

2022 年台風 15 号による静岡県中部巴川下流域の河川氾濫 —現地調査と航空レーザー計測点群による分析—

小山真人¹

**Flooding in the Lower Basin of the Tomoe River, Central Shizuoka Prefecture, Japan,
caused by Typhoon 15 in 2022
based on field survey and terrain analysis using aerial LiDAR point cloud**

Masato KOYAMA²

Abstract

Based on field surveys and terrain analysis using open data of aerial LiDAR point cloud (VIRTUAL SHIZUOKA), we analyzed the characteristics and causes of flooding in the lower basin of the Tomoe River caused by the heavy rains associated with Typhoon 15 in 2022. The water level of the main river was diverted into the Oya drainage channel and dropped once, but the level rose again and overflowed where tributaries merged. The levee itself was not damaged or breached. Tributaries that had not undergone sufficient river improvement, and thus still had many meanders and shallow channels, flooded significantly, while tributaries that had undergone advanced river improvement also flooded due to increased water levels before joining the main river. Tributaries often overflowed in front of the insufficient cross-sectional area of the river channel where they passed under roads and railroads. Comparison of the flood depth distribution with existing hazard maps showed that the main channel flooding was generally on the planned scale. Some of the tributary flooding corresponded to the assumed maximum magnitude, while others fell far short of it. The high resolution of the topographical map based on point cloud data is considered effective for understanding flood risk and raising public awareness because it realistically reconstructs the flooded urban landscape.

Keywords: flood distribution, Tomoe river, aerial LiDAR, point cloud, GIS, VIRTUAL SHIZUOKA

はじめに

巴川は静岡平野の北部を流れて清水港付近の河口にそそぐ中規模河川である (図 1)。その流域では 1974 年七夕豪雨災害に代表される水害が歴史上たびたび発生したため、河道の拡張や蛇行の直線化、大谷川放水路の建設 (1999 年完成) などの河川改修が長期にわたって進められた結果、大きな浸水被害は抑制されてきた (巴

¹ 静岡大学防災総合センター, 422-8529 静岡市駿河区大谷 836

² Center for Integrated Research and Education of Natural Hazards, Shizuoka University, 836 Oya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529 Japan

2023 年 3 月 28 日受付 2023 年 5 月 15 日受理

Received: 28 March 2023 Accepted: 15 May 2023

川流域総合治水対策協議会, 1994, 1999).

ところが, 2022年9月23日夜から翌日未明にかけて台風15号が接近し, 静岡県中西部が豪雨(静岡AMeDASでの総雨量416.5mm)となって各地に被害が生じるとともに(牛山・北村, 2023), 巴川下流域の市街地にも顕著な浸水被害が生じた(北村, 2023). これらの研究や, 静岡県発表の浸水分布図(静岡県, 2023)や静岡市発表の被害報告(静岡市, 2022)によって市街地の浸水域の概要は把握できるものの, その詳細な実態や個別要因は明確でなかった. 一方で, 同じ豪雨で浸水被害を被った浜松市は, 市内各地の詳細な浸水実績図を2022年12月初旬に公表している(浜松市, 2022). 2023年3月末に至ってようやく静岡市内の浸水実績図が公表されたが(静岡市, 2023), 大まかな浸水域が示されるのみであり, 浜松市の実績図と異なって浸水深が示されていない上, 後述するように実態を十分反映していない部分を含んでいる.

今回の豪雨によって巴川下流域という県庁所在市の人口密集域で生じた氾濫や浸水の実態を面的に把握し, 各地域の水害リスクとその要因を可視化しておくことは, 将来の同種の災害への備えのために必須と言える. 浸水を規定する微地形を描き出すためには高精度の数値標高モデルを必要とするが, 格好の素材が静岡県から最近公開され, 無償でダウンロード可能である(後述の「VIRTUAL SHIZUOKA」). 以上の動機や背景により, 現地調査にもとづくデータの収集ならびにその分析を試みたので結果を報告する.

方法

発災直後の2022年9月24日から同年11月17日にかけて静岡市葵・駿河両区の東縁と清水区の被災地を徒歩で調査し, 市街地の浸水痕, 巴川本流と主要な支流の堤防および河岸の越流痕, ならびに河岸や丘陵地の斜面崩壊箇所を観察・記録した(図2). 浸水・越流痕は泥の付着によって判別が容易であり, 草の倒れ方によって流向が判別できる箇所も多くあった. 建物に付着した泥痕によって最大浸水深が判別できる箇所では, 路面からの高さを記録した(図3ならびに後述の図23A). ただし, 調査効率を最優先したため, 測定にはメジャーは用いずに足首・膝・腰・胸・首の高さなどの表現で記録し, それを後から数値に変換した. なお, 現地調査が及ばなかった地区については, 被災直後(2022年9~10月)の撮影時期表示のあるGoogleストリートビューで泥痕が確認できる場合は, その情報も参考にした.

得られたデータに対し, 静岡県3次元点群データ「VIRTUAL SHIZUOKA」(以下, 静岡県点群)を用いた地形・水系分析を行った. 静岡県点群は, 2019年度から3年間にわたって航空機などに搭載したレーザープロファイラーを用いて収集したデータ(3次元座標と色情報をもつ点の集合)であり, G空間情報センター(<https://front.geospatial.jp>)で無償公開されている. 静岡県点群から得られる数値標高モデルは大方の場所で10~20cmメッシュという高い解像度をもち, 都市を襲った水害の姿を細部までリアルに描き出すことが可能である. 静岡県点群を用いた数値標高モデルと浸水分布図の作成ならびに地形・水系分析には, 汎用GIS(Geographic Information System)ソフトウェアのGlobal Mapper Pro(Blue Marble Graphics社)を用いた.

結果と考察

浸水深分布図

現地調査によって得られた浸水深データに北村(2023)に示された浸水深データも加え, 静岡県点群を用い

た浸水深分布図を作成した(図4A)。筆者と北村(2023)の測定点が重なる場合は、メジャーを用いて測定された北村(2023)の値を優先して採用した。細部を拡大すれば個々の宅地の地盤標高の差まで一目瞭然である(図4B)。これはベースとなった静岡県点群にもとづく数値標高モデル(図4C)の解像度が高いためであり、従来の国土地理院の数値標高モデル(5mメッシュ)(図4D)との差は歴然としている。

図4Aの作成方法は以下の通りである。まず、静岡県点群より建物と植生を除いた地盤標高モデル(DTM: Digital Terrain Model)を作成した(図5)。次に、そのDTMに浸水深の絶対値を足した標高モデル(つまり氾濫時の最高水位面を表す3次元の曲面)を作成し、元のDTMとの差分をとれば浸水深の面的分布が得られ、それを段彩色で表現したものが図4Aである。この方法により、限られた数の浸水深測定データであっても、ある程度の広がりをもった浸水深分布図を描くことが可能である。図4Aに示す浸水部分の総面積は7.45 km²、容積は630万m³(ただし、遊水地と河道内も含む)である。

図4Aの作成過程において、データが不足する領域では実際には浸水していない低標高部に浸水域が描かれてしまうケースがあったため、その場合は仮想的なデータポイント(浸水深=0)を置いて浸水域が現実と合うように調整した。また、その際には床上・床下浸水宅地の分布(静岡市, 2022)を参照し、それと大きな矛盾が生じないように注意を払った。よって、図5上で浸水深のデータポイントがまばらな部分の浸水分布や浸水深は正確でないことに留意してほしい。また、DTMにおいては建物や植生が機械的に取り除かれているため、とくに建物部分の地盤標高は現実と異なる可能性がある。よって、建物敷地内の浸水の有無や深さが正確でないことにも留意してほしい。

図4AはDTMをベースとした平面図であるが、建物と植生を含めた形の地表標高モデル(DSM: Digital Surface Model)を静岡県点群から作成し、それをベースとした浸水深分布の平面図や鳥瞰図を描くことによって、浸水時の市街地景観を復元することもできる(図6ならびに後述の図12A, 15, 19, 22B)。

以下、各種の浸水深分布図を参照しながら地域毎の被害の実態と特徴を述べ、それらの原因を考察する。

支流域での土砂生産

調査域を流れる巴川支流の源流部にあたる有度丘陵ならびに庵原山地(図2)には、それぞれ更新世と中新世後期の堆積岩類が分布している(杉山・下川, 1990など)。その山林や農地では、小規模とはいえ多数の斜面崩壊が生じ、市道や農道の一時的な通行止めを招いたものもある(図7A)。観察した限りにおいて、崩壊したのは上記の堆積岩類の淡褐色を呈する風化部である。これらの崩壊がもたらした土砂が、今回の氾濫によって浸水地区をおおった淡褐色泥の起源と考えられる。

なお、数は少ないが市街地の急斜面が崩壊した例(図7B)もある。吉田川・草薙川・谷津沢川では洗掘による河岸の崩壊や陥没(図8)、吉田川では多数の底固めブロックの流出も確認され(図9A)、元の位置から数百m下流に移動したとみられるものもあった(図9B)。

氾濫の様態

今回の河川氾濫の様態は大きく分けて2つあり、巴川本流の堤防からの越流(図10)と、支流河川の堤防や河岸からの越流(後述)である。

巴川本流に沿う越流点の分布(図5)や静岡市発表の床上・床下浸水家屋分布(静岡市, 2022)や浸水実績図(静岡県, 2023; 静岡市, 2023)から判断して、本流の水位は大谷川放水路に分流されていったん下がったように見える。実際に大谷川放水路は約600万m³の水量を海に放流し、巴川下流の水位低下に寄与したとき

れている（静岡県，2023）。しかしながら，その下流の草薙川の合流点の手前から本流の越流点が現れ，その下流の長尾川・矢崎川・塩田川の合流点付近にも越流点が集中し，大沢川の合流点以降の下流では越流点が連続的に続く。これらの特徴は，支流の合流によって本流の水位が上昇したことが原因とみられる。なお，本流の堤防自体の損傷や破堤はどこにも確認できなかった。

巴川本流に沿う浸水域の分布は，標高との良い対応がみられる。たとえば，清水区能島付近には河川改修前の蛇行した旧河道がそのまま残されているが，浸水域はこの旧河道に沿った形状をしている（図 11A）。これは，旧河道沿いの標高が周囲よりやや低いためである。同様の関係が清水区江尻台付近でもみられる。ここでは河川改修によって本流は直線的な形状をしているが，蛇行していた旧河道に沿う低地の形状がほぼ浸水域の形状となっていることが，旧版地形図と比較するとわかる（図 11B）。また，逆に旧河道に沿った自然堤防とみられる微高地があり，そうした場所の浸水被害は小さいか免れている（図 12）。

