

助成受付番号 第令4-3号

古地図を用いた氾濫計算手法の基礎的検討と 我が国の治水政策評価

中央大学研究開発機構
小山直紀

背景：近年における記録的豪雨

令和元年東日本台風(2019)

西日本から東日本の太平洋側を中心に激しい雨が降り、千曲川、阿武隈川の決壊が発生した。

196.8mm/2日(立ヶ花基準点)

死者:104名

※国土交通省 北陸地方整備局 信濃川河川事務所 令和元年東日本台風及び信濃川水系緊急治水対策プロジェクトの概要
※内閣府令和元年台風第19号等に係る被害状況等について



令和2年7月豪雨(2020)

梅雨前線が本州付近に停滞し、線状降水帯を伴う豪雨が広範囲に発生し、球磨川が決壊した。

322mm/12時間(人吉基準点)

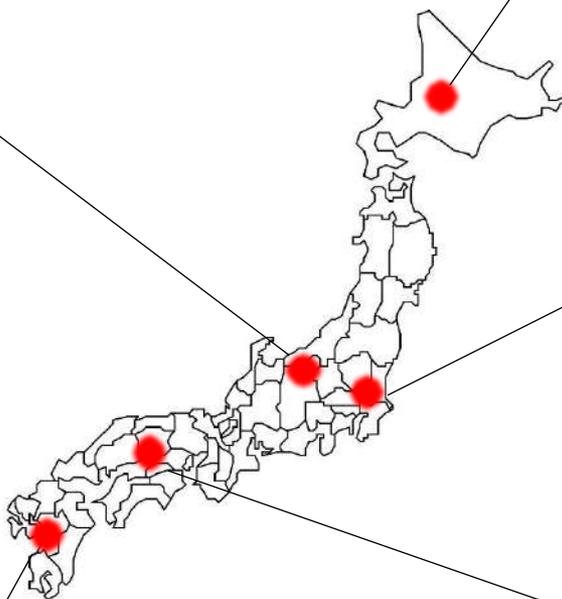
死者:84名

※国土交通省 九州地方整備局 球磨川水害伝承記



平成28年(2016)台風による豪雨

4つの台風の上陸・接近による全道各地での記録的大雨が発生するとともに、前例のない広域な被害(氾濫, 橋脚の流出, 農業被害)が生じた。



251mm/3日(三股観測所)

死者:28名

※気象庁 台風第7号、第11号、第9号、第10号及び前線による大雨・暴風 平成28(2016)年8月16日～8月31日(速報)



平成27年関東・東北豪雨(2015)

鬼怒川水系に線状降水帯による降水が集中し、鬼怒川が決壊した。

551mm/24時間(五十里観測所)

死者:8名

※気象庁災害時気象報告 平成27年12月4日



降雨量:270mm/2日(倉敷観測所)

死者:237名

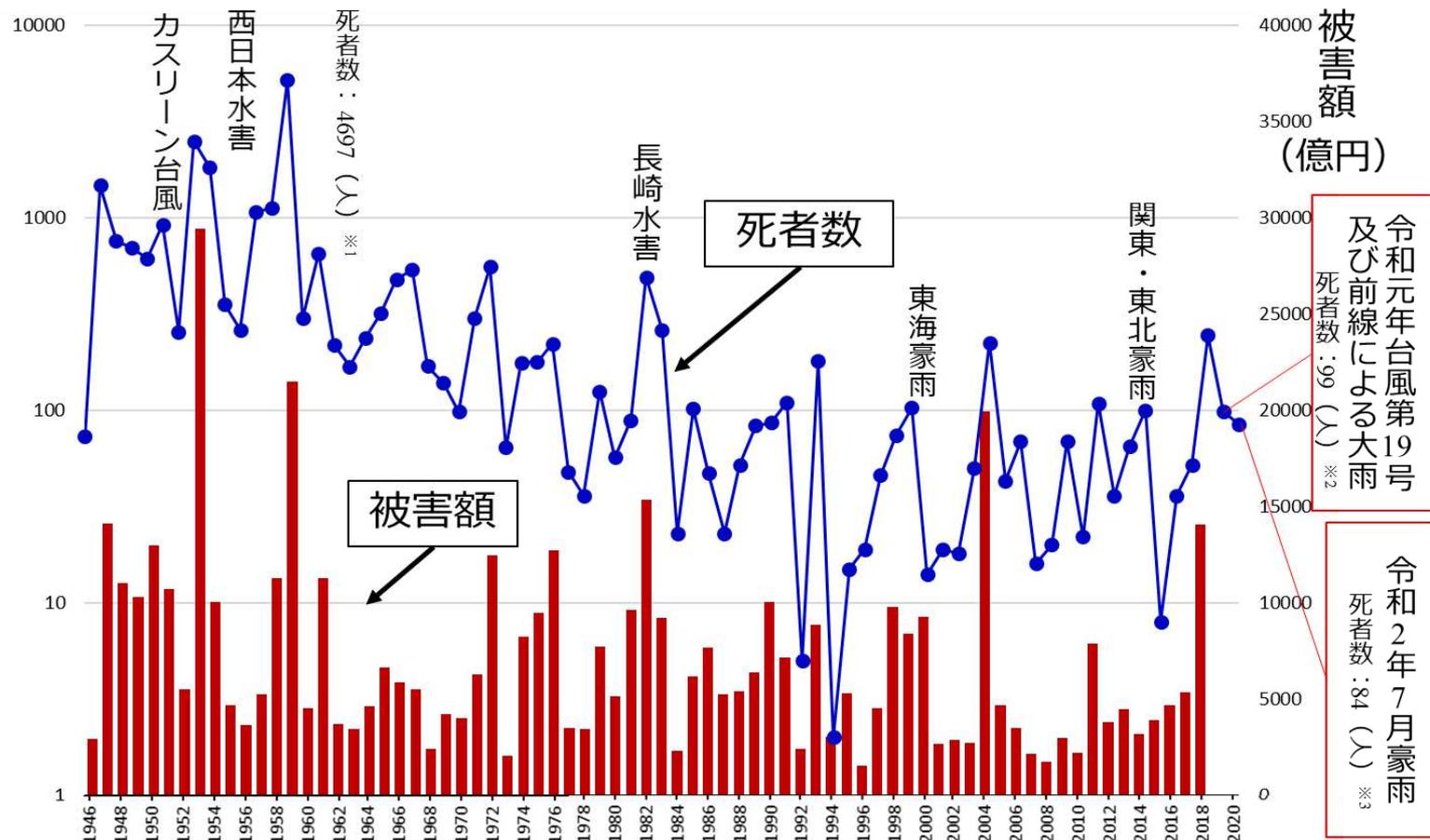
※気象庁 平成30年7月豪雨(前線及び台風第7号による大雨等) 平成30年(2018年)6月28～7月8日
※内閣府 防災情報のページ令和元年版防災白書 特集第1章第1節1-1平成30年7月豪雨(西日本豪雨)災害



平成30年7月西日本豪雨(2018)

台風と梅雨前線の影響により、西日本を中心に多くの地域で河川の氾濫や土砂災害が発生した。

背景：水害による死者数と水害被害額の関係



注) 死者数は、水害・土砂災害による合計値であり、各年の水害被害額は、2005年価格に実質化したものである。また、2019年度と2020年度の項目にはそれぞれ、「令和元年台風第19号及び前線による大雨」および「令和2年7月豪雨」に伴う死者数のみを記入した。

※1消防白書より

※2消防庁災害対策本部：令和元年台風第19号及び前線による大雨による被害及び消防機関等の対応状況（第63報）

※3内閣府 防災情報のページ：令和2年7月豪雨による被害状況等について（11月2日14:00現在）

目的

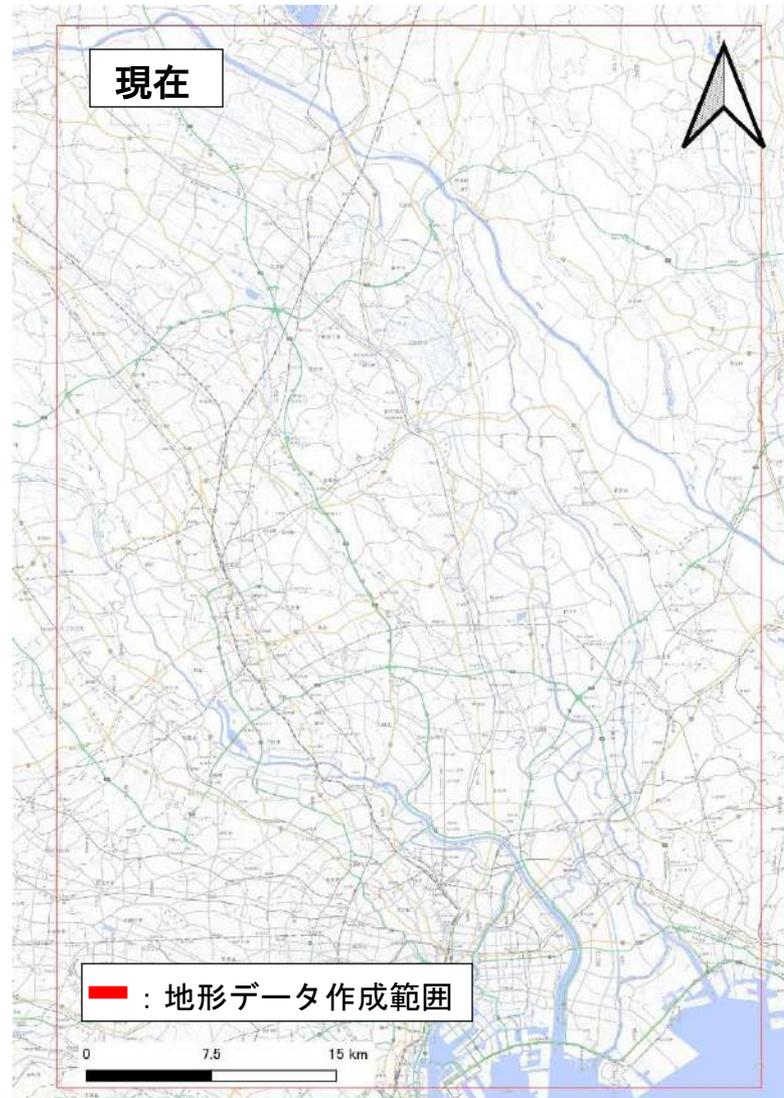
- ・我が国の治水政策を評価することを目標とし、各時代における標高データから関東広域での氾濫計算を実施する。

○実施内容

1. 各時代における標高データの作成およびその自動化手法の検討
 - ・迅速図(明治時代1880年代)からの標高データの作成
 - ・空中写真(1970年代)からの標高データの作成
2. 作成した各時代における標高データの評価
3. 作成した地形データをもとにした氾濫解析の実施による過去と現在の氾濫流の比較

対象範囲

対象範囲：関東平野(よこ40km×たて65km)



数値標高モデルの作成手法

教師データ

	①マップデジタイズ	②ステレオマッチング	③航空レーザ計測
手法の概要	スキャンした地形図データから等高線、標高値を取得する手法	オーバーラップした空中写真を使用して、対応する像を画像の濃度分布などの情報を指標に高さを取得する手法	航空機から地上に向けてレーザ光を照射し、反射して戻ってくる時間差で地物の高さを取得する手法
使用データ	地形図	空中写真	レーザデータ
成果データ	DTM(数値地形モデル)	DSM(数値表層モデル)	DTM、DSM
備考			2000年頃から普及し、現在最も主流の作成手法

参考「盛土地形データ作成手法の検討」国土地理院

2000年以前の数値標高モデルを作成するのは①もしくは②の手法に限定

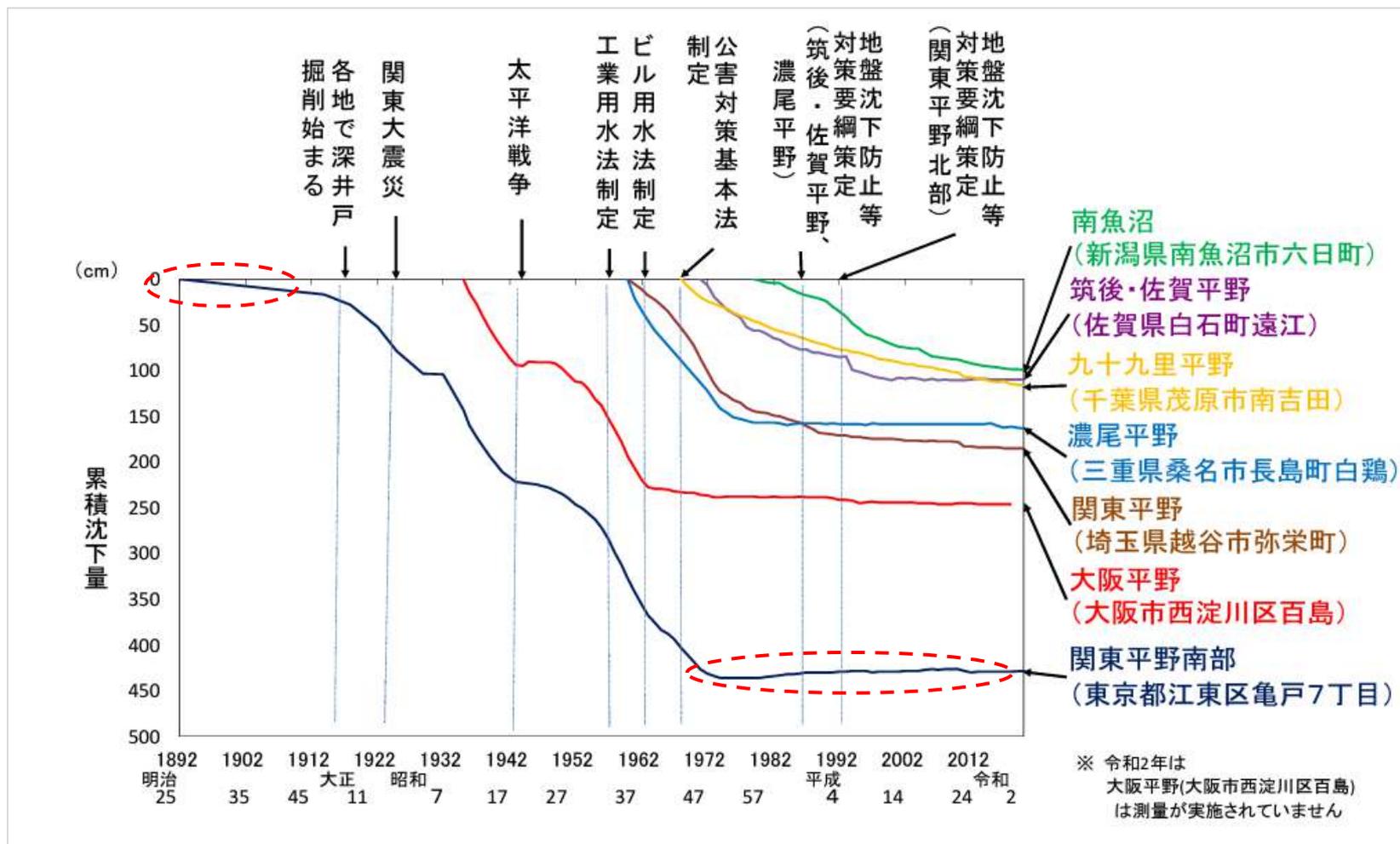
各手法の標高精度

	①マップデジタイズ	②ステレオマッチング	③航空レーザ計測
標高精度 (標準偏差)	精度5.0m以内 (1/25,000地形図の等高線を使用した場合)	精度0.7m以内 (地上画素寸法20cmの数値写真を使用した場合)	精度0.3m以内
水平位置精度	記載なし (基となる等高線データの精度に依存)	精度1.0m以内	精度1.0m以内 (基となる計測点の水平位置精度)
備考	国土地理院が公開 (DEM10B)	国土地理院が公開 (DEM5B)	国土地理院が公開 (DEM5A)

参考：国土地理院「<https://www.gsi.go.jp/kiban/faq.html#2-1>」

※標高精度は測量精度に依存するものであり、数値はあくまでも目安

対象時期の設定



参考「令和2年度全国の地盤沈下地域の概況」環境省

対象範囲を網羅する古地図の整備状況

元号	西暦	①マップデジタイズ			②ステレオマッチング
		関東平野迅速測図 (2万分の1)	地形図 (2.5万分の1)	地形図 (5万分の1)	写真地図 (8千分の1)
明治13	1880	1880~1886			
明治18	1885				
明治23	1890				
明治28	1895				
明治33	1900				
明治38	1905				
明治43	1910				
大正4	1915				
大正9	1920				
大正14	1925		1927~1930	1928~1929	
昭和5	1930				
昭和10	1935				
昭和15	1940				
昭和20	1945				
昭和25	1950		1952~1959	1952~1953	
昭和30	1955				
昭和35	1960				
昭和40	1965		1965~1968		
昭和45	1970		1970~1973		1974~1975
昭和50	1975		1979~1982		
昭和55	1980		1984~1987	1982~1986	1984~1986
昭和60	1985				1989~1990
平成2	1990		1993~1995		
平成7	1995				

 : DEM作成対象

赤字：一部空白域あり。5万分の1地形図で補間は可能。

迅速測図とは

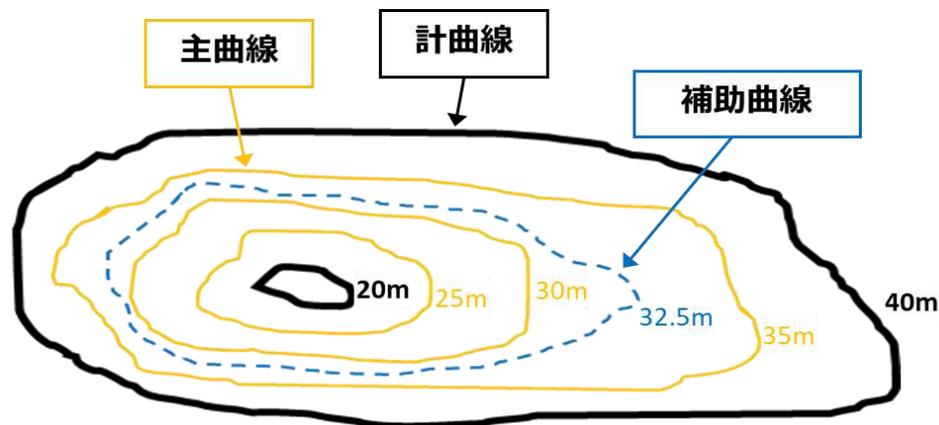
- 1880年代、関東平野を対象として国内で初めて近代的な測量技術（平板測量）を駆使して作られた地形表現図
- 等高線と基準点により当時の地形が表現されている。



地図情報レベルと等高線の関係

地図情報レベル	等高線間隔		
	主曲線	計曲線	補助曲線
2,500分の1	2m	10m	1m
20,000分の1	5m	20m	2.5m
25,000分の1	10m	50m	5m
50,000分の1	20m	100m	10m

