



Waseda University

## 大規模水害にどのように備えるか

早稲田大学 理工学術院 教授

関根 正人

MASATO SEKINE / PROFESSOR / WASEDA UNIVERSITY

1

### はじめに (1)

- 近年，地球規模で進む気候変動とそれに伴う気象の極端化により，記録的な豪雨が毎年のように発生しています．都市部ではこれにヒートアイランド現象の影響が加わり，局地的な集中豪雨も頻発しています．
- 2011年の紀伊半島豪雨，2013年の伊豆大島豪雨，2014年の広島豪雨がその典型的な例と言えます．これらはいずれも深刻な土砂災害となりました．さらに，[2015年9月には鬼怒川の河川堤防が決壊するという大規模水害が発生するに到りました](#)．
- 今後，被害軽減を図っていく上では，このような豪雨の発生をいかに予測するかがひとつの重要な鍵になります．

MASATO SEKINE / PROFESSOR / WASEDA UNIVERSITY

2

## はじめに (2)

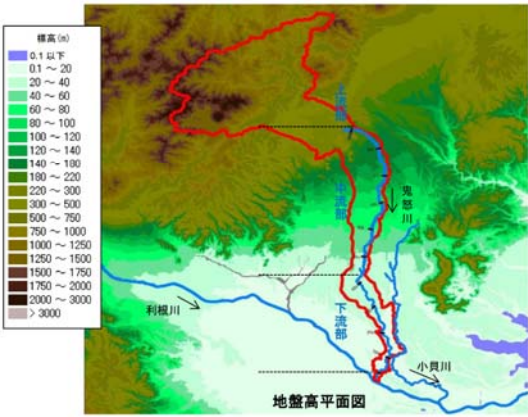
- ただし、豪雨の発生が予報できても問題の解決にはなりません。これまでに経験したことのないような強い豪雨であるかもしれないからです。そのとき、ハードウェアだけの対策で浸水あるいは洪水の被害をなくすことはできません。
- 被害軽減を実現するには、住民自らが避難行動をとることができるようになることが不可欠です。
- そのためには、科学的根拠に基づいた精確な水害リスク情報を事前にかつ的確に周知しておくことが必要です。
- これを可能にするには、豪雨の規模に応じてどのような浸水あるいは氾濫が生じるかをできるだけ正確に予測できるようにしなければなりません。

## 鬼怒川堤防決壊に伴う大規模浸水と 今後活かすべき教訓

国土交通省関東地方整備局鬼怒川堤防委員会配付資料より引用

**地形・地質特性**

- 上流部：溪谷や河岸段丘が形成されている山地を流下する。
- 中流部：側方侵食による段丘がみられ、広い礫河原の中を網状に蛇行して流れる。
- 下流部：川幅が狭く、単列化したみお筋となり、沖積平野を緩やかに流れる。

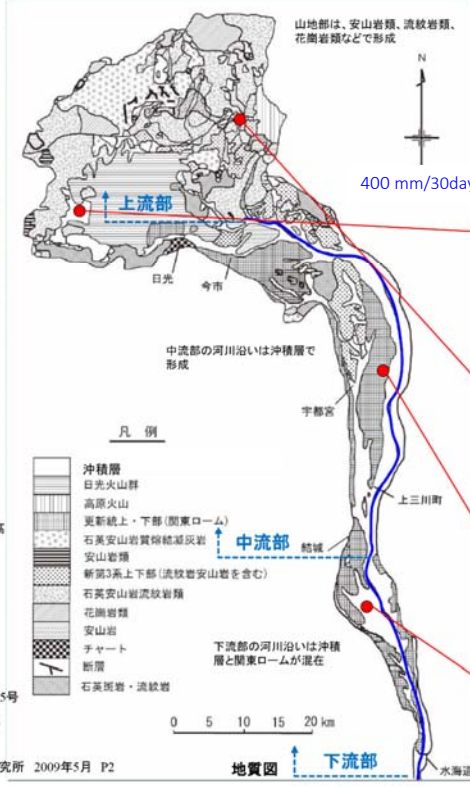
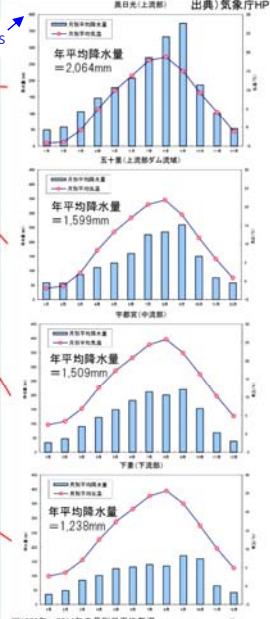


名称	区間
上流部	101.5k上流(指定区間)
中流部	44~101.5k
下流部	3~44k

出典：河川環境総合研究所資料 第25号  
鬼怒川の河道特性と河道管理の課題  
—沖積層のそこが見える河川—  
河川環境管理財団、河川環境総合研究所 2009年5月 P2

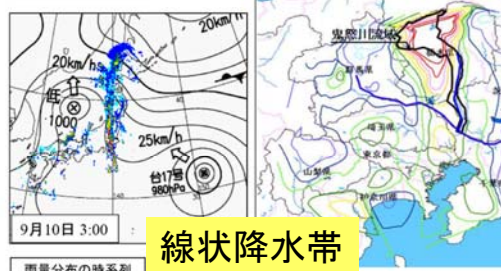
**降雨特性**

- 流域平均の年平均降水量は、約1,600mmである。
- 鬼怒川上流部(奥日光地点)では、年平均降水量が約2064mmであり、降水量が多くなっている。

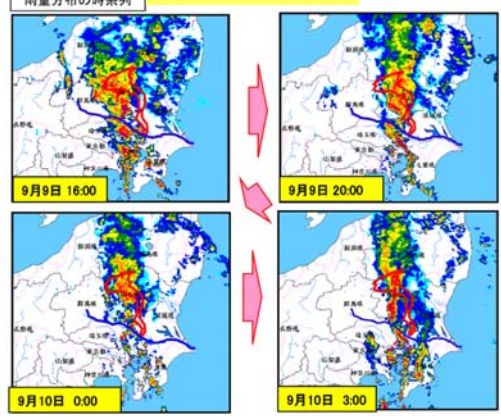


■関東地方は、台風18号によって刺激された秋雨前線により降り始めた降雨に加え、その後に台風から変わった温帯低気圧と台風17号の双方から暖かく湿った風が吹き込み「線状降水帯」と呼ばれる積乱雲が帯状に次々と発生する状況を招き、長時間にわたって強い雨が降り続いた。  
■五十里(いかり)雨量観測所(栃木県藤原町)において、3日雨量613mmを記録したほか、各観測所で既往最多雨量を記録した。

