

浸水状況把握のリアルタイム化に関する研究

【研究期間】

平成29年4月～令和2年3月（3年間）

【予算】

特別研究経費 48,858千円（3年間の総額）

国土地理院 地理地殻活動研究センター
地理情報解析研究室
岩橋 純子

平成27年9月関東・東北豪雨による常総市の水害



推定浸水範囲

平成27年9月
ポンプ車の配置計画
住民の避難誘導



関東地方気象庁防災ヘリ撮影(9月10日14:50)、報道情報(9月10日18:00時点)、国土地理院くまがせ直撮影(9月11日10:00時点、13:00時点、9月12日15:30時点)の画像判読等により推定した浸水範囲を統合。
浸水範囲は、面積約40平方キロメートル、東西約4キロメートル、南北約18キロメートル。
9月11日13:00時点と変化はなし。
実際に浸水のあった地域でも把握できていない部分があります。また、量等により浸水範囲が十分に判読できていないところもあります。
※基盤地図情報の住家・非住家の一般建物。浸水範囲内の建築物数は約20,000軒。

【課題】

浸水範囲把握→10時間
湛水量の推定→5時間

より迅速な浸水状況の把握

研究の目的および達成目標

【研究目的】 避難誘導・排水計画の立案等の
対策に有効な、
水害発生時の浸水状況迅速把握技術の開発



本研究では、**数値目標を客観的評価指標として設定**

深層学習、DEM解析、災害判読など各分野を専門とする研究官がテーマを分担し、システムの実装や夜間データ取得実験に係るヘリコプター運用等は外注し、研究官がアルゴリズム開発とデータ検証に注力することで、効率良く研究を進めた。

1. 浸水状況のリアルタイム把握のためのシステム開発

遅くとも撮影から **1 時間以内** に浸水到達位置を計測する検出器の作成
※防災ヘリの映像から作成された「ヘリサットオルソ画像」を使用

2. 精度の高い湛水量の把握

撮影から **4 時間以内** に浸水面積及び湛水量を算出

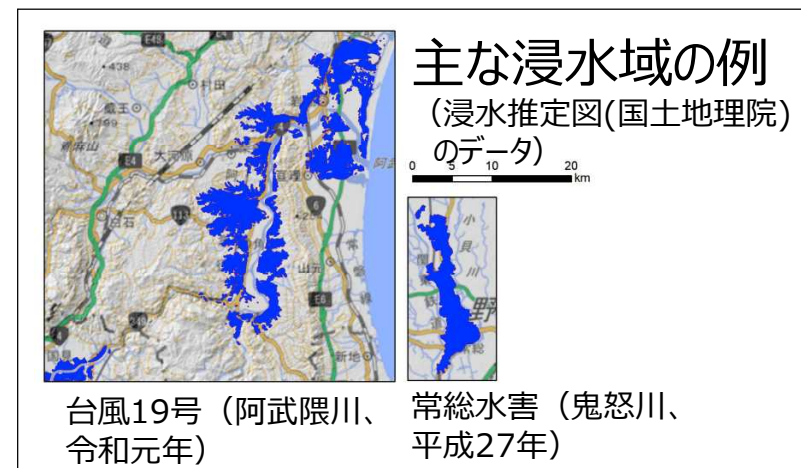
3. 昼夜問わないデータ取得に向けた足がかり

夜間の浸水範囲特定に有効なセンサの性能試験と要件とりまとめの実施

- ・令和元年台風19号
→ 広域の水害が同時多発
(321河川で浸水。140箇所が決壊) ※
最大7機の防災ヘリが各地で同時撮影



常総クラス1箇所の想定では不十分



※国土交通省、12月12日15:00時点

- ・ 防災ヘリのヘリサット運用の本格化 (ただし常総水害時のような直下視の撮影がほとんど無く、斜め撮影が大部分)



ヘリサットオルソ画像ではなく斜め画像への対応が必要

斜め画像を使うことで地図投影に対する対応
(様々な要因で大きく位置ズレする)を同時に行わなければならない



よりチャレンジングな研究に

AI+ヘリサットを用いた浸水範囲自動検出システムを開発

深層学習用
教師データの作成

濁水部の災害画像
の収集、ラベル付け

元画像



ラベル付け画像



※AI特研で得た知見を適用
※防災ヘリの画像はヘリ
サットシステムによって
国土地理院に配信された
ものを使用

斜め画像からでは当初考えていた手法は使えない上、時間を要することが分かったため、当初のアプローチを大幅に変更し、深層学習、いわゆるAIを導入した浸水範囲自動検出システムとして開発

深層学習を用いた浸水検出器の構築（Slide6に概念図、Slide19に資料）

推定浸水領域
の自動検出

領域境界線
の地図投影

1フライトの
データ結合

推定浸水領域
データの出力

斜め画像に対応する正射変換（自動検出結果を地図へプロットするために）

カメラの位置姿勢情報
とDEMによる正射変換

※本研究で斜め画像に対応する正射変換処理部を実装
※正射変換の位置ズレの低減方法は、総合流域防災対策
事業調査費（以下、「総流対」）による研究テーマの研究
成果を随時導入

AIを用いた浸水状況自動検出システム（Slide19に補足）

ヘリサットシステムでの映像伝送開始をトリガーに、自動的に処理を開始

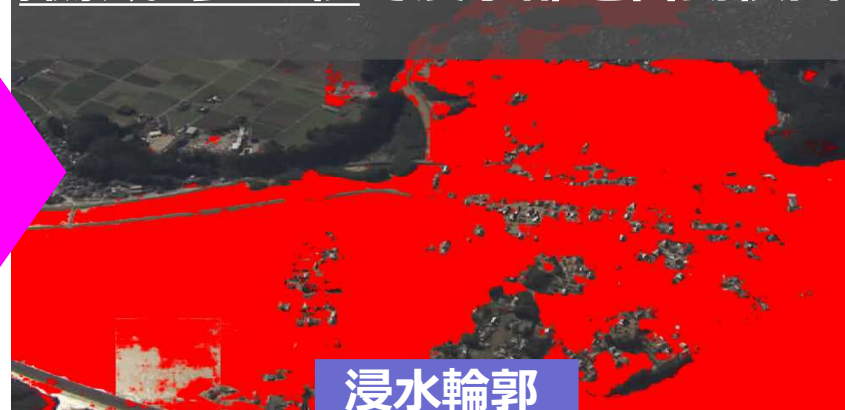
START 防災ヘリによる撮影



映像はリアルタイムに伝送されてきます。

AIによる
浸水部の
自動検出
(6コマおき)

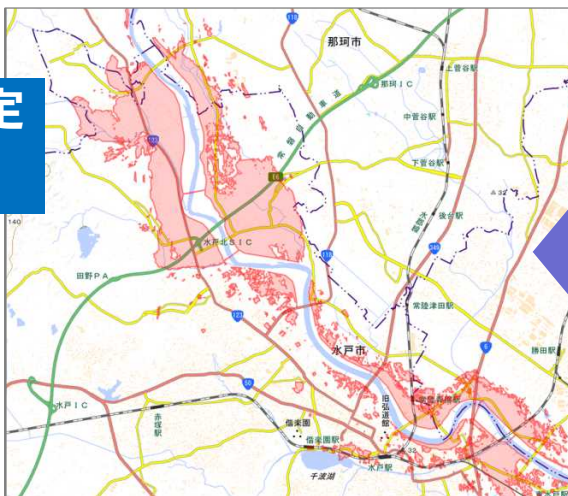
撮影から18秒で浸水部を自動検出



浸水輪郭
線を抽出
地図投影

END

最終的な推定
浸水領域



推定浸水領
域の逐次・自
動追加



画像の下側75%
の検出範囲を採
用して正射変換
(画像上側は位置ズレ
が大きくなるため)

1コマごとに
撮影から30秒で
地図データ化

Slide 6

1. 浸水状況のリアルタイム把握のためのシステム開発

台風19号による浸水状況の自動検出例 あおぞら号（関東地整）のフライトから抜粋
2019.10.13 那珂川（水戸市、那珂西大橋付近）

伝送された画像から
浸水領域（赤）
を自動判読で抽出

浸水領域を幾何補
正してKMLデータを
出力

1フライトの抽出結果

次の画像の浸
水領域とマージ

1フライト分
次々にマージ

※伝送された画像から、赤い領域、浸水領域を自動判読で抽出する様子と、それを幾何補正して地理院地図に重ねられるデータを出力する様子を、分かりやすいように地図上に表示したもの

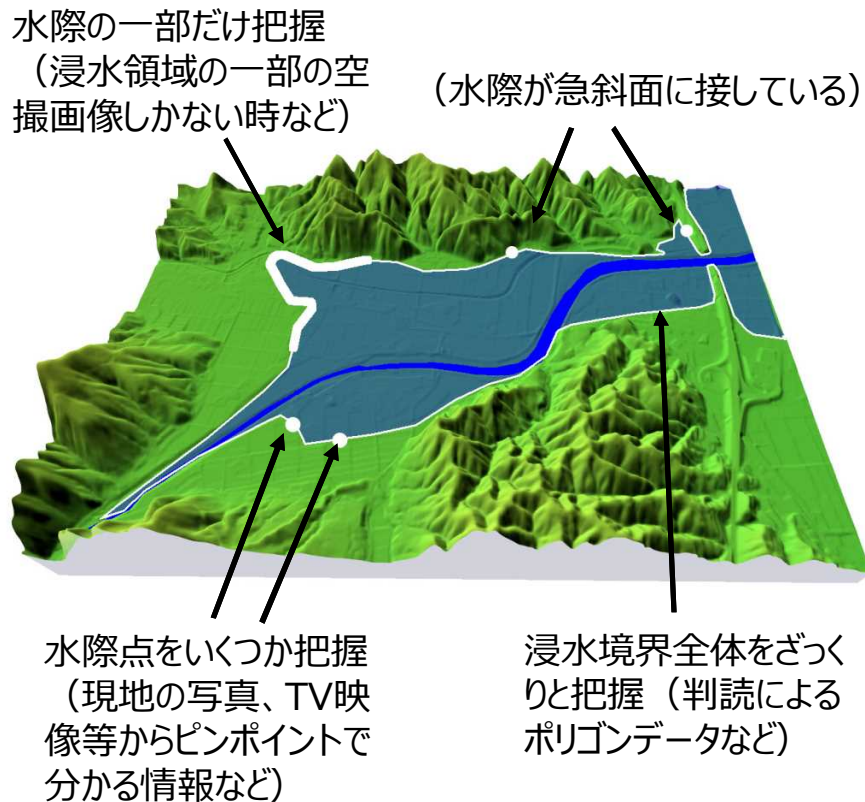
※教師データは平成30年7月豪雨までのもので、平成31年度のもの1枚も使っていない（AIにとっては未知の浸水）