河川改修が不十分なために蛇行や浅い河道が多数残っていた支流（谷津沢川，草薙川，大内観音沢など）の氾濫も著しかったことが，越流点や浸水域の分布からわかる（図 5，13～15，16A～D）。一方で，河川改修が進んでいた支流（吉田川・四方沢川・塩田川・和田川・山原川・大沢川など）も，巴川に合流する手前の勾配の緩くなった部分で水位を増して氾濫したように見える（図 5，11，13，14，16E～F）。

また，支流全般として，道路や鉄道の下を通過する河道の断面積が不十分な箇所の手前で氾濫が生じている（図 17～22）。清水区大内付近では東名高速道路の高架盛土（図 17A），同区中吉田付近では JR 東海道線の盛土（図 20A）が，それぞれ排水を妨げて浸水被害を拡大したとみられる。両浸水地区はともに排水路の確保が十分でないように見受けられる。なお，JR 東海道線手前の吉田川の越流箇所は静岡県（2023）に示されているが，静岡市（2023）には示されていない。

草薙川は国道 1 号線の橋が水路上の抵抗物となってあふれ（図 21A），扇状地がつくる天井川地形の両側の勾配に沿って国道 1 号線の路面上を東西に 500m ほど泥水が流れ（図 18），沿線の建物に被害を与えた（図 21B～C）。水系分析の結果，国道 1 号線に沿って両側に向けて発生する水の流れが裏付けられた（図 22）。この部分の越流は静岡県（2023）に示されておらず，静岡市（2023）は狭い範囲の浸水域として示すが，国道 1 号線に沿って広がったことを描いていない。

大内観音沢や中ノ谷川の氾濫（図 23）も扇状地がつくった天井川地形（図 14B）が災いしたものとみられるが，静岡県（2023）や静岡市（2023）には十分描かれていない。小鹿沢川も東名高速道路下の河道の断面積が不十分なため，その手前で氾濫して隣接した高架下の市道トンネルを洪水流が流れ，下流の市街地に被害を与えた（図 24，25）。この箇所の越流は静岡県（2023）に示されているが，静岡市（2023）には描かれていない。

既存の浸水想定図との比較

浸水域の分布（図 4A）を既存の浸水想定図（静岡県，2017）と比較すると，巴川本流に関しては想定最大規模には遠く及ばず，おおむね計画規模の浸水（図 26A）に相当することがわかる。なお，計画規模の洪水シミュレーションは，今回の 8 割程度の 24 時間総雨量 326mm の仮定にもとづいている。

一方で，支流については計画規模の浸水想定図が公表されていないが，吉田川・草薙川・山原川・大沢川の氾濫は，想定最大規模の浸水想定図（静岡県，2021）とおおむね合っているように見える（図 26B，C）。東海道本線の手前での吉田川の氾濫の様態や規模も類似している（図 26C）。一方で，塩田川・小鹿沢川・大慈悲院川などの浸水想定は今回の浸水域より明らかに過大である（図 2 に示す大慈悲院川沿いも今回調査したが越流や浸水域を全く見つけることができなかった）。想定最大規模の浸水図策定においては今回の雨量の約 8 割増

しの 24 時間総雨量 740mm が仮定されているが、今回の豪雨の総雨量のほとんどは 12 時間以内に降ったものなので、先に述べた吉田川などの一部の支流域にとっては想定最大規模と同等の厳しい状況となったのかもしれない。

ただし、国道 1 号線との交点における草薙川の越流は、浸水想定図（図 26B）には表現されていない。浸水想定図の氾濫シミュレーションで用いられた数値標高モデルが 25m メッシュと粗いため（図 27A）、細部を表現できなかったとみられる。どの程度まで細部を表現するかは計算速度との兼ね合いとなるが、格段に解像度の高い静岡県点群データにもとづく数値標高モデル（図 27B）を用いた浸水想定図の更新が望まれる。また、その際には建物と樹木を含む DSM（図 27C）を用いれば、地表構造物の影響を反映した浸水想定図が作成できるだろう。

まとめ

現地調査と静岡県 3 次元点群データ（VIRTUAL SHIZUOKA）にもとづく地形分析により、2022 年台風 15 号に伴う豪雨によって生じた巴川下流域の氾濫の様態を明らかにし、その原因を分析した。主要な結果は以下の通りである。

1. 有度丘陵ならびに庵原山地で多数の斜面崩壊が生じ、洗掘による河岸の崩壊や底固めブロックの流出も起きた。これらの崩壊・浸食によってもたらされた土砂が氾濫水とともに市街地に溢れた。
2. 越流点の分布から判断して、巴川本流の水位は大谷川放水路に分流されていたん下がったが、その下流で支流が合流して再び水位が上昇し、河口付近に至る経路上の堤防高が不足した箇所で越流が生じた。堤防自体の損傷や破堤は確認できなかった。
3. 河川改修が不十分なために蛇行や浅い河道が多数残っていた支流の氾濫が著しい一方で、河川改修が進んでいた支流も本流に合流する手前で氾濫した。
4. 支流全般として、道路や鉄道の下を通過する河道の断面積が不十分な箇所の手前でも氾濫が生じた。支流には天井川地形の上を流れるものが多く、いったん氾濫すると両側の低標高部に流れて浸水被害を広げた。
5. 既存の浸水想定図と比較した結果、今回の氾濫は巴川本流に関してはおおむね計画規模であった。支流の氾濫は想定最大規模に相当するものもある一方で、それに大きく満たないものもあった。支流の想定図には細部を十分表現できていない部分もあるため、静岡県点群にもとづく高解像度の数値標高モデルを使用した想定図の更新が望ましい。
6. 静岡県点群にもとづいて作成した詳細地形図や浸水深分布図の解像度は高く、浸水した市街地景観をリアルに復元できるため、水害リスクの把握や普及啓発に有効と考える。

謝辞

北村晃寿さんと匿名査読者に頂いたコメントは本論の改訂に役立ちました。記して感謝します。

引用文献

浜松市（2022）令和 4 年度浸水実績図（参考）

<https://www.city.hamamatsu.shizuoka.jp/kasen/shinsuizissekizu.html>（2023 年 5 月 4 日参照）

北村晃寿（2023）2022 年台風 15 号により 9 月 24 日に発生した静岡市の洪水に関する報告。静岡大学地球科

学研究報告, No. 50, 7-37.

国土地理院 (2023a) 地理院地図. <https://maps.gsi.go.jp/> (2023年5月5日参照)

国土地理院 (2023b) 基盤地図情報(数値標高モデル).

https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/Laser_demimage.html (2023年5月5日参照)

静岡県 (2017) 洪水浸水想定区域図 (洪水予報河川, 水位周知河川) 巴川 洪水浸水想定区域 (計画規模)

https://www.pref.shizuoka.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/044/018/02_tomoe_keikaku.pdf (2023年5月3日参照)

静岡県 (2021) 洪水浸水想定区域図 (洪水予報河川, 水位周知河川以外) 静岡市

<https://www.pref.shizuoka.jp/machizukuri/kasensabo/river/1003561/1049500/1040499/index.html> (2023年5月3日参照)

静岡県 (2023) 頻発化・激甚化する降雨に対する静岡県の取組について. 令和4年度静岡県河川審議会資料1.

https://www.pref.shizuoka.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/053/339/4.1kasensingikail.pdf (2023年5月4日参照)

静岡市 (2022) 静岡市長定例記者会見 令和4年10月28日 (金)

https://www.city.shizuoka.lg.jp/556_000516.html#h2_17 (2023年5月3日参照)

静岡市 (2023) 令和4年台風15号に関する浸水実績図 (参考) について.

https://www.city.shizuoka.lg.jp/000_006003_00006.html (2023年5月4日参照)

杉本智彦 (2023) スーパー地形. <http://www.kashmir3d.com/online/superdemapp/> (2023年5月5日参照)

杉山雄一・下川浩一 (1990) 5万分の1地質図幅「清水」および説明書

<https://www.gsj.jp/Map/JP/geology4-8.html#08089> (2023年5月3日参照)

谷 健二 (2023) 今昔マップ on the Web.

https://ktgis.net/kjmapw/kjmapw.html?lat=35.024057&lng=138.467925&zoom=15&dataset=kanto&age=0&screen=2&scr1tile=k_cj4&scr2tile=k_cj4&scr3tile=k_cj4&scr4tile=k_cj4&mapOpacity=10&overGSItile=no&altitudeOpacity=4 (2023年5月5日参照)

巴川流域総合治水対策協議会 (1994) 巴川流域七夕豪雨二十年誌. 静岡県土木事務所, 177p

巴川流域総合治水対策協議会 (1999) 記念誌「大谷川放水路」. 静岡県総合管理公社, 317p

牛山素行・北村晃寿 (2023) 2022年9月23日～24日の静岡県における豪雨災害の特徴. 自然災害科学, 42-1 (https://www.jsnds.org/ssk/ssk_42_1.html) (2023年5月3日参照)

(図表の説明文)