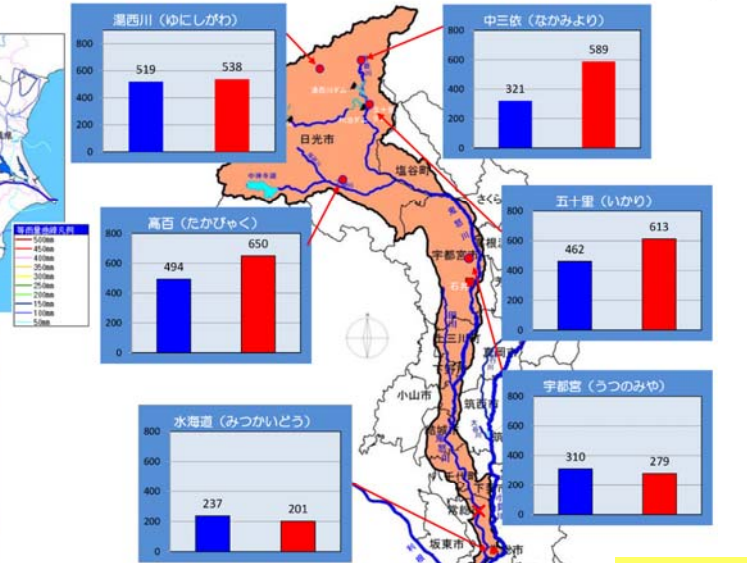
**気象・降雨の概要**



**線状降水帯**



※今水出に関する数値等は速報値であり、今後変更となる可能性がある。



**三日雨量**

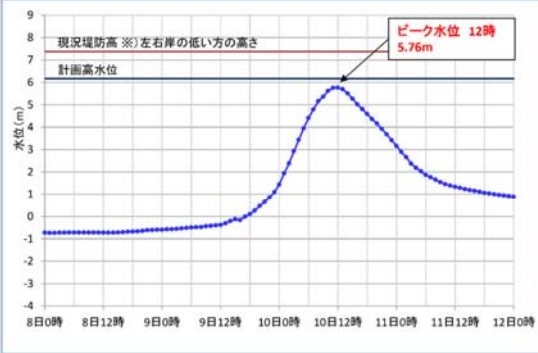
観測所名	河川名	今回洪水(mm)			既往最多(mm)	備考
		24時間	3日	3日		
湯西川	湯西川	438	538	519	昭和34年8月	昭和32年から観測
中三枝	男鹿川	502	589	321	平成13年9月	昭和26年から観測
高百	鬼怒川	550	650	494	平成10年8月	昭和59年から観測
五十里	男鹿川	560	613	462	昭和34年8月	昭和30年から観測
宇都宮	鬼怒川	210	279	310	昭和61年8月	昭和58年から観測
水海道	鬼怒川	144	201	237	平成26年10月	昭和13年から観測

■ : 既往最多雨量  
■ : 今回の雨量

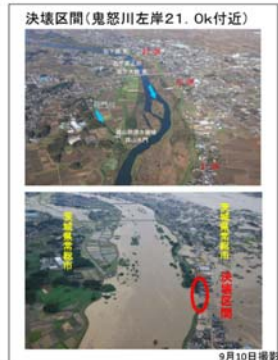
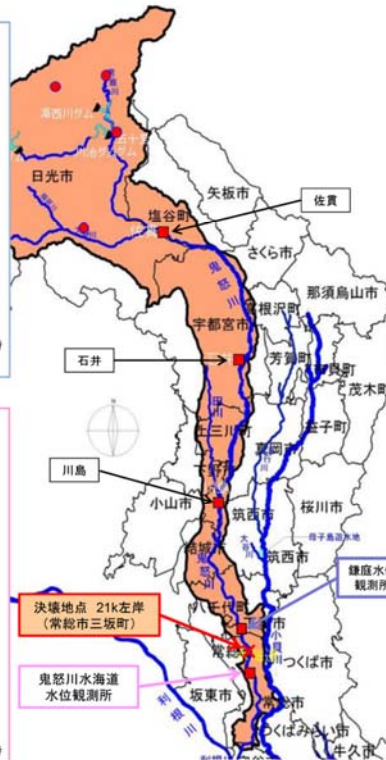
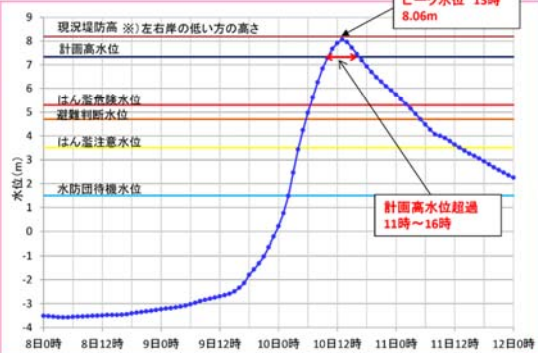


■鬼怒川水海道地点では、10日11時から16時の5時間にわたり計画高水位を超過し、観測記録史上第一位の水位を記録した。

①鎌倉地点(27.34k)



②鬼怒川水海道地点(10.95k)



※今次出水に関する数値等は速報値であり、今後変更となることがある。



被害名	下流	中流	総数
	3~44k	44~101.5k	
決壊	1	0	1
溢水	5	2	7
漏水(噴砂あり)	8	0	8
漏水(噴砂なし)	12	0	12
法崩れ	8	0	8
堤防洗掘	21	0	21
河岸洗掘	2	7	9
その他	17	12	29
合計	74	21	95



※今次出水に関する数値等は速報値であり、今後変更となることがある。



# 破堤点(21km)付近の河川堤防左岸上で発生した越水ならびに堤防決壊現象

11:10



11:11



13:27



13:45



14:16



15:40



MASATO SEKINE / PROFESSOR / WASEDA UNIVERSITY

9



決壊区間航空写真図(H18撮影)



決壊区間航空写真図(H27/9/12撮影)



決壊区間航空写真(H27/9/11撮影)



決壊区間航空写真(H27/9/11撮影)

MASATO SEKINE / PROFESSOR / WASEDA UNIVERSITY

10

## 鬼怒川被害からの教訓

### [河川管理者]

- 越水しても決壊までの時間を遅らせる堤防を整備する！
- 河川の洪水情報を自治体にいかに伝えるか？

### [自治体 (市町村)]

- リアルタイム情報を住民の事前避難にいかに活かすのか？
- 平時から浸水リスク情報を住民にしっかり伝えておく！

### [住民]

- 浸水に対する認識を改める！ 言い伝えを過信しない！
- できるだけ事前に避難し，自らの命は自分で守る！

## 今後の豪雨対策とは (1)

今後の豪雨対策を考える上で念頭におくべきポイント：

1. これまで以上に精緻で信頼性の高い浸水リスク情報が得られるようにすること [ [浸水予測手法の開発と活用](#) ].
2. この情報を活かしたハードウェアの整備を引き続き行うこと [ [ハードウェア整備](#) ].
3. 平時にこの浸水リスクを住民にわかりやすく周知し，いざというときの準備を整えておくこと [ [情報伝達システムの確立と防災教育](#) ].
4. 緊急時に的確な避難ができるように行政は遅滞なく確かな情報の提供を行うこと，住民はその情報に注意し，自らの命を守るために速やかな行動をとること [ [避難](#) ].