他のフライトの処理結果も用いた抽出性能評価（Slide20 – 25）から：

- ◆ 深層学習を導入したことにより、濁水の概略存在範囲のリアルタイム検出（撮影から30秒）を実現。
- ◆ 撮影から数分で（かつ完全自動で）得られる情報として災害発生の初動期に必要な一定のラインはクリアしている。
- ◆ 誤抽出は少ないが、山腹やグラウンドの誤抽出が一定量見られる。また、非濁水部の抽出率は向上の余地が大きい。
- ◆ 正射変換の精度向上、学習データの追加が必要（継続する研究課題）

空撮画像を元にした水際の位置情報から湛水量を求める様々な手法について検討

想定される様々な水際の位置情報



様々な状態の水面

動水勾配が見られるケース

(平成27年関東・東北豪雨、鬼怒川)



静水面に近いケース (令和元年台風19号、吉田川)

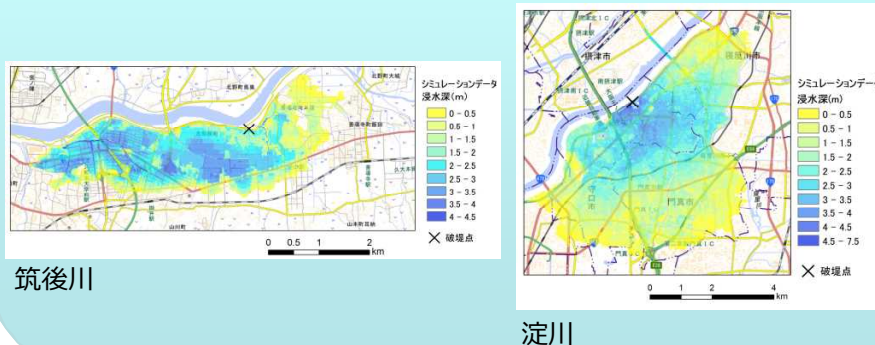


湛水量の計算方法の検証？ 難しい…

- ・空撮画像はある時点でのスナップショットである (現地の洪水痕跡は最大深)
- ・「ある時点」での実測値は無い

検討手法の概要（詳しくはSlide26-29）

**正解データ：浸水シミュレーションデータ
（国土交通省）による湛水量**（空撮画像
同様、ある時点のスナップショットとして）



⑥ 比較検討

⑤ 水際の情報のみによる湛水量

① 水際の点群のみ取り出す



空撮画像なら水際の情報を
利用することを想定

② 複数の計算手
法による計算

③ 水際の点群のみから作成
した水面 ※少数の水際点
しか使わないケースでも作成

④ 差分

5mDEM（基盤
地図情報）

※補足として、急斜面と水際の接地等による誤差の修正方法についても検討

全体のまとめ（詳細はSlide27-29）

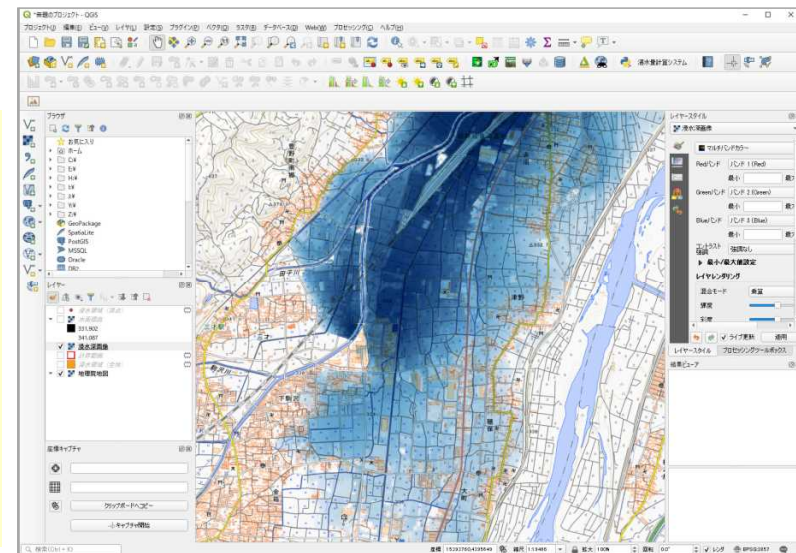
- ◆ 浸水領域全体の水際の位置が精度良く得られていて、水面に動水勾配が見られるケースでは、**内挿補間（Natural Neighbor法）による水面（曲面）**が良い。
- ◆ その他のケースでは、**水際点の平均標高による水面（平面）**が妥当。
ただし場合により領域を区切って領域ごとに平均標高を求める。
- ◆ 急斜面にかかる**外れ点は移動平均で識別可能**（5点の偏差＞1m程度）



想定される様々な水際の位置情報の入力に対応し、ダイアログボックスで動作しレポート作成・GISデータ出力までを一括サポートする作業用の湛水量計算システムを用意

※最近の浸水推定図で利用されている手法についてもカバー

※水際位置のポリゴンデータ・ラインデータの利用や、浸水面積×手入力した浸水深だけの算出機能も含む

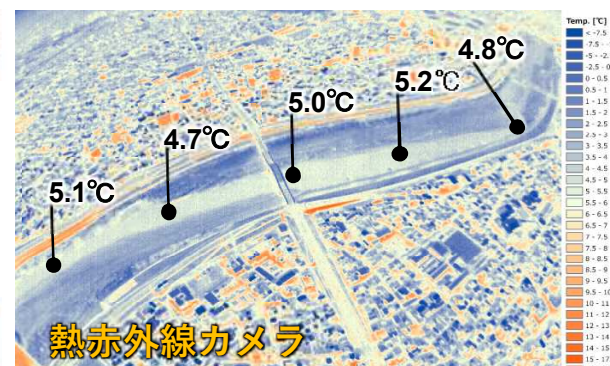


3. 昼夜問わないデータ取得に向けた足がかり

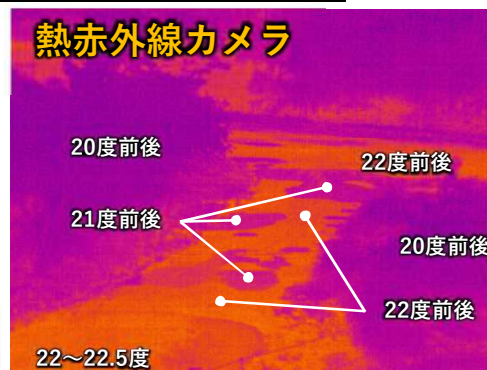
夜間の水域観測に有効なセンサの性能試験と要件取りまとめを実施

- ◆ 夜間の水域観測に有効と考えられるセンサ候補を調査 (Slide31)
- ◆ 夜間運用が容易なヘリコプターに装備可能なセンサとして**超高感度カメラ**と**熱赤外線カメラ**を選択 (Slide32にカメラの諸元)

- ◆ **上空からの性能試験** (冬季夜間・曇天時清水、長良川) を実施 (Slide33-36)



- ◆ **地上での補足試験** (夏季夜間・雨天時濁水、鬼怒川・小貝川) を実施



得られた知見と観測要件（詳細はSlide35-36）

- ◆ **超高感度カメラが有望**（最適ISO感度は51200～102400の間、
濁水の識別も可能）
- ◆ 熱赤外線カメラは補足的な併用が有効
- ◆ 手持ちによるヘリコプターの窓越し（または開放した窓から）の撮影や
機体据え付けなどによる撮影



**夜間観測に有効なセンサと性能要件が明らかになり、
将来の夜間観測システムに向けた検討が可能に。**

※Slide37に夜間の水域観測に適した観測機器候補例
（2019年12月現在）

目標の達成および成果の活用の見込み

1. 浸水状況のリアルタイム把握のためのシステム開発

当初目標：遅くとも1時間以内に浸水到達位置を計測する検出器の作成

➡ 撮影から**約30秒**で浸水領域を抽出するシステムの開発に成功、実装へ（次頁（Slide15）に補足）

2. 精度の高い湛水量の把握

当初目標：4時間以内に浸水面積及び湛水量を算出

➡ 湛水量計算プログラムを用意し、達成。国土地理院応用地理部の浸水推定図の作業等に活用の見込み

3. 昼夜問わないデータ取得に向けた足がかり

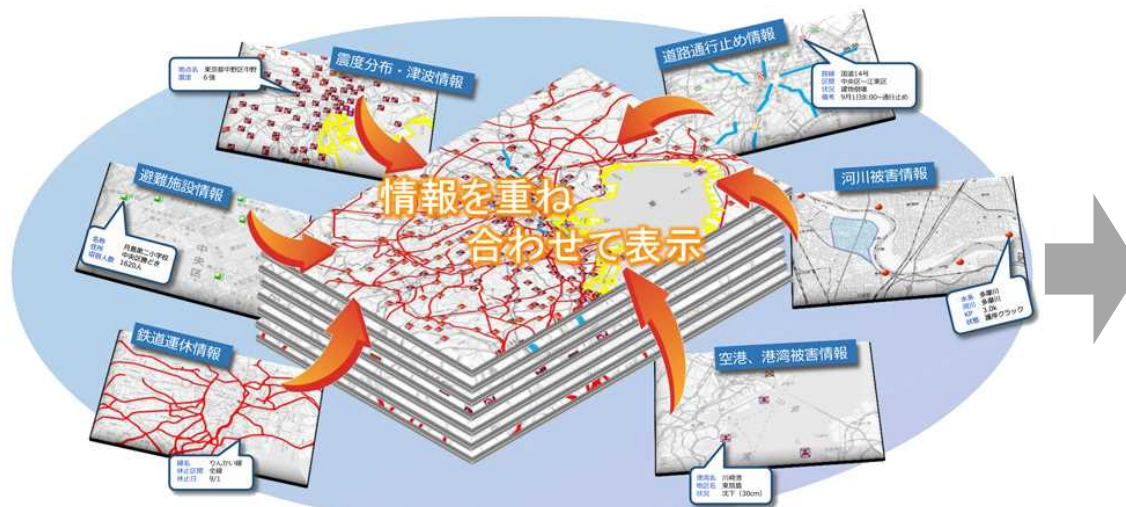
当初目標：夜間の浸水範囲特定に有効なセンサの性能試験と要件とりまとめの実施

➡ 上空・地上での夜間性能試験を実施、超高感度カメラを第一候補として知見を取りまとめ

本研究の成果の社会実装に向けて

令和2年の出水期からの対応を目指し実装が決定。
(令和元年度補正予算)