迅速図



① マップデジタルイズ

マップデジタイズによるDTM作成の手順

等高線・基準点の標高値抽出



マップデジタイズ



TIN（不整三角網）の作成

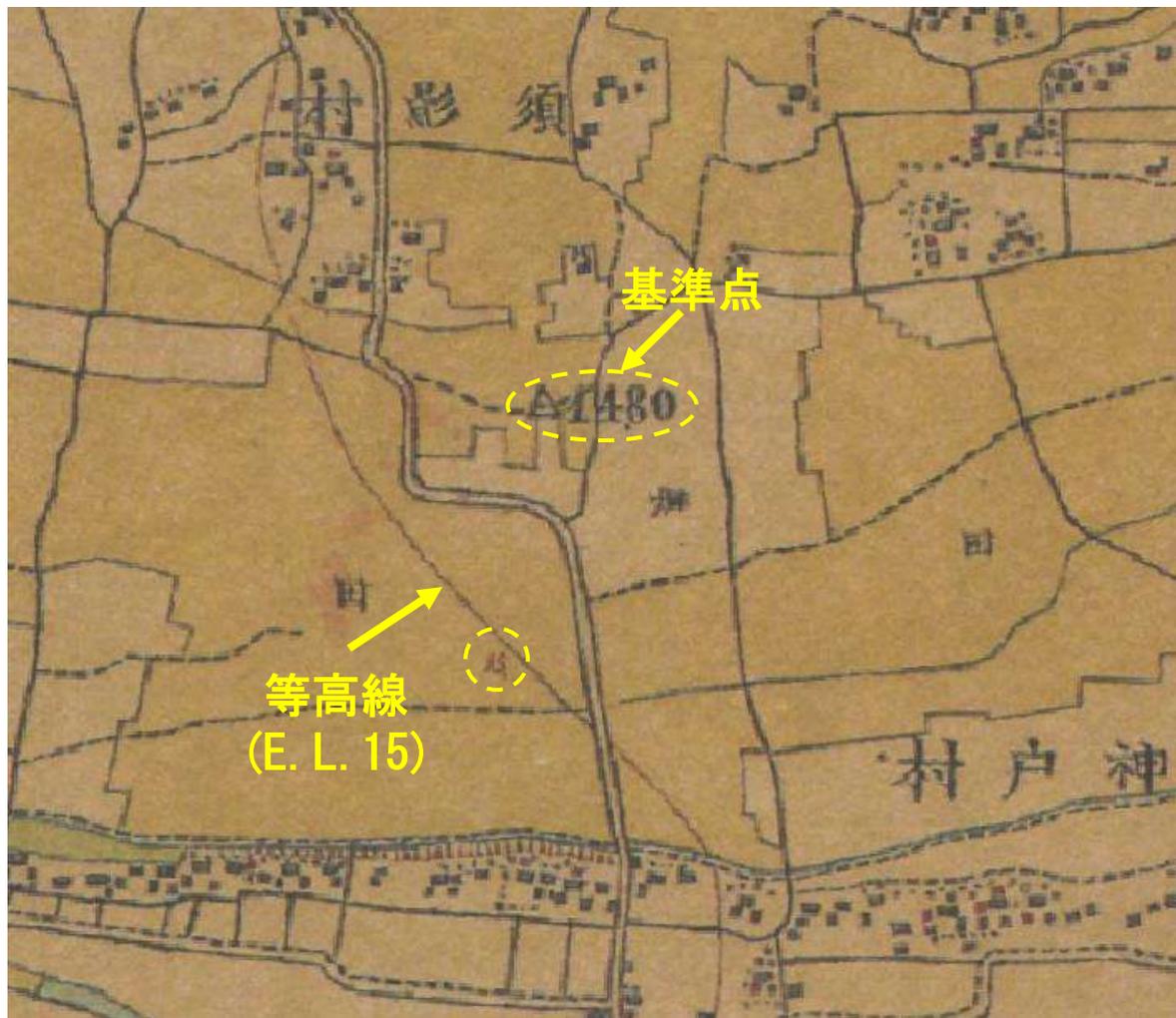


グリッドデータの作成



DTM（数値地形モデル）の作成

マップデジタイズによるDTM作成の手順



等高線・基準点の標高値抽出

マップデジタイズ

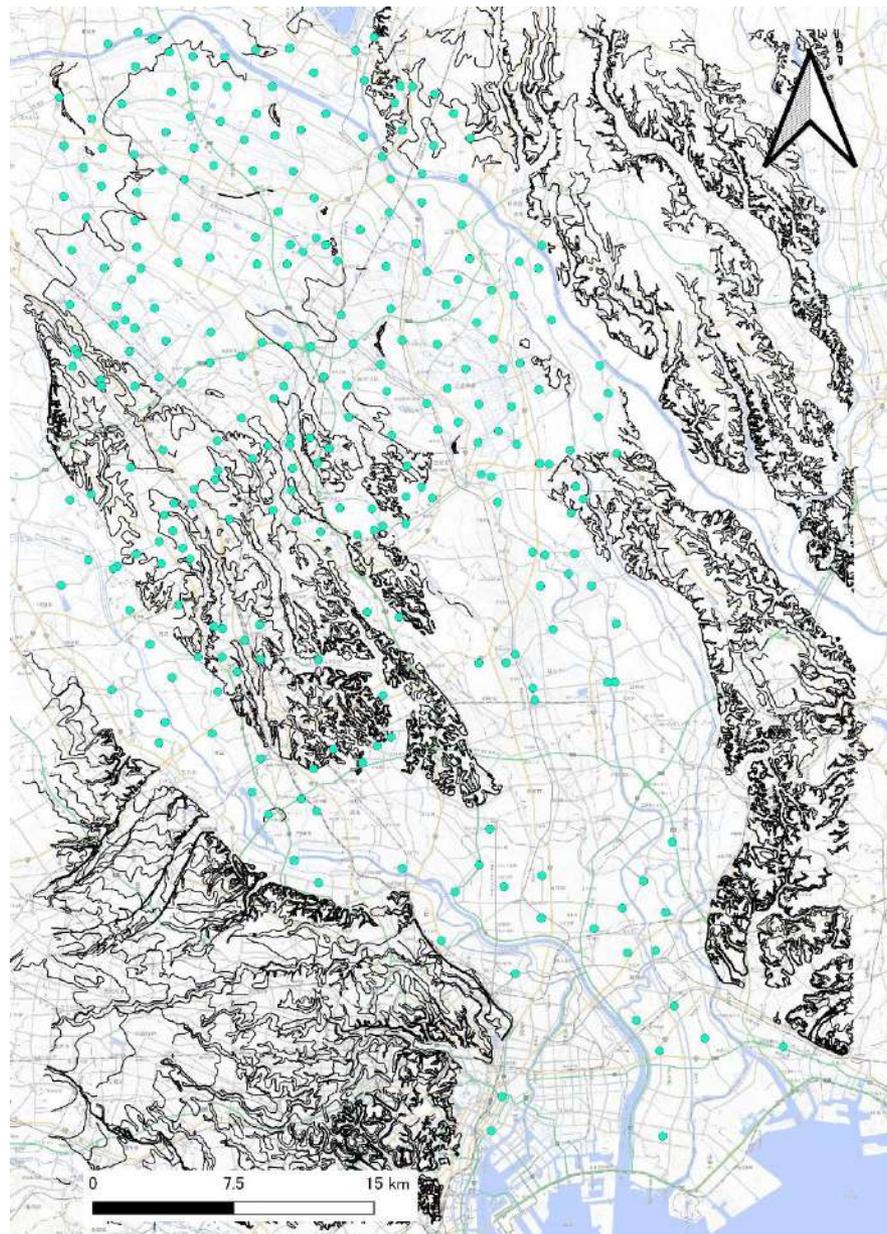
TIN (不整三角網) の作成

グリッドデータの作成

DTM (数値地形モデル) の作成

迅速図に記載の等高線(整数)および基準点(小数点第2位)を抽出

マップデジタイズによるDTM作成の手順



等高線・基準点の標高値抽出

マップデジタイズ

TIN（不整三角網）の作成

グリッドデータの作成

DTM（数値地形モデル）の作成

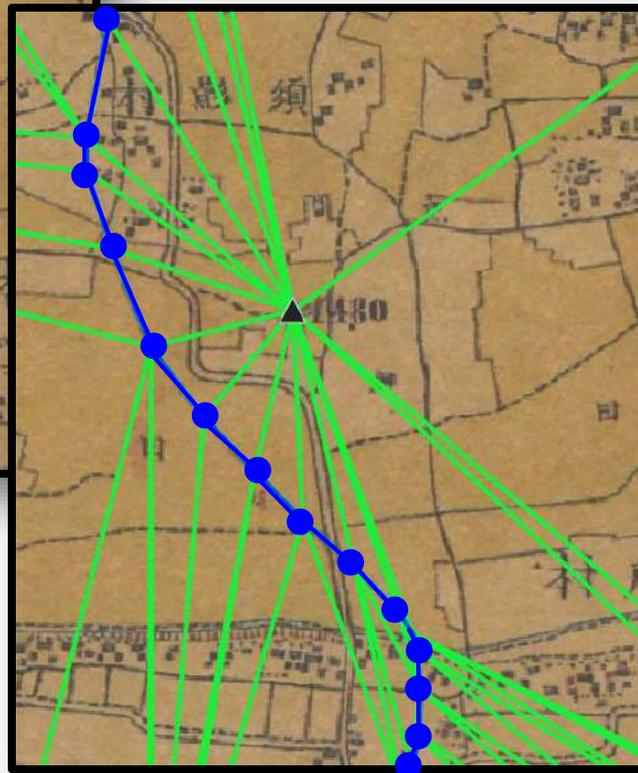
等高線総延長 : 6,500km
基準点の数 : 267点 ⇒ (1点/10km²)

— : デジタイズした等高線

● : デジタイズした基準点

マップデジタルイズによるDTM作成の手順

等高線をデジタル化した時のノード点(青点)と基準点を結び、TIN(緑線)を作成



- : 等高線のノード点
- ▲ : 基準点
- : TIN(不整三角網)