## 今後の豪雨対策とは (2)

---

5. 被災後の速やかな復旧を可能とするような仕組みを構築しておくこと [ [避難所の設置・運営](#), [行政とボランティア団体との連携](#) ].
6. 平時・災害時の業務のスムーズな移行を可能とする行政組織のあり方についての検討 [ [再組織化](#) ].

[参考]

内閣府中央防災会議 防災対策実行会議  
水害時の避難・応急対策検討ワーキンググループ 報告  
<http://www.bousai.go.jp/fusuigai/suigaiworking/index.html>

## 豪雨時に発生する都市浸水の数値予測と懸念される浸水リスク

---

## 都市浸水予測の概要 (1)

- 高度に都市化されたエリアを豪雨から守るため、「下水道と都市河川」が整備されてきた。たとえば東京都23区の場合には、設計降雨強度50 mm/h以下の雨であれば浸水は起こりません。一方、この強度を超える豪雨に襲われた場合には顕著な浸水が生じます。
- 東京をはじめとする大都市には、大規模な地下空間が開発されているほか、道路が立体交差する部分にアンダーパスが多数存在しています。地下空間の浸水ならびにアンダーパスの冠水・水没には特に注意しなければならず、大河川の氾濫がなくても人命に関わる事態にまで発展する可能性があります。

## 都市浸水予測の概要 (2)

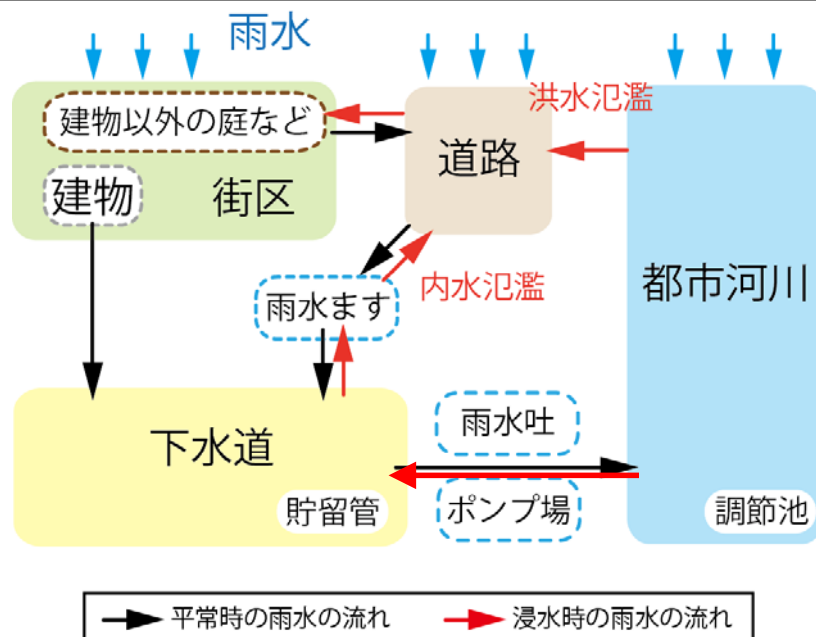
- 都市における雨水の流れは、道路あるいは街区を含めて人工的に創り上げたインフラ上あるいはその中で生じます。このような空間で生じる浸水・氾濫現象には、降雨を除けば他に不確定要因はありません。
- 都市で発生する浸水あるいは氾濫事象はすでに予測可能な段階にあり、この点で土砂崩壊を伴う災害よりもはるかに対策が容易です。
- 予測計算結果に基づき「信頼性の高い科学的根拠」を得ることができ、これを踏まえた確かな判断を下していくことによって、都市浸水の被害軽減は可能と言えます。



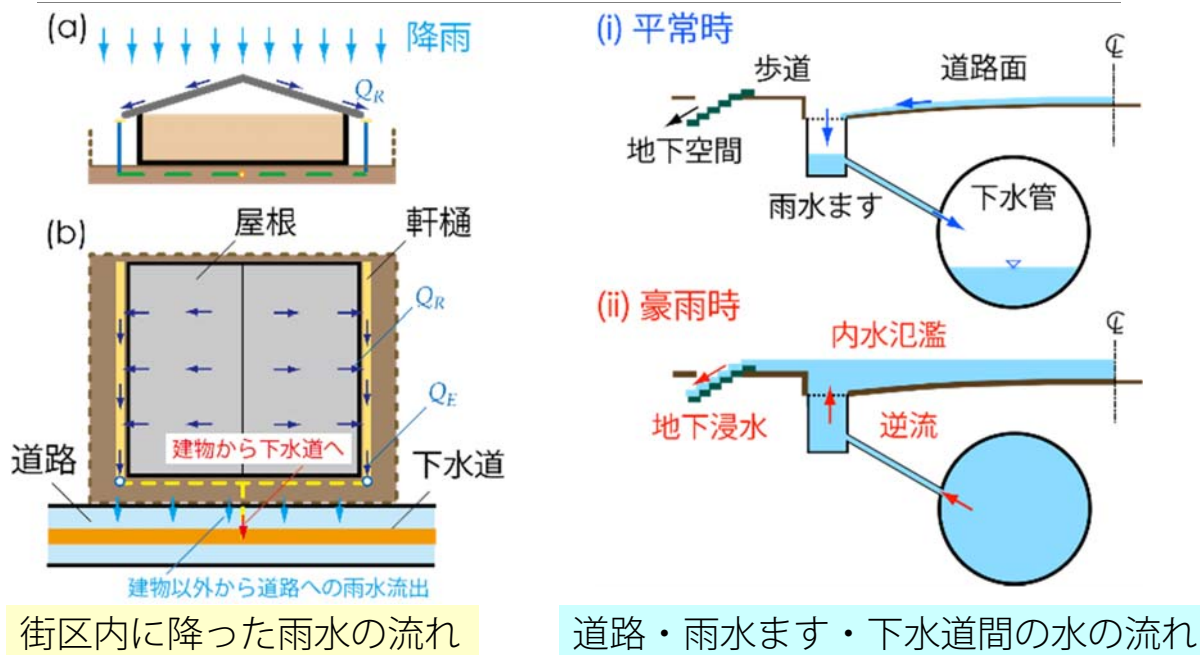
## 都市浸水予測の概要 (3)

- 「**浸水予測**」を行う上で重要なことは、(a) 浸水が発生する物理プロセスを基本原理に基づいて解くこと、(b) 土地利用ならびに都市インフラの整備の状況などの現実の都市のありさまを忠実に反映させた計算を行うことです。
- 筆者による手法には、仮定や仮説の類いは導入されておらず、普遍性を持つ物理定数を除けば補正係数のようなパラメータは一切持ち込まれていません。
- これは、現時点で考え得る最も精緻で信頼性の高い予測技術であり、これにより都市河川の「洪水氾濫」と「都市浸水」のプロセスを同時により精緻に予測できます。