国土交通省の総合災害情報システム（DiMAPS）上で浸水範囲を即時共有するシステムとしての開発もすでに進んでいる。
(総合流域防災対策事業調査費)



国土交通省内でデータ共有（DiMAPS）

以下、参考資料

【ヘリサット】 ヘリコプターから衛星通信によって空撮映像等を直接電送するシステム。

【検出器】 ここでは、コンピュータビジョンの分野で用いられる検出器 (detector) を指す。画像処理の組み合わせによって特徴的な地物を検出するアルゴリズム。CNN (畳込みニューラルネットワーク) により構築した。

【CNN】 畳込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network)。人間の脳の神経細胞のネットワークを模して構築されたデータ構造。極めて多数のパラメータで構成されており、深層学習によってパラメータの値を収束させることで、高速に高度な画像処理を行うことができる。

【特徴点】 画像マッチングの分野で用いられる用語で、画像の中で検出が容易な点 (角、輪郭、同一色エリアの中心等) を指す。

【適合率 (Precision)】 画像認識の性能評価に使われる指標の一つ。抽出された領域のうち、正しく抽出された領域の割合を表す。0～1までの値を取り、0に近いほど誤抽出が多く、1では誤抽出が全く無いことを示す (Slide20に図示)。

【再現率 (Recall)】 画像認識の性能評価に使われる指標の一つ。本来抽出されるべき領域のうち、正しく抽出された領域の割合を表す。0～1までの値を取り、0だと全く抽出されていないことを示す (Slide20に図示)。

【F値 (F-Measure)】 画像認識の性能評価に使われる指標の一つ。適合率と再現率の調和平均を取ること、定量的な性能評価の指標として使われる (Slide20に図示)。

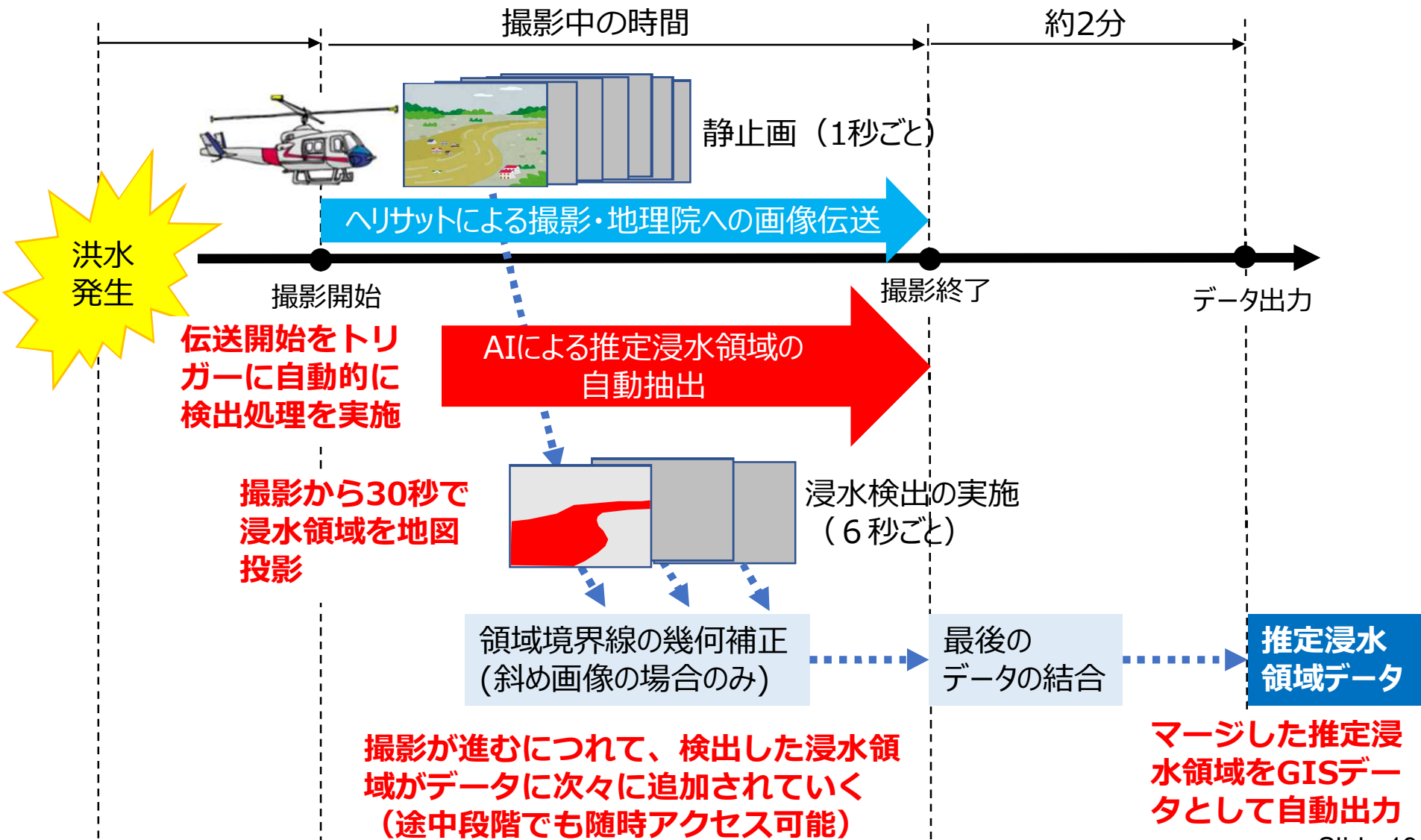
$$F = \frac{2 \times \text{Recall} \times \text{Precision}}{(\text{Recall} + \text{Precision})}$$

【動水勾配】 水が流れていて水面が傾いている状態で生じる勾配

【内挿補間】 GISデータの場合は、既知の点の値を用いて、地理空間を埋める数値を求めること

【Natural Neighbor法】 内挿補間の一方法。作成した面は入力点を通過し滑らかであるという特徴がある。

AIを用いた浸水状況自動検出システム（タイムライン）



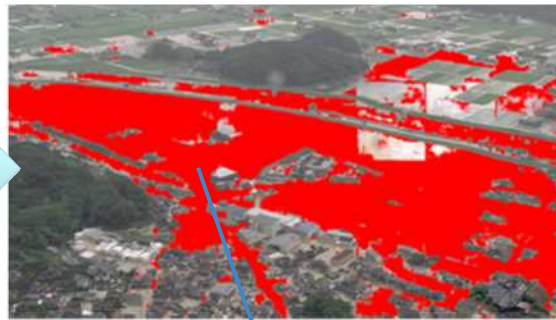
検出結果の定量評価指標 (F 値)

検証用元画像

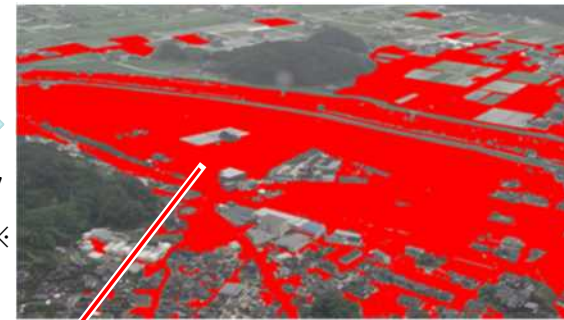


サンプル画像
令和元年8月28日はるかぜ号(九州地整)撮影

AIによる検出結果



検証データ (正解)



スコア
算出※

※総合流域対策防災事業調査費により作成した画像を使用

検出結果

正解

FP
(False
Positive)

TP
(True
Positive)

FN
(False
Negative)

TN (True Negative)

画像のピクセル数を右図のように集計
(この例では赤色のピクセルが浸水として検出
された部分=Positiveにあたり、それ以外のピ
クセルはすべてNegativeにあたる)

※スコア算出方法

① Precision = $TP / (TP + FP)$

② Recall = $TP / (TP + FN)$

③ F値(スコア) = $\frac{2 \times \text{Recall} \times \text{Precision}}{(\text{Recall} + \text{Precision})}$