等高線・基準点の標高値抽出



マップデジタルイズ



TIN (不整三角網) の作成

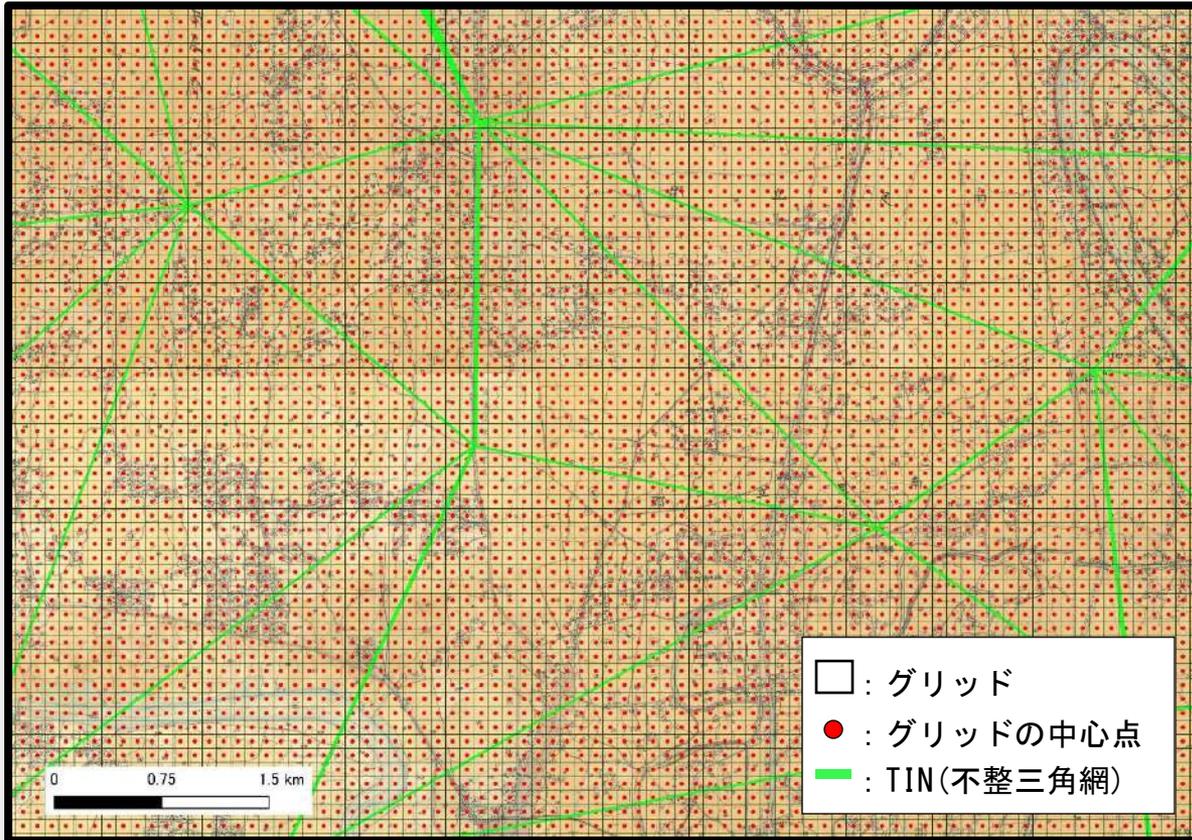


グリッドデータの作成



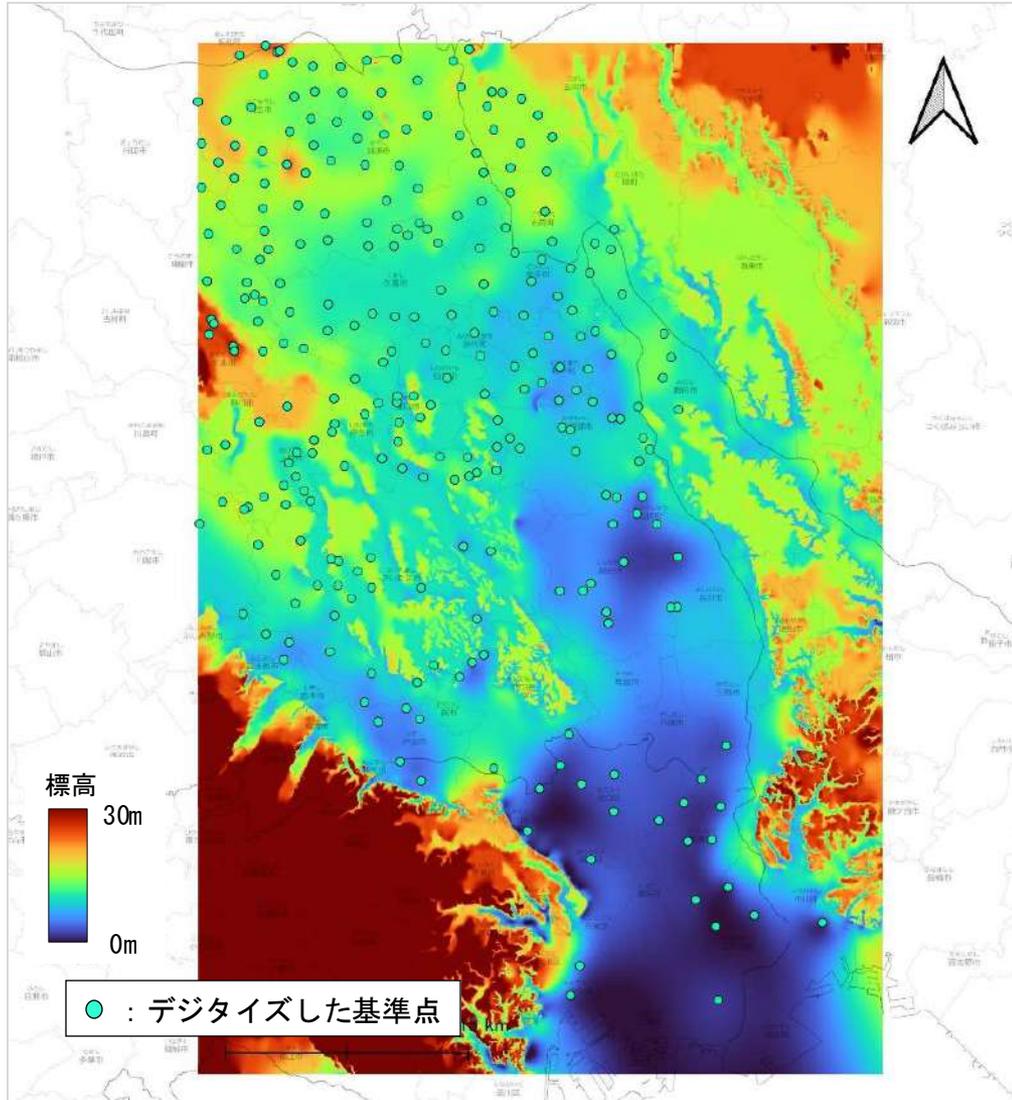
DTM (数値地形モデル) の作成

マップデジタイズによるDTM作成の手順



グリッドデータにより、同じ地点において他データとの比較が可能

マップデジタイズによるDTM作成の手順



等高線・基準点の標高値抽出



マップデジタイズ



TIN (不整三角網) の作成

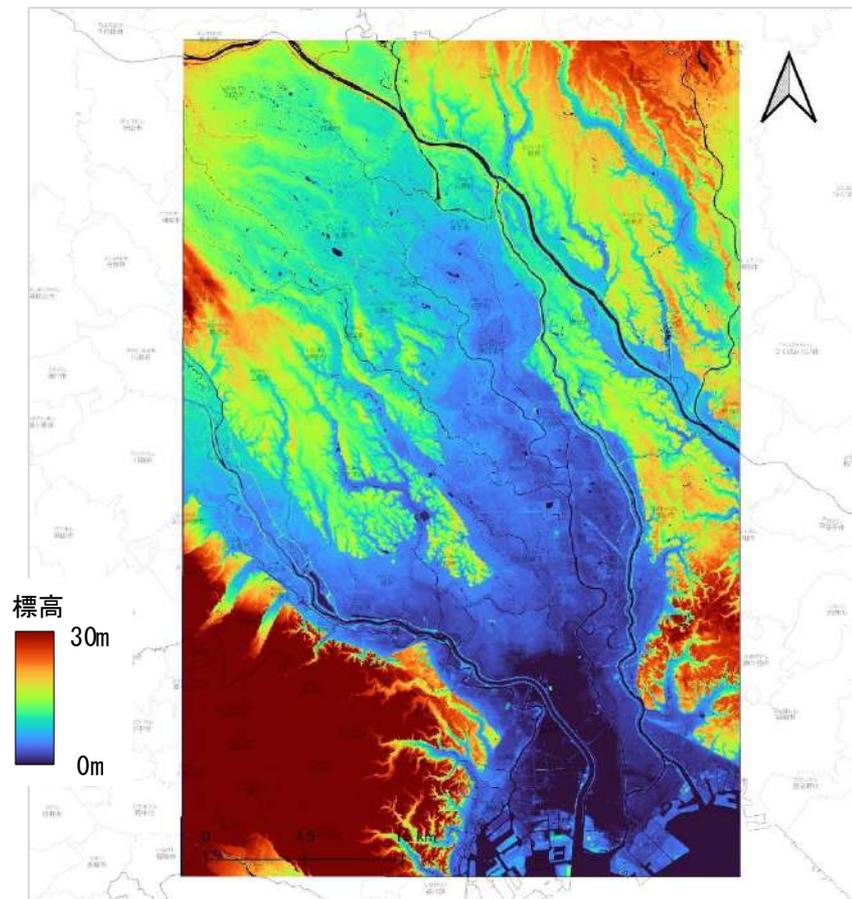


グリッドデータの作成

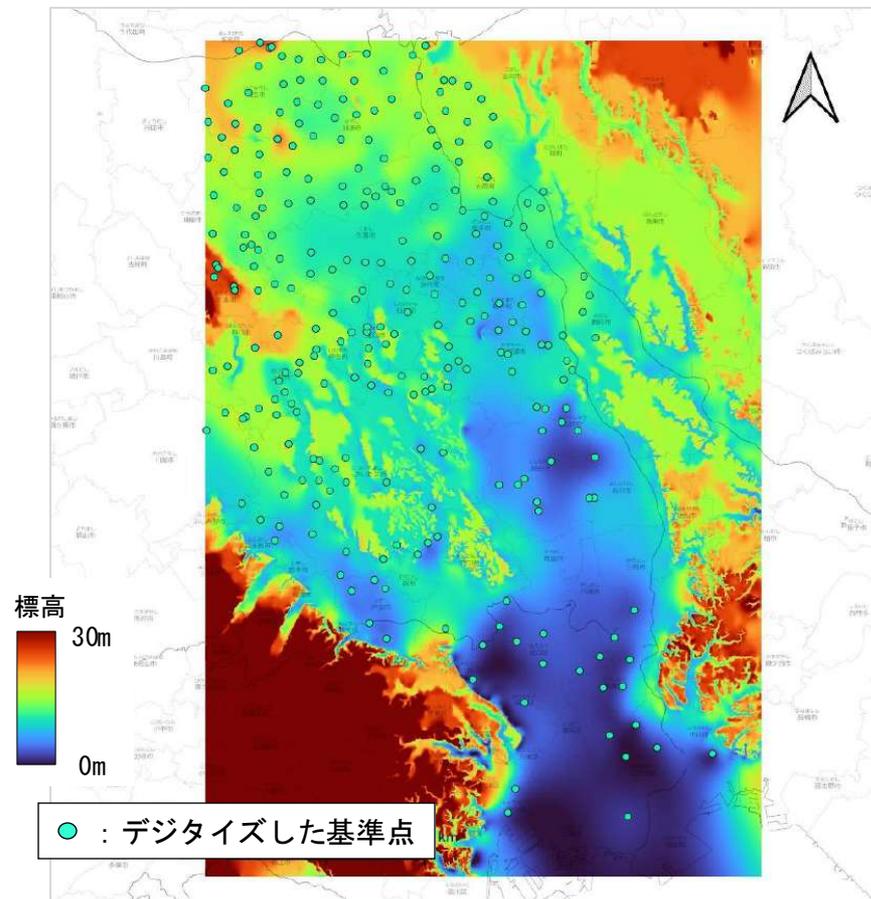


DTM (数値地形モデル) の作成

迅速図から作成したDEMと現況DEMの比較

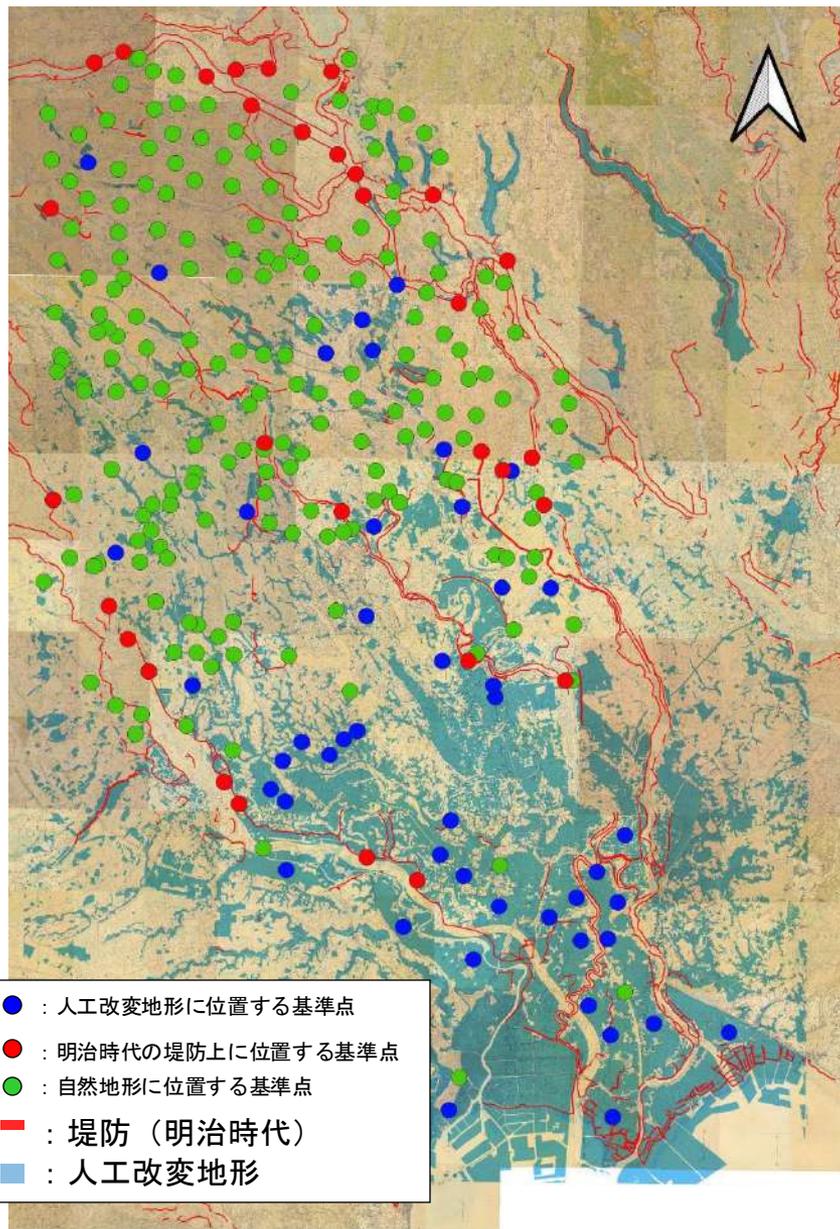


現況の5mDEM



迅速図(1880年代)の等高線、基準点をもとに作成した地形データ

地盤高の比較



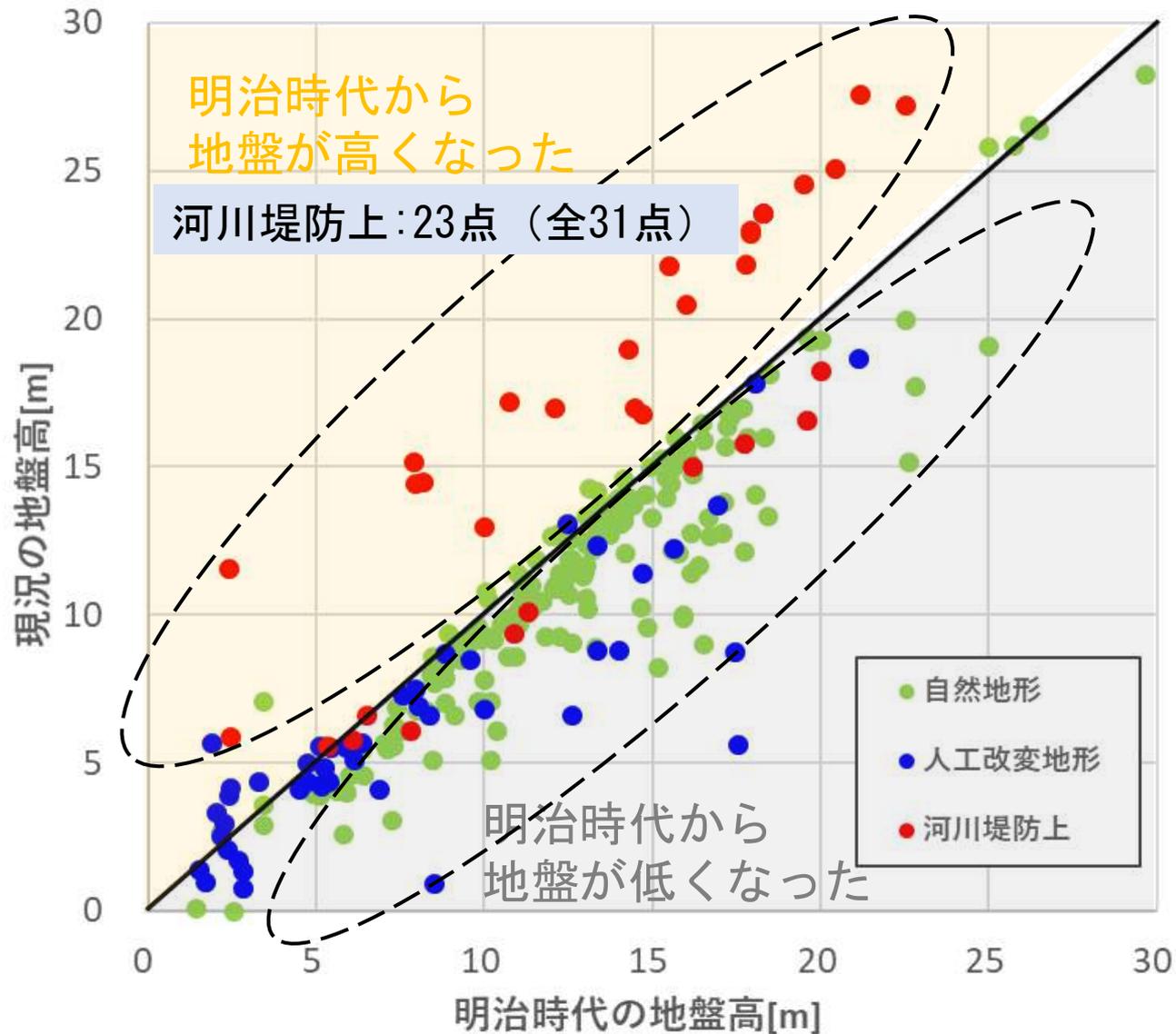
<内容>

- ・ 対象範囲は関東平野 (40km × 65km)
 - ・ 基準点 全267点
 - ・ 人工改変地形 (①)
 - ・ 明治時代の堤防 (②)
 - ・ ①、②以外を自然地形 (③)
- 人工的な地盤変化

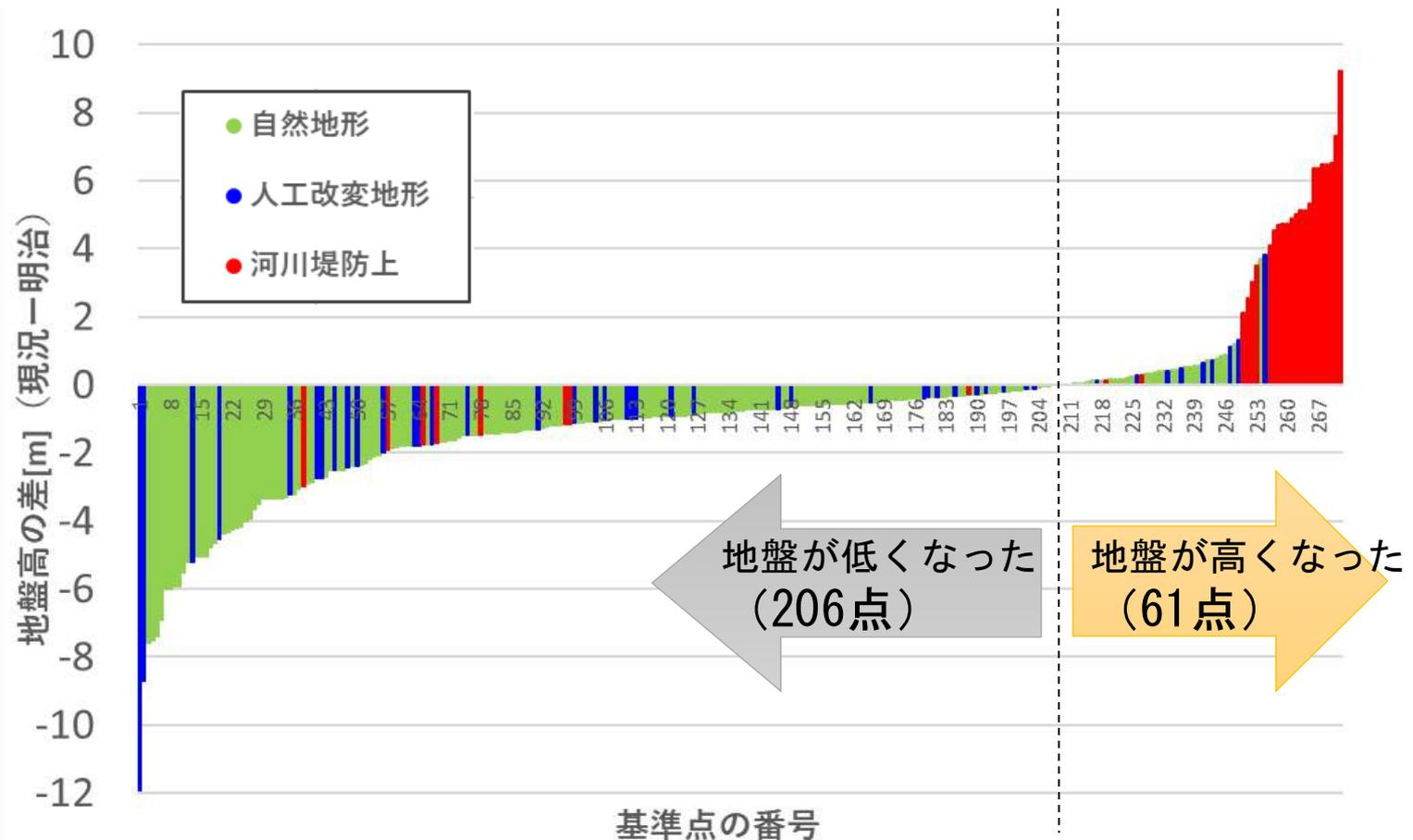
①～③に位置する基準点を分けた後、5mDEM (国土地理院公開) と差し引くことで地盤変化量を算出



明治時代と現況の地盤高の変化量



明治時代と現況の地盤高の変化量



人工改変地形の基準点 : 平均1.2m 低くなった
 自然地形の基準点 : 平均1.3m 低くなった
 河川堤防上の基準点 : 平均3.0m 高くなった

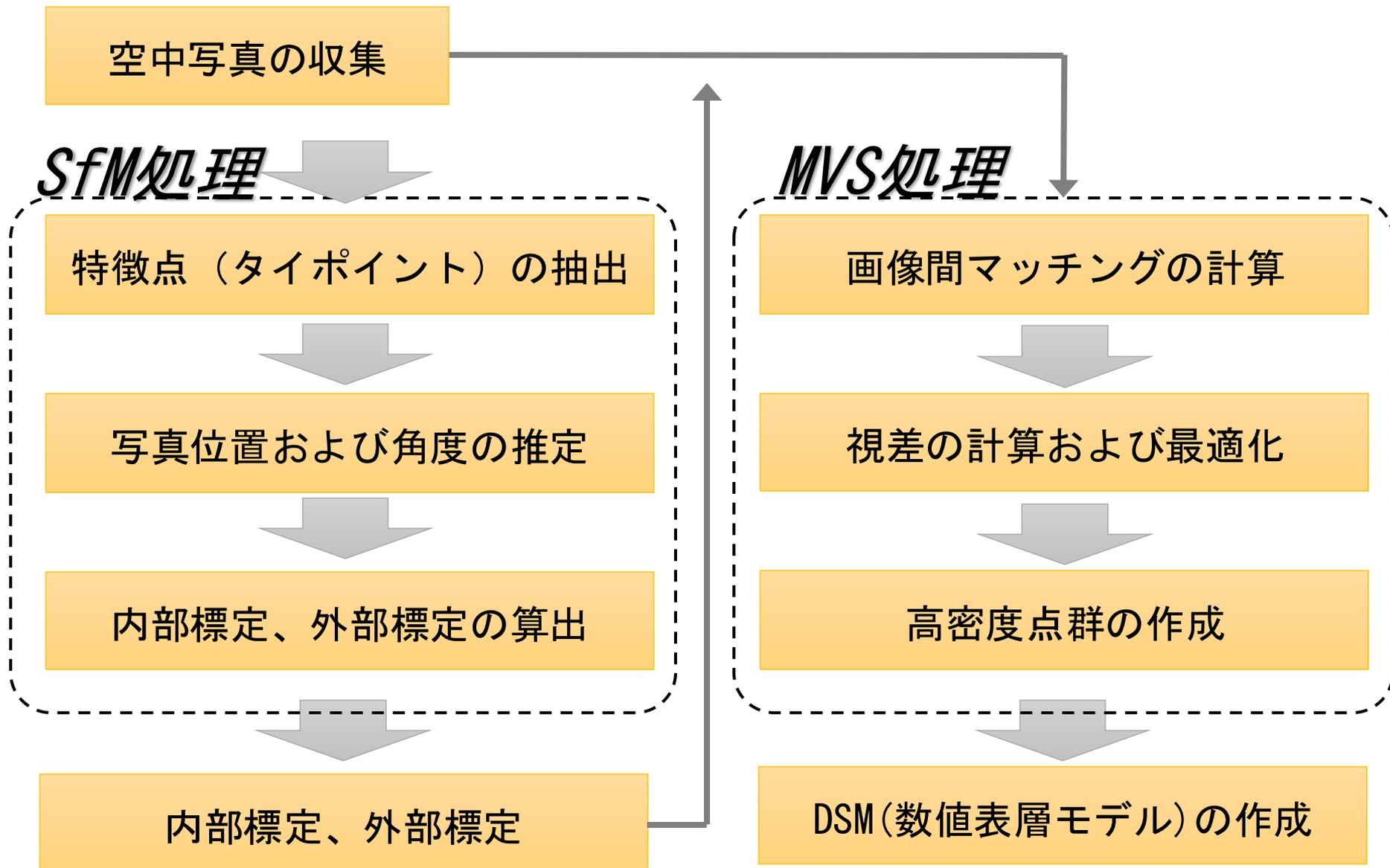
②ステレオマッチング

ステレオマッチングによる数値標高データの作成方法

ステレオ図化機を用いた判読

	①メッシュ法	②等高線/ブレークライン法 (=マップデジタイズ)	③自動標高値抽出 (SfM – MVS)
特徴	<p>長所) ▶メッシュ標高値を直接測定</p> <p>短所) ▶膨大な時間と労力 ▶陰影部の判読不可</p>	<p>長所) ▶メッシュ法で作成した標高データを補完し、より詳細なデータ作成が可能</p> <p>短所) ▶膨大な時間と労力 ▶陰影部の判読不可</p>	<p>長所) ▶自動処理のため効率的</p> <p>短所) ▶表層モデルしか取得できないため、人工構造物等を取り除く処理が必要 ▶画像の劣化状態に影響</p>
成果データ	DTM(数値地形モデル)	DTM(数値地形モデル)	DSM(数値表層モデル)
備考	現在は航空レーザー測量で直接DTMを取得するため、ステレオ図化機を用いた判読は行われていない。		

自動標高値抽出 (SfM-MVS) によるDSM作成の手順

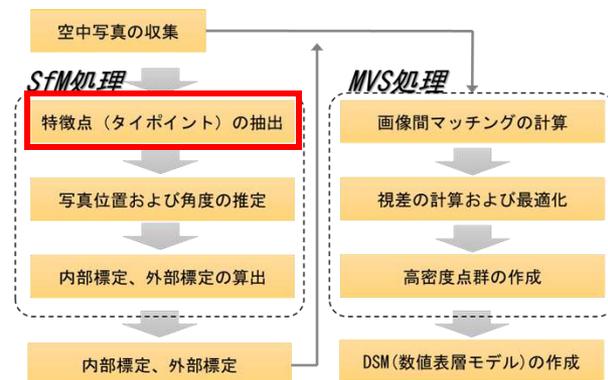


自動標高値抽出 (SfM-MVS) によるDSM作成の手順

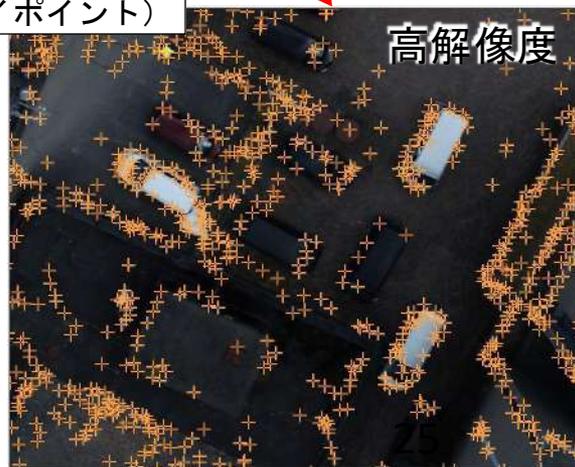
連続した写真間の
特徴点を抽出する



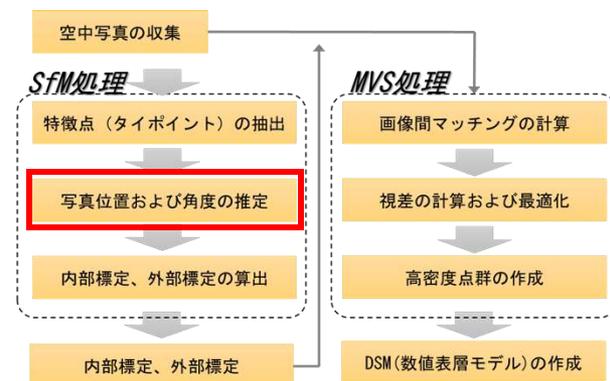
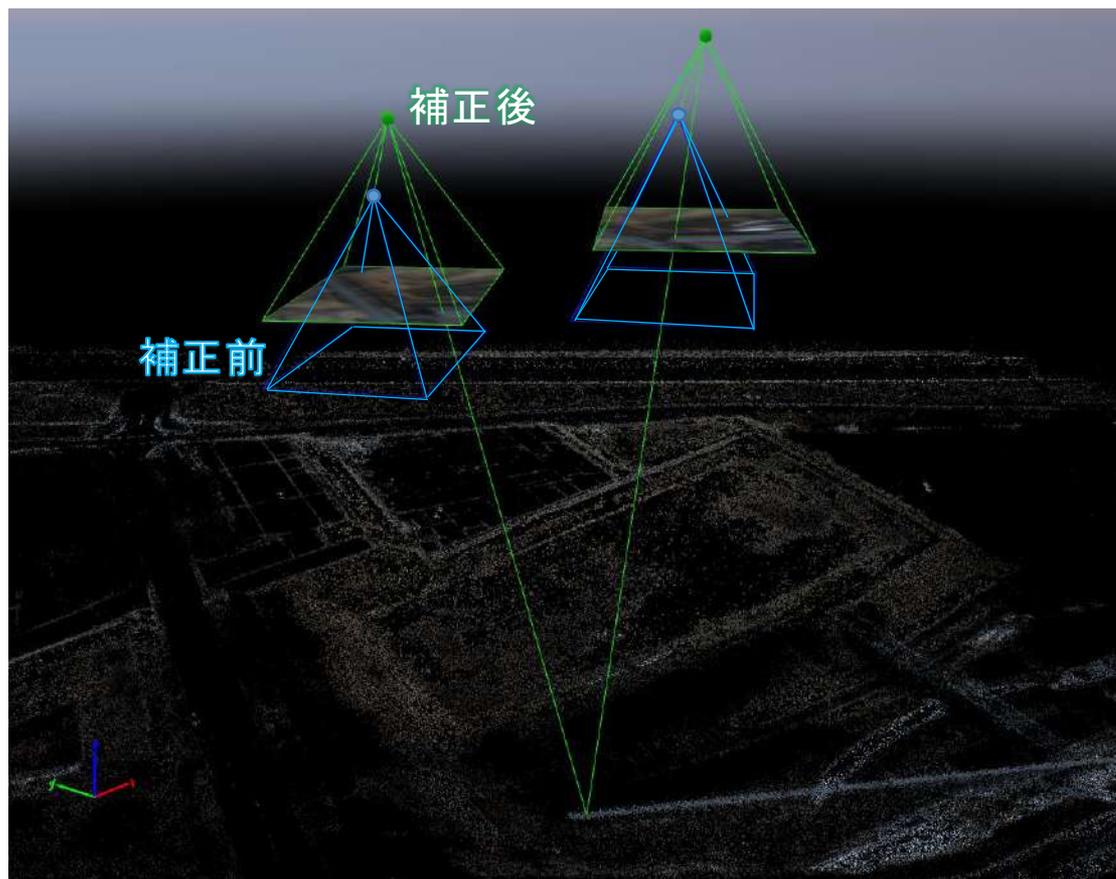
特徴点が多いほど、
標定精度は向上