- 図1 巴川とその周辺の地形. ピンク枠で他図の範囲を示す. 背景図は「スーパー地形」(杉本, 2023)を使用.
- 図2 調査地点(写真撮影地点)の位置(図中の黒丸, 背景図は図1と同じ). ピンク字で主な巴川支流の名称, オレンジ字で図7~9の写真撮影地点を示す.
- 図3 最大浸水深(図中の赤矢印)の判別可能な例. A: 住宅の外壁表面の痕跡(清水区弥生町, 2022年10月5日撮影, 位置は図11A), B: ブロック塀表面の痕跡(清水区長崎, 2022年11月17日撮影, 位置は図14, 赤矢印より上の泥痕はしぶきと判断).
- 図4 巴川下流域の最大浸水深分布. 背景図は建物と植生を取り除いた地形陰影図. 川の名前に付した矢印は下流方向を示す(以降のすべての図で同じ). A: 全体図(ピンク枠は他図の範囲), 背景図は国土地理院(2023a), B: 細部拡大図の例(清水区長崎付近, 範囲はA図に示す), C: 同範囲の精密地形図(陰影段彩図), D: 同範囲の国土地理院5mメッシュ数値標高モデル(国土地理院, 2023b)による地形図(陰影段彩図).
- 図5 静岡県点群データから作成したDTM(地盤標高モデル)にもとづく調査地域の精密地形図(陰影段彩図). 越流確認地点(幅のある場合はその代表点)ならびに最大浸水深の測定点を記号で示す. 緑字は図10の撮影地点.
- 図6 建物と植生を含めた浸水深分布の鳥瞰図の例(清水区鳥坂付近, 範囲は図4Aに示す).
- 図7 調査地域における斜面崩壊の例. A: 小鹿沢川流域(駿河区池田, 2022年9月30日撮影, 位置は図2), B: 吉田川流域(駿河区谷田, 2022年10月17日撮影, 位置は図2と図18A).
- 図8 巴川支流における被害の例(洗掘による河岸の崩壊, 位置は図2, A~Cの位置は図18Aにも示す). A: 護岸の崩壊(草薙川, 2022年9月27日撮影) B: 護岸の崩壊(谷津沢川, 2022年9月28日撮影), C: 河岸の陥没(草薙川, 2022年9月29日撮影), D: 河岸の陥没(吉田川, 2022年9月30日撮影).
- 図9 巴川支流における被害の例(吉田川における底固めブロックの流出) A: 流出したブロックの例(2022年9月29日撮影, 位置は図2), B: 下流に流されて池田街道を越える地点に達したブロック(2022年9月29日撮影, 位置は図2と図18A).
- 図10 巴川本流の越流箇所の例. A: 堤防上の泥痕や草の倒れ方から越流が確認できる例(清水区長崎, 2022年11月17日撮影, 位置は図14), B: 堤防上や側道の泥痕から越流が確認できる例(清水区江尻台, 2022年10月3日撮影, 位置は図11A), C・D: 歩道橋上の流木や浮遊ゴミの堆積状況によって側道への越流が確認できる例(清水区江尻台, 2022年11月4日撮影). この橋は老朽化によって2018年1月~2019年7月のどこかの時点で通行止めとされていたことがGoogleストリートビューによって確認できる. 位置は図11A).
- 図11 浸水深分布と地形の比較(清水区能島~江尻台). A: 最大浸水深分布(図4A)の部分拡大図(ピンク枠は図12Aの範囲, 緑字は図3A, 10B~D, 16Fの撮影地点, 背景図は国土地理院(2023a)), B: 地形陰影段彩図(図5の部分拡大図)に旧版地形図(1894-1915年)(谷, 2023)を重ねたもの.
- 図12 微高地と浸水深分布の関係の例. A: 東上空からの浸水深分布の鳥瞰図(清水区江尻台付近, 範囲は図11Aに示す), B: 周囲(手前の駐車場など)が水没した中で被害が軽微だった微高地上の店舗(A図の記号12B, 2022年10月3日撮影). 店舗に上る階段の下だけが泥に覆われている.
- 図13 浸水深分布と地形の比較(有度丘陵北縁). A: 最大浸水深分布(図4A)の部分拡大図(ピンク枠は他図の範囲, 緑字は図16A~Dの撮影地点, 背景図は国土地理院(2023a)), B: 地形陰影段彩図(図5の部分拡大図).

大図).

図 14 浸水深分布と地形の比較 (庵原山地南縁). A: 最大浸水深分布 (図 4A) の部分拡大図 (緑字は図 3B, 10A, 16E, 17, 23 の撮影地点, 背景図は国土地理院 (2023a)), B: 地形陰影段彩図 (図 5 の部分拡大図).

図 15 有度丘陵北縁の浸水深分布の鳥瞰図 (範囲は図 13A に示す). A: 南東上空からの谷津沢川沿い (緑字は図 16B の撮影地点), B: 南東上空からの草薙川沿い (緑字は図 16C, D の撮影地点).

図 16 巴川支流の浸水被害の例. A: 谷津沢川の越流箇所 (清水区馬走, 2022 年 9 月 28 日撮影, 位置は図 13A), B: 谷津沢川の越流による浸水被害 (清水区馬走, 2022 年 9 月 28 日撮影, 位置は図 13A), C: 草薙川 (写真左奥に堤防) の越流箇所 (清水区草薙, 2022 年 9 月 26 日撮影, 位置は図 13A), D: 草薙川の越流による静岡鉄道沿線の被害 (清水区草薙, 2022 年 9 月 26 日撮影, 位置は図 13A), E: 塩田川の越流箇所 (清水区大内, 2022 年 10 月 5 日撮影, 位置は図 14A), F: 和田川の越流箇所 (清水区石川新町, 2022 年 10 月 4 日撮影, 位置は図 11A).

図 17 庵原山地南縁の浸水被害の例 (位置は図 14). A: 東名高速盛土の手前で水位を増した例 (清水区大内, 2022 年 10 月 8 日撮影). トンネル手前の金網に引っかかる草から浸水深 (2.2m) がわかる. B・C: 北街道沿いの浸水被害 (清水区鳥坂, 2022 年 10 月 3 日撮影). 展示された中古車は屋根やダッシュボード上に泥が付着し, 完全に水没したことがわかる.

図 18 浸水深分布と地形の比較 (草薙川と吉田川). A: 最大浸水深分布 (図 4A) の部分拡大図 (ピンク枠は他図の範囲, 緑字は図 16C~D, 20~21 の撮影地点, 背景図は国土地理院 (2023a)), B: 地形陰影段彩図 (図 5 の部分拡大図, ピンク枠は他図の範囲).

図 19 吉田川の浸水深分布の鳥瞰図 (範囲は図 18A に示す, 緑字は図 20 の撮影地点).

図 20 有度丘陵北縁 (吉田川) の浸水被害の例 (位置は図 18A, 19). A: JR 東海道本線の橋梁手前での吉田川の越流点 (駿河区中吉田, 2022 年 10 月 1 日撮影). 橋梁下の河道面積が不足したための越流とみられる. B: JR 東海道本線の中吉田踏切わきの店舗の浸水被害 (駿河区中吉田, 2022 年 10 月 10 日撮影). A 図の地点での越流が原因とみられる. C: 東海道本線の盛土に沿った浸水被害 (清水区中之郷, 2022 年 10 月 10 日撮影). A 図の地点での越流が達した低標高部にあたる.

図 21 有度丘陵北縁 (草薙川) の浸水被害の例 (位置は図 18A, 22A). A: 国道 1 号線の手前で草薙川が越流 (清水区草薙北, 2022 年 10 月 8 日撮影), B: 越流箇所東側の国道 1 号線沿いの被害 (清水区楠新田, 2022 年 11 月 5 日撮影), C: 越流箇所西側の国道 1 号線沿いの被害 (常葉大学草薙キャンパス, 2022 年 10 月 2 日撮影).

図 22 国道 1 号線の手前での草薙川の越流 (範囲は図 18A に示す, 緑字は図 21A.C の撮影地点). A: 草薙川の越流先に関する水系分析 (青太線: 計算上の水系, 茶細線: 10cm 間隔の地形等高線, 赤丸は国道 1 号線の最高部). 地形解像度が高いため, 国道 1 号線の中心線に沿った盛り上がりが高線に表現されている. B: 同範囲の南東上空からの鳥瞰図 (赤丸は国道 1 号線の最高部, 緑字は図 21A.C の撮影地点).

図 23 大内観音沢沿いの被害の例 (位置は図 14A, 2022 年 11 月 17 日撮影). A: 扇状地の扇頂部付近を流れる大内観音沢沿いのブロック塀に残る泥痕 (図の赤矢印). 河道わきの市道面 (写真右下) よりも高く, 越流したことがわかる. B: その下流に沿う市道. 道路上の泥痕から全面的に越流したことがわかる.

図 24 浸水深分布と地形の比較 (小鹿沢川, 範囲は図 1 に示す). A: 最大浸水深分布 (緑字は図 25 の撮影地点, 背景図は国土地理院 (2023a)), B: 地形陰影段彩図.

図 25 有度丘陵西縁 (小鹿沢川) の被害の例 (位置は図 24, 2022 年 9 月 30 日撮影). A: 東名高速の手前で

小鹿沢川が越流, B: 越流の原因とみられる東名高速下の狭隘な水路トンネル, C: 越流は隣接した市道上に溢れ, 右上の東名高速下のトンネルを流下, D: 市道トンネルの先にある住宅地の被害.

図 26 浸水想定図の例. A: 巴川本流 (図 4A と同範囲), B: 草薙川 (図 18 と同範囲), C: 吉田川 (図 18 と同範囲, 赤丸で東海道本線手前での東側への越流を示す). A は計画規模 (支流分が含まれていないことに注意. 静岡県, 2017), B~C は想定最大規模 (静岡県, 2021).

図 27 数値標高モデルのメッシュサイズと解像度の関係 (範囲は図 18B に示す). A: 静岡県点群にもとづく地盤標高モデル (DTM) の解像度を 25mメッシュに落として作成した地形図 (陰影段彩図), B: 静岡県点群にもとづく地盤標高モデル (DTM) のもつ本来の解像度で作成した詳細地形図 (陰影段彩図), C: 静岡県点群にもとづく地表標高モデル (DSM) から作成した建物と樹木を含む詳細地形図 (陰影段彩図).