	正解が 1	正解が 0
推論結果が 1	TP	FP
推論結果が 0	FN	TN

1. 浸水状況のリアルタイム把握のためのシステム開発

投影変換前の浸水検出能力の定量的評価

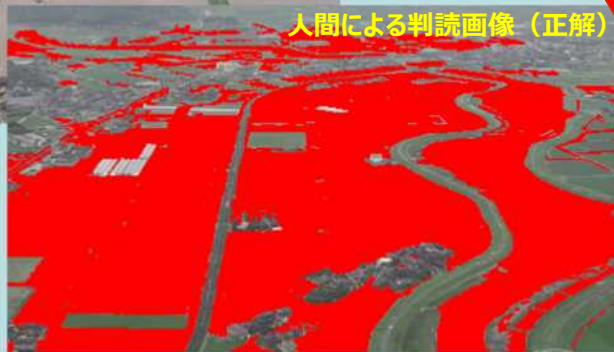
熟練者の目視判読による浸水範囲画像

評価用データセット※

(R元年度に発生した浸水×476枚)を正解として

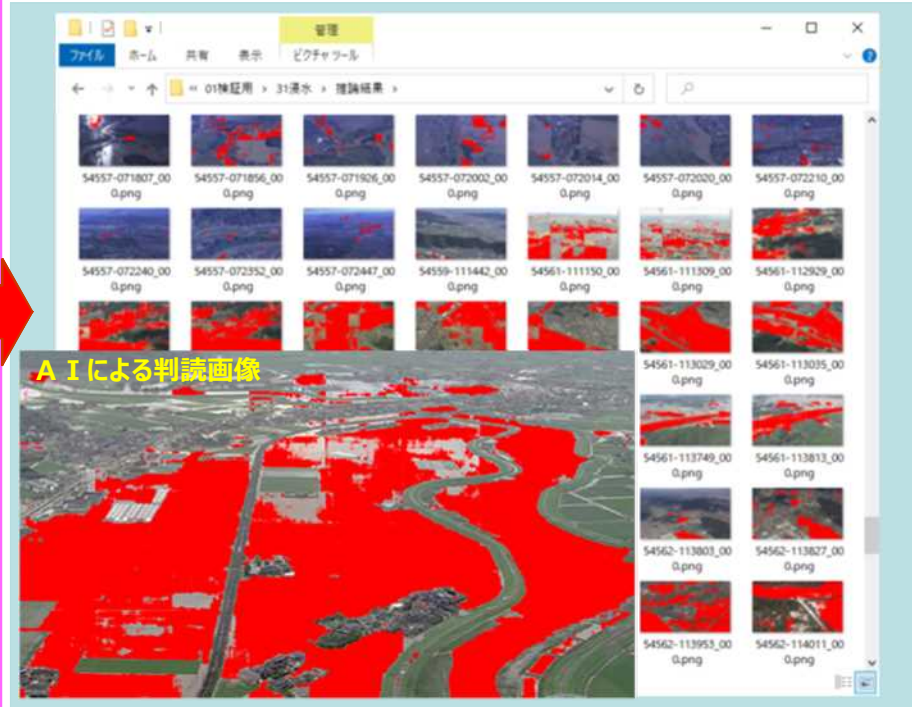


サンプル画像
令和元年8月28日
はるかぜ号(九州地整)撮影



人間による判読画像(正解)

AIの自動検出による浸水範囲画像



AIによる判読画像

※総合流域防災対策事業調査費により令和元年12月10日までに作成された全画像を検証用を使用。判読技術者による判読結果。令和元年5月から10月に撮影された19フライト分の画像が含まれる。1920×1080pixelの画像。

適合率 (Precision) = 0.94、再現率 (Recall) = 0.62、F値 = 0.74

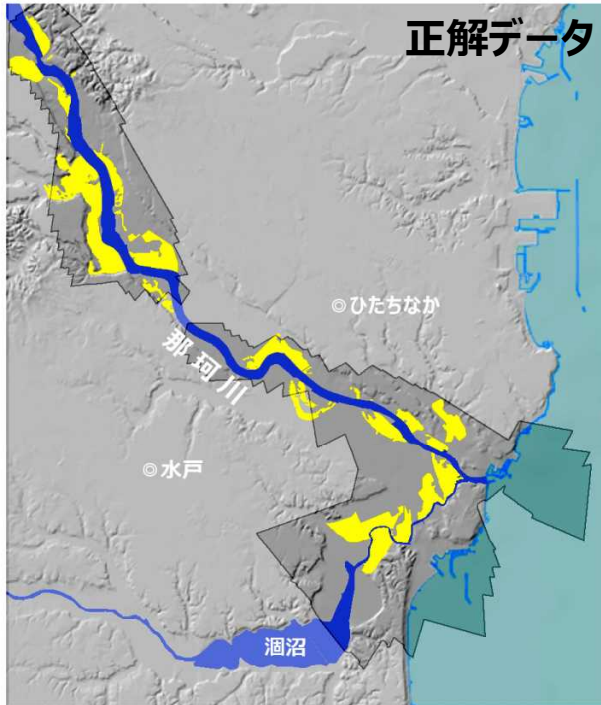
※適合率等の定義はSlide28

(CNNにはEncode側8層、Decode側8層のU-Net構造を使用。トレーニングデータのサイズ256×256pixel。
評価値には画像の上1/4の領域も含む。)

1. 浸水状況のリアルタイム把握のためのシステム開発

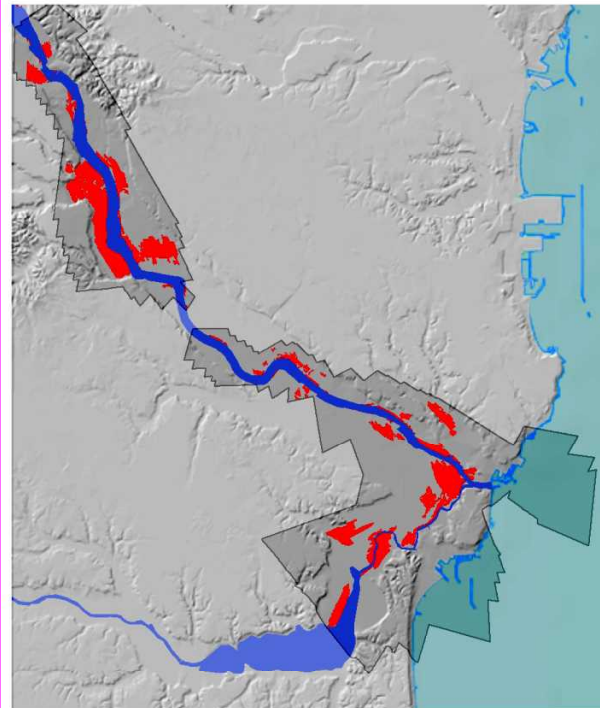
投影変換後の正射データの定量的評価 — 動画範囲 (2019.10.13 那珂川)

熟練者の目視判読による浸水範囲

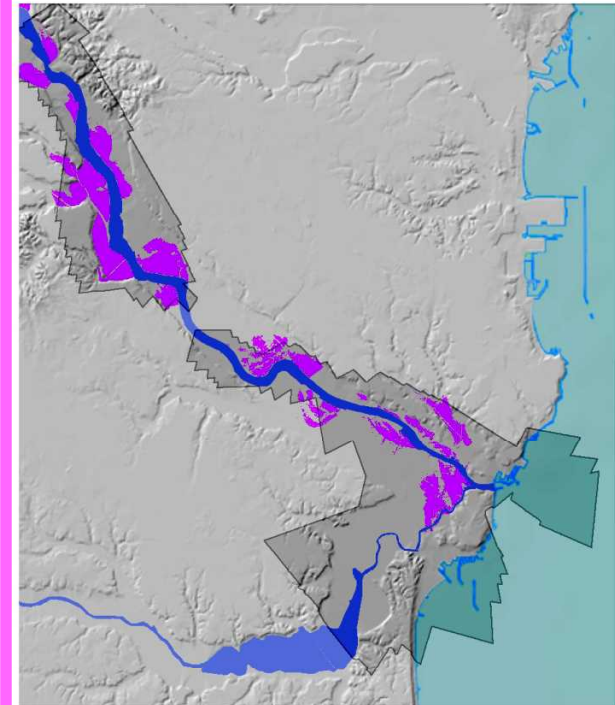


防災ヘリ映像から時間をかけて判読した結果

AIの自動判読による浸水範囲



浸水推定図(国土地理院)の浸水範囲



※手入力した水際点を用いて5mDEMから読み取った水面標高による範囲 (手法は吉田(2019))

ヘリサットデータ処理範囲

堤外地

0 2.5 5 10 km

【AIの自動判読】 Precision=0.68、Recall=0.51、F値=0.58 ※堤外地の濁水は除いた値
 参考：浸水推定図 Precision=0.74、Recall=0.66、F値=0.70 (現在のAIは対浸水推定図比
 83%の抽出精度)

