河川監視と流量観測のために，妙法寺川水系の3カ所に監視カメラを設置

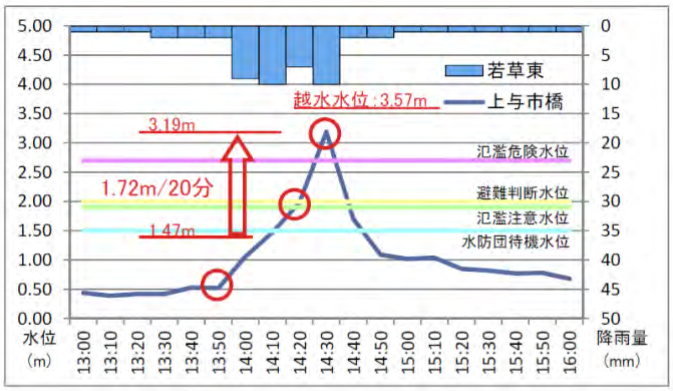
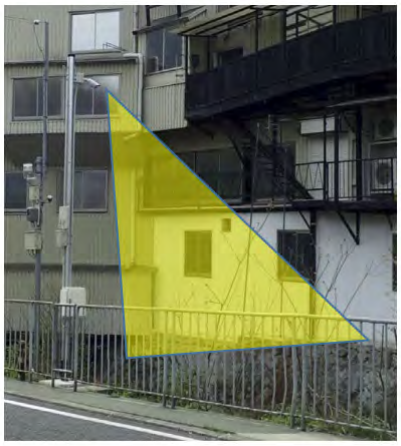


図-1 平成 30 年 7 月 6 日の出水

神戸市の取組み

図-3 新設カメラの設置個所



カメラ C（上与市橋上流）

取得されたビデオ映像

妙法寺川，獅子堀川，2018.9.4，台風21号

通常再生

早送り再生

流速4～5m/s
水深1~2m
Re＝(4~10)x10^6

取得映像の比較

	7月豪雨	台風12号	台風21号	秋雨前線
	7月6日	7月29日	9月4日	9月7日
カメラA（獅子堀川下流）	○	×	○	×
カメラB（東丈夫谷川下流）	○	×	○	×
カメラC（上与市橋上流）	－	×	○	×

表-6 画像の比較

	7月豪雨	台風12号	台風21号	秋雨前線
	7月6日	7月29日	9月4日	9月7日
カメラA（獅子堀川下流）				
カメラB（東丈夫谷川下流）				
カメラC（上与市橋上流）	－			

解析例（上与市橋下流）

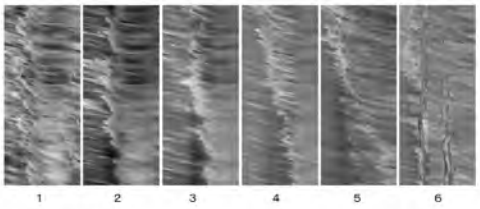


図-72 STI(13:50，横 6.61mx 縦 15s)