## 都市河川流域の水の流れの模式図



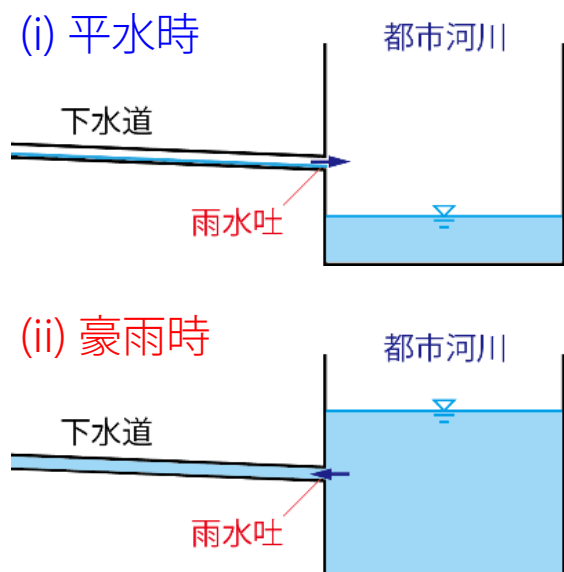
# 都市域内の雨水の流れの概略



# 下水道と都市河川との接続 (雨水吐)

- 雨水吐における下水道内の水圧と河川水位との関係に応じて都市河川への流出流量が定まる.
- 河川水位が上昇すると, 河川から下水道への逆流が生じる.

最も懸念されるシナリオ：  
「都市河川→下水道→道路上」  
の経路をたどる逆流.



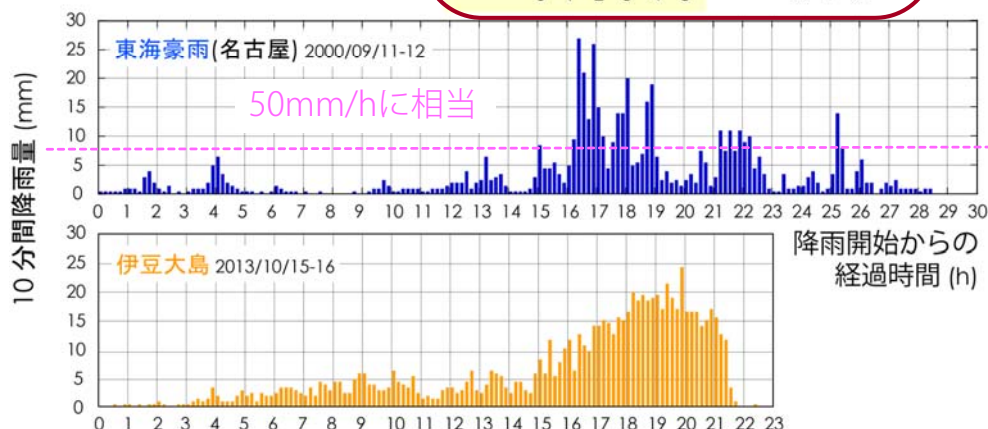
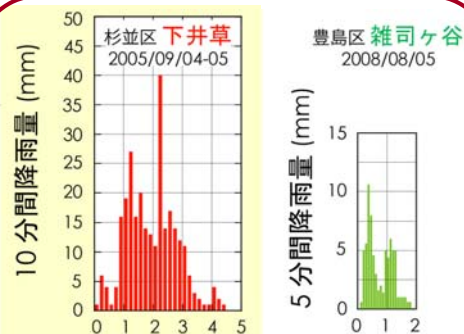
下水道と都市河川の間の水の流れ

# 豪雨についての基本的な考え方

- 都内23区内の相対的な浸水リスクを明らかにするため、23区内の実績降雨のうち最大級の豪雨である「杉並豪雨」(2005年9月4~5日)を全域に一律に与えることにより、浸水予測計算を行いました。この雨は東海豪雨に匹敵するものと見ることができます。
- X-RAINデータ(国交省)を入力値とし、降雨の時空間的な変化を考慮した再現計算を行うことにより、予測計算技術の精度検証を行いました。ここでは、**2013年7月24日豪雨**と**2014年6月29日豪雨**に注目しました。
- 降雨の予報値を入力とすれば、都市浸水のリアルタイム予報が可能となるように検討を続けてきました。