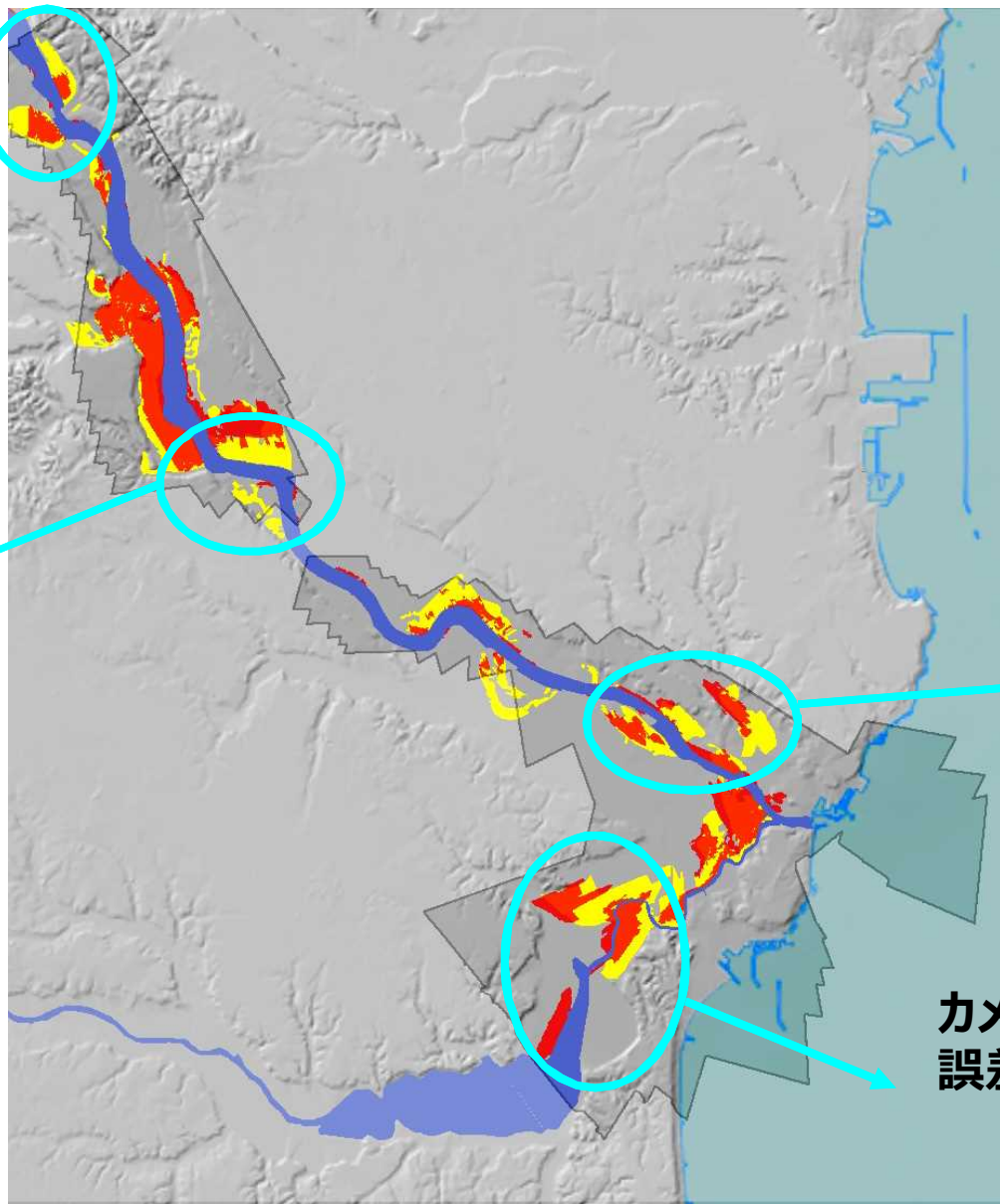
1. 浸水状況のリアルタイム把握のためのシステム開発

改善を要する部分は？

画像の上1/4に
映った浸水が抽
出されていない

抽出漏れ。
教師データの不足
(トレーニングデータは
平成30年7月豪雨
までの2100枚、浸
水部の色が異なる
部分あり)
又はコマ飛び

他のフライトの定性的評価
についてはSlide26-27



■ AIの自動判読に
よる浸水範囲

■ 熟練者の目視
判読による浸水
範囲

抽出漏れ。
教師データの不足
又はコマ飛び

カメラパラメータが持つ
誤差による位置ずれ

2019年11月30日時点の濁水抽出用AIを用いた、AIによる濁水抽出状況の定性的評価

- ・抽出対象は濁水。最も誤抽出が少ない（適合率=0.94、抽出率=0.62、F値=0.74）抽出エンジンを使用。
- ・カメラの俯角10度未満・画像の上1/4は抽出対象から除外

①8月28日 はるかぜ号による六角川水系



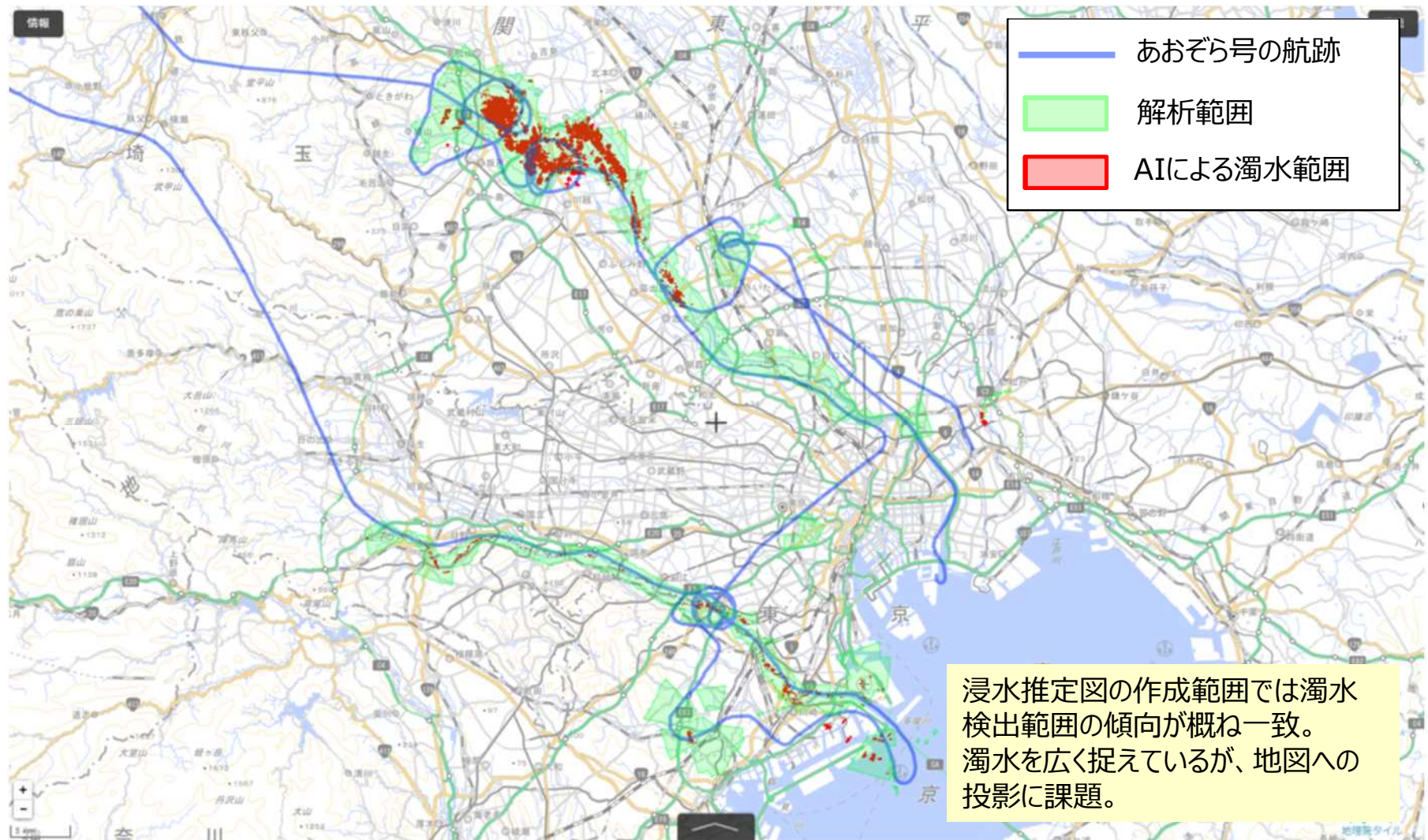
判読対象：はるかぜ号（フライト54473） 2019年8月28日13:48:13～16:11:50

解析時間：2019年12月10日9:48～10:47 使用したAI：Rev.2100

※堤外地を除外していないため、「浸水範囲」ではなく「濁水範囲」としている。

2019年11月30日時点の濁水抽出用AIを用いた、AIによる濁水抽出状況の定性的評価

③10月13日 あおぞら号による荒川（・鶴見川）水系



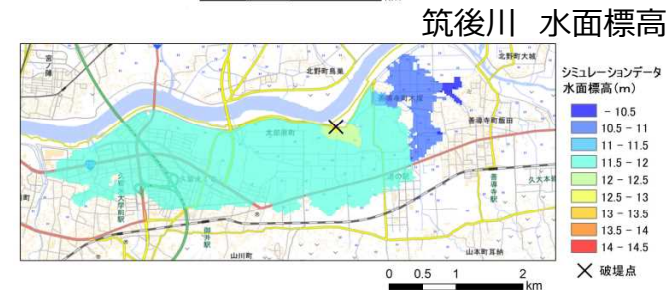
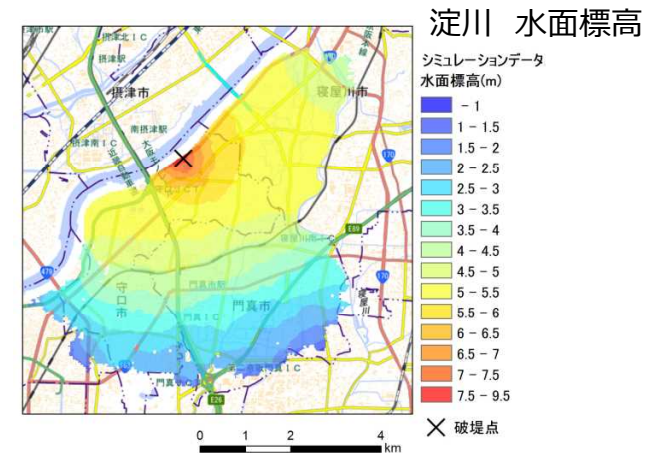
判読対象：あおぞら号（フライト54557） 2019年10月13日6:21:27～9:50:59

解析時間：2019年10月13日6:55～10月14日10:24 使用したAI：Rev.787（適合率=0.83、抽出率=0.55、F値=0.66）

※堤外地・海部を除外していないため、「浸水範囲」ではなく「濁水範囲」としている。本処理は27時間余を要し、防災ヘリの多数同時
フライト時の課題が明らかになった。

正解データ

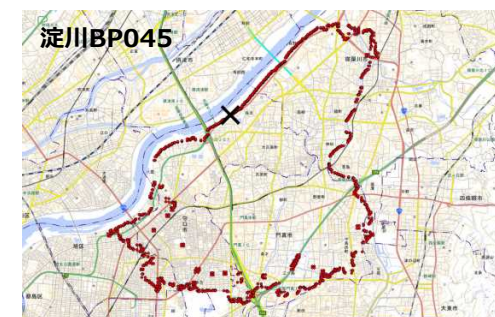
河川名	淀川	筑後川
破堤点番号 (所在地)	BP045 (大阪府守口市佐太西町)	BP263 (福岡県久留米市太郎原町)
破堤後経過時間	540分 (9時間)	300分 (5時間)
湛水量	約4900万m ³	約1300万m ³
水面の特徴	全体が大きな動水勾配 (流れていて傾いている状態) を持つ	西半分は静水面に近い
データ提供	近畿地方整備局淀川 河川事務所	九州地方整備局筑後川 河川事務所