✕ : 特徴点
(タイポイント)



自動標高値抽出 (SfM-MVS) によるDSM作成の手順



- : 撮影位置・角度 (補正前)
- : 撮影位置・角度 (補正後)

抽出した特徴点およびカメラの初期位置をもとに、バンドル調整を行う。その結果から内部標定、外部標定を決定していく。

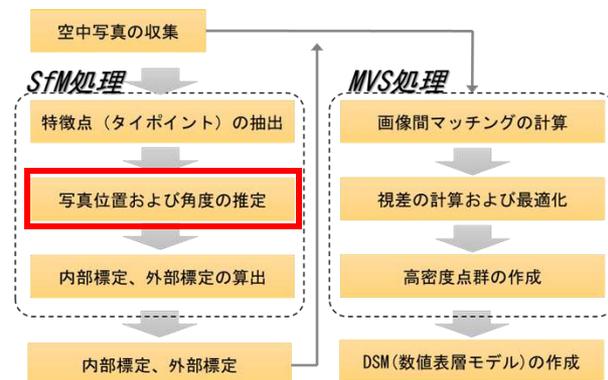
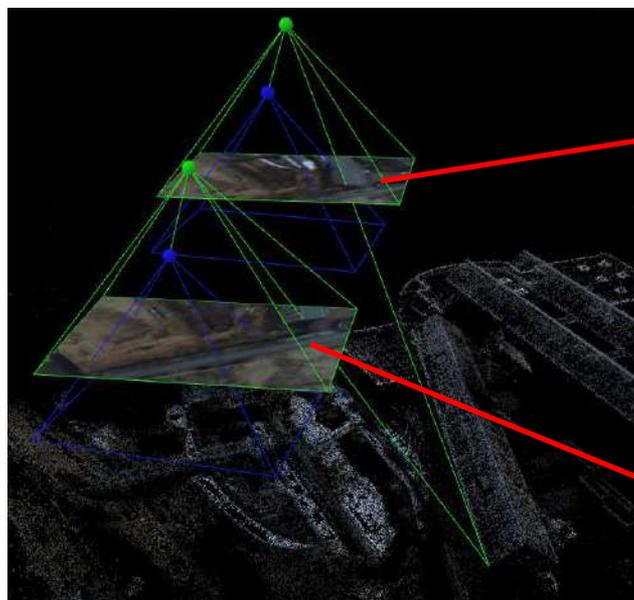
外部標定：撮影時のカメラの位置と傾き、写真中心の地上座標

内部標定：写真上の座標値と画面距離

自動標高値抽出 (SfM-MVS) によるDSM作成の手順

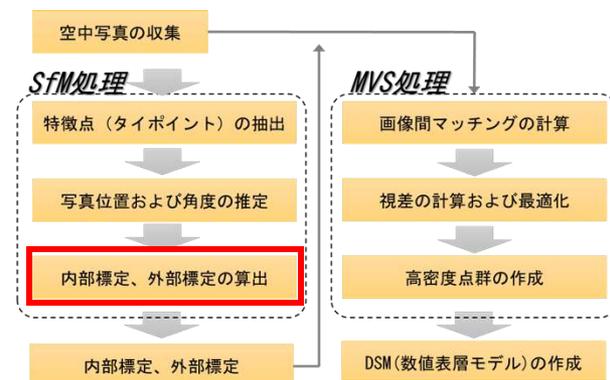
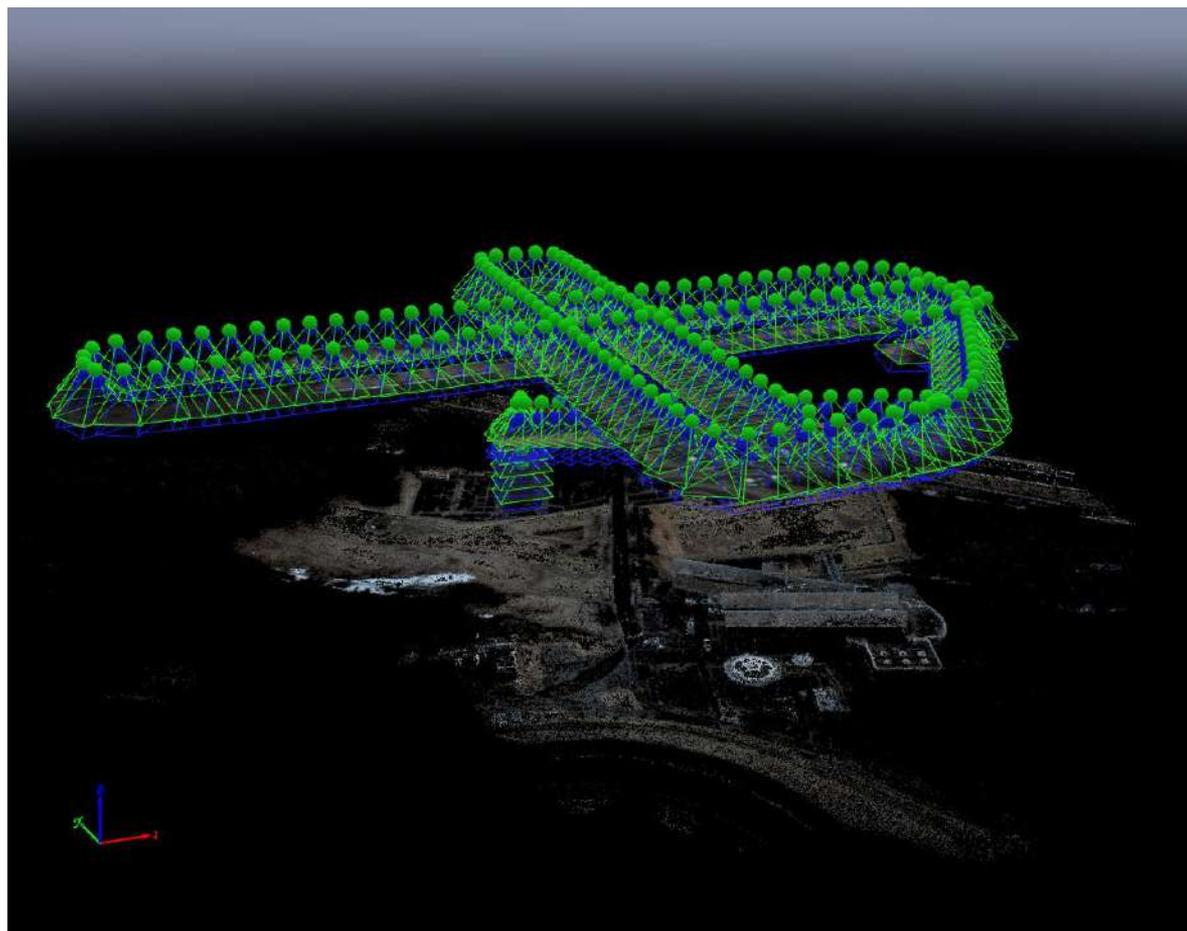
バンドル調整とは...

複数のカメラ位置より撮影された画像から、特徴点を抽出し、カメラと特徴点の位置関係が最も確からしくなる値を計算する方法。



特徴点の位置関係が画像間、および投影された座標間で誤差が最小になるよう調整

自動標高値抽出 (SfM-MVS) によるDSM作成の手順



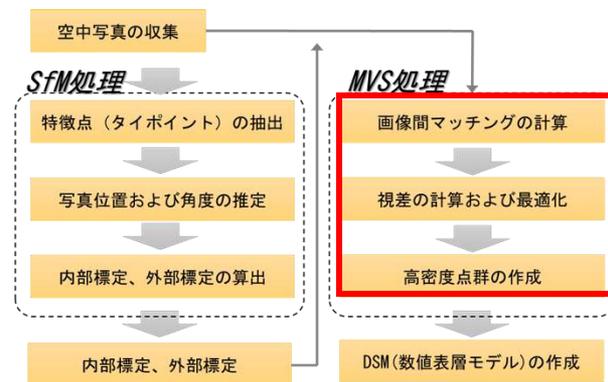
全ての画像間でバンドル調整を施し、内部標定と外部標定を求める

外部標定：撮影時のカメラの位置と傾き、写真中心の地上座標

内部標定：写真上の座標値と画面距離

自動標高値抽出 (SfM-MVS) によるDSM作成の手順

MVS処理とは、SfM処理で算定した内部標定、外部標定に基づき、より高密度な点群を生成
=SfM処理で位置合わせしたことで、写真間の特徴点がより多く抽出できる



自動標高値抽出 (SfM-MVS) によるDSM作成の手順



集めた空中写真 : 3, 538枚
(垂直写真のみ)

自動標高値抽出 (SfM-MVS) によるDSM作成の手順

地図情報レベルと写真地図から作成する数値地形モデルの精度

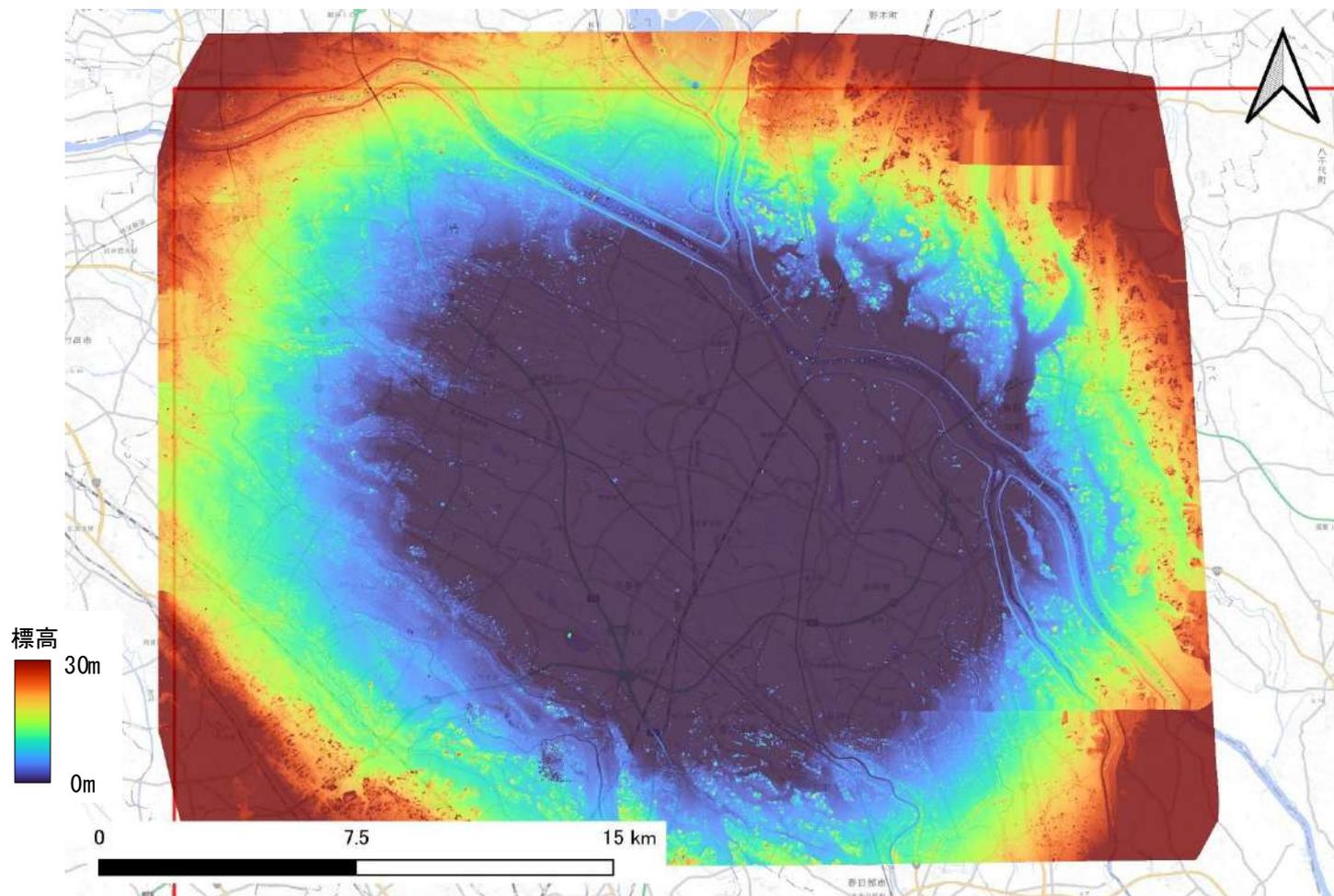
地図情報 レベル	地上画素寸法	撮影縮尺	数値地形モデル	
			水平方向	鉛直方向
500	0.1m 以内	1/3,000~1/4,000	5m 以内	0.5m 以内
1,000	0.2m 以内	1/6,000~1/8,000	10m 以内	0.5m 以内
2,500	0.4m 以内	1/10,000~1/12,500	25m 以内	1.0m 以内
5,000	0.8m 以内	1/20,000~1/25,000	50m 以内	2.5m 以内
10,000	1.0m 以内	1/30,000	50m 以内	5.0m 以内

参考「作業規定の準則」

本研究で用いた空中写真
(地上解像度0.5m)

※国土地理院が公開するステレオマッチングによるDEMは地上解像度0.2mの写真を使用

ステレオマッチングの結果（サンプルエリア）



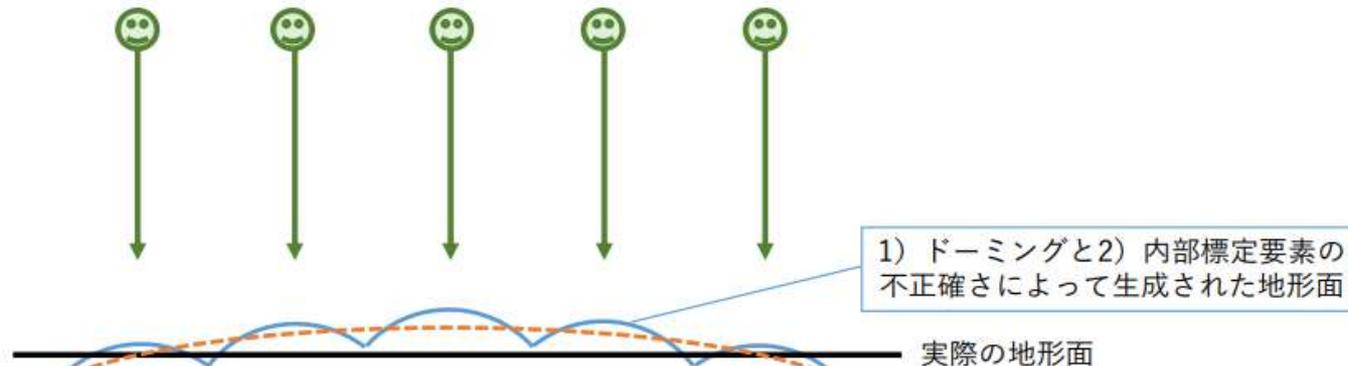
中心部の標高が低くなるディッピング現象が発生している
(中心部の標高が高くなる→ドーミング現象)

ステレオマッチングの結果（サンプルエリア）

撮影の方法：課題



垂直直下写真のみでSfM解析を行うと、特定の問題が生じる



- 1) **ドーミング**（程度の多少はあれ、必ず生じる）
 - 写真セットを垂直直下写真のみで構成すると生じる
- 2) **段差状**の地形面
 - 内部標定要素の推定精度が低いと生じる