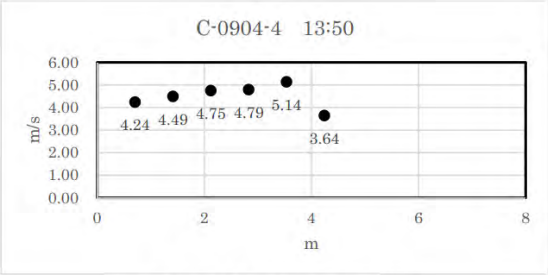


図-73 流速分布（水面幅＝7.9m）

上与市橋地点でのH-Q

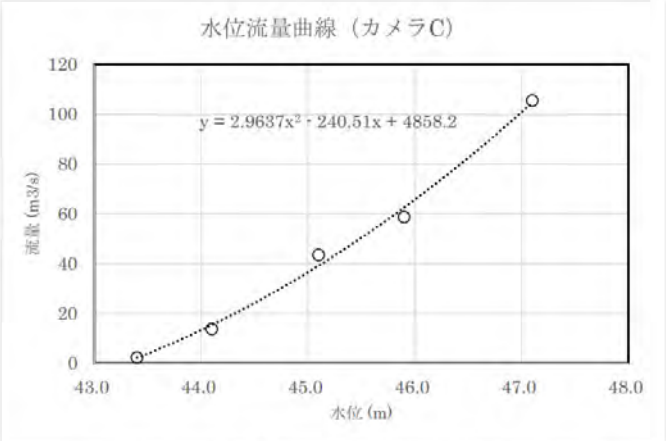


図-85 カメラ C 地点（上与市橋上流）での水位流量関係

画像解析だけから，H-Qを出せる点がSTIVの強み

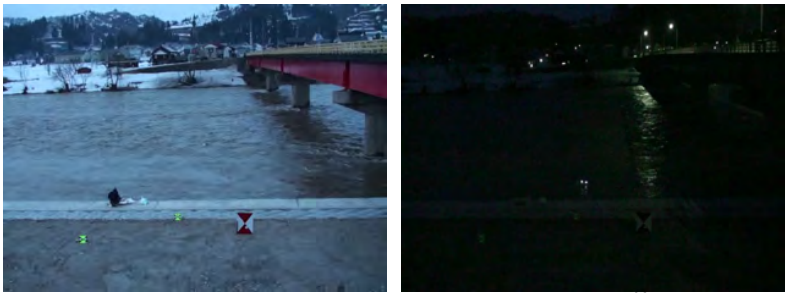
夜間の画像計測について

□ 夜間においては，遠赤外線（熱赤外線）カメラの利用が非常に有効である．以下に通常のビデオカメラと比較したが，昼夜間に関わらず，遠赤外線カメラは表面の波紋を良好にとらえることができている

□ 使用した遠赤外線カメラは，低解像度であったにもかかわらず，良好に解析を行うことができた

遠赤外線カメラ
（320x240画素）

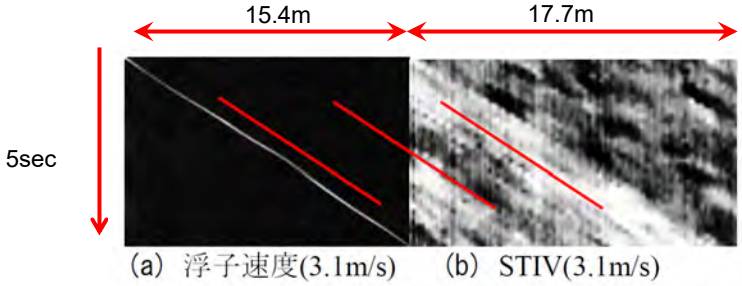
通常ハイビジョンビデオカメラ（1920 x1080画素）



遠赤外線カメラを用いた波紋の追随性の確認

□ 夜間に通常カメラで撮影した浮子の軌跡と，同じ場所における遠 赤外線カメラによる波紋の移流速度を比較した．

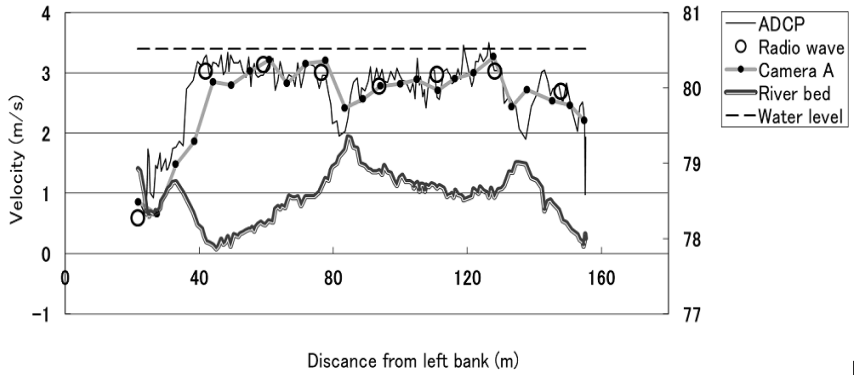
□ 軌跡の勾配と縞パターン勾配から得られる流速は一致した．遠赤外線カメラの解像度は低いが，縞パターンの勾配の計測には大きな影響を及ぼしていない．ただし，高解像度のカメラの方がSTIの画質が改善し，精度は高まる．