水際の点（標高付き）を用いた水面作成の計算手法

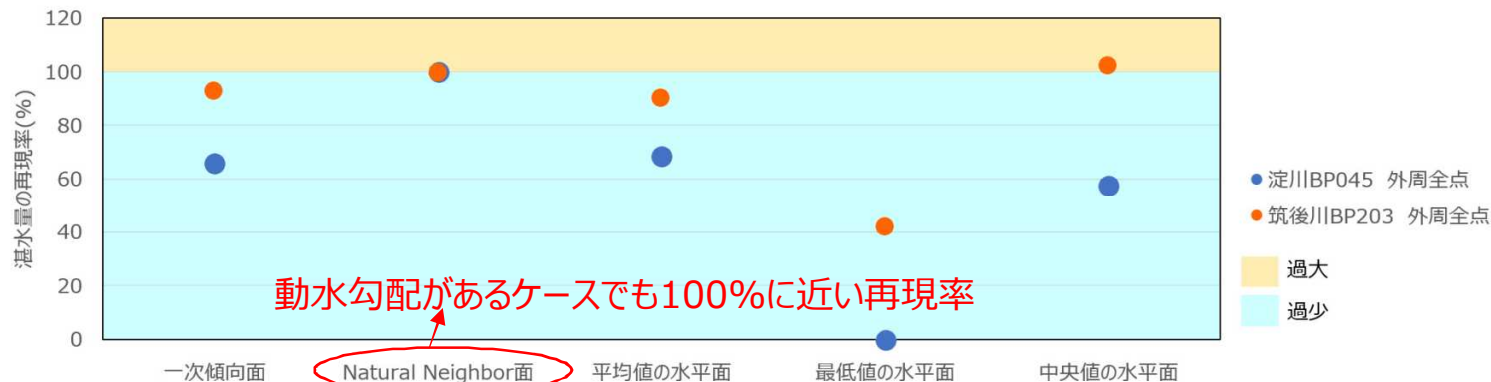
- ◆一次傾向面（傾いた平面）
- ◆Natural Neighbor面（曲面）
 - 平均値の水平面
 - 最低値の水平面
 - 中央値の水平面

◆傾きのある水面にも対応可能



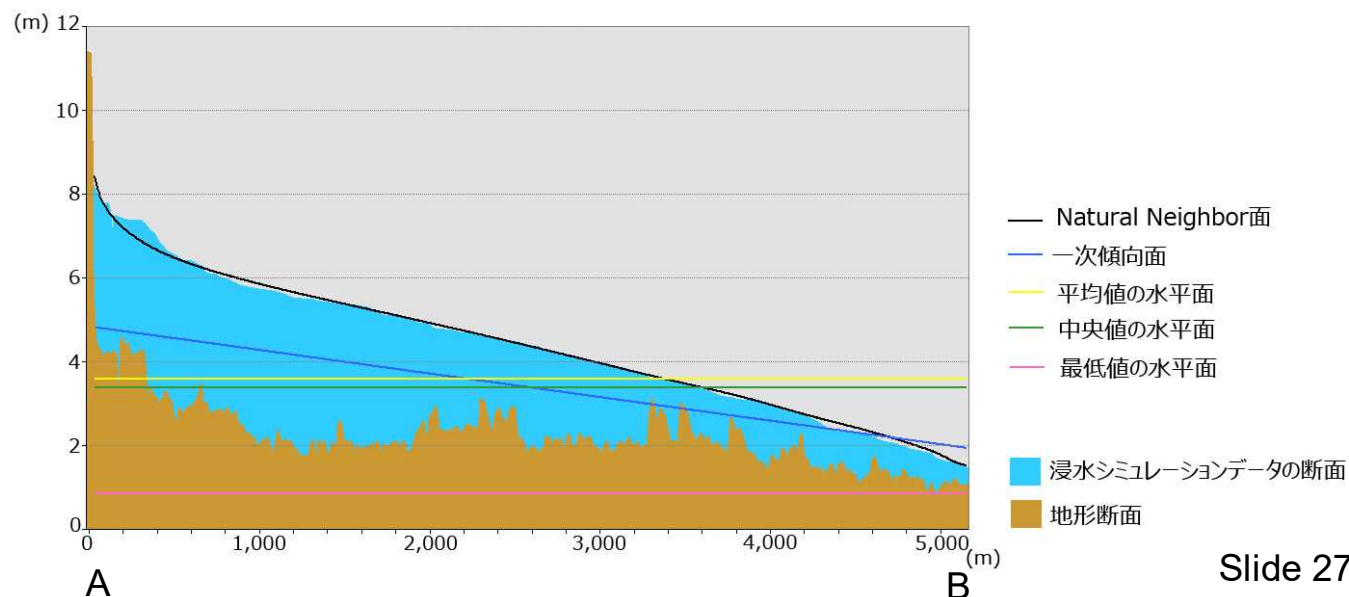
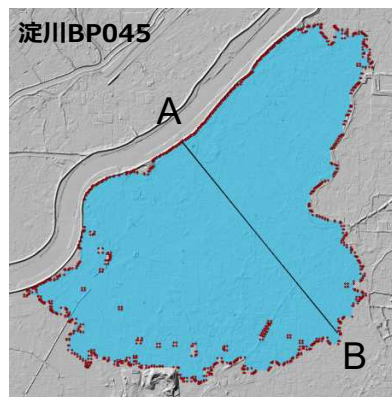
結果（水面の作成方法と湛水量再現率の関係）

①浸水領域全体の水際点を使用した場合



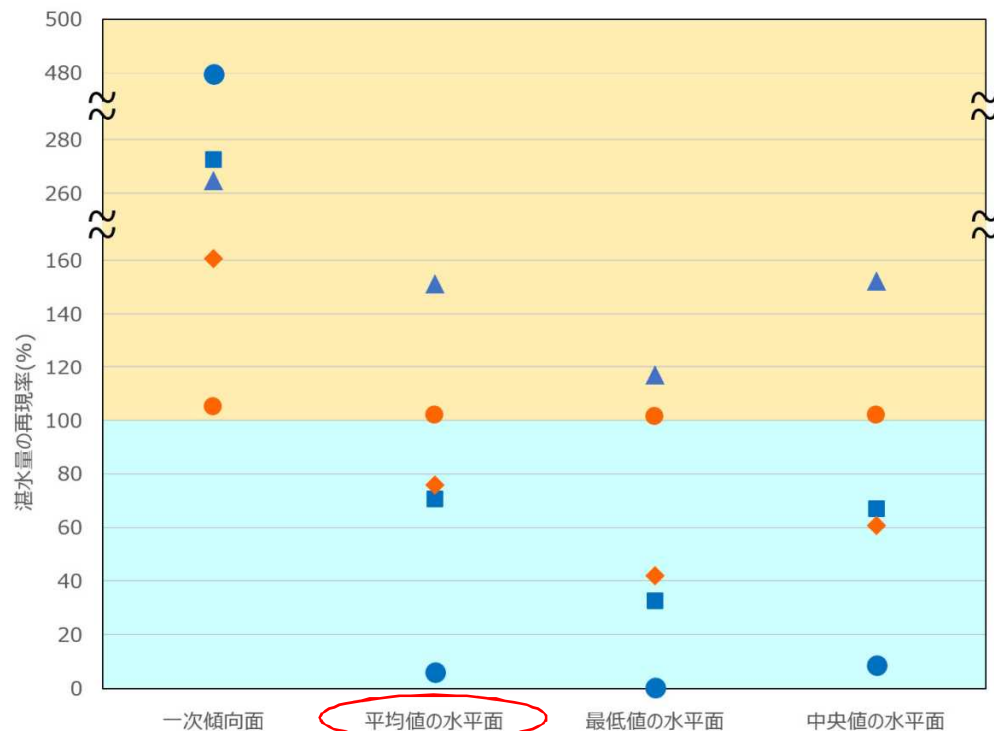
● 水際点 × 破堤点

参考：淀川BP045のシミュレーションデータと外周点（全点）からの推定による水面の断面図



結果（水面の作成方法と湛水量再現率の関係）

②一部の水際点を使用した場合



淀川BP045



筑後川BP263



●水際点 ×破堤点

- ▲ 淀川BP045 北側地区
 - 淀川BP045 東側地区
 - 淀川BP045 南側地区
 - ◆ 筑後川BP263 東側地区
 - 筑後川BP263 西側地区
 - 過大
 - 過少
- ① ② ③

一部の水際点から湛水量を推定する事は、静水面以外では難しいが、最もベターな方法を1つ選ぶとすれば平均値の水平面

- ①動水勾配があるケースでは一部の水際点での再現は難しい（淀川BP045、筑後川BP263の東側地区）
- ②特に破堤点から離れた下流方向の水際点だけでは再現困難（淀川BP045の南側地区）
- ③一方、静水面に近いケースでは一部の水際点だけでも100%に近い再現率（筑後川BP263の西側地区）

補足：急斜面と水際の接地等による水面標高の外れ値の修正方法に関する検討

例えば空撮画像や衛星画像を判読して手書きで描かれたポリゴンを利用するケースでは、位置ずれ、堤防や土手のような急斜面と水際の接地等で、誤った標高値を水際点に与えてしまうケースが考えられる