## 杉並豪雨 (2005)

豪雨のコアの部分について比較すると、2005年に杉並で観測された雨は東海豪雨と同等と判断される。



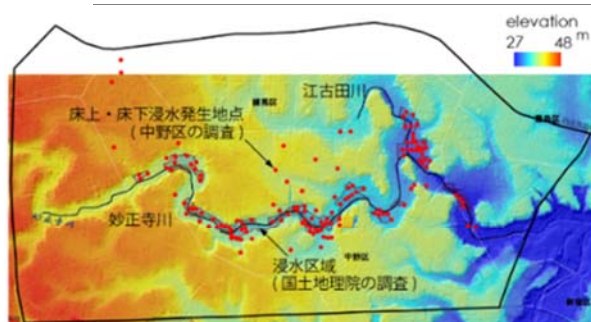


## 過去の浸水事例を対象とした再現計算と 予測精度の検証

MASATO SEKINE / PROFESSOR / WASEDA UNIVERSITY

23

## 2005年杉並豪雨により妙正寺川流域で 発生した浸水事例の再現計算結果



中野区による床上・床下  
浸水の被害調査結果

都市浸水予測結果

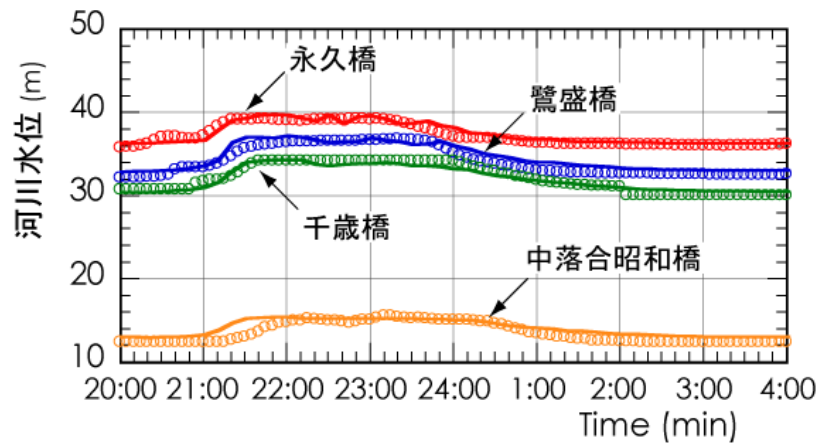


MASATO SEKINE / PROFESSOR / WASEDA UNIVERSITY

24

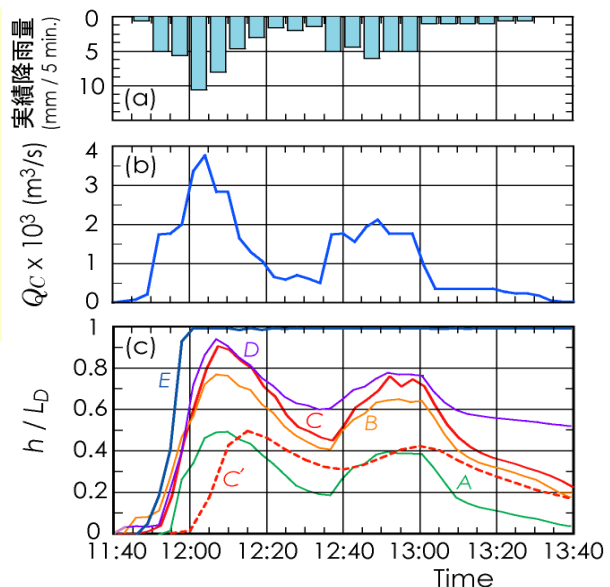
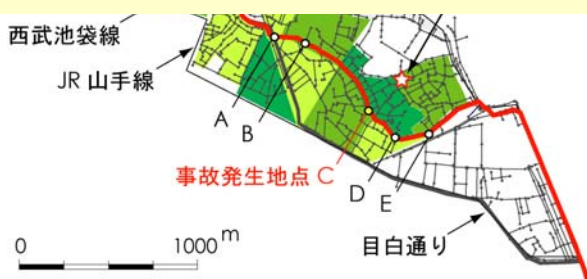
# 杉並豪雨時の妙正寺川水位の観測値と予測値の比較

豪雨時の各観測地点での水位計測値(○印)と再現計算による値(実線)はほぼ一致します。このことも含めて可能な限りの検証を行った結果、本予測手法が妥当なものであることが確認されました。



# 雑司ヶ谷幹線下水道で発生した水難事故(2008)時の雨水集中イベントの再現計算結果

東京都によれば、事故が発生したマンホール点での当時の状況は、下水道満管率は0.9程度、管内流速は3.6 m/s (解析上は3.3 m/s)であったとされる。



下水道満管率の時間変化

# 「2014年6月29日豪雨」のX-RAINデータを 活用した「東京都心部の浸水」再現計算

MASATO SEKINE / PROFESSOR / WASEDA UNIVERSITY

27

## 2014年6月29日豪雨

降雨時間：15:45～16:45  
発生箇所：東京都23区全域  
短時間ながら極めて高強度の豪雨

国土交通省のXバンドMPレーダにより観測された  
高精度の実降雨データ(XRAIN)を用いる。  
(空間スケール：231×283m, 時間スケール:1分毎)

### 数値予測計算

上記の降雨データを入力値として15:45～17:15の90分間にわたって浸水計算を行い、当時の浸水のプロセスを把握するとともに、計算の妥当性についても確認した。

MASATO SEKINE / PROFESSOR / WASEDA UNIVERSITY

28



## 対象区域

- 総面積：104km<sup>2</sup>

## 標高

- 東に進むにつれて標高が低下
- 局地的に標高の低い「谷地形」が存在している

0 5 10 15 20 25 30 35 m



三河島処理区

JR山手線

甲州街道

目黒川

隅田川

芝浦処理区

0 1 km



## 都市河川

- 区域の中央を東西に横断する神田川・日本橋川・亀島川
- 区域の南側を流れる渋谷川・古川

0 5 10 15 20 25 30 35 m



JR山手線

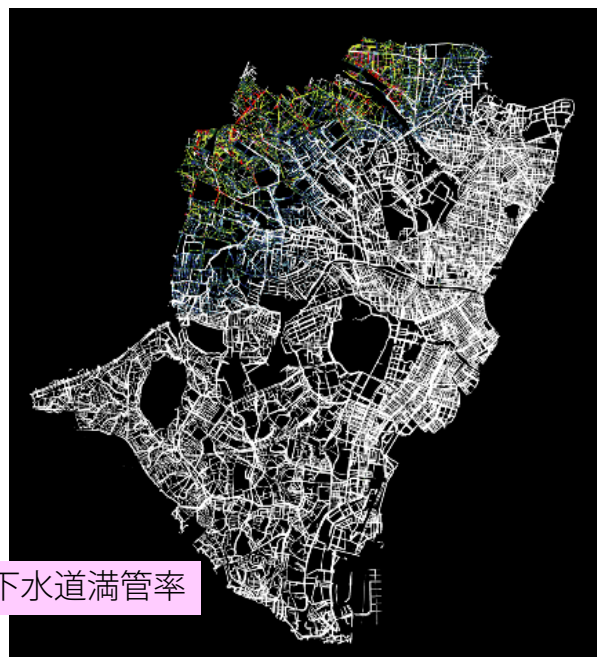
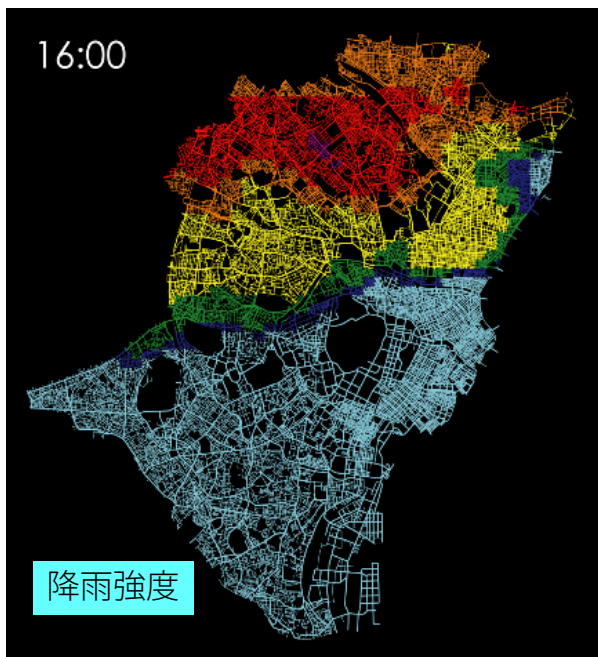
神田川