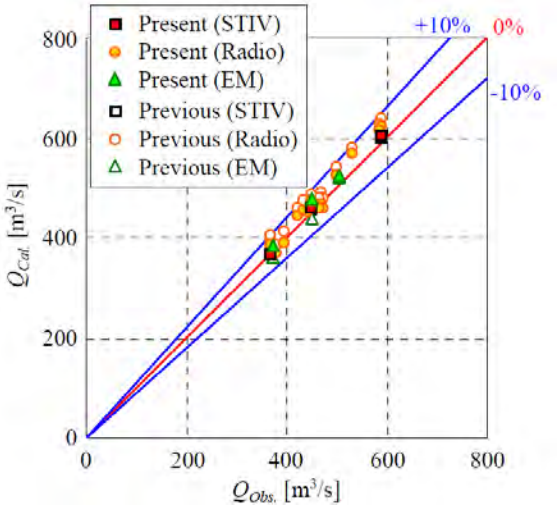
ハイビジョンカメラ　　遠赤外線カメラ

66

各手法による表面流速分布(夜間)



流量の比較



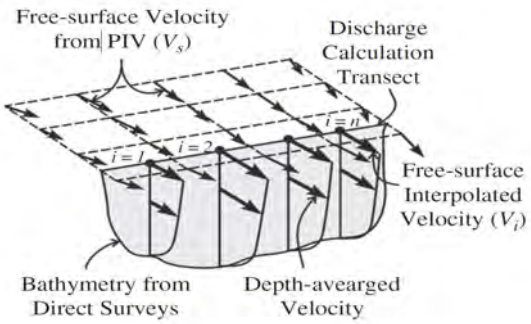
表面流速からの流量の推定

流量(Q)を算出するためには，河川の横断測線上の表面流速からその地点の水深平均流速を推定し，流水断面積を区分的に乗じて積分すればよい

水深平均流速(V_m)＝αx表面流速($V_{surface}$)

α：表面流速係数（Surface Velocity Coefficient）

$$Q=\sum\Delta Q_i=\sum\Delta A_i x V_{mi}$$



表面流速からの流量の推定

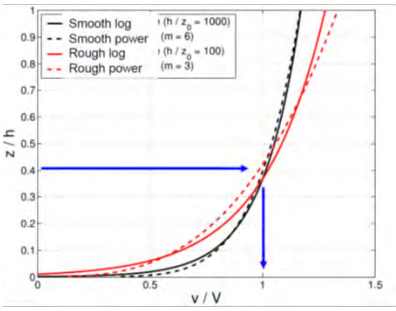
一様な流れの鉛直流速分布は，対数分布か，指数分布で表せるが底面の粗度によって分布形は変化する

$$\frac{u(z)}{u_*}=\frac{1}{\kappa}\ln\frac{z}{z_0} \qquad u_*=\sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}}=\sqrt{ghS} \qquad \kappa=0.41 \qquad z_0=\frac{k_s}{10}$$

U*:摩擦速度，S：河床勾配，κ：カルマン定数，ks：粗度高さ

α：表面流速係数

$$\alpha_{\log}=\frac{V_m}{V_{surface}}=\frac{h}{h-z_0}-\left[\ln\frac{z}{z_0}\right]^{-1}$$



表面流速からの流量の推定

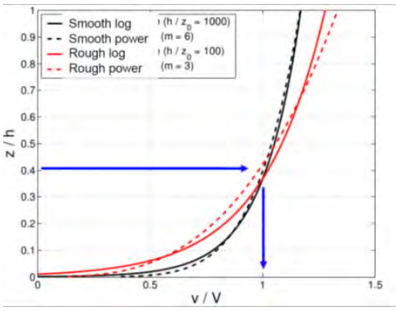
一様な流れの鉛直流速分布は，対数分布か，指数分布で表せるが
底面の粗度によって分布形は変化する