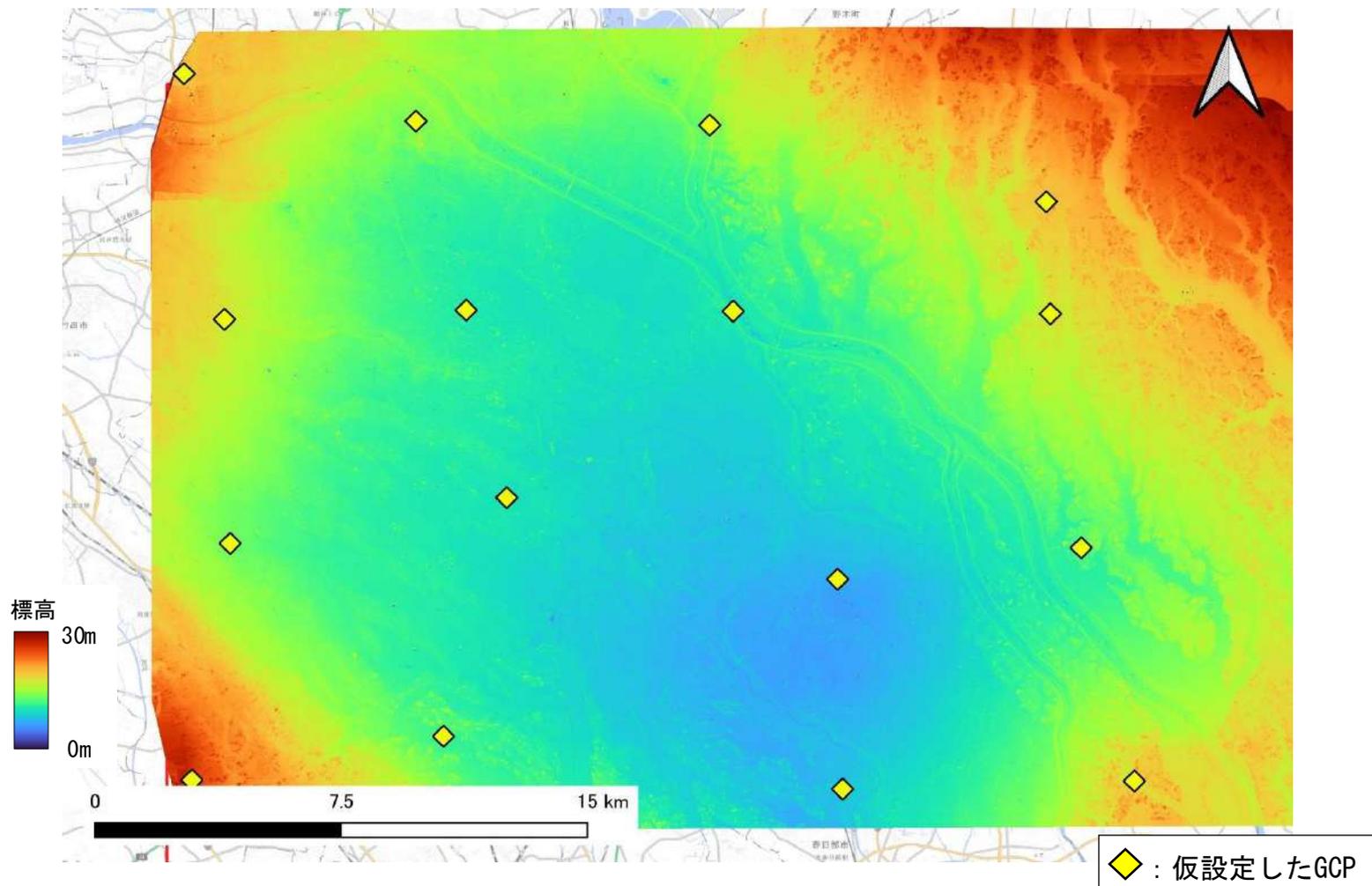
歪みの大きさ

- 数センチメートルから、時に数メートルに達する
- 二時期の差分（地形変化の計測等）を計算した時に顕著に可視化される

出典：防災科学研究所

- ドーミング対策) ①斜め写真を追加する ←入手不可
②GCP (Ground Control Point) を設置する

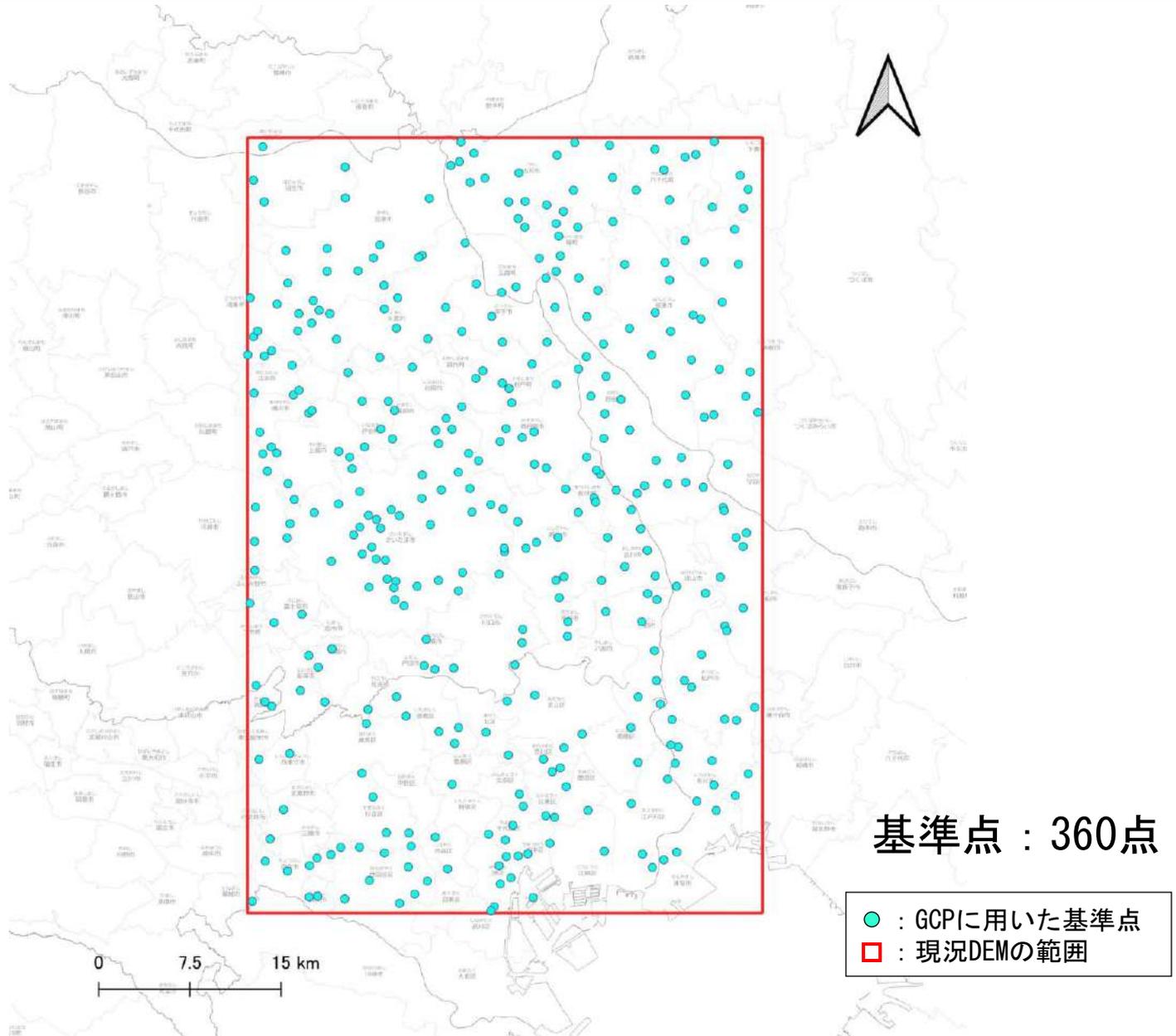
ステレオマッチングの結果（補正後サンプルエリア）



現況の5mDEMの標高値を用いてGCPを仮設定

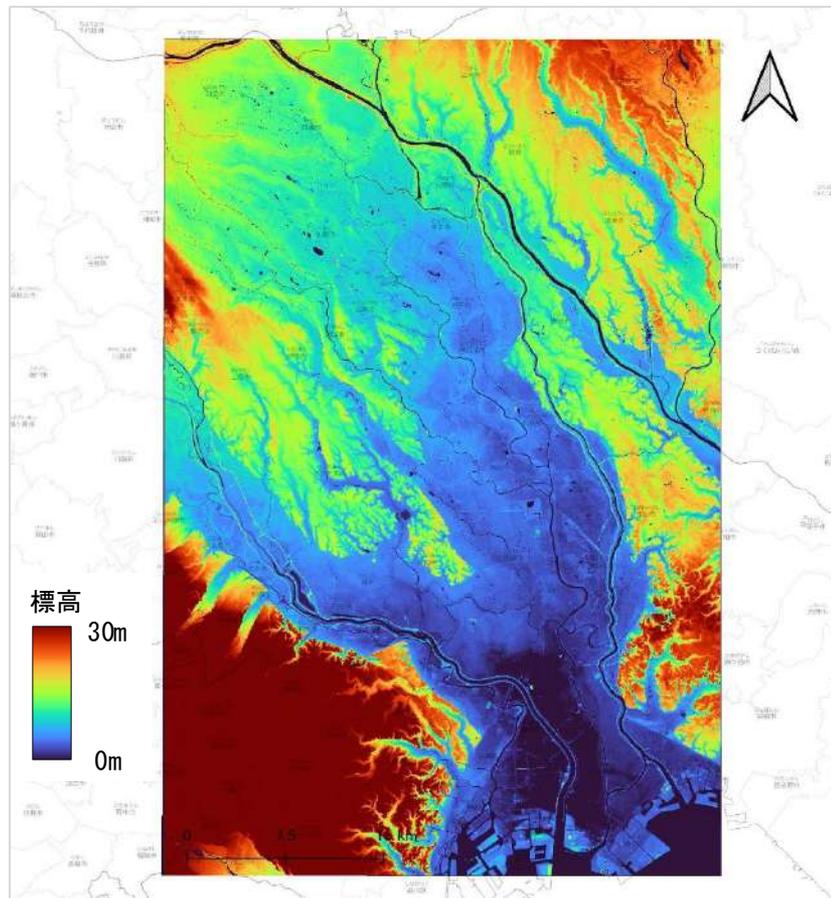
ディッシング現象の緩和

GCPとして用いる基準点

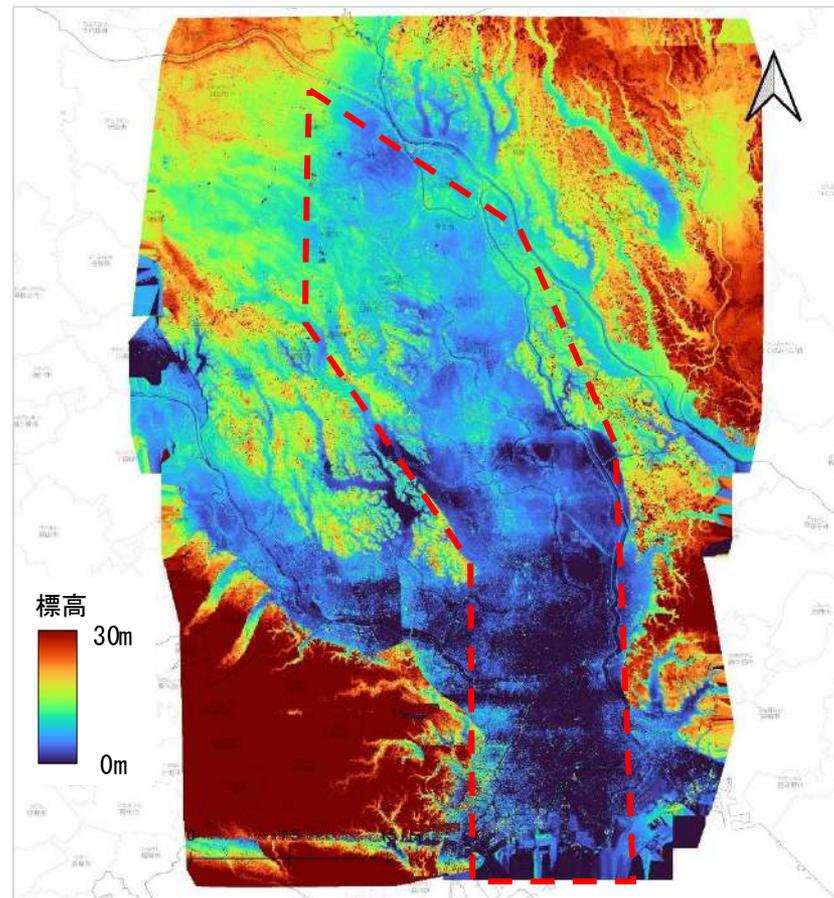


ステレオマッチングで作成したDSMと現況DEMの比較

現況の5mDEM

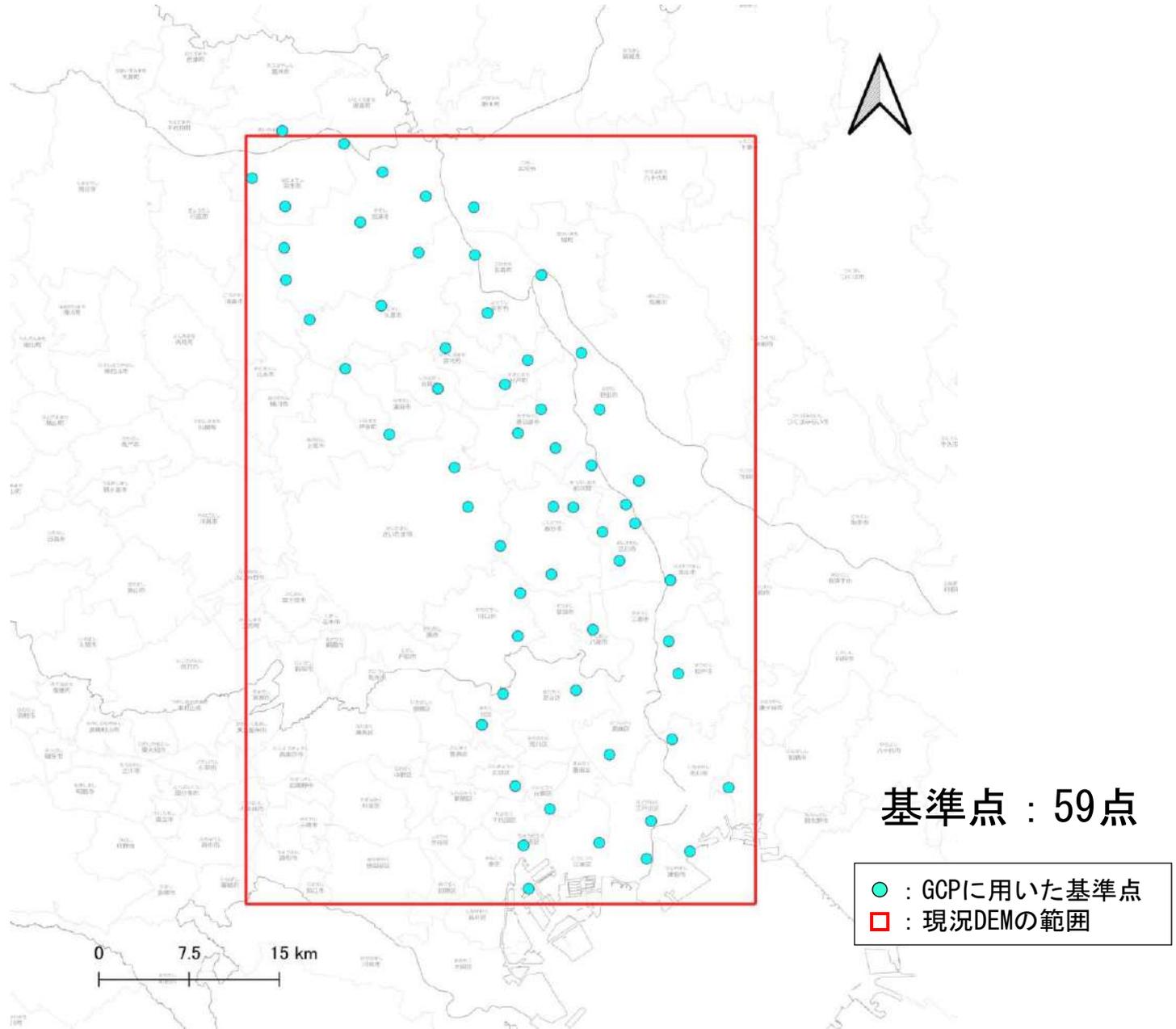


1970年代の空中写真を用いて作成したDSM

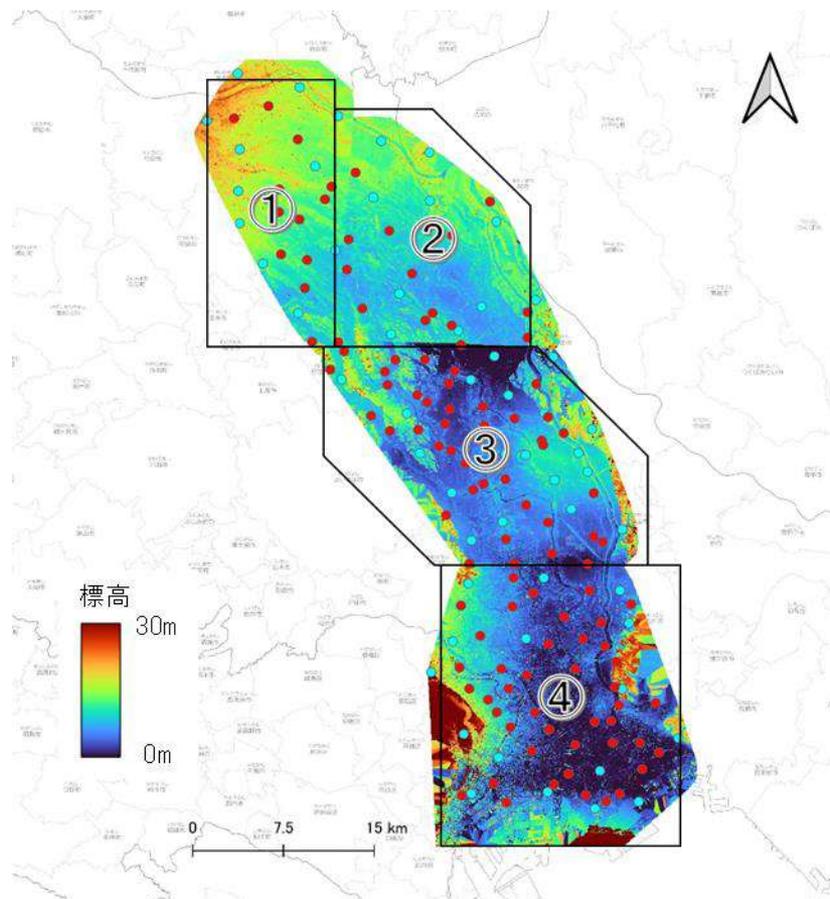


→ 氾濫解析に係る低平地に絞ってsfM-MVS処理を実施

GCPとして用いる基準点

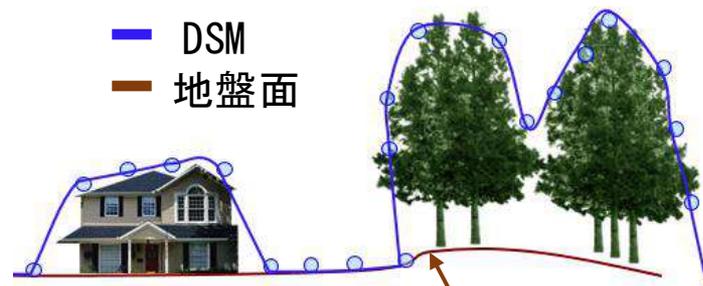


ステレオマッチングで作成したDSMの精度検証



<検証点について>

- DSM作成時にGCPとして使用していない
- 建物や樹木と被らない
→DSMと基準点(地盤)は単純な比較ができないため

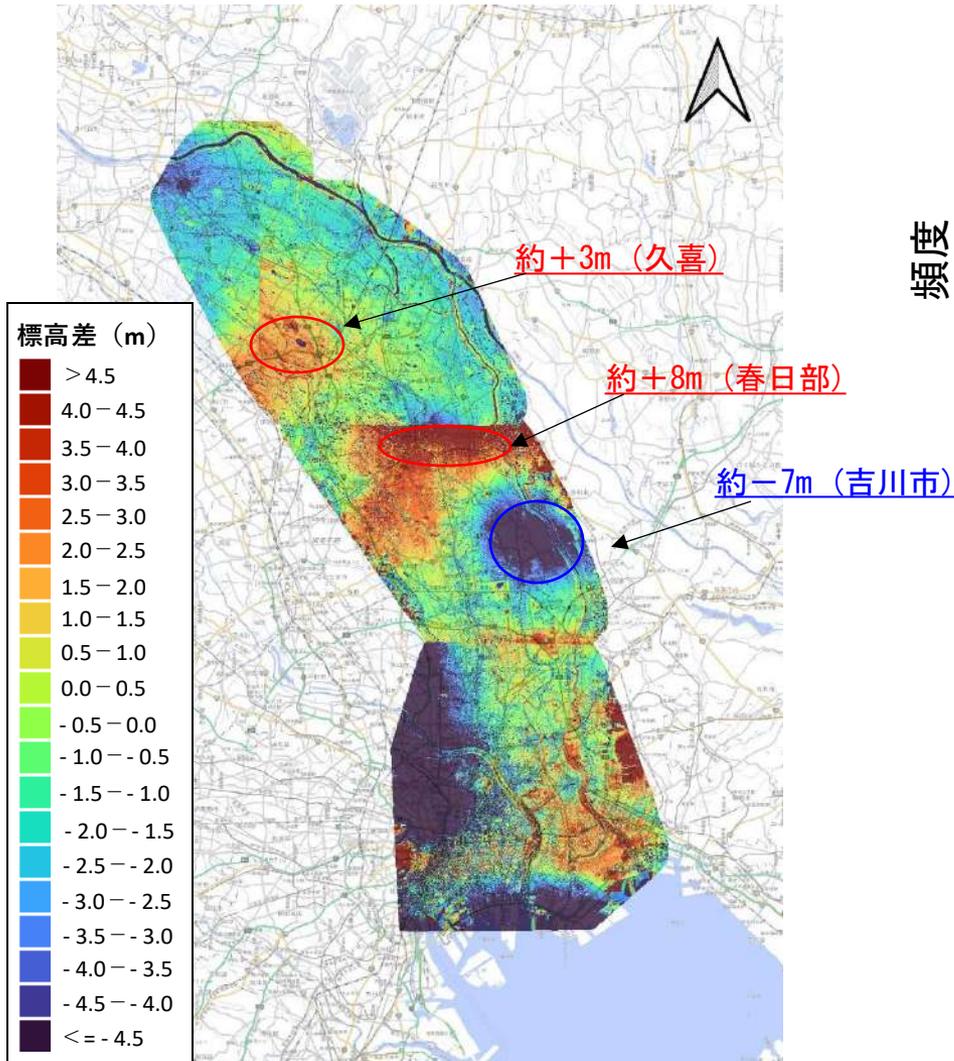


基準点は地盤面に設定されている

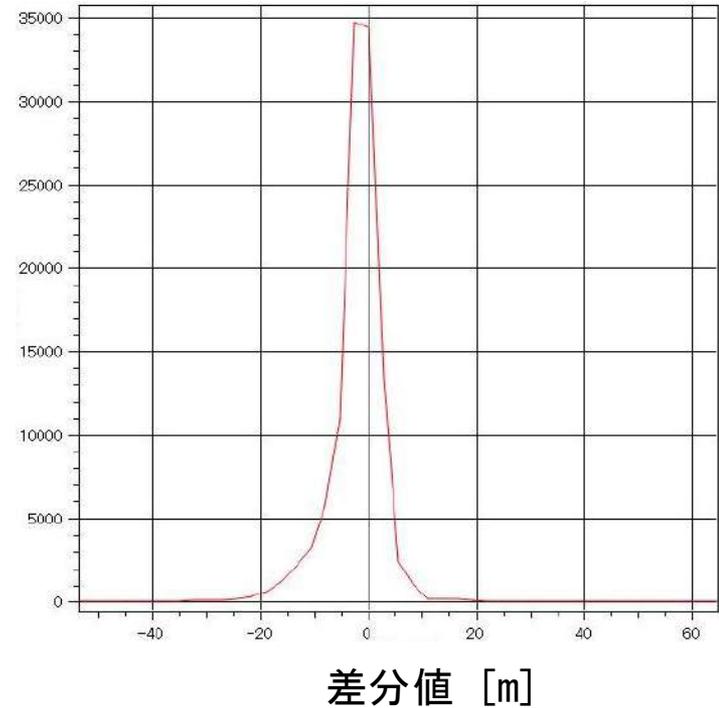
- : GCPに用いた基準点
- : 検証点(今昔マップより抽出)
- : 現況DEMの範囲