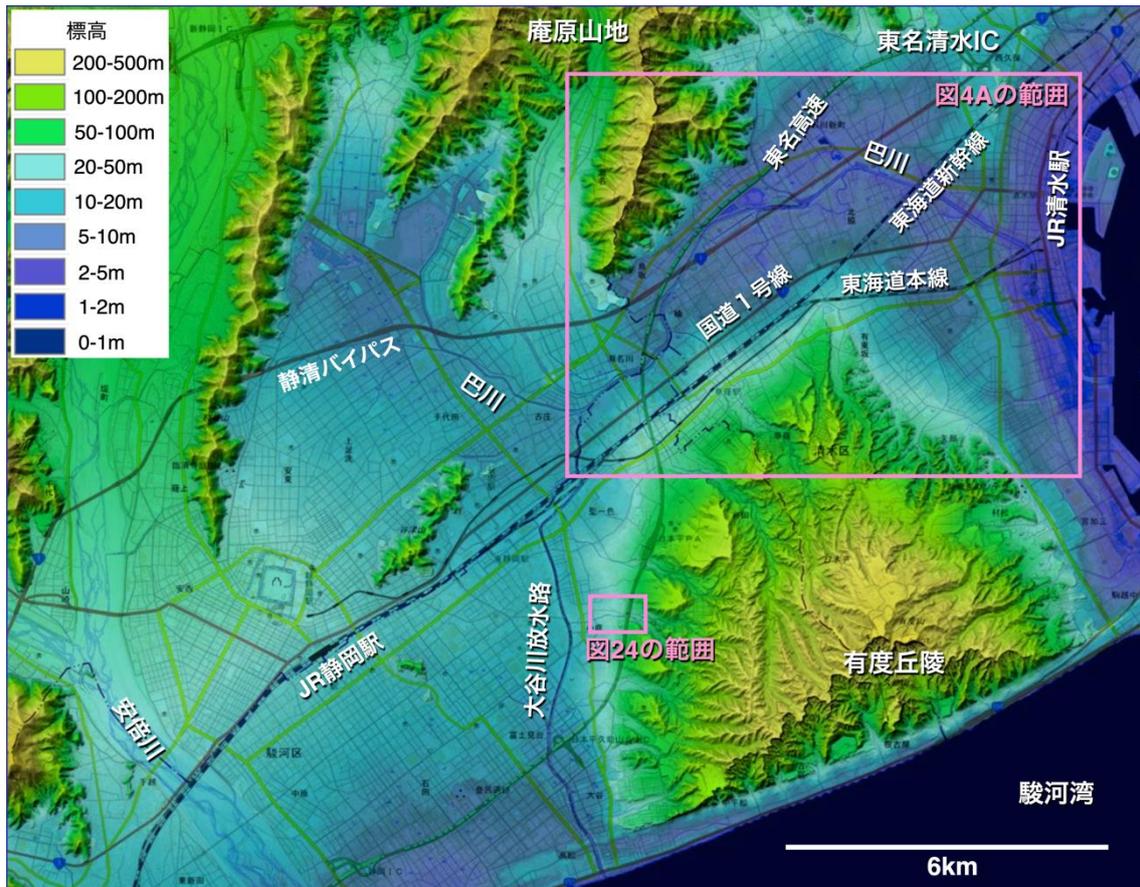
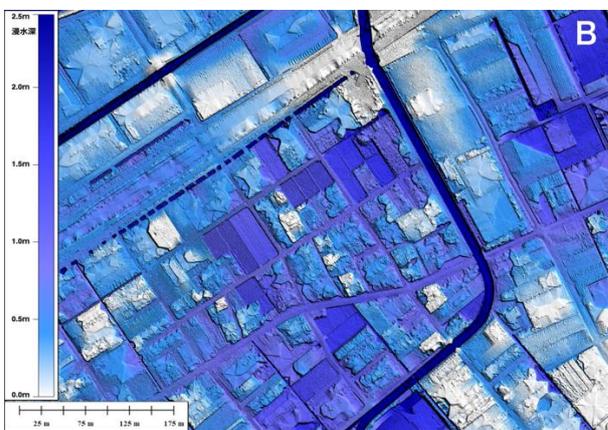
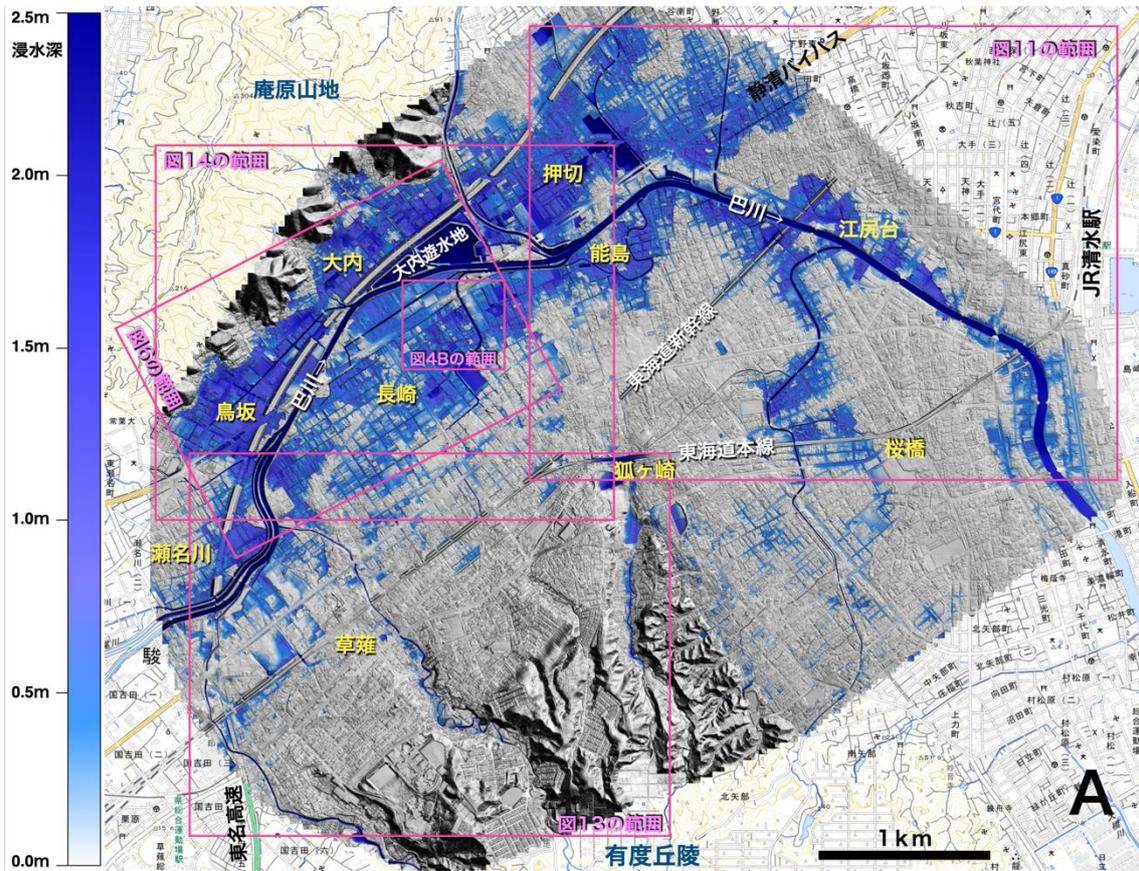


図1 巴川とその周辺の地形. ピンク枠で他図の範囲を示す. 背景図は「スーパー地形」(杉本, 2023) を使用.



図3 最大浸水深（図中の赤矢印）の判別可能な例. A:住宅の外壁表面の痕跡（清水区弥生町，2022年10月5日撮影，位置は図11A），B:ブロック塀表面の痕跡（清水区長崎，2022年11月17日撮影，位置は図14，赤矢印より上の泥痕はしぶきと判断）.



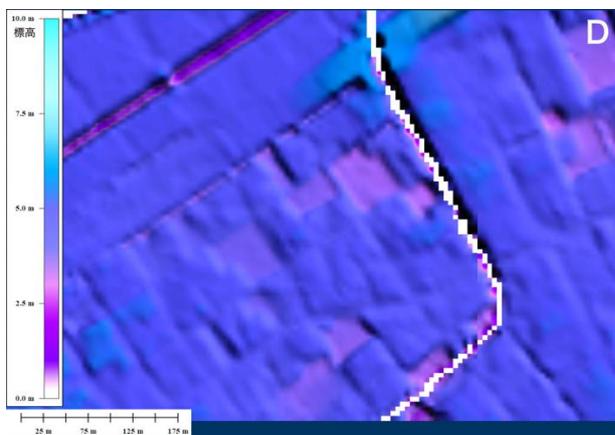
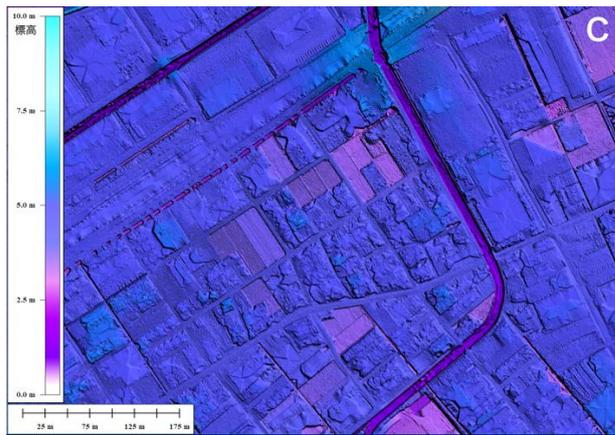


図4 巴川下流域の最大浸水深分布. 背景図は建物と植生を取り除いた地形陰影図. 川の名前に付した矢印は下流方向を示す (以降のすべての図で同じ). A: 全体図 (ピンク枠は他図の範囲), 背景図は国土地理院 (2023a), B: 細部拡大図の例 (清水区長崎付近, 範囲はA図に示す), C: 同範囲の精密地形図 (陰影段彩図), D: 同範囲の国土地理院 5m メッシュ数値標高モデル (国土地理院, 2023b) による地形図 (陰影段彩図).

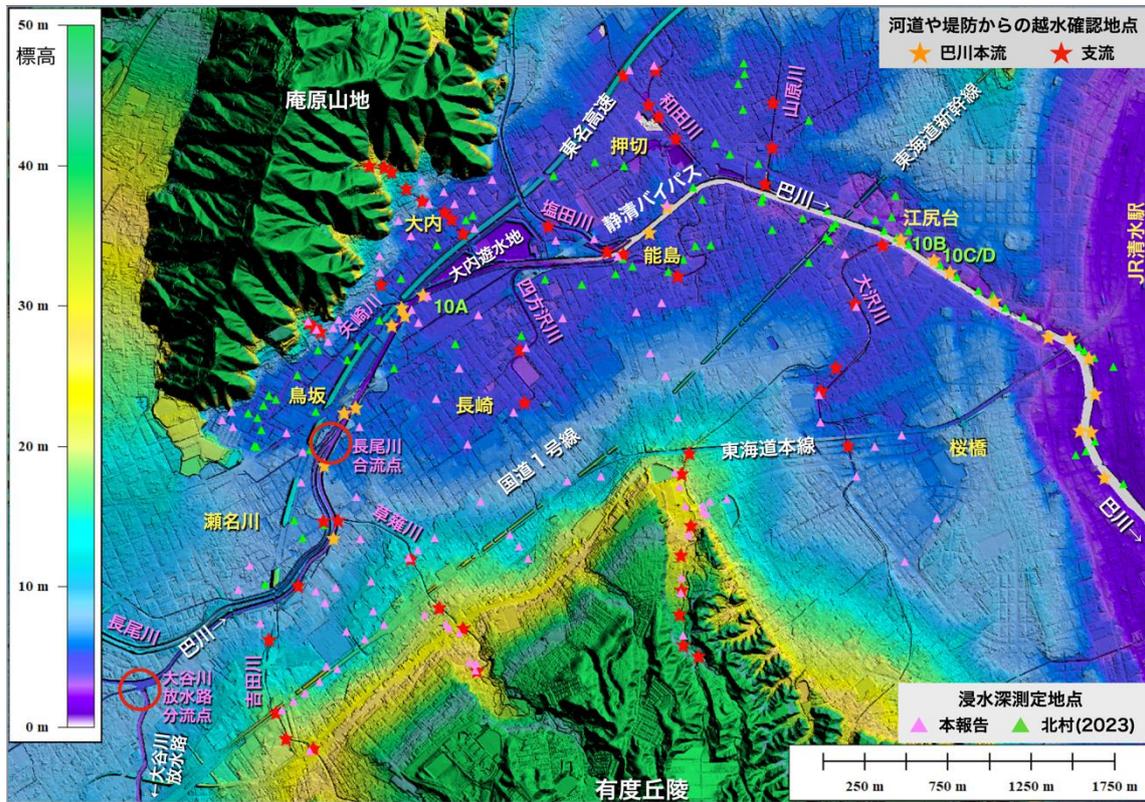


図5 静岡県点群データから作成したDTM(地盤標高モデル)にもとづく調査地域の精密地形図(陰影段彩図)。越流確認地点(幅のある場合はその代表点)ならびに最大浸水深の測定点を記号で示す。緑字は図10の撮影地点。



図6 建物と植生を含めた浸水深分布の鳥瞰図の例(清水区鳥坂付近, 範囲は図4Aに示す).