日本橋川

亀島川

古川

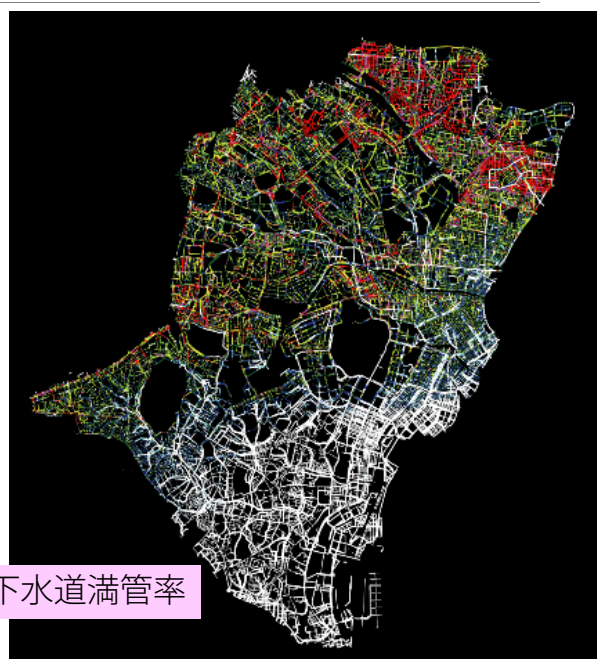
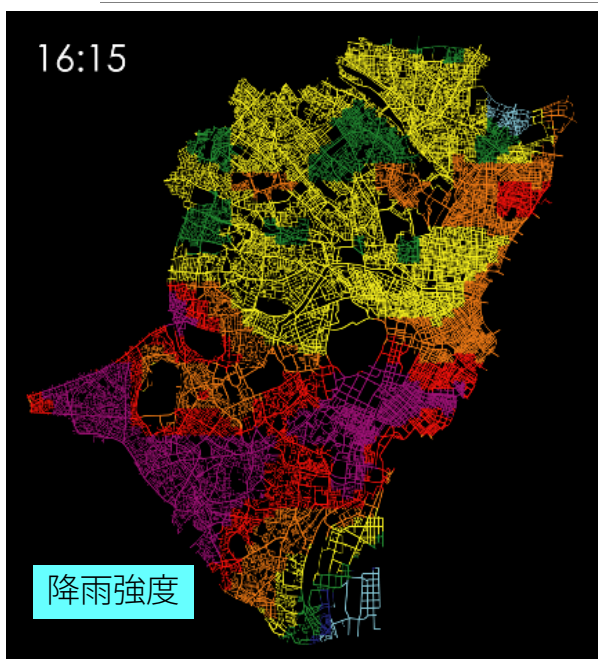
## 2014年6月29日豪雨時の再現計算



MASATO SEKINE / PROFESSOR / WASEDA UNIVERSITY

31

## 2014年6月29日豪雨時の再現計算

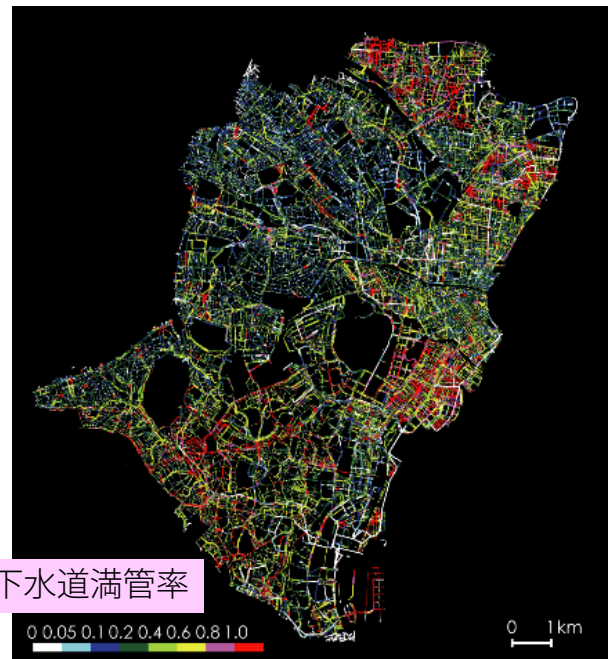
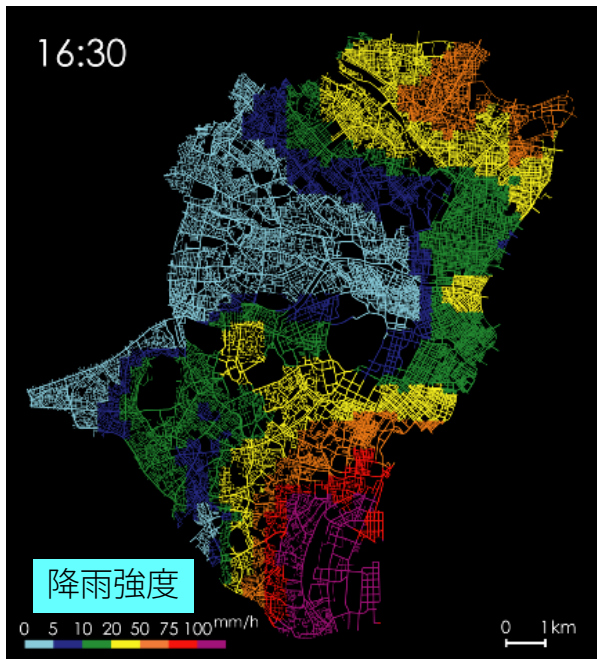


MASATO SEKINE / PROFESSOR / WASEDA UNIVERSITY

32



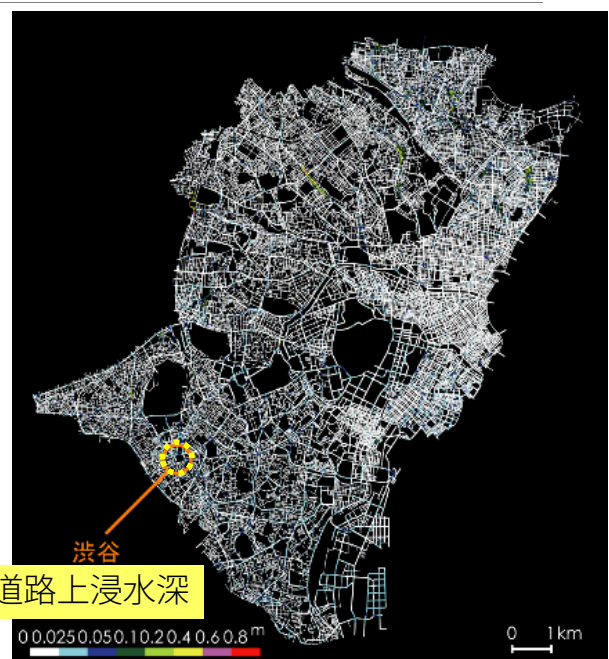
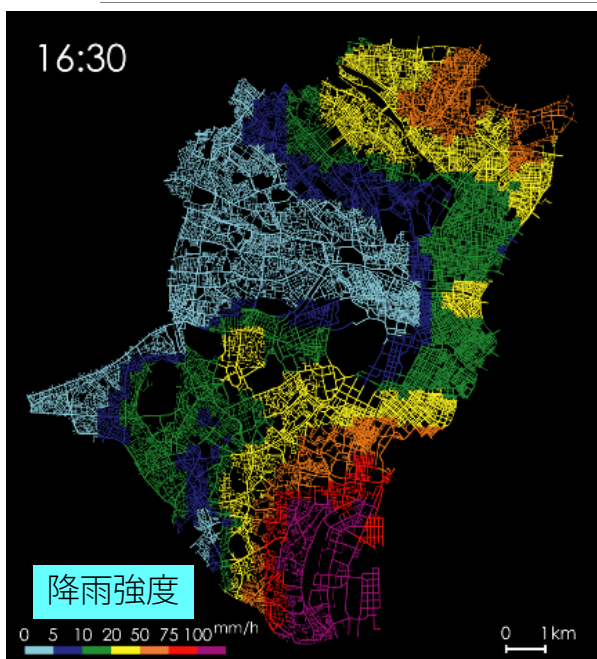
# 2014年6月29日豪雨時の再現計算