$$\frac{u(z)}{V_{Surface}} = \left(\frac{z}{h}\right)^{1/m}$$

m：粗度パラメータ

α：表面流速係数

$$\alpha_{power} = \frac{V_m}{V_{surface}} = \frac{m}{m+1}$$



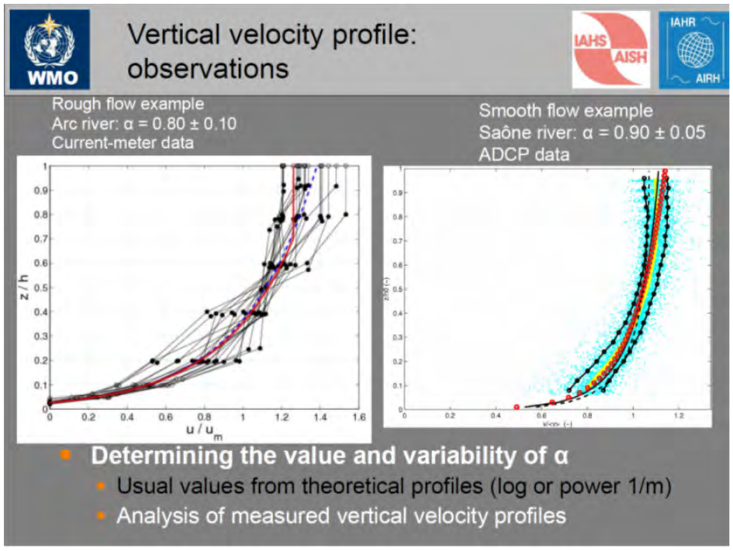
表面流速係数

α：表面流速係数の値の目安（ISO748）

	通常	滑らか	粗い	非常に粗い	極端なケース
m	6~7	10	4	2~3	
α	0.86～0.87	0.91	0.80	0.67～0.75	0.60～1.2

我が国では，α＝0.85が標準的な値

表面流速からの流量の推定



流量の算出方法

1. ADCP
   得られた流れ方向の断面内流速分布をそのまま積分する.
   ただし，底面や水面の不感帯の流速分布は仮定する.

2. 表面流速計測（STIV，LSPIV，電波流速計など）
   浮子観測における表面浮子による流量と同様に考える.
   一般的には，校正係数を0.85とする．.

3. DIEX法
   表面流速分布や，H-ADCPによる横断線上の流速分布を
   利用し，データ同化手法により計算から流量を算出する。

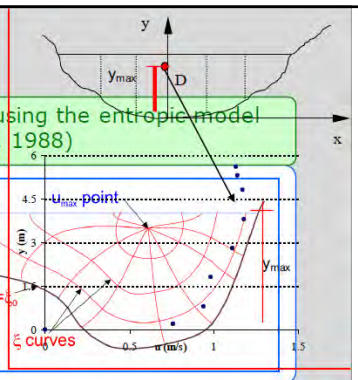
4. 最大エントロピー法
   鉛直流速分布におけるvelocity dipを再現できるモデルを
   用いる.
   断面平均流速と最大流速に強い相関があることを利用

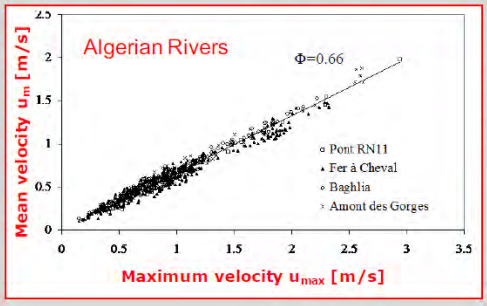
2D Entropic Velocity Distribution

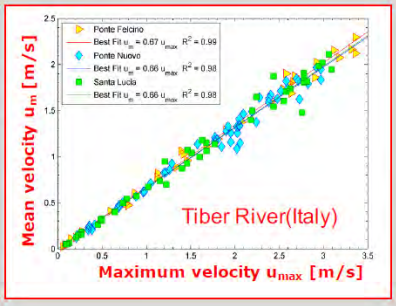
The 2D velocity distribution can be simulated by using the entropic model developed by Chiu (J Hydr Engrg, ASCE, 114 (7), 1988)

$$u(\xi) = \frac{u_{max}}{M} \ln\left[1 + \left(e^M - 1\right)\frac{\xi - \xi_0}{\xi_{max} - \xi_0}\right]$$

$$\frac{u_m}{u_{max}} = \Phi(M) = \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M}$$







Estimation of Mean Velocity in Natural Channels Based on Chiu's Velocity Distribution Equation

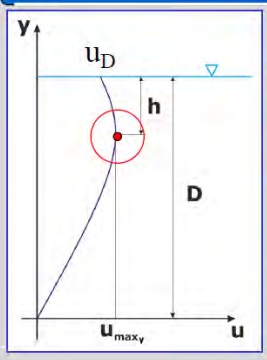
Tommaso Moramarco[1]; Carla Saltalippi[2]; and Vijay P. Singh, F.ASCE[3]

Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 9, No. 1, ASCE, ISSN 1084-0699/2004/1-42–50/$18.00.