図7 調査地域における斜面崩壊の例. A:小鹿沢川流域(駿河区池田, 2022年9月30日撮影, 位置は図2), B:吉田川流域(駿河区谷田, 2022年10月17日撮影, 位置は図2と図18A).





図8 巴川支流における被害の例（洗掘による河岸の崩壊，位置は図2，A～C の位置は図18A にも示す）．A：護岸の崩壊（草薙川，2022年9月27日撮影）B：護岸の崩壊（谷津沢川，2022年9月28日撮影），C：河岸の陥没（草薙川，2022年9月29日撮影），D：河岸の陥没（吉田川，2022年9月30日撮影）．



図9 巴川支流における被害の例（吉田川における底固めブロックの流出）A：流出したブロックの例（2022年9月29日撮影，位置は図2），B：下流に流されて池田街道を越える地点に達したブロック（2022年9月29日撮影，位置は図2と図18A）。



図 10 巴川本流の越流箇所の例. A: 堤防上の泥痕や草の倒れ方から越流が確認できる例 (清水区長崎, 2022 年 11 月 17 日撮影, 位置は図 14), B: 堤防上や側道の泥痕から越流が確認できる例 (清水区江尻台, 2022 年 10 月 3 日撮影, 位置は図 11A), C・D: 歩道橋上の流木や浮遊ゴミの堆積状況によって側道への越流が確認できる例 (清水区江尻台, 2022 年 11 月 4 日撮影). この橋は老朽化によって 2018 年 1 月～2019 年 7 月のどこかの時点で通行止めとされていたことが Google ストリートビューによって確認できる. 位置は図 11A).

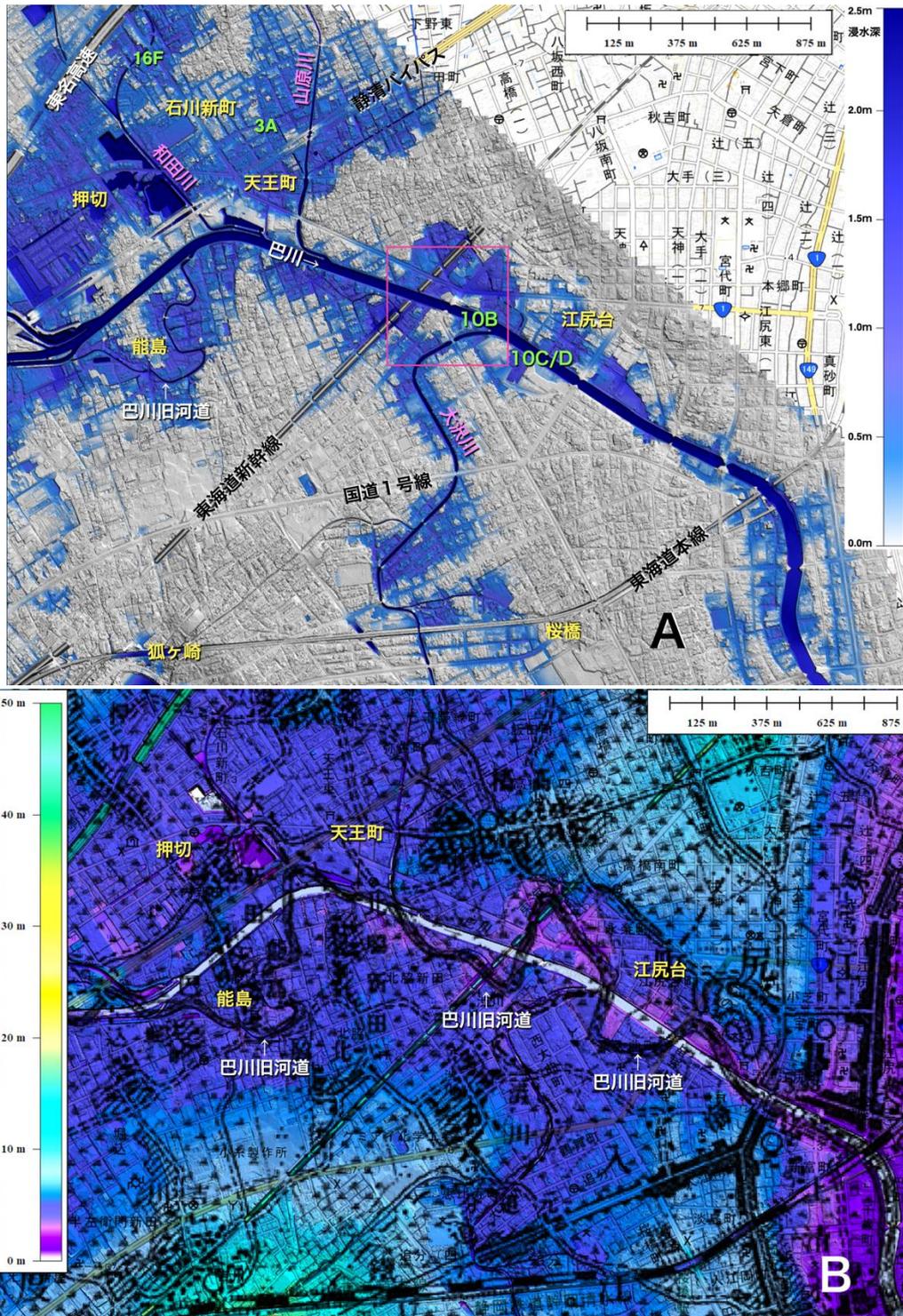


図 11 浸水深分布と地形の比較（清水区能島～江尻台）. A:最大浸水深分布（図 4 A）の部分拡大図（ピンク枠は他図の範囲，緑字は図 3A, 10B～D, 16F の撮影地点，背景図は国土地理院（2023a））, B:地形陰影段彩図（図 5 の部分拡大図）に旧版地形図（1894-1915 年）（谷，2023）を重ねたもの.

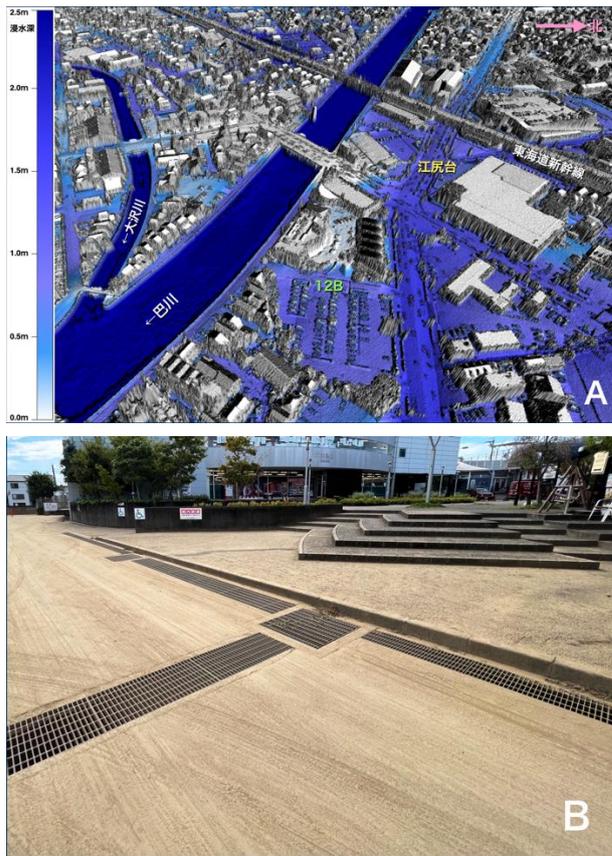


図 12 微高地と浸水深分布の関係の例. A: 東北東上空からの浸水深分布の鳥瞰図 (清水区江尻台付近, 範囲は図 11A に示す), B: 周囲 (手前の駐車場など) が水没した中で被害が軽微だった微高地上の店舗 (A 図の記号 12B, 2022 年 10 月 3 日撮影). 店舗に上る階段の下だけが泥に覆われている.