MASATO SEKINE / PROFESSOR / WASEDA UNIVERSITY

33

# 2014年6月29日豪雨時の再現計算



MASATO SEKINE / PROFESSOR / WASEDA UNIVERSITY

34



## 16:30時点での下水管内の状況

### 満管率コンター図



渋谷駅前

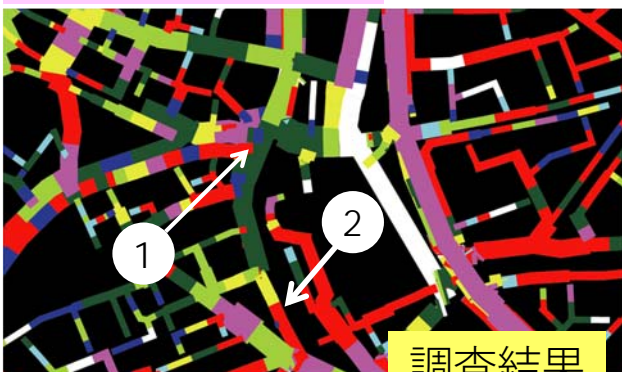
Copyright © 2015 Sekine Labo.  
All Rights Reserved.

0 0.05 0.1 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0

0 1km

## 16:30時点での下水管内の状況

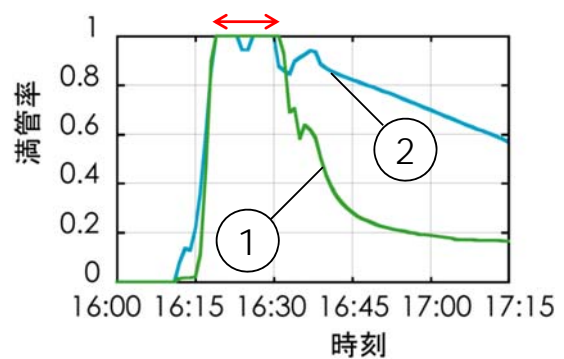
### 満管率コンター図



調査結果

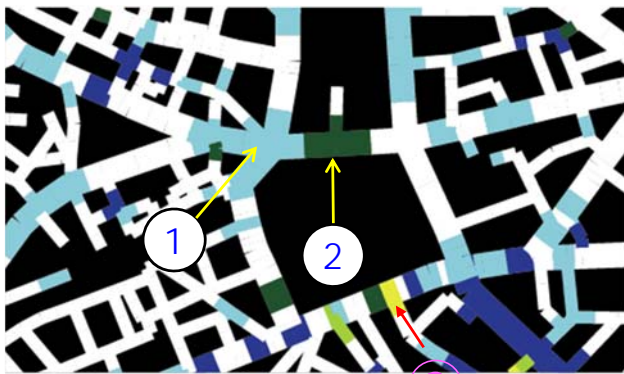
16:30頃の時点で、  
①スクランブル交差点付近  
②バスターミナル前  
のマンホールの蓋に空けられた穴から空気混じりの水が吹き出していた。

満管状態



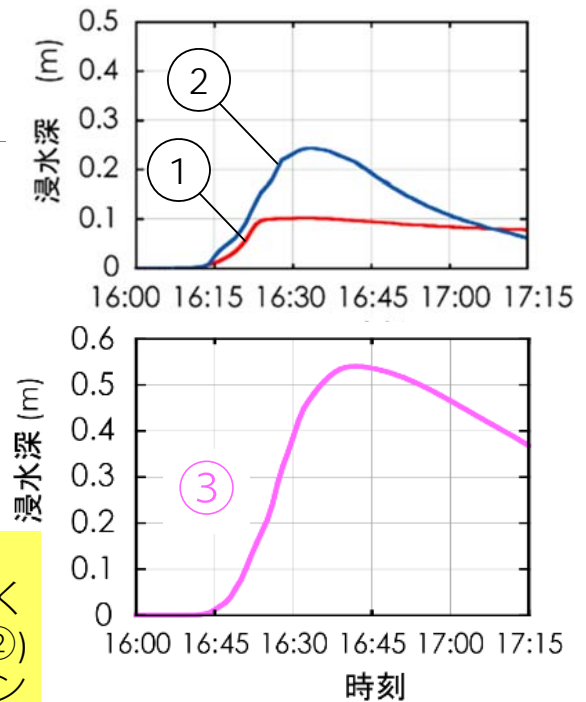
再現計算の結果を調べると、この二地点の下水道には、16:30前後の時間帯に雨水が集中する結果となり、短時間のうちに満管状態の流れに達することが確認された。

## 浸水深コンター図



渋谷駅東の国道246号線  
アンダーパス ③

当時の画像情報によると、スクランブル交差点からJR山手線の下をくぐるように延びている道路(アンダーパス②)上の浸水深が0.2m程度、国道246号線のアンダーパスでの値が0.5~1m程度と判断でき、解析結果と概ね一致する結果となった。