Disadvantage of Chiu's entropy model: too many parameters. Moramarco et al. (2004) simplified it

Velocity profile

$$u(x,y) = \frac{u_{max_y}(x)}{M} \ln\left[1 + \left(e^M - 1\right)\frac{y}{D(x) - h(x)} \exp\left(1 - \frac{y}{D(x) - h(x)}\right)\right]$$



The max flow velocity, u_{maxv}, along each vertical is sampled

The entropic parameter M:

- is characteristic of the section
- is estimated through the historical sampled pairs (u_m, u_{max}) by using the linear entropic relation:

$$u_m = \Phi(M)\, u_{max}$$

ドローンを使った計測例　Aerial STIV

海外の事例：*River Flow 2014より*

Helicopter-based surface PIV experiments at Thur River

M. Detert & V. Weitbrecht
Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology VAW, ETH Zurich, Zürich, Switzerland

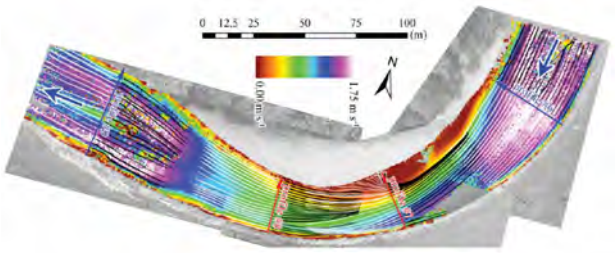
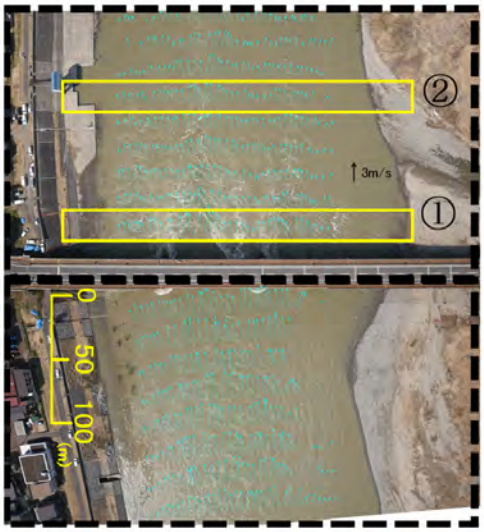


Figure 7 Time-averaged surface velocity field with raster resolution of 1.0×1.0 m2 and 50% overlap, i.e. vector spacing of 0.5 m, and streamlines

信濃川への適用：流速分布の算出

PIVにより広い範囲の流速値を簡単に算出できた

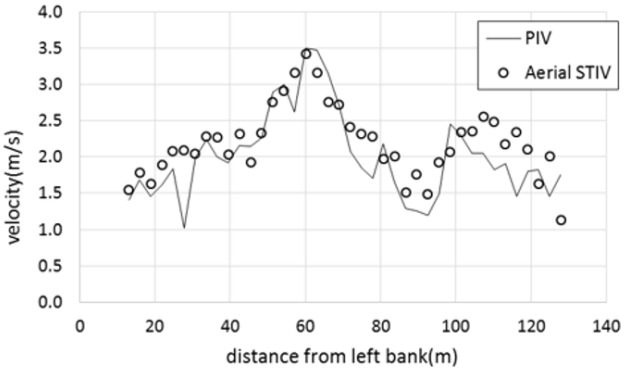


79

信濃川への適用： Aerial LSPIVとAerial STIVの比較

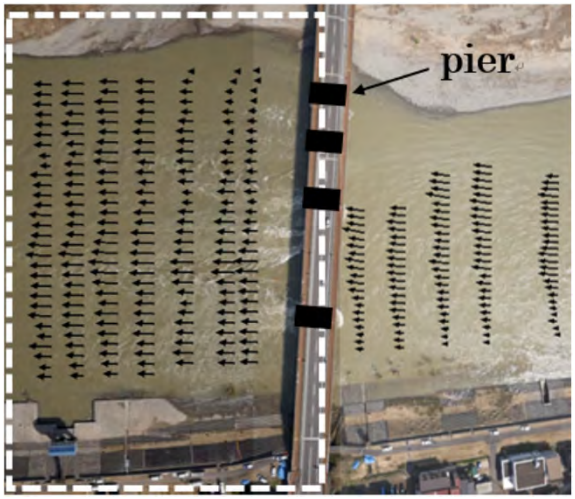
Aerial LSPIVとAerial STIVを比較してみた。
PIVとSTIVに流速誤差はほとんど見られない。