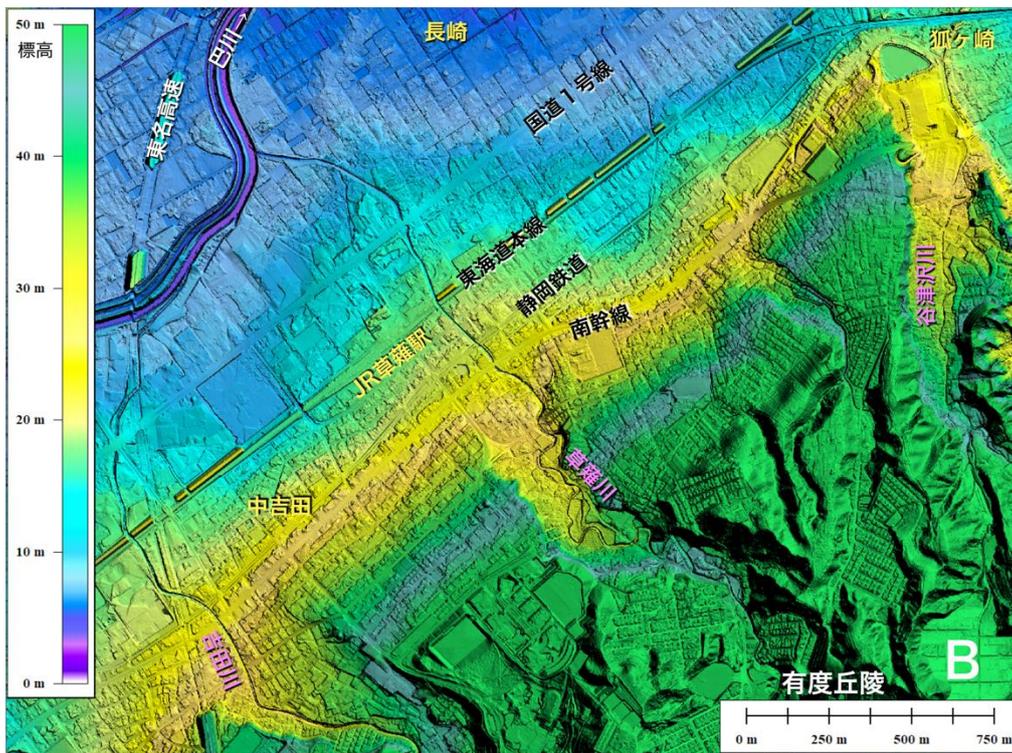
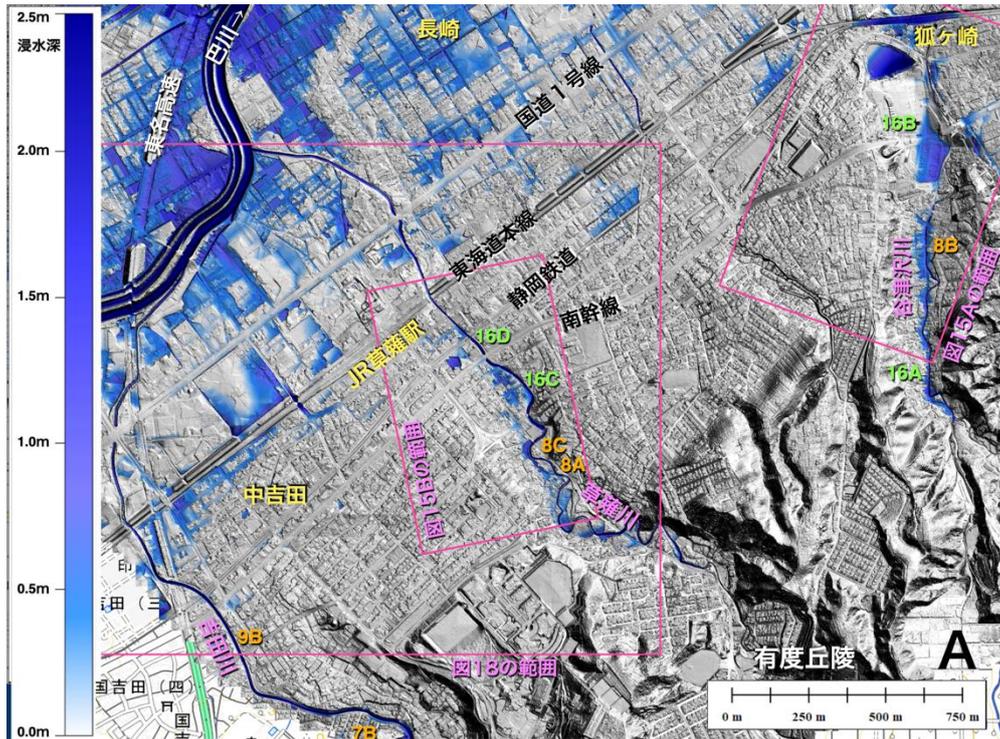


図 13 浸水深分布と地形の比較（有度丘陵北縁）。A: 最大浸水深分布（図 4 A）の部分拡大図（ピンク枠は他図の範囲，緑字は図 16A～D の撮影地点，背景図は国土地理院（2023a）），B: 地形陰影段彩図（図 5 の部分拡大図）。

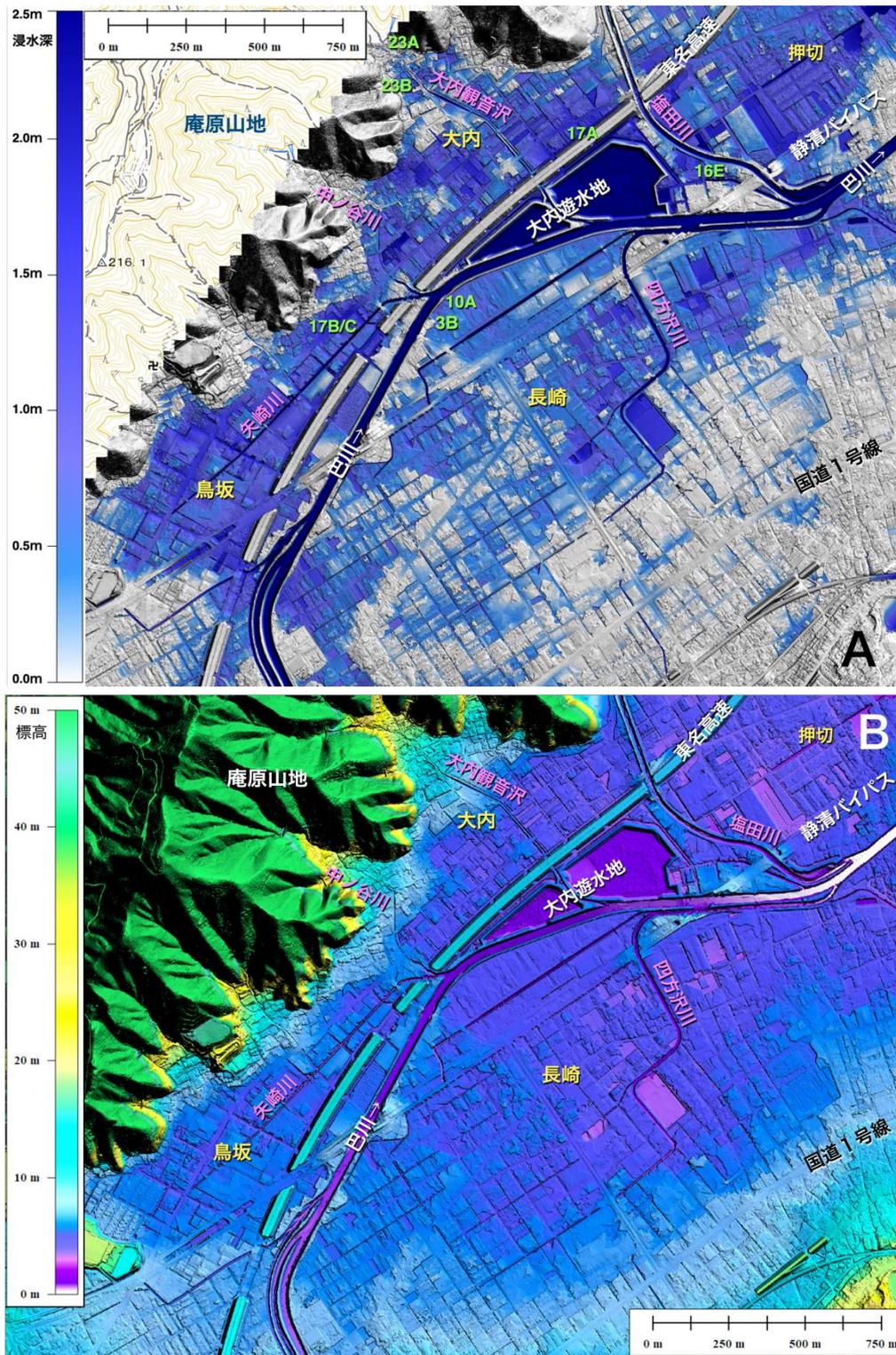


図 14 浸水深分布と地形の比較（庵原山地南縁）. A: 最大浸水深分布（図 4A）の部分拡大図（緑字は図 3B, 10A, 16E, 17, 23 の撮影地点, 背景図は国土地理院（2023a））, B: 地形陰影段彩図（図 5 の部分拡大図）.

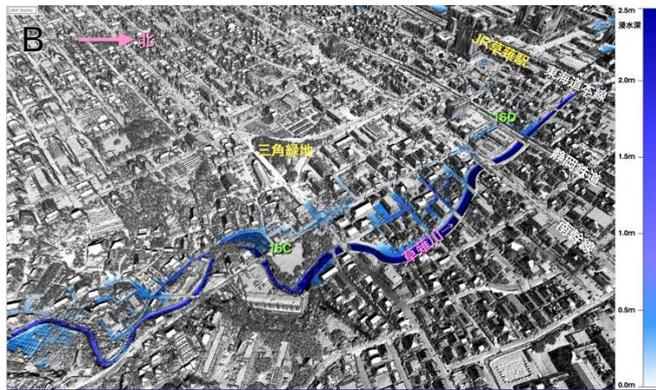
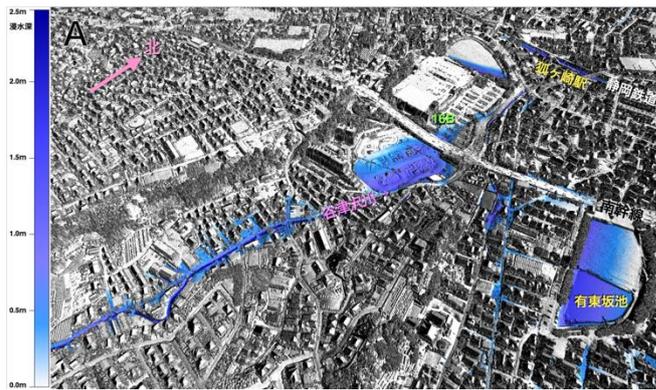


図 15 有度丘陵北縁の浸水深分布の鳥瞰図（範囲は図 13A に示す）。A:南東上空からの谷津沢川沿い（緑字は図 16B の撮影地点）、B:南東上空からの草薙川沿い（緑字は図 16C, D の撮影地点）。





図 16 巴川支流の浸水被害の例. A:谷津沢川の越流箇所(清水区馬走, 2022年9月28日撮影, 位置は図13A), B:谷津沢川の越流による浸水被害(清水区馬走, 2022年9月28日撮影, 位置は図13A), C:草薙川(写真左奥に堤防)の越流箇所(清水区草薙, 2022年9月26日撮影, 位置は図13A), D:草薙川の越流による静岡鉄道沿線の被害(清水区草薙, 2022年9月26日撮影, 位置は図13A), E:塩田川の越流箇所(清水区大内, 2022年10月5日撮影, 位置は図14A), F:和田川の越流箇所(清水区石川新町, 2022年10月4日撮影, 位置は図11A).



図 17 庵原山地南縁の浸水被害の例 (位置は図 14). A: 東名高速盛土の手前で水位を増した例 (清水区大内, 2022 年 10 月 8 日撮影). トンネル手前の金網に引っかかる草から浸水深 (2.2m) がわかる. B・C: 北街道沿いの浸水被害 (清水区鳥坂, 2022 年 10 月 3 日撮影). 展示された中古車は屋根やダッシュボード上に泥が付着し, 完全に水没したことがわかる.