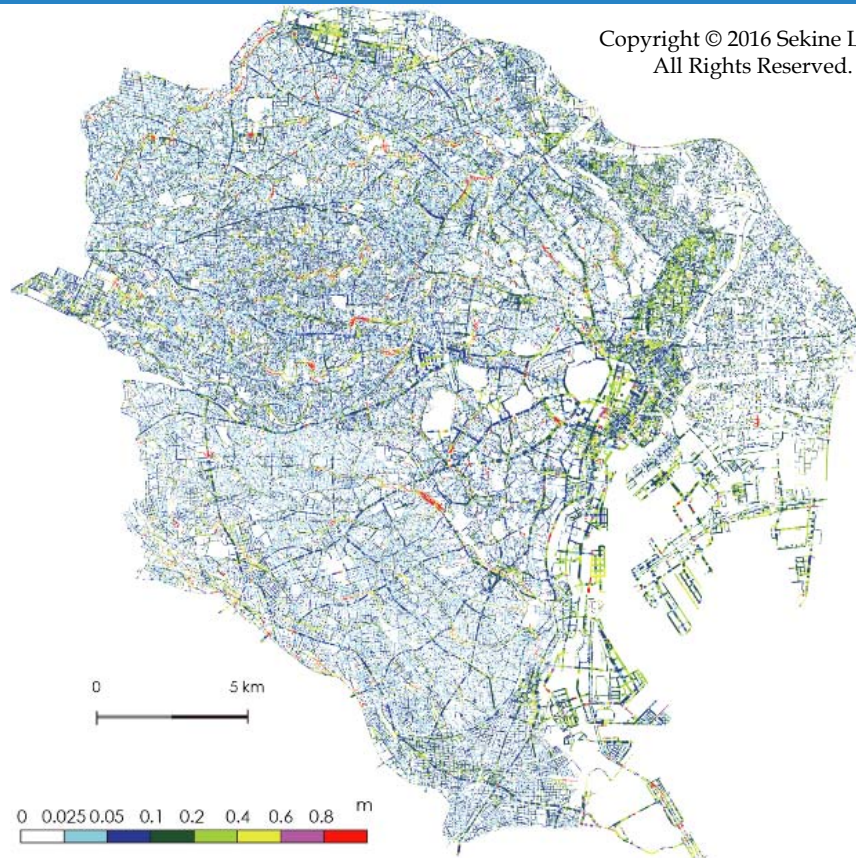


東京都23区の浸水リスク情報  
—杉並豪雨(2005)を対象として—





## 浸水危険度マップ





## 荒川堤防決壊時を想定した大規模浸水



越水地点：河口から約7.5km

- 内部河川に近く，堤防高が周囲に比べて低い地点.

- 破堤幅：400m

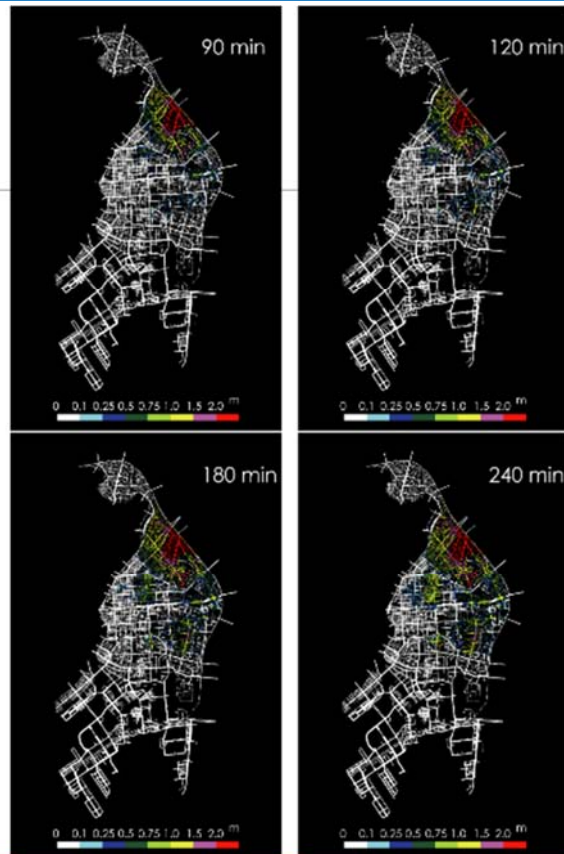
想定する氾濫の規模

- 200年に1度の洪水流量  
(14,000m<sup>3</sup>/s)



## 荒川堤防決壊時の 大規模浸水プロセス

- 5mを超える大口径の幹線下水道を含む高密度の下水道ネットワークがあり、これにより氾濫水の一部が排除される。
- 下水道に取り込まれた水はポンプ場に運ばれた後に内部河川(旧中川・北十間川・横十間川・小名木川・大横川・仙台堀川など)に排出される。
- 内部河川から周辺の堤内地に氾濫するほか、下水道からの逆流により内水氾濫と同様のメカニズムで浸水が発生する。



## おわりに (1)

- 人が創り上げた「都市」で発生する浸水・氾濫に関しては、既に十分な精度で予測することができるようになりました。
- この予測計算によれば、地下空間の浸水やアンダーパス部の道路冠水の予測をも同時に行うため、被害の軽減を図るための計画を策定する上で、有益で信頼に足る科学的根拠が得られます。
- 昨今、浸水あるいは洪水氾濫時のハザードマップの作成・公表を急ぐ動きになっています。このこと自体は当然のことですが、かなり簡易的で精度検証すらできていないような手法が目下のところ使われています。いくらリスク情報の迅速な周知に努めても、不確かな情報であれば住民の信頼を得ることはできず、今後に向けて逆効果になることを懸念しています。

## おわりに (2)

- 一方，土砂移動あるいは崩壊を伴う豪雨イベント（堤防決壊を含む）を予測するには不確定要因が多く，未だに十分な段階にありません．現在の研究進行中と申し上げるほかないのが実状です．
- 豪雨災害に備えるには，予測可能な都市域の浸水・氾濫とそれ以外とに分けて考えるのが適切と考えます．
- 東京では2020年の雨期にオリンピック・パラリンピックを迎えます．それまでには，本日まで紹介した手法を基にした「都市浸水のリアルタイム予報」を実現可能としていきたいと考えています．

## 関連する文献リスト

- 1) 関根正人：「住宅密集地域を抱える東京都心部を対象とした集中豪雨による内水氾濫に関する数値解析，土木学会論文集B1(水工学) Vo.67, No.2, 70-85, 2011.
- 2) 関根正人，佐藤裕隆，和田祐樹：「住宅密集地を対象とした集中豪雨時の浸水氾濫過程に関する数値解析」，第50回下水道研究発表会講演集，208-210, 2013.
- 3) 関根正人，浅井晃一，古木 雄：「X バンドMP レーダによる降雨データを用いたリアルタイム浸水予測に向けた試み」，土木学会論文集B1(水工学), Vol.70, No.4, 1423-1428, 2014.
- 4) 関根正人，池田 遼：「東京東部低平地を対象とした浸水・氾濫の数値予測」，土木学会論文集B1(水工学), Vol.70, No.4, 1429-1434, 2014.
- 5) 関根正人，浅井晃一：「神田川流域を対象とした豪雨による浸水・氾濫に関する数値予測」，土木学会論文集B1(水工学) Vo.71, No.4, 1429-1434, 2015.
- 6) 関根正人，古木 雄・関根貴広：「東京都心部の内水氾濫と大規模地下空間浸水の危険度に関する数値解析」，土木学会論文集B1(水工学) Vo.71, No.4, 1435-1440, 2015.
- 7) 関根正人・近藤恭平・神山宙大・小林香野：石神井川流域を対象とした豪雨時の内水氾濫と河川洪水流の一体予測計算，土木学会論文集B1(水工学), Vol.72, No.4, 337-342, 2016.
- 8) 関根正人・関根貴広：東京都心部の地下空間への氾濫水の流入危険度とトンネル内の浸水域拡大過程に関する検討，土木学会論文集B1(水工学), Vol.72, No.4, 1369-1374, 2016.