

# 空間スケールを考慮した地下浸水の 危険度予測に関する研究

京都大学大学院工学研究科  
都市社会工学専攻  
山本 大介

# 研究の背景と目的 (1)

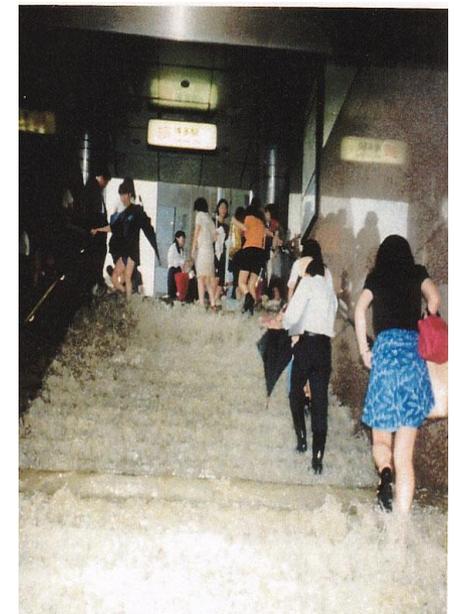
## 都市水害の増加：

- ・気候変動、ヒートアイランド現象の影響
- ・都市化の進展に伴う流出特性の変化

福岡水害、東海水害、首都圏での豪雨災害

## 都市水害で最も厄介な現象⇒地下浸水

- ・地下街・地下鉄浸水⇒都市機能の麻痺
  - ・水深の急激な増大
  - ・階段からの避難の困難さ
  - ・地下室ドアも避難の障害
- ⇒最悪、死亡事故が発生する危険性



# 研究の背景 (2)

地下空間	「地下街・地下鉄」	大規模
	「オフィスの地下階」	中規模
	「小規模ビルや個人宅の地下室」	小規模

大規模, 小規模地下空間の浸水時の危険性→研究成果あり



複層の中規模地下空間の浸水時の危険性

大規模・中規模・小規模地下空間の浸水時の危険度の比較

- 三宮地下街 (大規模地下空間)
- Nビル, Sビル (中規模地下空間)
- 地下室 (小規模地下空間)

# 解析モデルの概要

## 解析法

### <地上の氾濫>

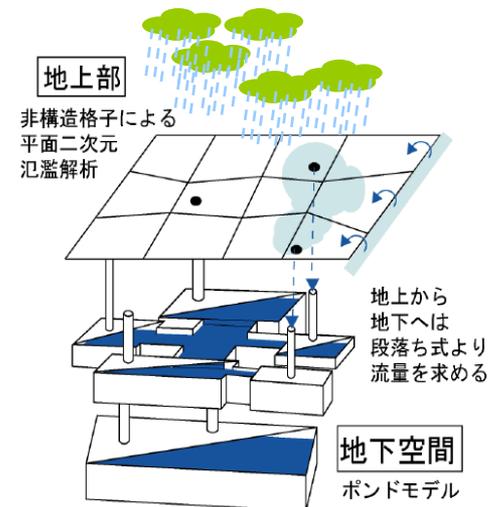
- ・ ポンドモデル
- ・ デカルト座標系モデル
- ・ 街路ネットワークモデル
- ・ 非構造格子モデル

洪水氾濫流量

流入流量

### <地下空間の浸水>

- ・ ポンドモデル
- ・ 街路ネットワークモデル



# モデルの基礎式

非構造格子に基づく平面二次元の氾濫解析モデル

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = r - r_d$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 M \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 N \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$$