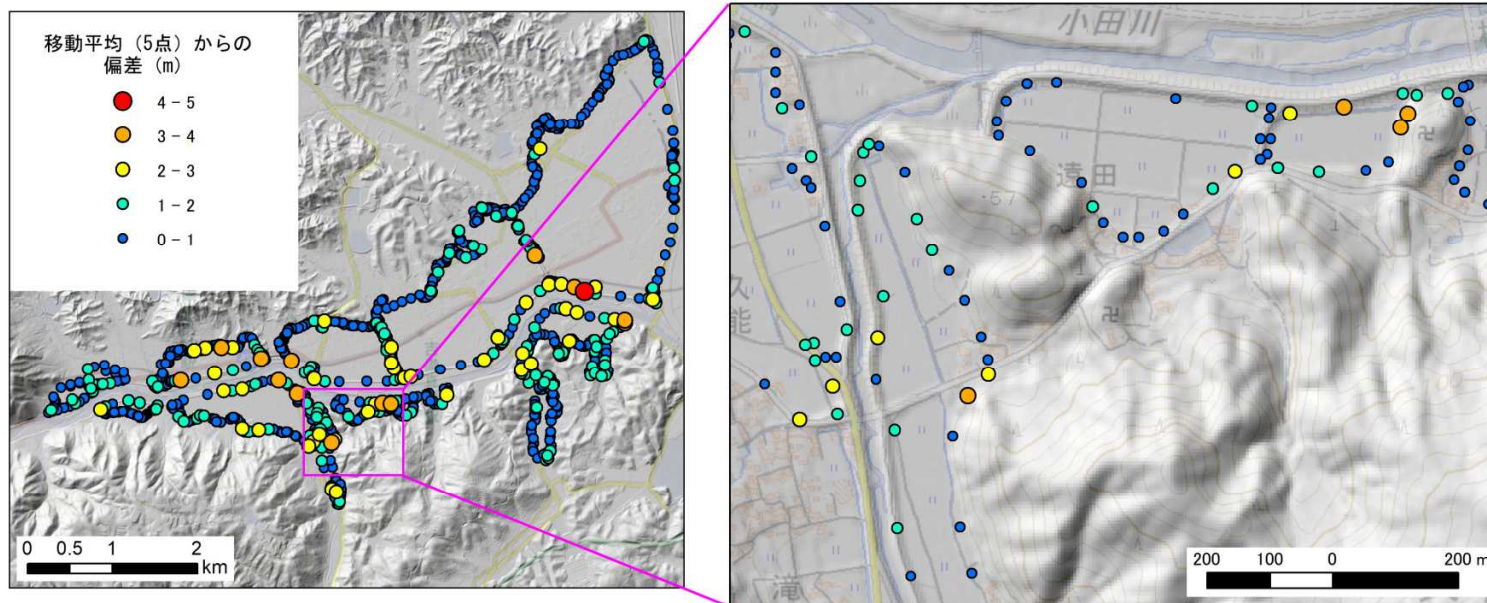
検討に用いたデータ

手動での判読・描画により作成された浸水領域ポリゴンの頂点位置に国土地理院の5mDEMの標高値を追加した点データ

※2018年西日本豪雨の際の倉敷市真備町の浸水状況について判読・手作業で描画されたポリゴンデータ

検討方法（結果はSlide17,29）

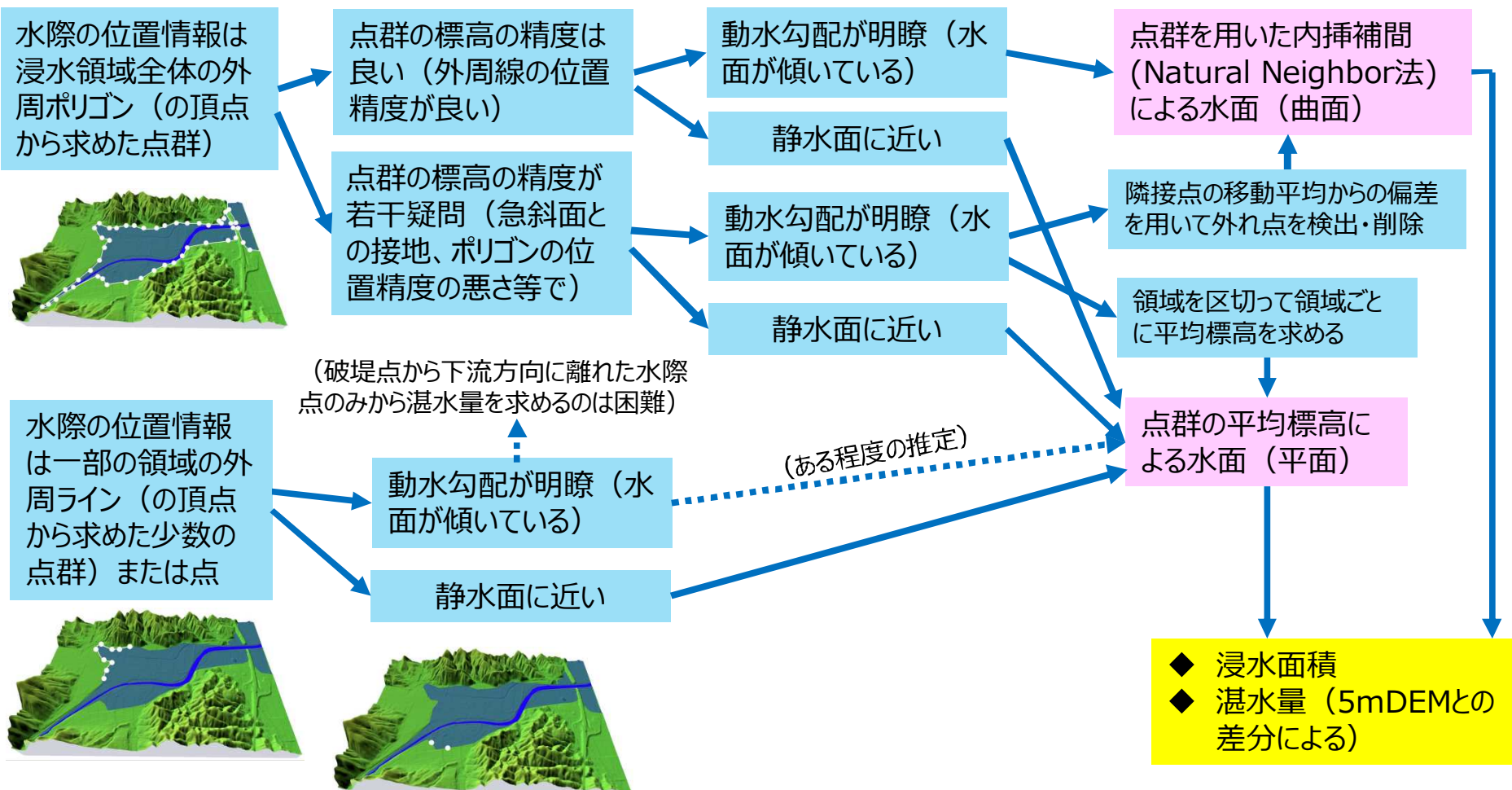
- 全体の平均標高からの偏差を用いた外れ点検出を検討
- 隣接点を用いた移動平均との偏差による外れ点検出を検討（隣接5点および3点）



参考資料（2.精度の高い湛水量の把握）

浸水シミュレーションデータ等を用いた検討結果から：水面標高の最適な推定方法

※水際点に5mDEMから標高値を与えて水面標高のラスターデータを得る事を想定



夜間の水域観測に有効と考えられるセンサ候補

センサ名	特徴（メリット・デメリット等）
超高感度カメラ	・光学、静止画（動画はメモリの容量制限により短時間のみ） ・高解像度 ・市販品を入手しやすい ・手持ち撮影 
超高感度監視カメラ	・光学、動画・静止画、高解像度 ・市販品はやや高額 ・固定撮影、画像を保存するPCとの接続が必要
遠赤外線カメラ	・温度画像、動画・静止画、中解像度 ・市販品は高額 ・画像を保存するPCとの接続が必要、窓越しの撮影不可、手持ち撮影 ・夜間の河川流量観測は実用化段階
熱赤外線カメラ （サーモグラフィ）	・温度画像、動画・静止画、中解像度 ・市販品はやや高額 ・画像を保存するPCとの接続が必要、窓越しの撮影不可、手持ち撮影 
暗視カメラ	・温度画像、動画・静止画、低解像度 ・赤外線利用なので赤外線カメラと同様、手持ち撮影 ・安価
マルチ・ハイパースペクトルカメラ	・分光画像、静止画、中解像度 ・市販品は超高額
SAR	・衛星SAR（ALOS-2、TerraSAR-X、RADARSAT-2 etc.） ・ALOS-2は安価だが低解像度、他は中解像度だが高価 ・撮影時刻が限定（夜間とは限らない）、水域抽出手法が未確立 ・航空機SARは使用できる機材が少ない上、有視界飛行の場合がほとんど

夜間の水域観測用に本研究で選択したセンサ

超高感度カメラ

製品名	ソニー製一眼カメラ $\alpha 7S$	
最大ISO感度	409600	
有効画素数	約1220万画素	
レンズ	高倍率ズームレンズ F3.5-6.3/24-240mm	

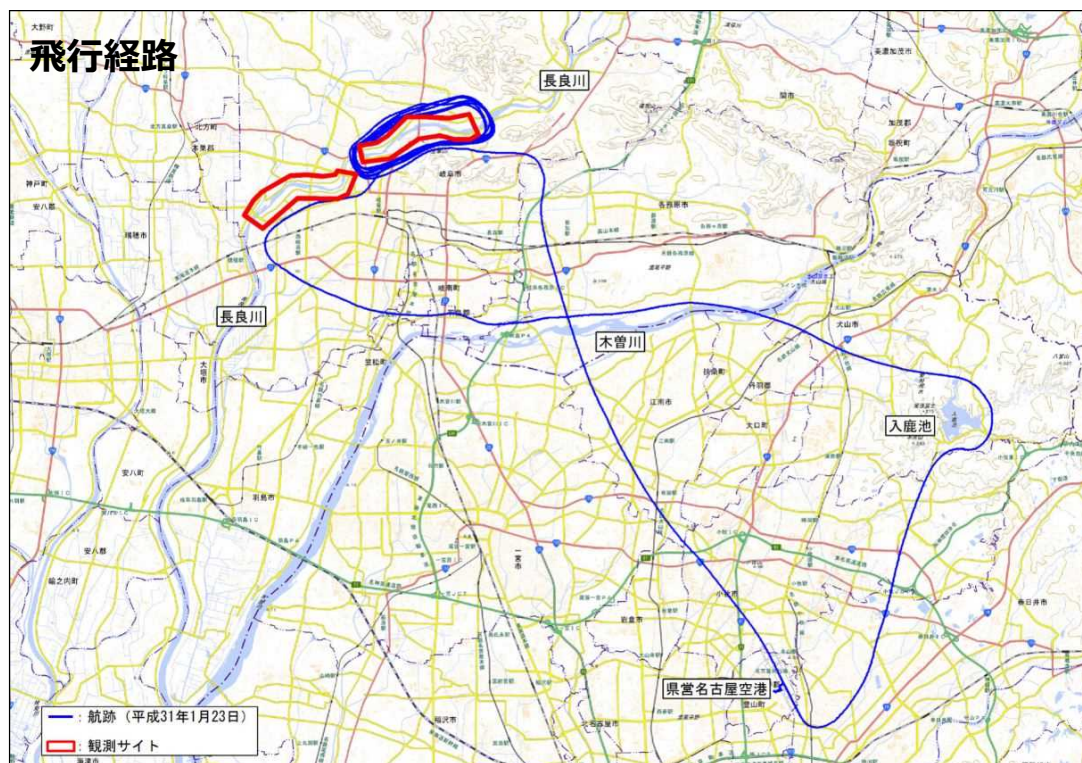
熱赤外線カメラ

製品名	Optris製サーモグラフィ PI640	
観測可能温度範囲	-20～100℃	
解像度	640 × 480 pixel	
レンズ	広角レンズ（視野角FOV=90°） 望遠レンズ（視野角FOV=15°）	
地上画素寸法 (100m先の地点、 理論値)	広角レンズ：約22.1cm 望遠レンズ：約4.1cm	