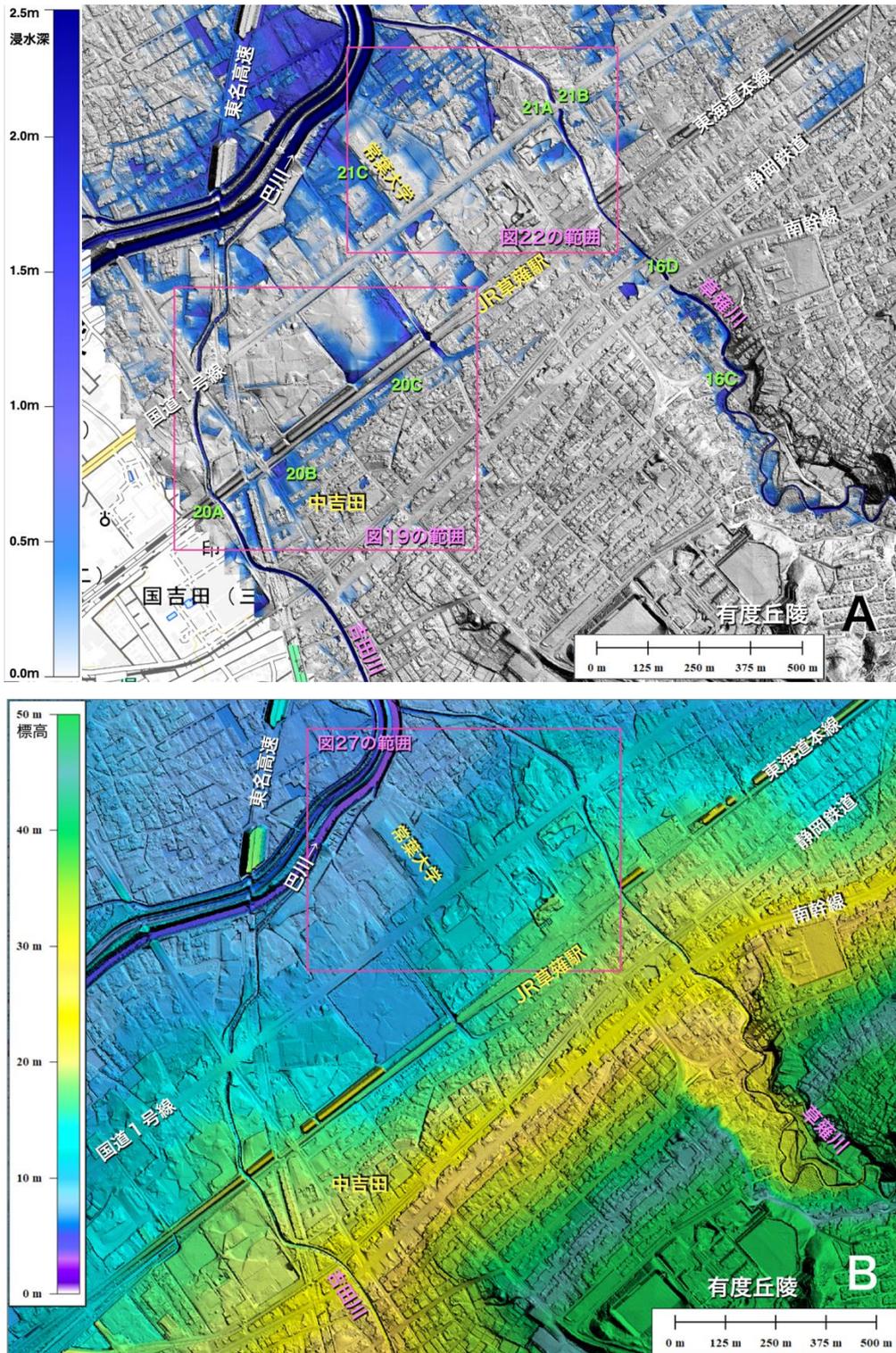


図 18 浸水深分布と地形の比較（草薙川と吉田川）. A:最大浸水深分布（図 4 A）の部分拡大図（ピンク枠は他図の範囲，緑字は図 16C～D，20～21 の撮影地点，背景図は国土地理院（2023a）），B:地形陰影段彩図（図 5 の部分拡大図，ピンク枠は他図の範囲）.

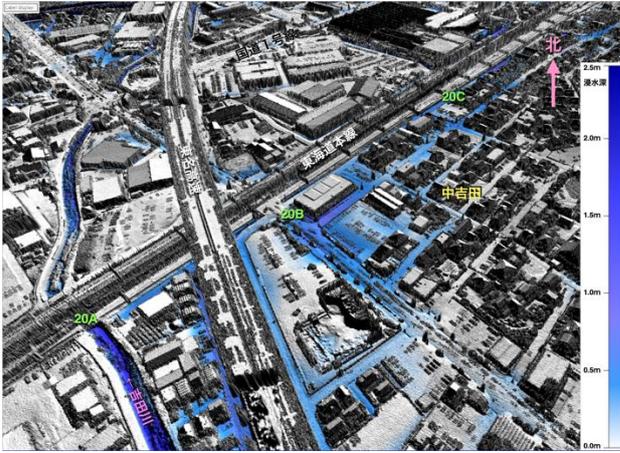


図 19 吉田川の浸水深分布の鳥瞰図（範囲は図 18A に示す，緑字は図 20 の撮影地点）.



図 20 有度丘陵北縁（吉田川）の浸水被害の例（位置は図 18A, 19）. A: JR 東海道本線の橋梁手前での吉田川の越流点（駿河区中吉田，2022 年 10 月 1 日撮影）. 橋梁下の河道面積が不足したための越流とみられる. B: JR 東海道本線の中吉田踏切わきの店舗の浸水被害（駿河区中吉田，2022 年 10 月 10 日撮影）. A 図の地点での越流が原因とみられる. C: 東海道本線の盛土に沿った浸水被害（清水区中之郷，2022 年 10 月 10 日撮影）. A 図の地点での越流が達した低標高部にあたる.



図 21 有度丘陵北縁（草薙川）の浸水被害の例（位置は図 18A, 22A）. A:国道 1 号線の手前で草薙川が越流（清水区草薙北, 2022 年 10 月 8 日撮影）, B:越流箇所東側の国道 1 号線沿いの被害（清水区楠新田, 2022 年 11 月 5 日撮影）, C:越流箇所西側の国道 1 号線沿いの被害（常葉大学草薙キャンパス, 2022 年 10 月 2 日撮影）.

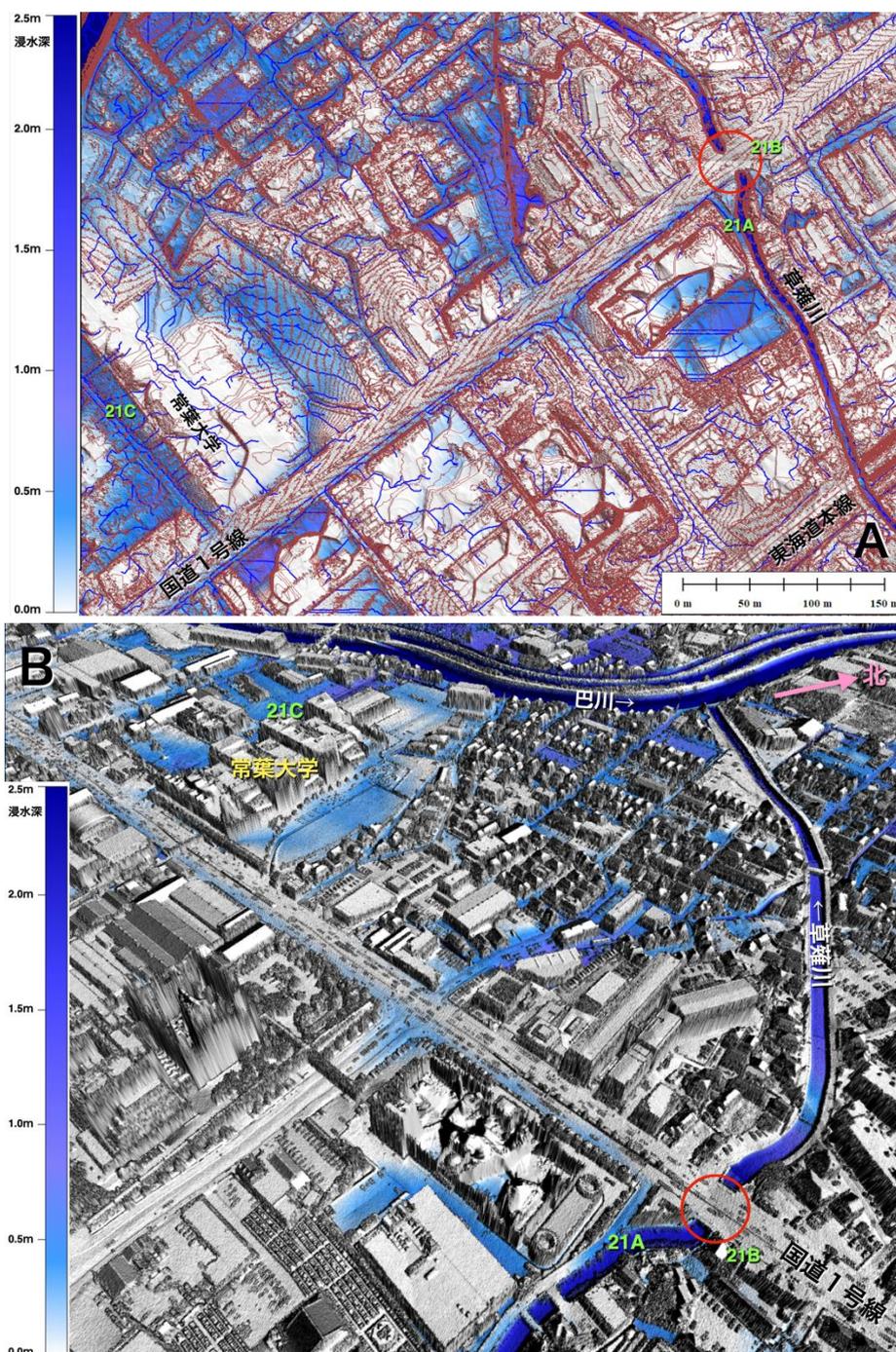


図 22 国道 1 号線の手前での草薙川の越流（範囲は図 18A に示す，緑字は図 21A. C の撮影地点）．A: 草薙川の越流先に関する水系分析（青太線：計算上の水系，茶細線：10cm 間隔の地形等高線，赤丸は国道 1 号線の最高部）．地形解像度が高いため，国道 1 号線の中心線に沿った盛り上がりが高線の形状に表現されている．B: 同範囲の南東上空からの鳥瞰図（赤丸は国道 1 号線の最高部，緑字は図 21A. C の撮影地点）．



図 23 大内観音沢沿いの被害の例（位置は図 14A, 2022 年 11 月 17 日撮影）. A:扇状地の扇頂部付近を流れる大内観音沢沿いのブロック塀に残る泥痕（図の赤矢印）. 河道わきの市道面（写真右下）よりも高く、越流したことがわかる. B:その下流に沿う市道. 道路上の泥痕から全面的に越流したことがわかる.