SfMで作成したDSM (GCP59点) と5mDEMの差分図

エリアごとの統合前



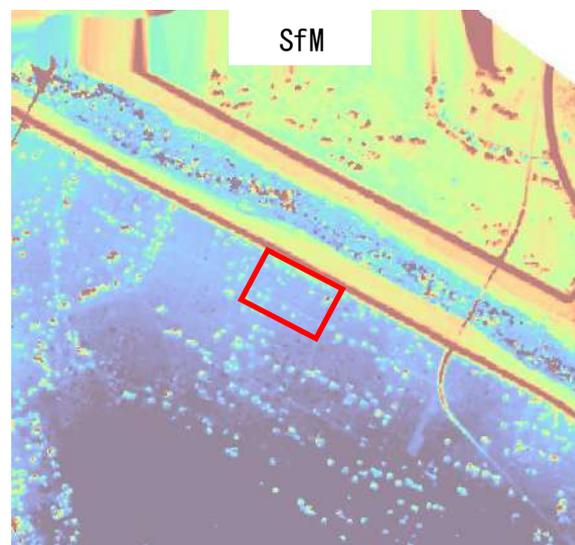
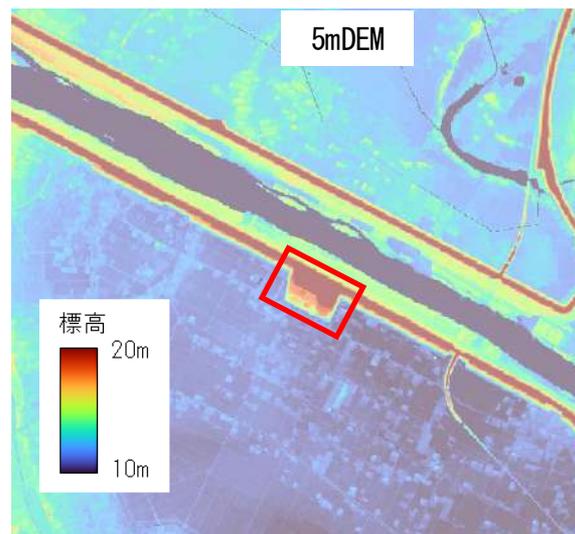
頻度



差分値 (5mDEM - 1970年代SfMのDSM) の
平均値と標準偏差

平均値	標準偏差
-5.97	- m

ステレオマッチング手法による構造物の抽出



過去になかった防災ステーションの建設をDEMによる変化で捉えられる
堤防の形状も捉えられることがわかる

作成した地形データを 基にした氾濫解析の実施

対象の洪水イベント

【対象洪水】

カスリーン台風（1947年）を参考

- ・ 決壊地点：利根川右岸（埼玉県加須市）
- ・ 決壊の幅：約350m

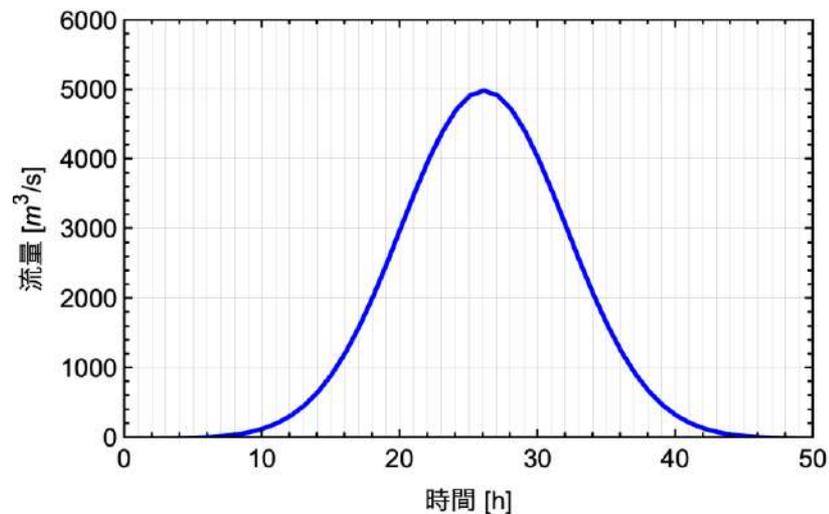
出典：<https://www.ktr.mlit.go.jp/tonejo/tonejo00189.html>
「利根川上流河川事務所」

【計算諸元】

- ・ 氾濫ピーク流量：5,000 [m³/s]
- ・ 計算格子サイズ：25m
- ・ 浸透能：
 - 10mm/h：森林、田、農用地、緑地
 - 0mm/h：建物用地、道路、その他の用地
- ・ 土地利用：現況（国土数値情報）
 - 1970年代（国土数値情報）
 - 1880年代（迅速図より作成）



出典：https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000834325.mp4
「利根川上流河川事務所」



解析に用いた氾濫流量

二次元汜濫解析の基礎式

$$\text{連続式 : } \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = Q_{in}$$

$$\text{運動量方程式 : } \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{xb}}{\rho}$$
$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{yb}}{\rho}$$

$$\text{抵抗 : } \frac{\tau_{xb}}{\rho} = \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$
$$\frac{\tau_{yb}}{\rho} = \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$

h : 水深 [m] t : 時間 [s]

M, N : x, y 方向の流量フラックス [m \cdot m/s]

($M=uh, N=uv$)

u, v : x, y 方向の流速 [m/s]

g : 重力加速度 [m/s²]

ρ : 水の密度 [kg/m³]

τ_x, τ_y : x, y 方向の底面せん断応力

n : 汜濫粗度係数

Q_{in} : 流入または、流出量

二次元汎濫解析の基礎式

○線形式

(移流項を取り除いた)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = Q_{in}$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$

○土木研究所の式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = Q_{in}$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn'^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn'^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$

$$n' = n^2 + c \frac{1 - \gamma}{\gamma} h^{4/3}$$

解析に使用

○浸水想定区域図作成マニュアルに準拠した式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(\gamma M)}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma N)}{\partial y} = Q_{in}$$

$$\gamma \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(\gamma u M)}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma v M)}{\partial y} + g\gamma h \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{g\gamma n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$

$$+ \frac{C'_D (1 - \gamma) u h \sqrt{u^2 + v^2}}{2} = 0$$

$$\gamma \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(\gamma u N)}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma v N)}{\partial y} + g\gamma h \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{g\gamma n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$

$$+ \frac{C'_D (1 - \gamma) v h \sqrt{u^2 + v^2}}{2} = 0$$

γ : 空隙率(建物占有率)

C_D : 建物の代表長さあたりの抵抗係数(C_D/L)

氾濫原の粗度係数

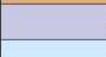
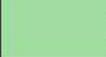
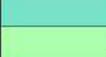
粗度係数の目安「浸水想定区域図作成マニュアル」

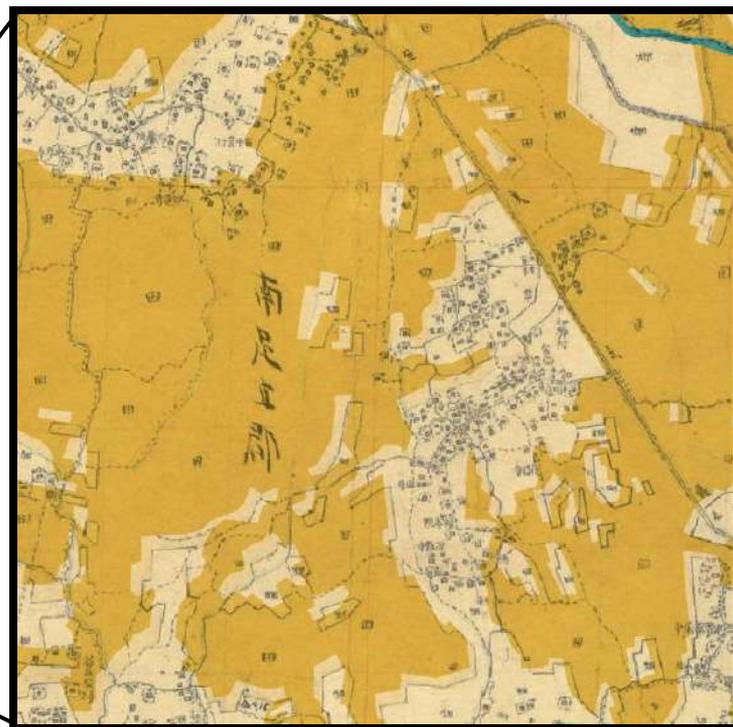
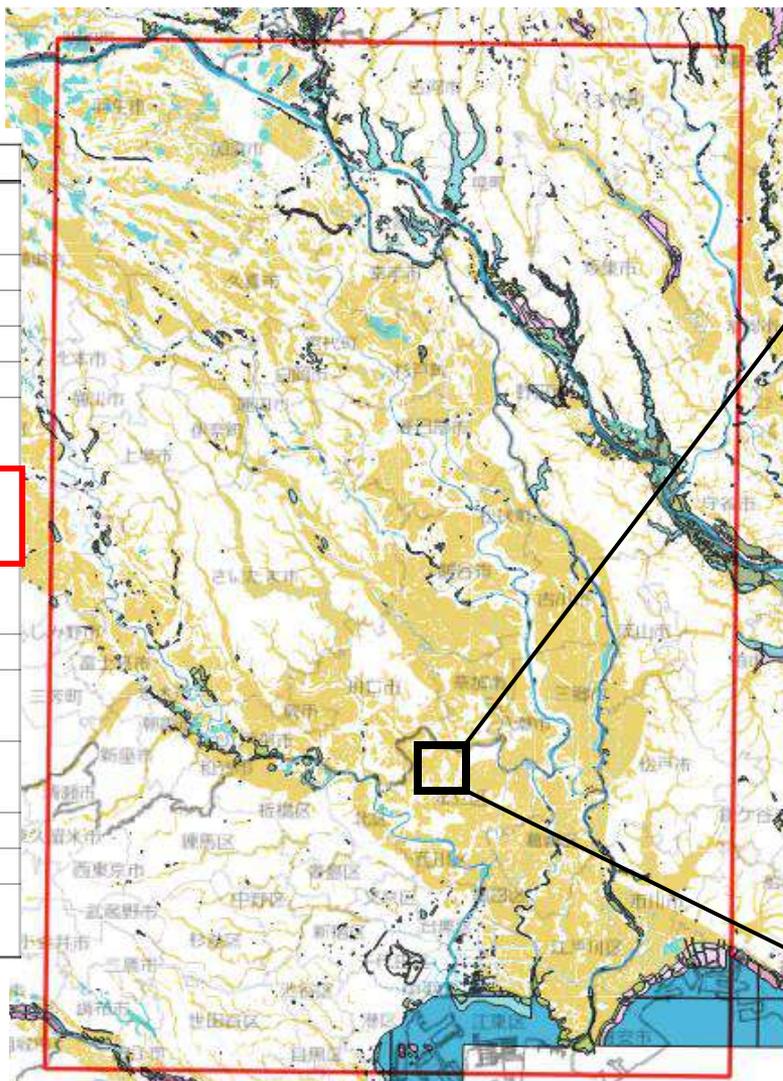
土地利用	粗度係数 $m^{-1/3} \cdot s$
農地	0.02~0.060
林地	0.03~0.060
水域	0.025
空地・緑地	0.025~0.05
道路	0.015~0.047

本解析で用いた粗度係数

土地利用 (国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ)	粗度係数 $m^{-1/3} \cdot s$
田、畑、その他農地	0.025
河川・湖沼等	0.025
山林・荒地等、造成中地、空地 工業用地、宅地、その他用地	0.04
道路用地	0.025

迅速図の土地利用

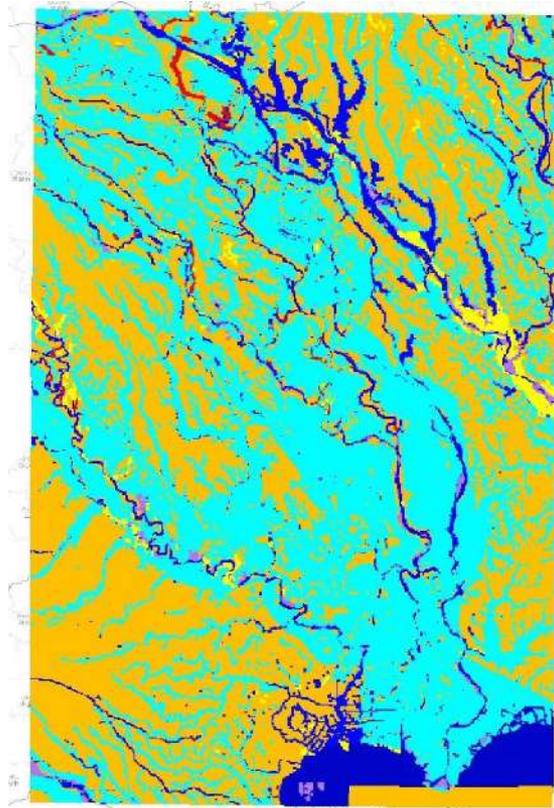
配色	名称
	砂礫地
	泥地
	泥炭地
	湿地
	干潟・砂浜
	河川、湖沼、海面
	田（水田、陸田）
	深田
	塩田
	草地
	荒地
	ヨシ（芦苇）
	茅
	堤防



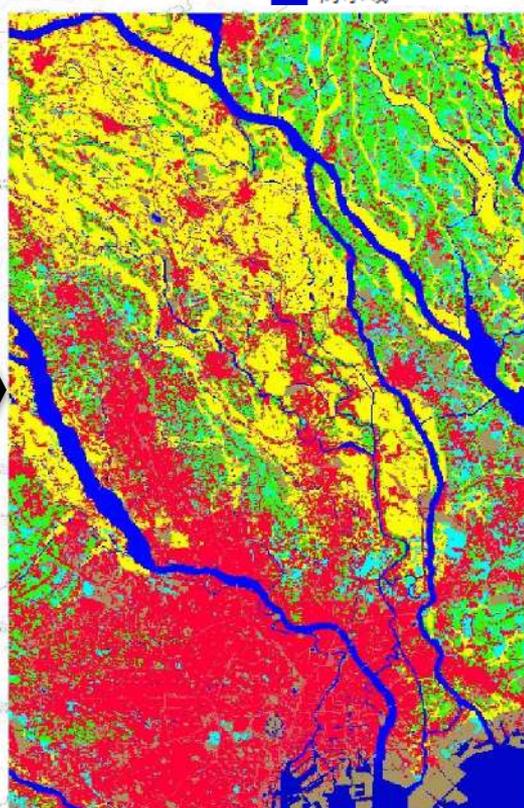
上記以外を
建物用地に分類

1880年代、低平地の多くが
田（水田、陸田）として利用

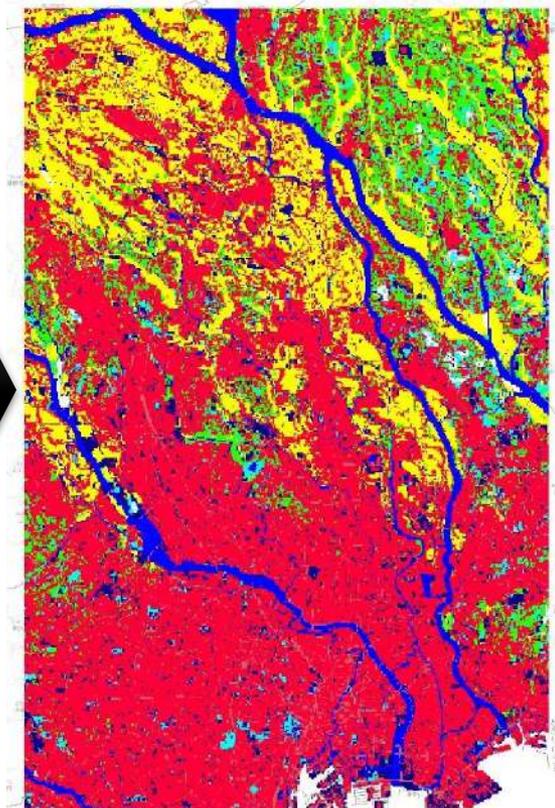
氾濫原の土地利用の変遷



1880年代



1970年代



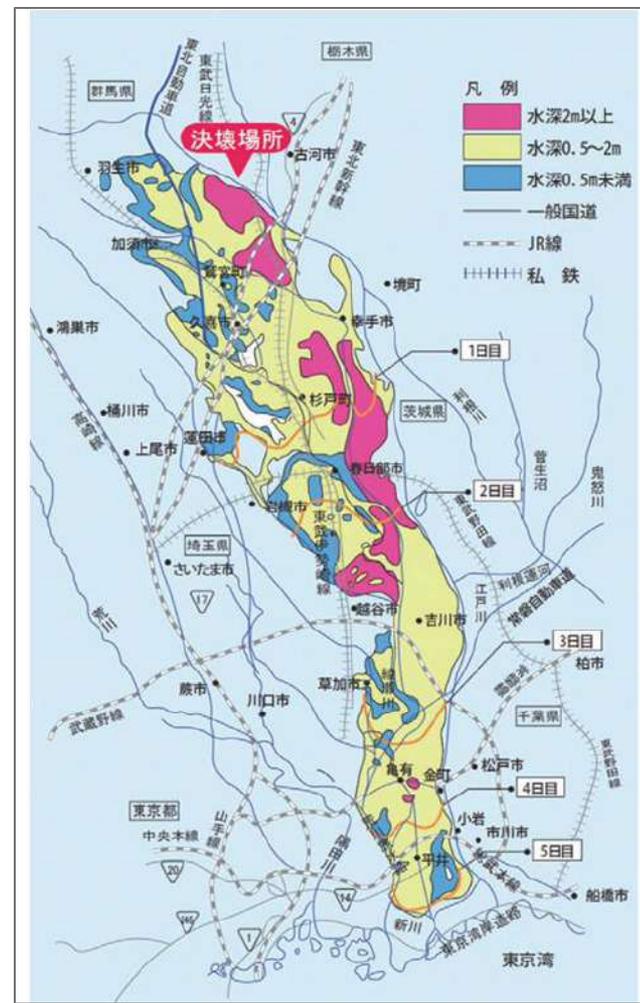
現況

1880年から1970年代にかけて江戸川区、葛飾区など市街化が進行

氾濫実績図（公表資料）



出典： <https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/bousaichiri41065.html> 「国土地理院」