②の断面



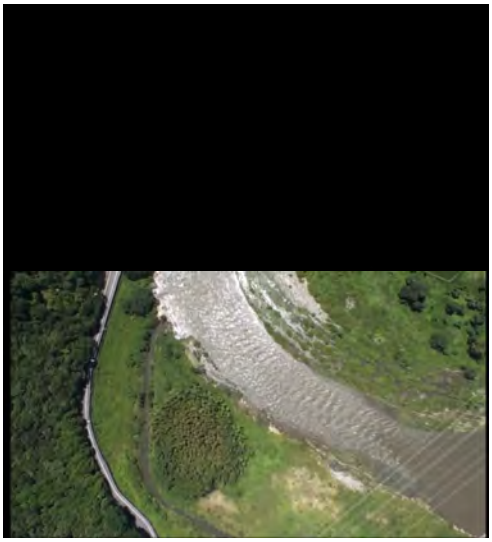
80

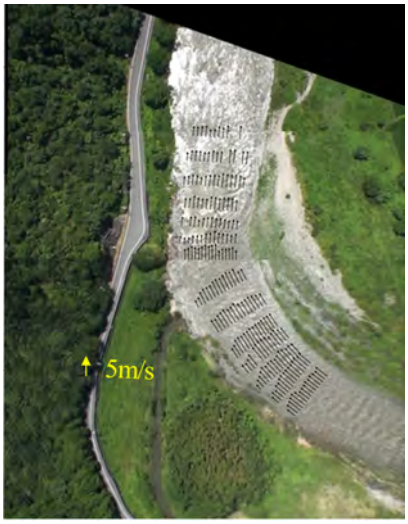
信濃川融雪出水動画のSTIV解析



揖保川への適用（有人ヘリからの撮影）

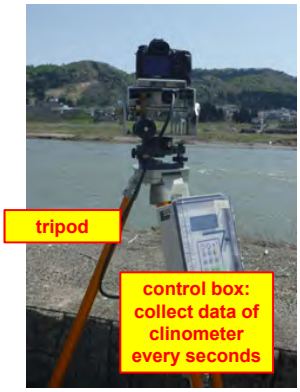
ブレ補正動画: うまくカメラ姿勢を追跡できており，定点観測が可能となっている

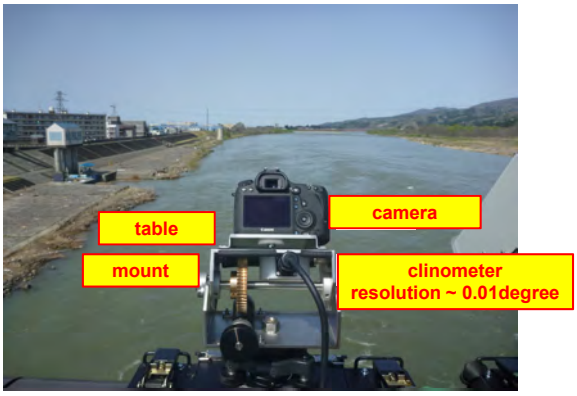




82

標定点設置を不要とする計測システム（東京建設コンサルタントとの共同開発）





--- There's no GCP prepared but we can do the measurement!
--- We can use any type of cameras on the table.