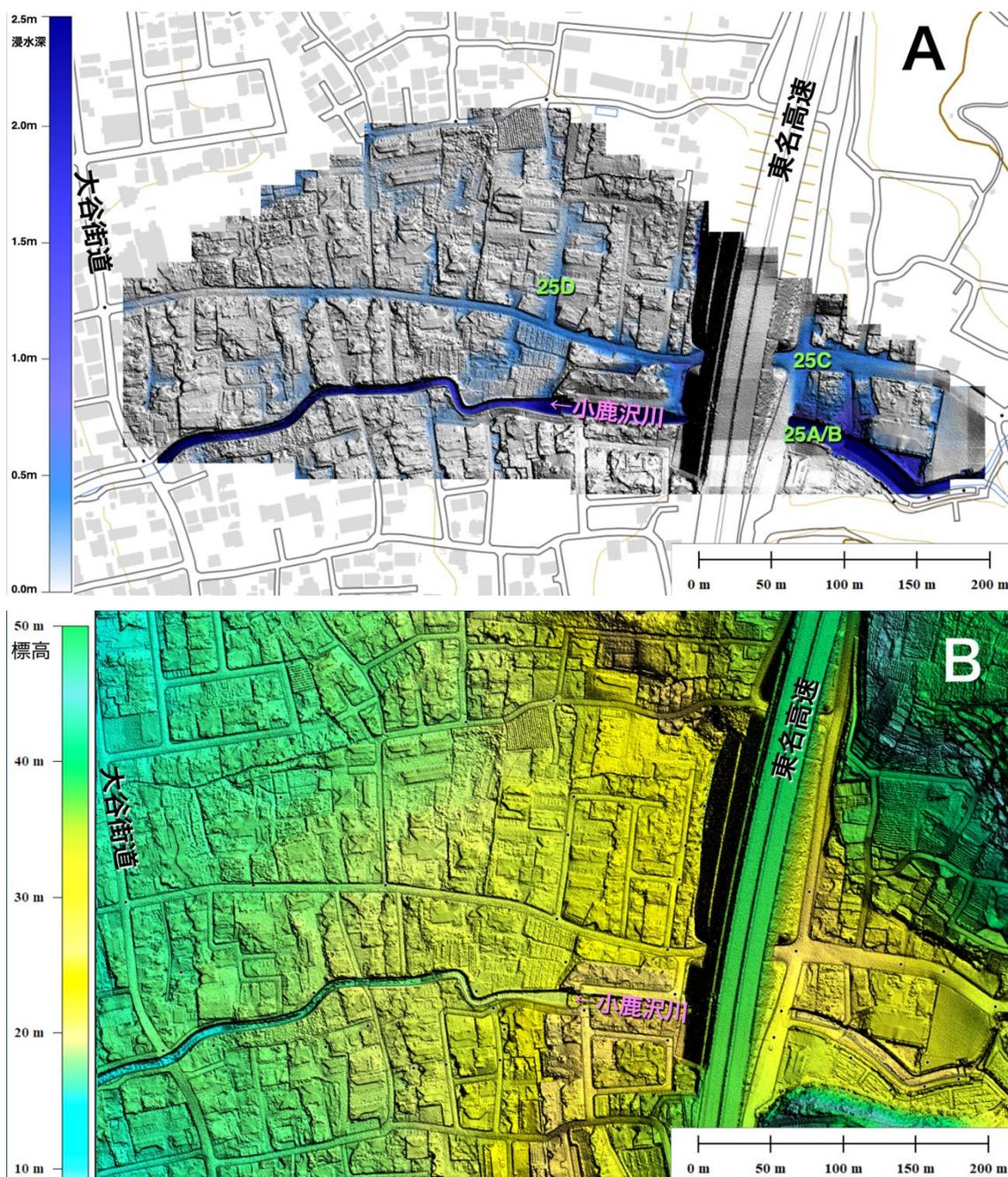


図 24 浸水深分布と地形の比較（小鹿沢川，範囲は図 1 に示す）．A：最大浸水深分布（緑字は図 25 の撮影地点，背景図は国土地理院（2023a）），B：地形陰影段彩図．



図 25 有度丘陵西縁（小鹿沢川）の被害の例（位置は図 24，2022 年 9 月 30 日撮影）. A: 東名高速の手前で小鹿沢川が越流，B: 越流の原因とみられる東名高速下の狭隘な水路トンネル，C: 越流は隣接した市道上に溢れ，右上の東名高速下のトンネルを流下，D: 市道トンネルの先にある住宅地の被害.

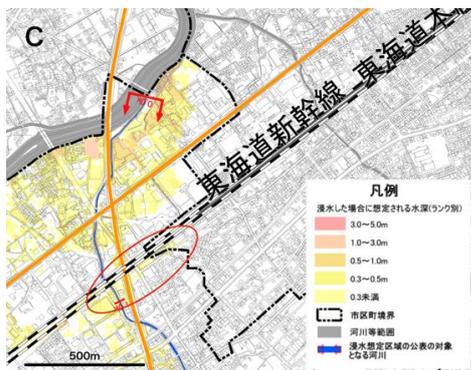
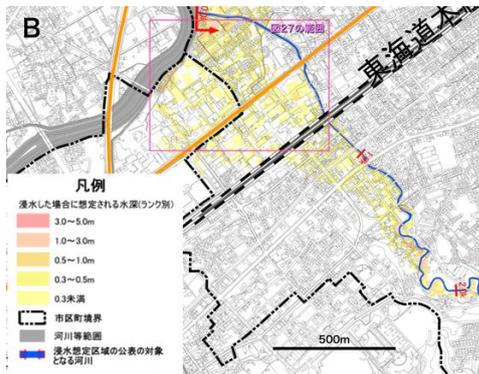
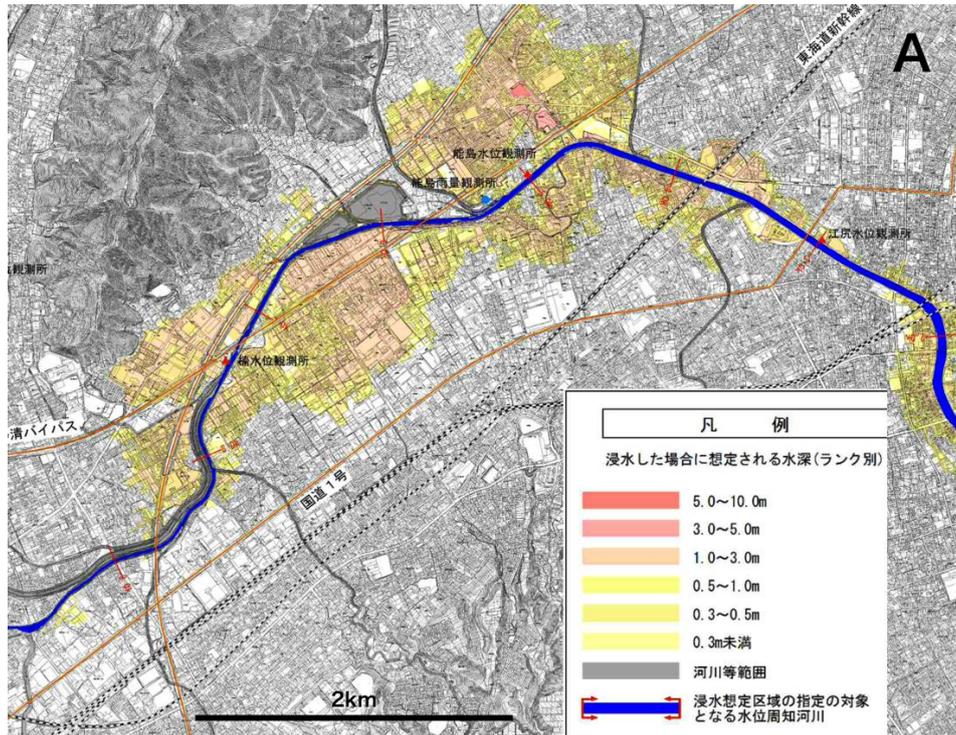


図 26 浸水想定図の例. A: 巴川本流 (図 4 A と同範囲), B: 草薙川 (図 18 と同範囲), C: 吉田川 (図 18 と同範囲, 赤丸で東海道本線手前での東側への越流を示す). A は計画規模 (支流分が含まれていないことに注意. 静岡県, 2017), B~C は想定最大規模 (静岡県, 2021).

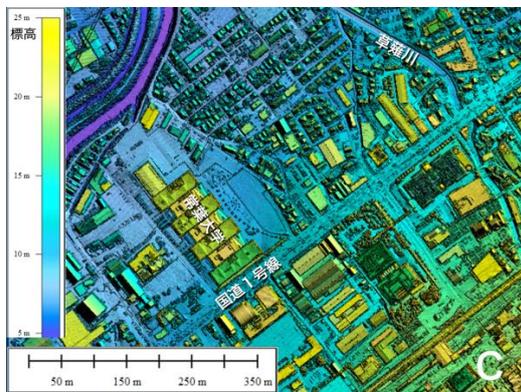
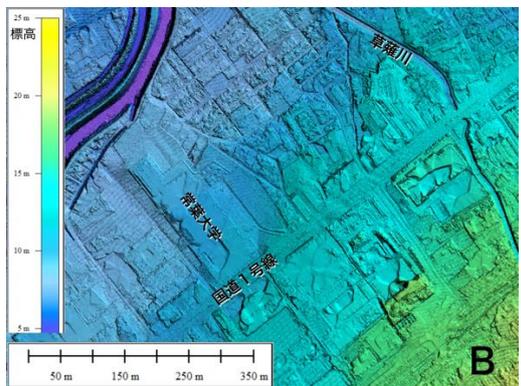
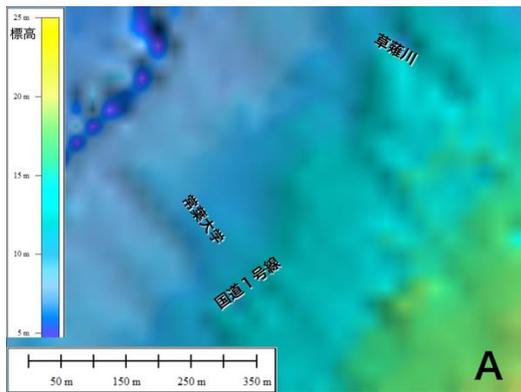


図 27 数値標高モデルのメッシュサイズと解像度の関係（範囲は図 18B に示す）。A：静岡県点群にもとづく地盤標高モデル（DTM）の解像度を 25mメッシュに落として作成した地形図（陰影段彩図），B：静岡県点群にもとづく地盤標高モデル（DTM）のもつ本来の解像度で作成した詳細地形図（陰影段彩図），C：静岡県点群にもとづく地表標高モデル（DSM）から作成した建物と樹木を含む詳細地形図（陰影段彩図）。