出典： <https://www.ktr.mlit.go.jp/tonejo/tonejo00187.html> 「利根川上流河川事務所」

①～③の地形データを基に氾濫解析を実施

①現況5mDEM

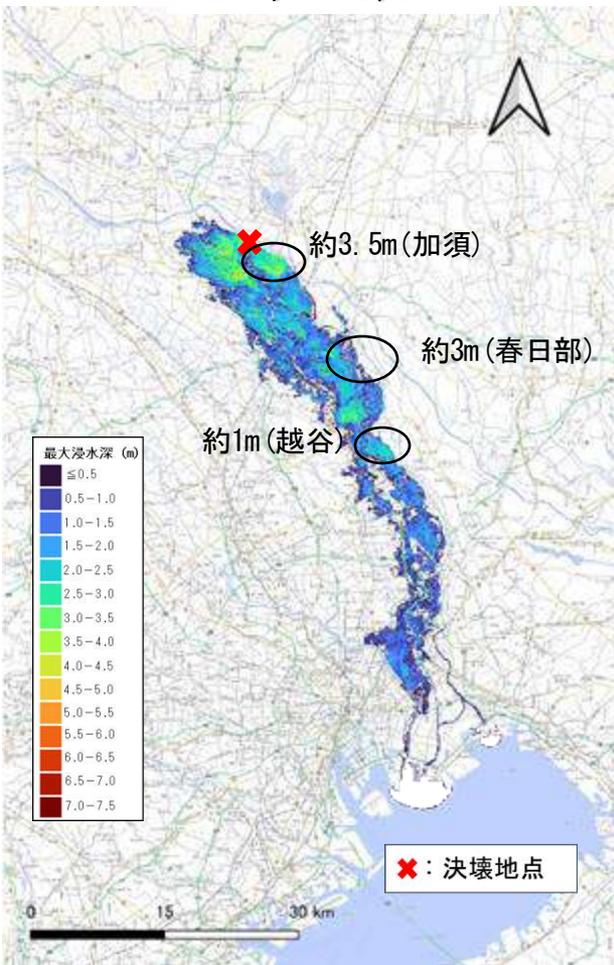
②迅速図を基に作成した地形データ

③1970年代の空中写真を基に作成した地形データ

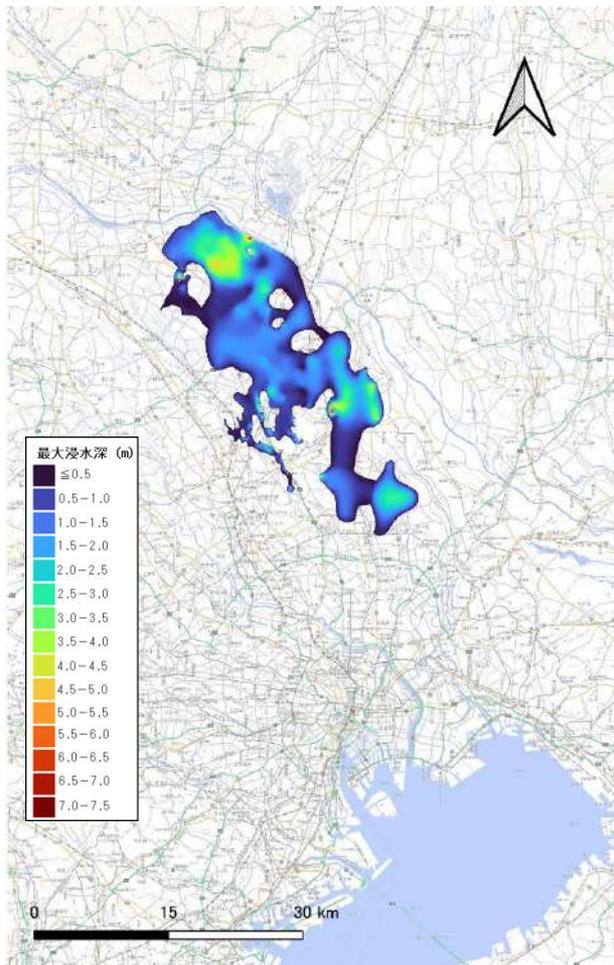
現況の地形モデルを基にした氾濫解析結果 (最大浸水深)

計算時間: 72時間

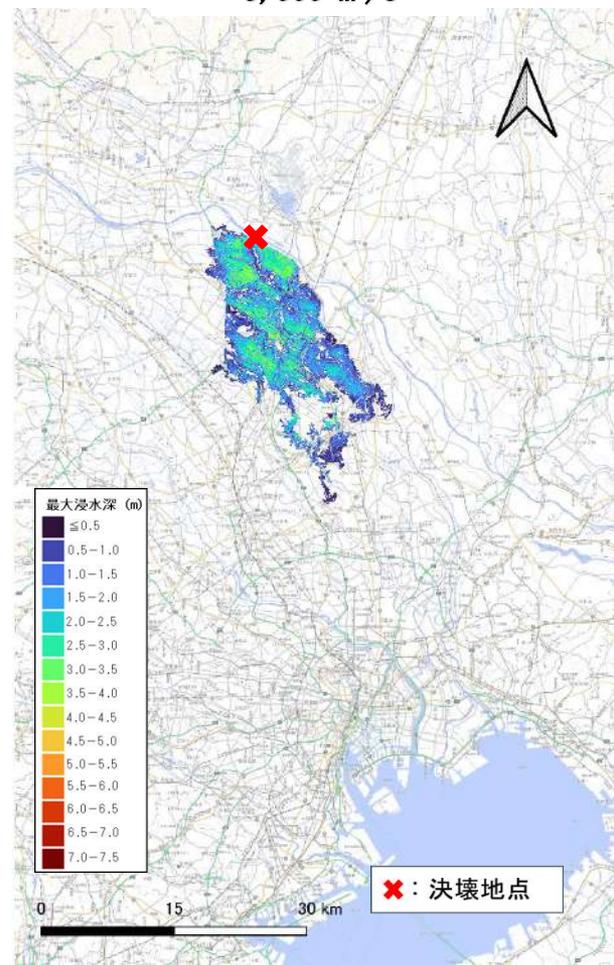
現況のDEM
氾濫ピーク流量
5,000 m³/s



迅速図(1880年代)
氾濫ピーク流量
5,000 m³/s



Sfm(1970年代)
氾濫ピーク流量
5,000 m³/s



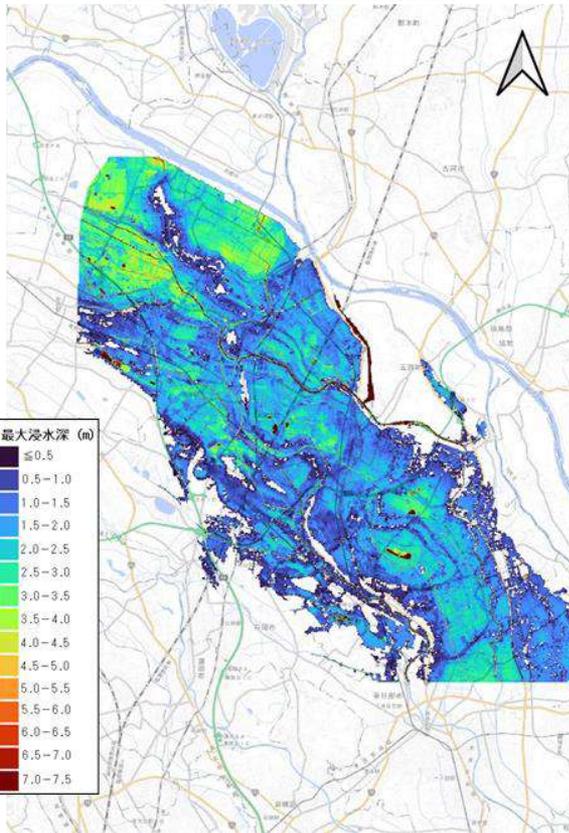
氾濫計算の比較

エリア①, ②のみに着目

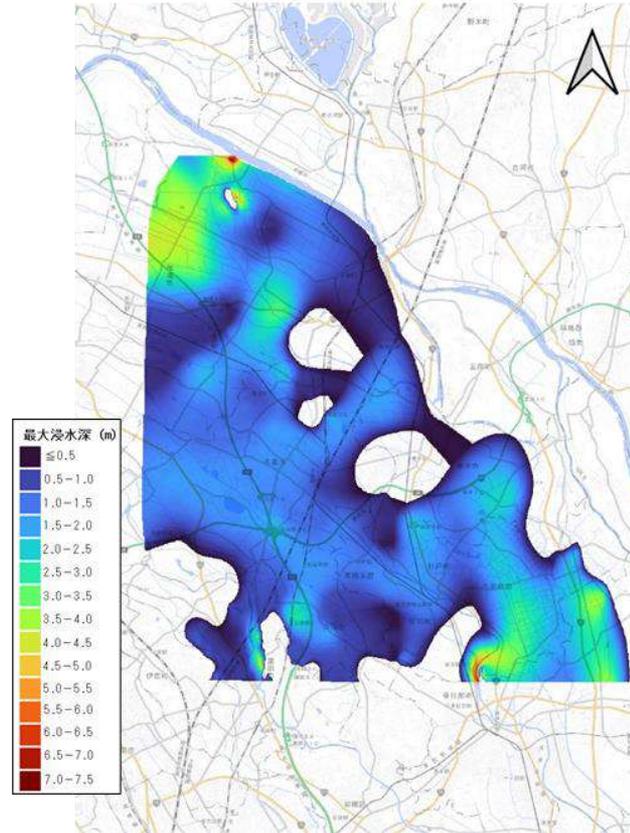
氾濫ピーク流量: $5000\text{m}^3/\text{s}$

氾濫発生から24時間後

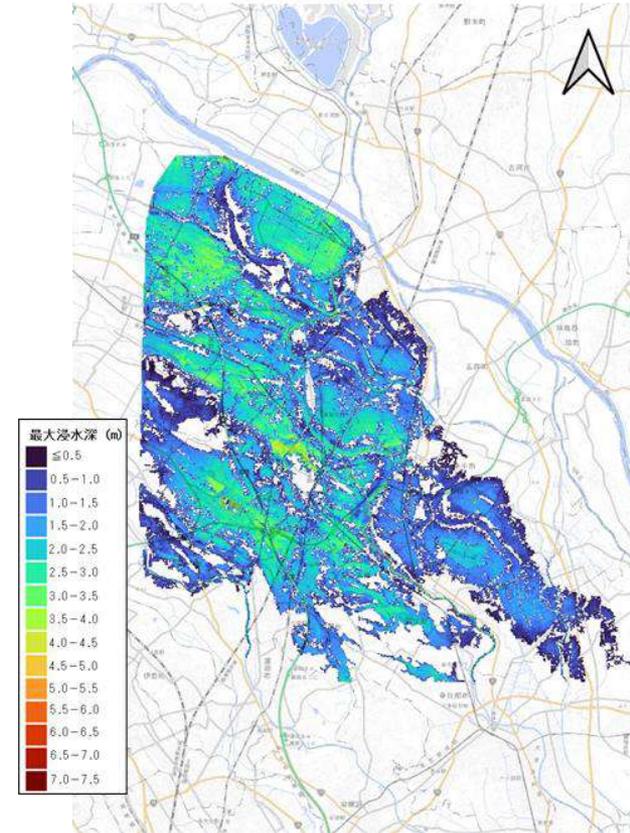
現況DEM



迅速図



空中写真



現況のDEMと1970年代のDEMによる氾濫計算の比較

ピーク流量 : 5000m³ /s

現況のDEM

1970年代のDEM(sfM)

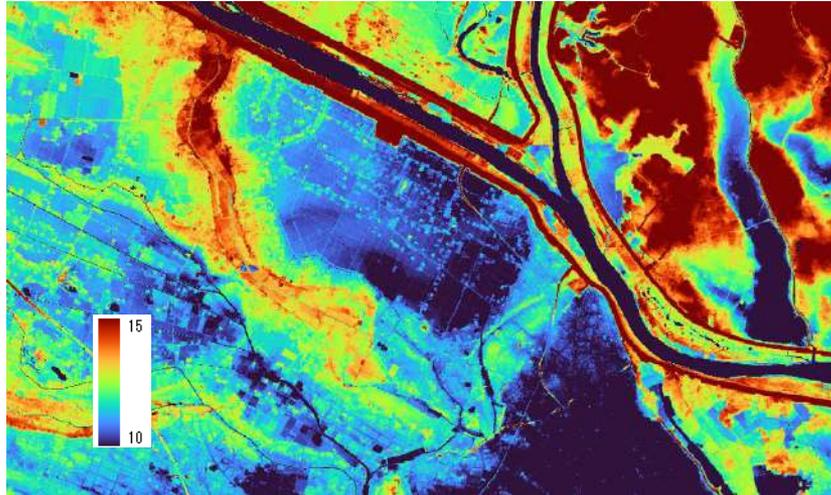
00時間00分

00時間00分

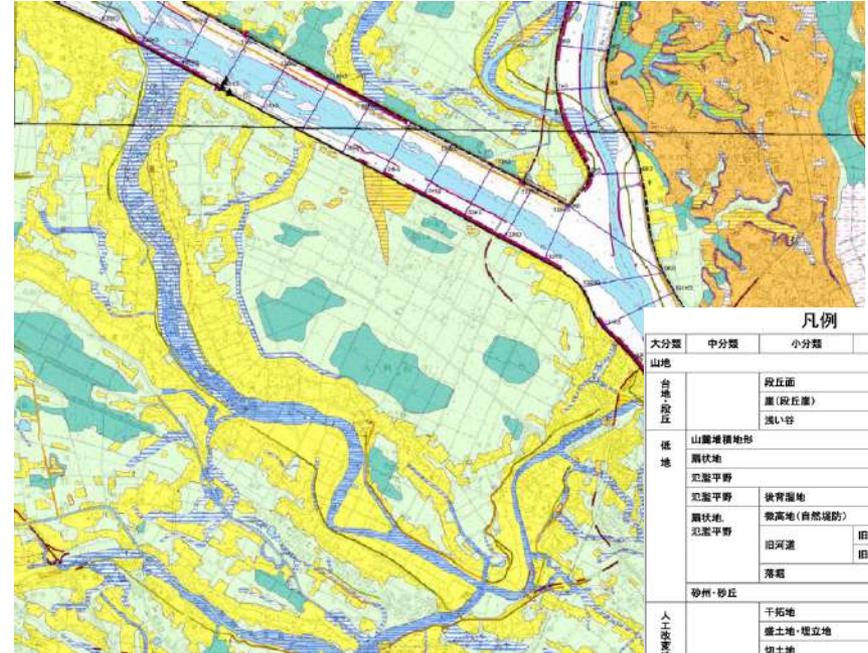


現況のDEMと1970年代のSfMによるDEMの比較

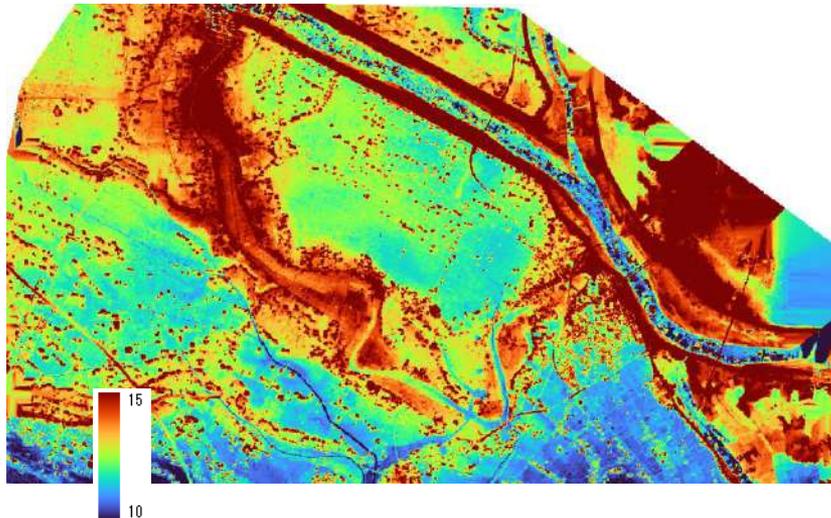
現況DEM



治水地形分類図



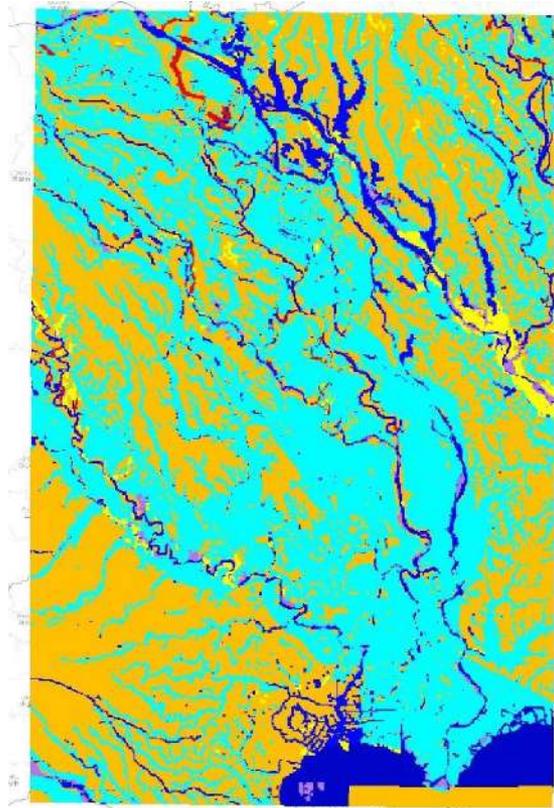
1970年代のSfM



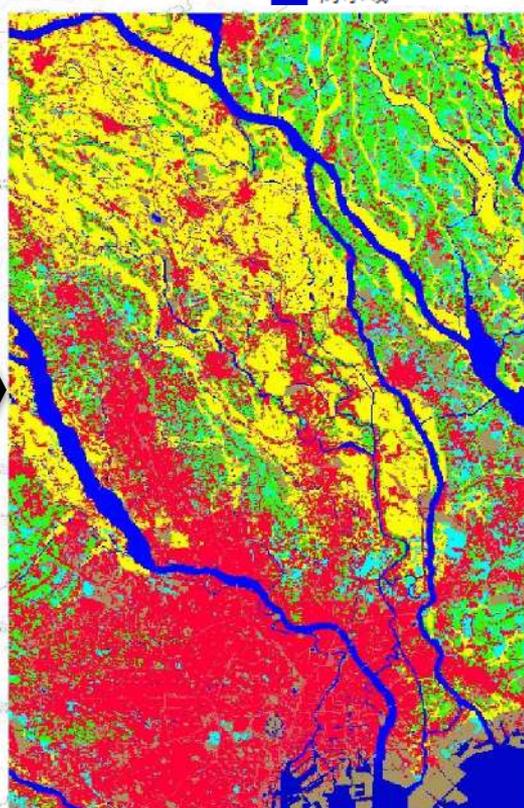
1970年代と比較し、現在では
自然堤防が
また、

大分類	中分類	小分類	細分類	記号	
山地	台地 段丘	段丘面		[Symbol]	
		崖(段丘崖)		[Symbol]	
		深い谷		[Symbol]	
低地	山麓堆積地形	扇状地		[Symbol]	
		氾濫平野		[Symbol]	
	氾濫平野	後背湿地		[Symbol]	
		微高地(自然堤防)		[Symbol]	
	扇状地 氾濫平野	旧河道	旧河道(明瞭)	[Symbol]	
			旧河道(不明瞭)	[Symbol]	
			薄層	[Symbol]	
			砂州・砂丘	[Symbol]	
	人工設置地形		干拓地		[Symbol]
			盛土地・埋立地		[Symbol]
		切土地		[Symbol]	
		連続盛土		[Symbol]	
その他の地形等	天井川の区間	現河道・水面		[Symbol]	
		旧流路	5.50年代以前 5.50年代 7.50年代以前 7.50年代	[Symbol]	
	地盤高線	主曲線		[Symbol]	
		補助曲線		[Symbol]	
			5.50年代以前 5.50年代	[Symbol]	
	河川管理施設等	旧堤防	旧堤防	5.50年代以前 5.50年代 7.50年代以前 7.50年代	[Symbol]
			堤防	完成堤防 暫定堤防 暫々完成堤防	[Symbol]
護岸	河川工作物	水位観測所		[Symbol]	
		流量観測所		[Symbol]	
		水質観測所		[Symbol]	
		雨量観測所		[Symbol]	
		樋門・樋管		[Symbol]	
		水門・閘門		[Symbol]	
	揚排水機場		[Symbol]		
	事務所・出張所	事務所		[Symbol]	
		出張所		[Symbol]	
			距離標	[Symbol]	
		測線	[Symbol]		