上空からの性能試験の概要 (飛行経路・地上マーカーは次頁)

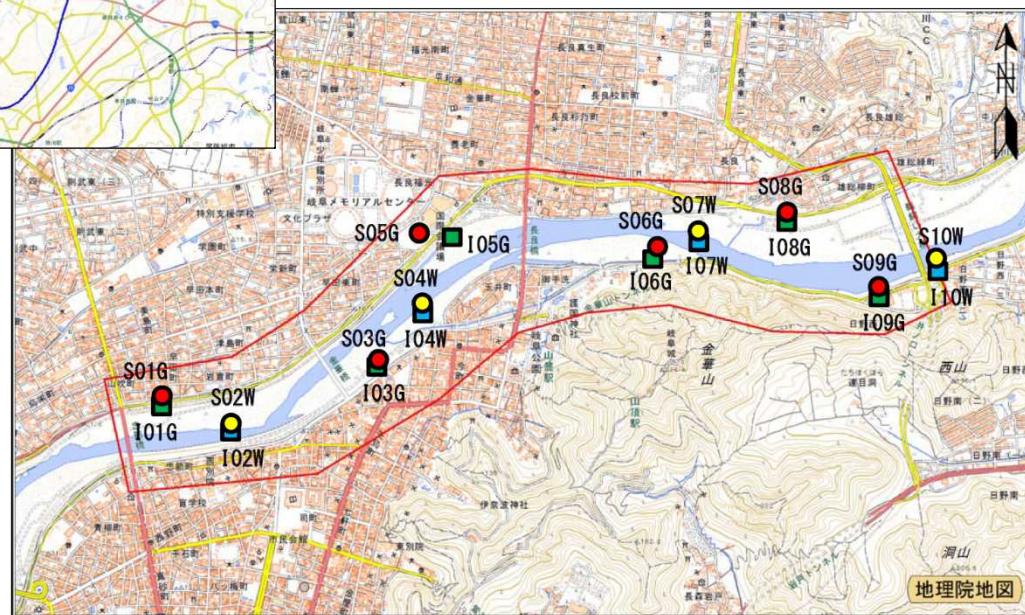
項 目	摘 要
実施日時	(1)夏季昼間予備試験：2018年8月 2日10:00～11:27 (2)冬季夜間観測試験：2019年1月23日18:00～19:30 (※)
試験場所	長良川 (岐阜県岐阜市、忠節橋～鵜飼い大橋区間)
プラットフォーム	ヘリコプター (アエロスパシアル製 AS350B)
観測対象	平時河川水域 (※)
環境 (気象条件等)	(1)夏季昼間予備試験 ・天候：晴 (事前の降雨等無し) ・気温：34.0～35.6℃ (岐阜气象台) (2)冬季夜間観測試験 ・天候：曇り (事前の降雨等無し、月明かり無し) ・気温：7.3～8.4℃ (岐阜气象台)
撮影高度(対地高度)	600～800m
試験内容	(1)夏季昼間予備試験 ・熱赤外線カメラによる水域観測 (テスト) (2)冬季夜間観測試験 ・地上マーカー (各カメラ用各10点) の設置 ・地上マーカー地点における気温・水温・地表面温度観測 ・超高感度カメラによる水域観測 (ISO感度を変更しながら単発撮影) ・熱赤外線カメラによる水域観測 (1秒間隔スナップショット撮影) ・同日昼間の空中写真撮影・オルソ画像作成 (検証用)





- 超高感度カメラ用 (地物)
- 超高感度カメラ用 (水涯線)
- 熱赤外線カメラ用 (地物)
- 熱赤外線カメラ用 (水涯線)

地上マーカー配点図



地上マーカー配置状況



超高感度カメラ用 (観測時は
バルーンライトを設置)



熱赤外線カメラ用 (ホットカー
ペットを使用)



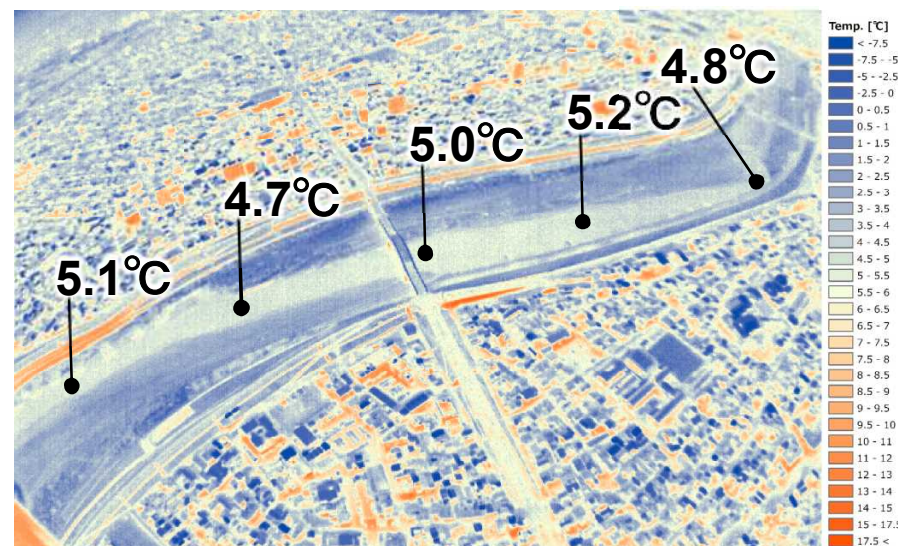
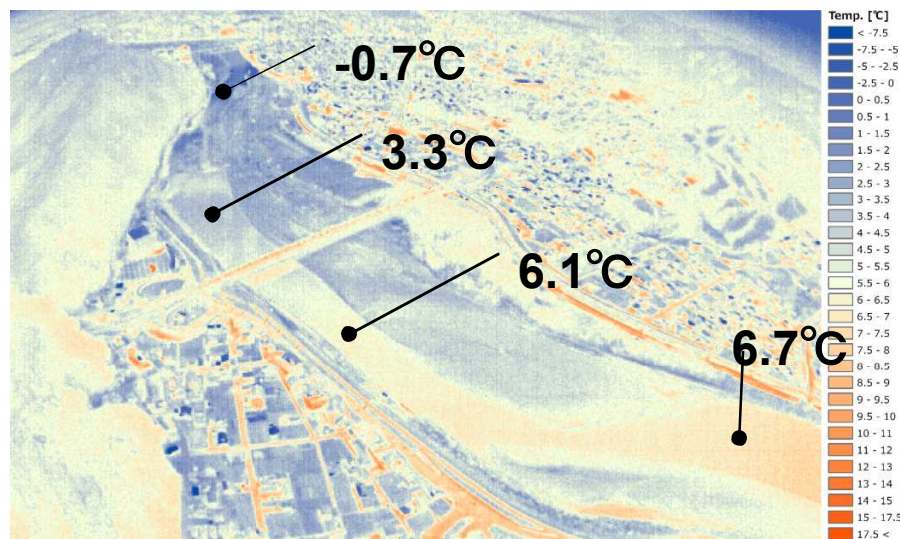
上空からの**超高感度カメラ**性能試験 (冬季夜間)

- フレーム内の大半を河川敷にし、**手動フォーカス**にするとピントが合わせやすい。
- ISO 204800でも409600と水域の識別度は大きく変わらない。粒子の粗さが軽減される (左上写真)。
- さらに、ISO 102400でも水域は識別でき、より高いISOの場合よりも クリアに写る (左下写真)。
- ISO 51200でも水域の識別は可能 (右下写真)。ただし、数回に1回はブレてしまう。
- ISO 25600ではほぼ毎回ブレてしまう。
- ISO 102400は51200と比べるとやや粒子が粗いため、**最適ISOは51200～102400の間**。



上空からの熱赤外カメラ性能試験 (冬季夜間)

- 広角レンズ(視野角90×64°;左下図) の場合、広範囲の撮影には向くが、俯角(伏角)が小さい領域の水面には空が映り込み、温度が低下してしまう(画像手前側ほど水域の温度が高くなる)。また、周縁部の歪みが大きい。
- 水域は周辺と温度が違う領域として識別可能 (冬季によいては周辺より温度の高い領域)。カメラの俯角が比較的大きいと水域の温度は概ね一定の範囲内となり河川水域は識別しやすい(右下図)。
- ただし、場所によっては水涯線の温度差がはっきりしない箇所もある。同じ水域でも温度に変化が生じるうえ、周辺に同様の温度域が多数写り込み、**温度の閾値等で水域を抽出することは困難** (望遠レンズも同様)。
- 地上での温度観測結果と比較すると、空が映り込んだケース以外では**概ね±1℃の範囲内で測定できている**。



夜間の水域観測に適した観測機器候補例（2019年12月現在）

機器候補例〔	製品名	特徴等
手持ち式カメラ	ソニー製デジタル一眼カメラαシリーズ（α7, α6500を除くハイアマチュアモデル全機種）	拡張ISO102400～409600、1220～6100万画素、22～55万円（本体のみ）
	キャノン製デジタル一眼レフカメラEOSシリーズ（EOS-1D X Mark II, EOS R, EOS 5D Mark IV, EOS RP）	拡張ISO102400、2020～3030万画素、15～70万円（本体のみ）
	ニコン製デジタル一眼レフカメラDシリーズ（D5, Df, D850, D500, D7500）	拡張ISO102400～3280000、1625～4575万画素、10～60万円（本体のみ）
据え付け式ビデオカメラ・ネットワークカメラ	ソニー製業務用4K対応ビデオカメラUMC-S3CA	ソニーα7Sと同スペック、最低被写体照度0.004ルクス（ISO409600）、1220万画素、4K、80万円（本体のみ）
	キャノン製超高感度ネットワークカメラME20F-SHN	最低被写体照度0.0005ルクス以下（ISO4000000）、226万画素、FullHD、320万円（本体のみ）

- 上記候補例の機器により、**手持ちによるプラットフォーム（ヘリコプター、セスナ等）の窓越し（または開放した窓から）の撮影**や**機体据え付けなどによる撮影**が可能。
- **熱赤外線カメラ（サーモグラフィ）を併用**することも有効。