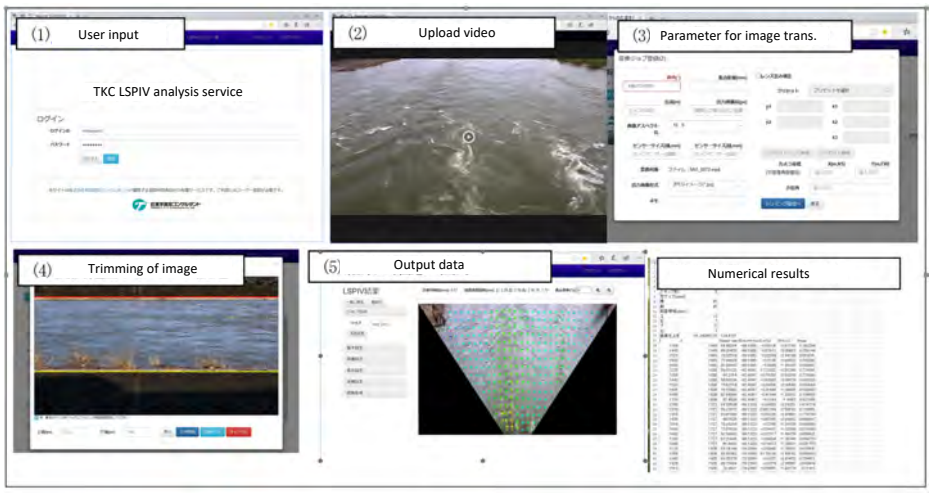
ASPによる画像変換サービス

1. There's no need to set GCPs along the river.
2. The image transformation are executed via Internet Web service (ASP) prepared by Token Co. Ltd.
3. LSPIV calculation is executed on the web.
4. We can check the velocity data on the site

Original image shot from riverbank

Ortho-rectified image

LSPIVの解析サービス



ソフトウェア　KU-STIV ver2の機能

- □ 入力データとして動画をそのまま使える
- □ 標定点の入力を画像をズームしながら行える
- □ 変換画像を直ちに見ることができる
- □ パラメータ（撮影アングル，焦点距離など）を調整できる
- □ 基本は，FFT処理したSTI画像に輝度勾配テンソル法を適用して自動的に流速を表示
- □ 自動計測した流速の傾きをSTI上にプロットし，精度を確認できる
- □ パターン勾配の検出精度が悪ければ，マニュアルでパターン勾配をもとめて修正が可能
- ◇ 流量の計算
- ◇ 連続処理
- ◇ リアルタイム計測

協力：ニュージェック，ビィーシステム

KU-STIV ver.2の操作状況（約8分）

次世代型流量観測手法が持つべき特徴

画像解析型流速計
（STIV）

1. 従来の浮子法に取って代わり得る手法
   ---すなわち，対象は，低水流量ではなく高水流量
2. 無人（あるいは少人数）観測ができる手法
3. 流量規模によらず観測可能な手法
   --- 特に，計画規模かそれ以上の洪水時でも安全に観測できる手法
4. 悪天候（豪雨，強風など）の条件下でも観測可能な手法
5. 夜間においても安定的な観測が行える手法
6. 大量の浮遊物（流木，ごみなど）があっても安全に観測できる手法
7. 高速な流れ（毎秒5m以上）でも測れる手法
8. 高濃度の流れでも測れる手法
9. 短時間（リアルタイム）に観測を行える手法
10. 専門的な知識がなくても観測を行える手法
11. 水位観測地点以外でもピーク流量の推定ができる手法
12. 場所によらず（橋がなくても）観測を行える手法
13. 川幅によらず，観測を行える手法
14. 水位観測所（Gauging Station）が破損しても観測できる手法
15. 計測精度の検証を行える手法
16. 大規模な水面変動があっても観測可能な手法
17. 長期間安定に観測できる手法（メンテナンスフリー）
18. できれば低水流量の観測にも使える手法

まとめ

- 河川の新たな流量観測の手法として，１９９４年頃から始めた河川表面を斜めに撮影したビデオ画像の画像解析によって表面流速分布を計測する様々な手法について解説した
- ＬＳＰＩＶは，循環流のような向きが大きく変化する流れ場への適用が有効である.
- ＳＴＩＶの計測原理は単純なものであり，わかりやすい
- ＳＴＩＶでは，河川モニタリングカメラを併用することにより，浮子流観が危険となるような洪水の際にも，安全に河川表面流速の細かな横断分布を求めることができる点に最大の特徴がある
- また，過去の洪水の映像が残されている場合にも流速分布を求めることが可能である
- ＳＴＩＶで精度の高い計測を実現するには，標定点座標，カメラ座標および，水位の正確なデータが必要である
- ＳＴＩＶで昼夜を問わない流量観測をするためには，遠赤外線カメラの導入が非常に有効であり，重要な基準点などにはこの種のカメラを用いた流量観測専用の施設の導入が望ましい
- ただし，風速の影響については不明な点もあり，今後の研究の進展が望まれる
- 表面流速分布から流量を推定する際に用いる流速補正係数は通常は0.85が使われるが，ＡＤＣＰ等との同時計測で場所ごとの特性値を調べておくことが有用である.
- ヘリコプターによる洪水ビデオがあれば，広範囲の流況の把握が可能となる
- 新たに考案した高精度ブレ補正アルゴリズムを用いたAerial STIVを開発した