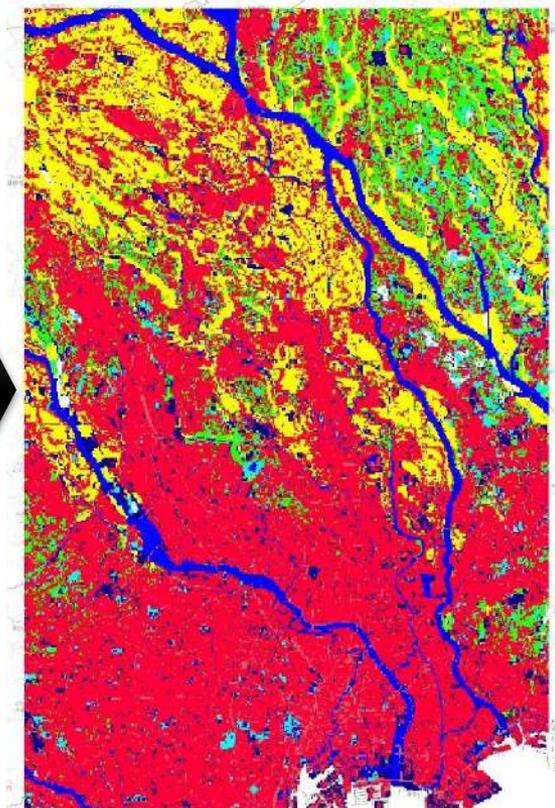
氾濫原の土地利用の変遷（再掲）



1880年代



1970年代



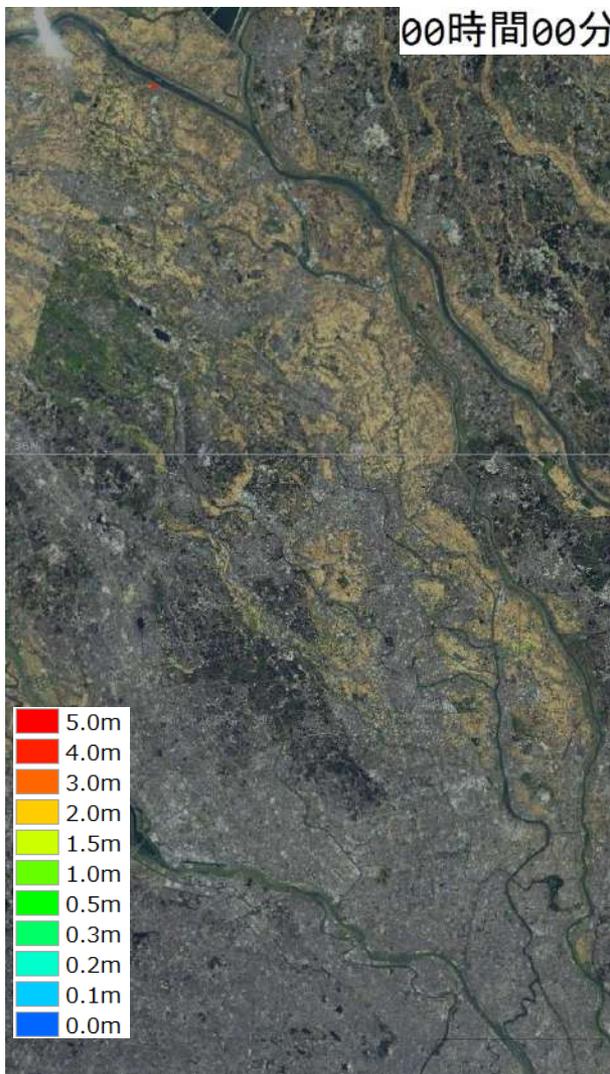
現況

現況のDEMを用いて、各年代の土地利用を用いた氾濫計算を実施

各年代の土地利用を用いたときの氾濫解析結果

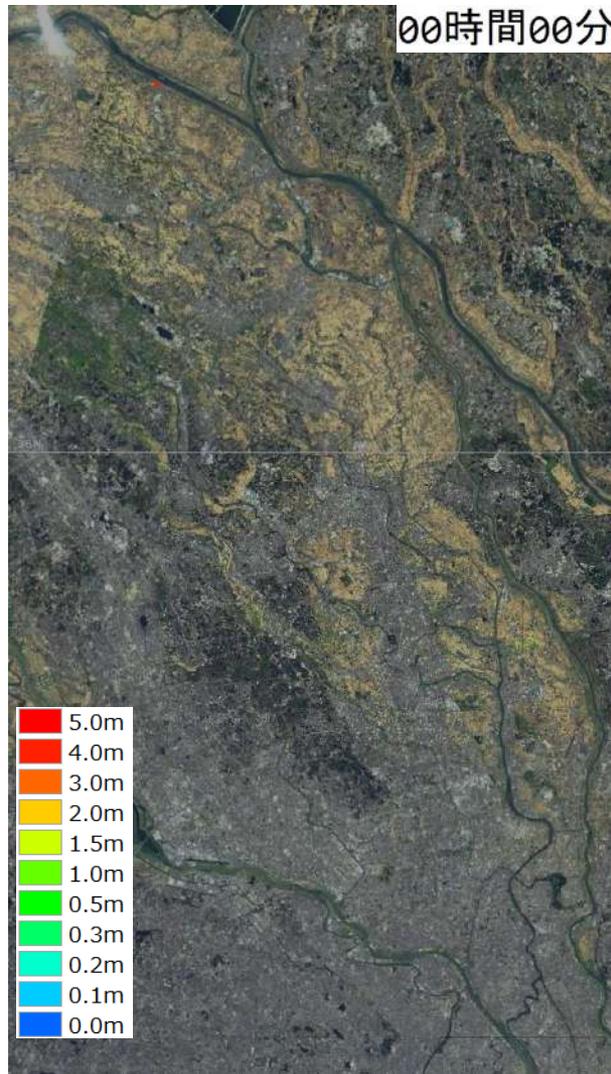
1880年の土地利用

00時間00分



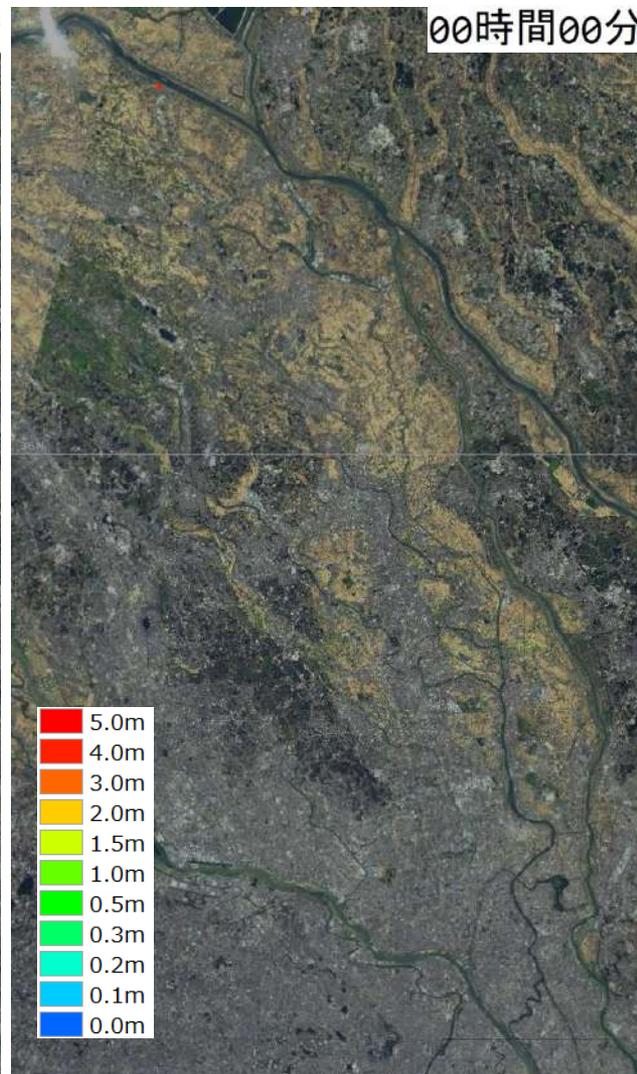
1976年の土地利用

00時間00分



2016年の土地利用

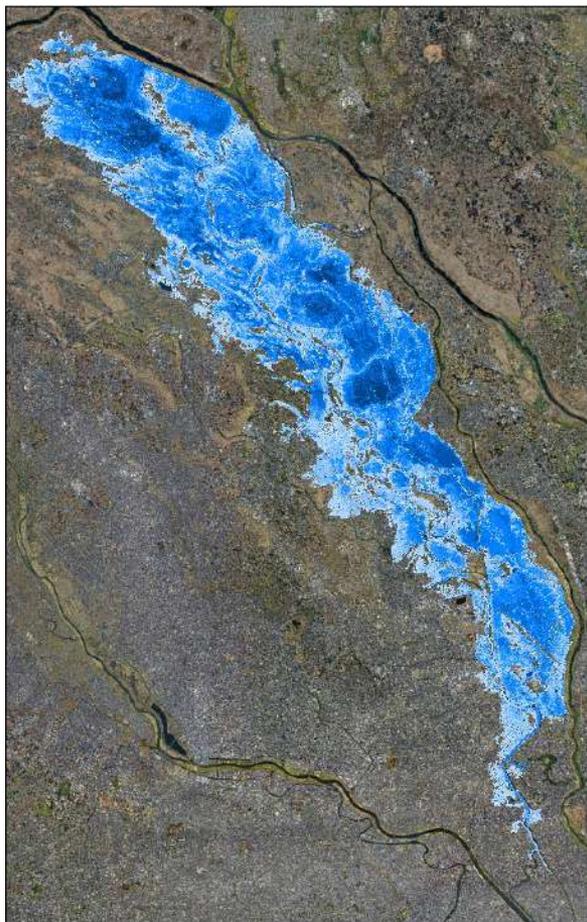
00時間00分



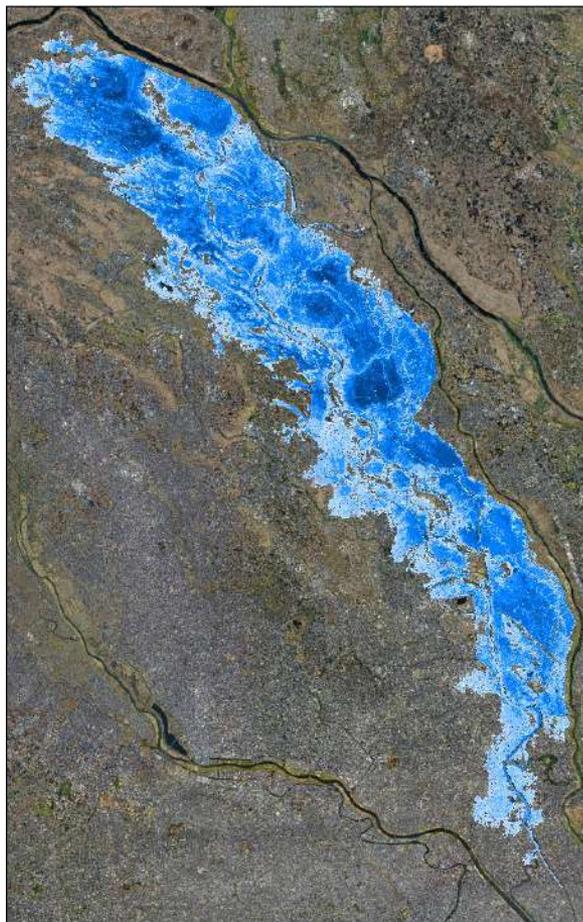
近年になるほど、都市部まで氾濫が到達する

各年代の土地利用を用いた場合の氾濫解析結果（最大浸水深分布）

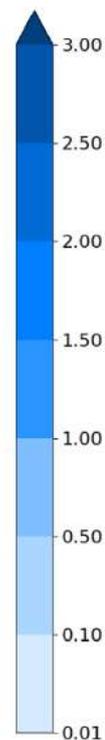
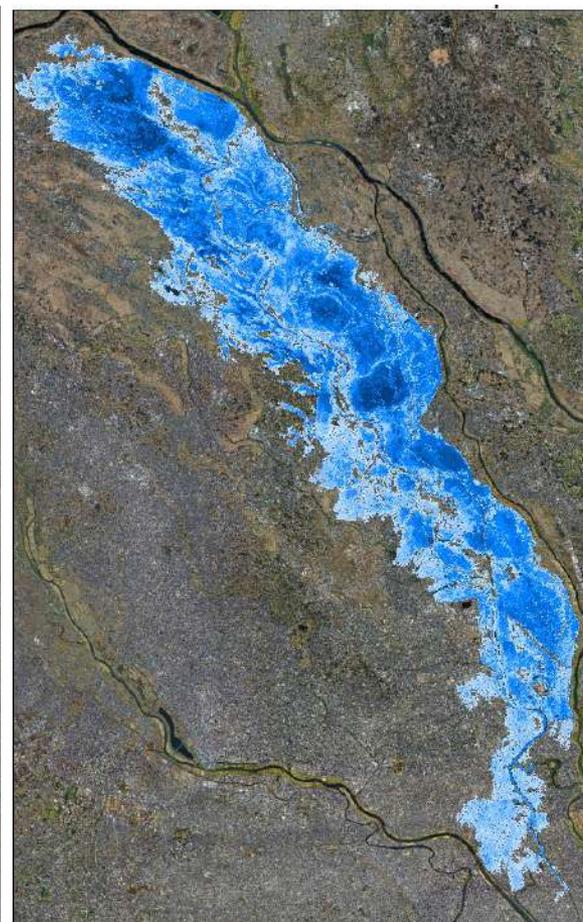
土地利用：1880年



土地利用：1976年



土地利用：2016年



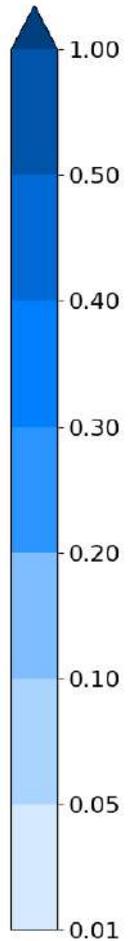
近代になるほど、都心付近の浸水面積が大きくなる

各年代の土地利用を用いた場合の氾濫解析結果（氾濫時系列）

最大浸水深の差分
(2016-1880年)



最大浸水深の差分
(2016-1976年)



過去の土地利用の場合、都心に近づくほど浸水深が低減される

土地利用を変化させたときの計算結果（氾濫時系列）

【計算条件】※破堤距離は250m, ポンプによる排水は無し

粗度: 田んぼ, 畑, 住宅地, 道路用地, 公園 → 0.025

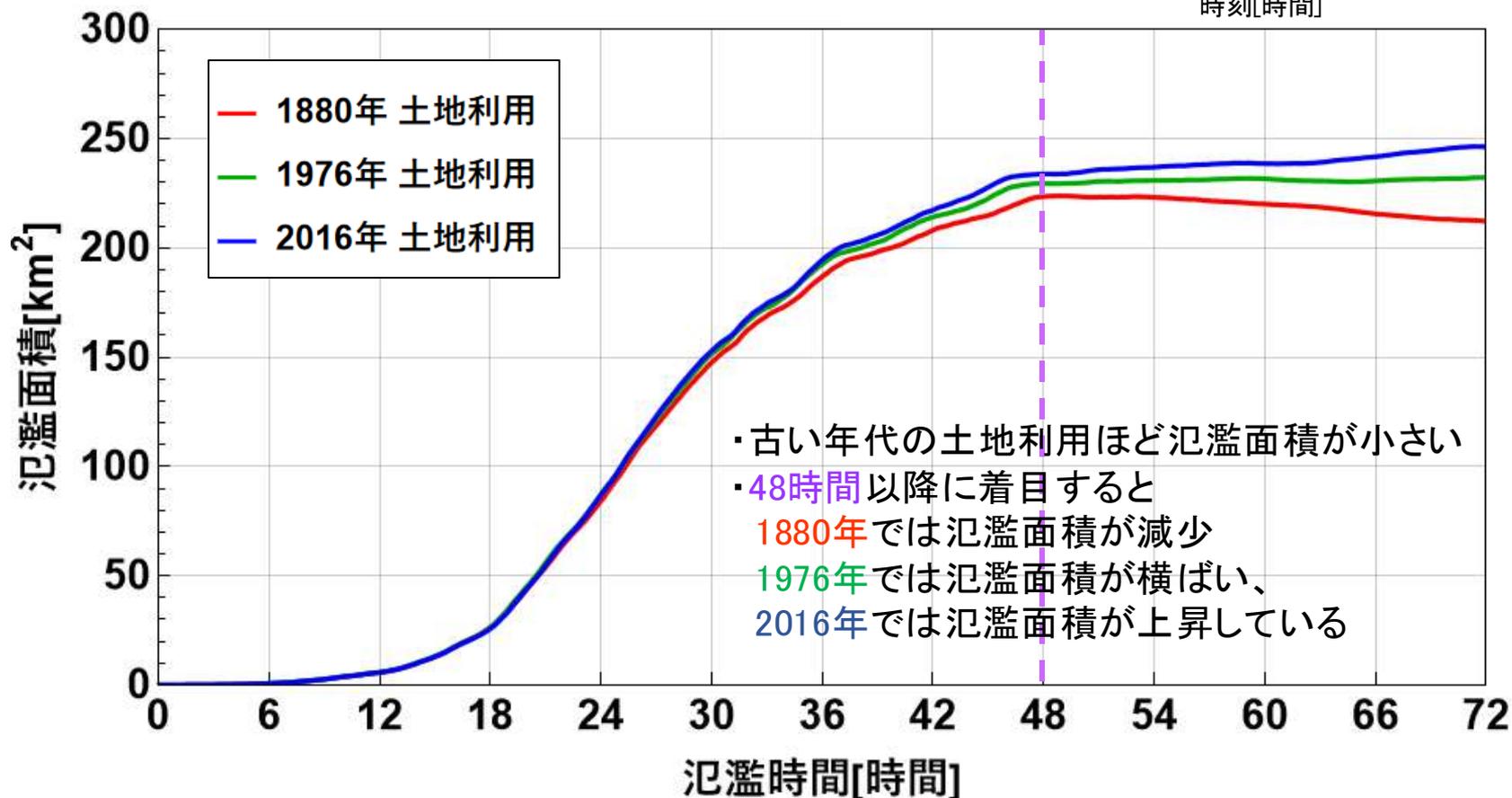
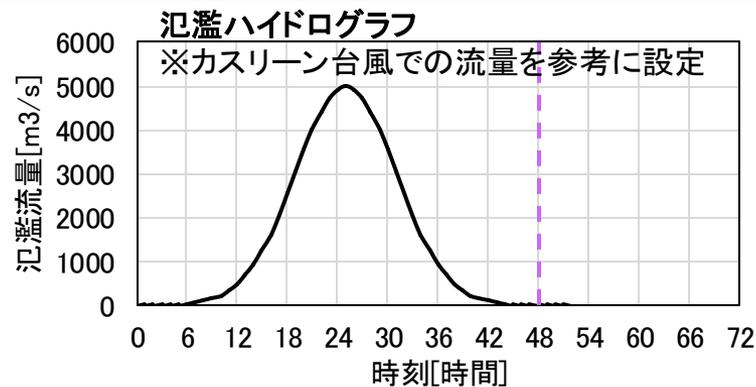
住宅地 → 0.040

山林 → 0.050

浸透能: 田んぼ, 畑, 山林, 公園に一律 10mm/h

【粗度の参照】土木研究所資料代3400号

「氾濫シミュレーション・マニュアル(案)-シミュレーションの手引き及び新モデルの検証-」



まとめ

本研究では、過去から現在における治水政策を時系列的に評価することを目標に、1880年代に作成された迅速測図及び1970年代の空中写真から数値標高モデルを作成方法の検討を実施した。さらに、そのデータを用いた氾濫解析を実施し、現況のDEMを用いた場合との比較を行った

- ・マップデジタイズにより、迅速図よりDEMを作成することを可能とした。
また、1880年代と現況の標高は、平均で1.3m地盤が沈下していることが分かった。
- ・SfM-MVSにより、空中写真からDEMの作成を実施した。
広域の標高データを使用する場合には課題が残るものの、過去の建造物の抽出等、使用目的により作成した標高データを活用できる。
- ・作成した数値標高データを用いて、氾濫解析を実施した。
迅速図から作成したDEMを用いた場合は、おおむねの氾濫域は表現ができる。
- ・また、現況のDEMを用い、各年代の土地利用を用いた氾濫解析による比較により、古い年代ほど浸水面積が小さくなり、浸水深も低減される。
- ・明治時代の迅速図、および航空写真からのDEM作成方法し、過去から現在までの変化を解析できるようになった。