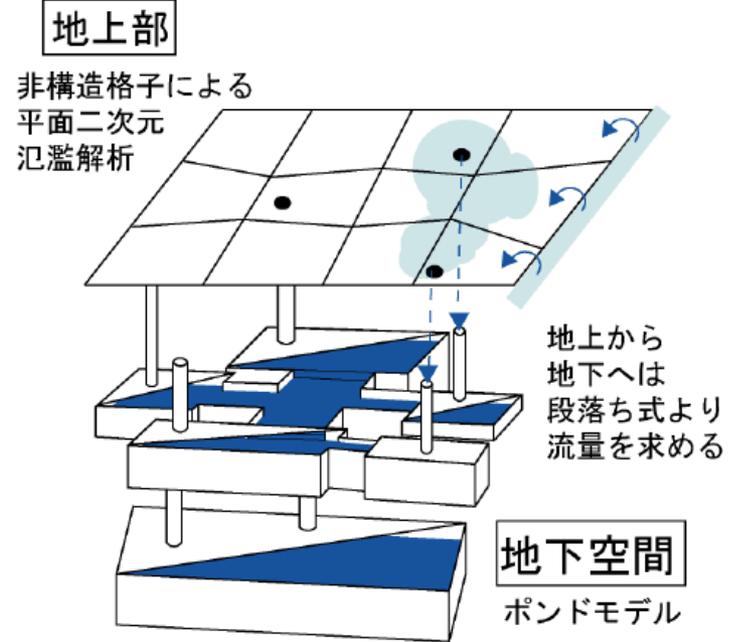
ポンドモデルに基づく地下浸水モデル

$$A \frac{dh}{dt} = \sum_{i=1}^m Q_i + Q_{in}$$

$$\frac{L}{gA_b} \frac{dQ}{dt} = \Delta H - \alpha LQ|Q|$$

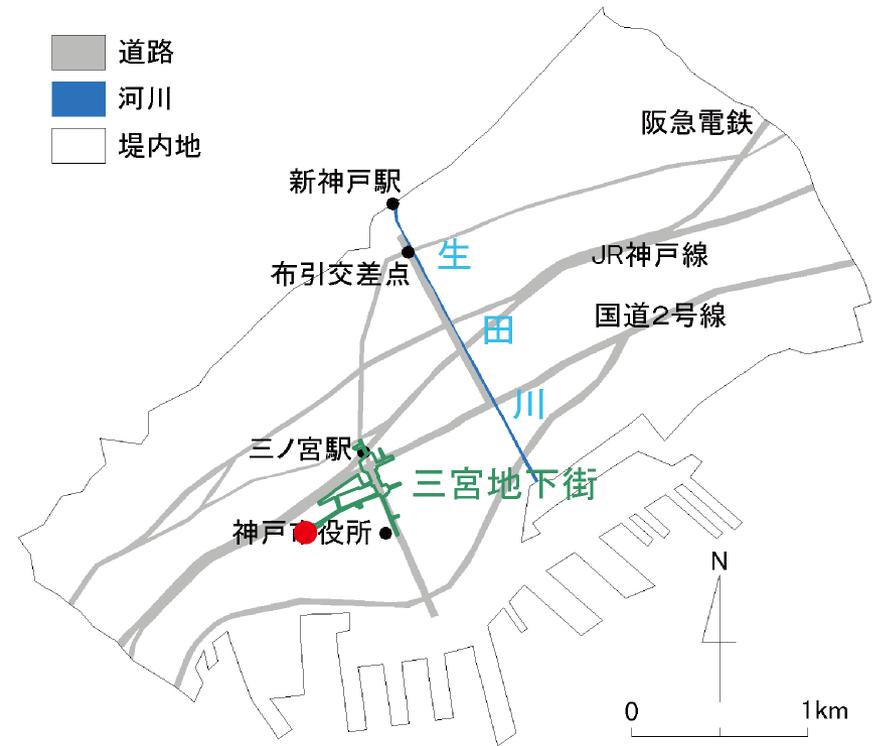
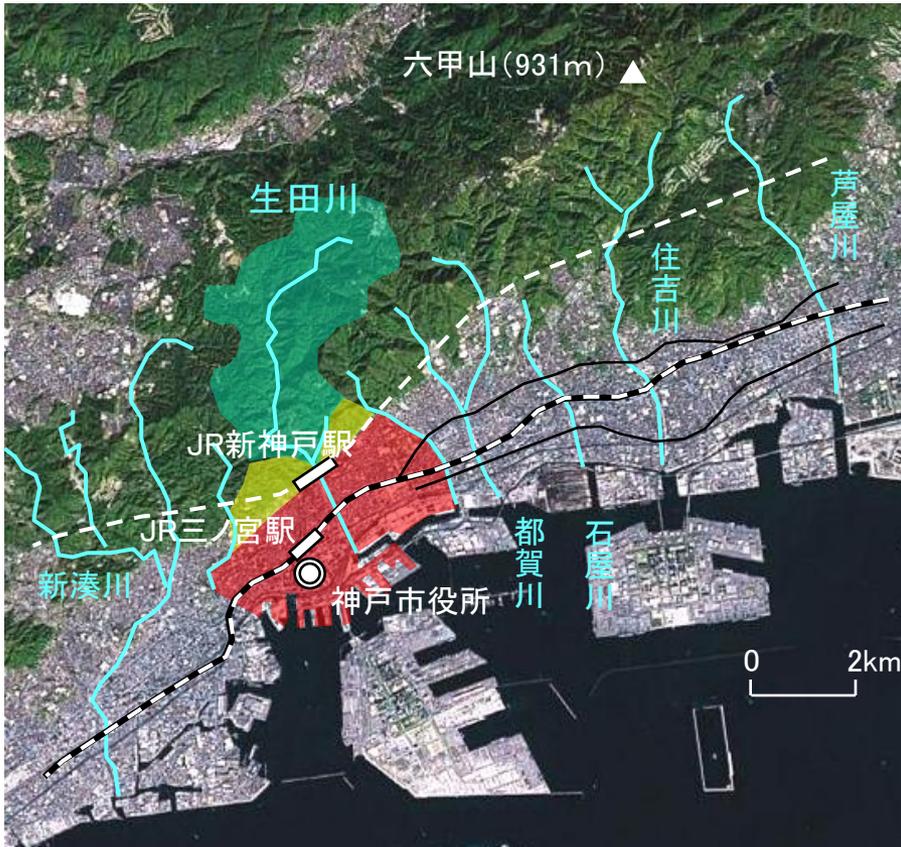
段落ち式

$$Q = B_e \mu h_e \sqrt{gh_e}$$



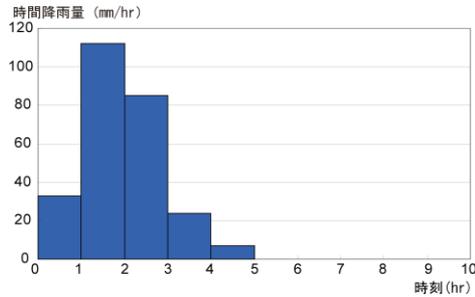
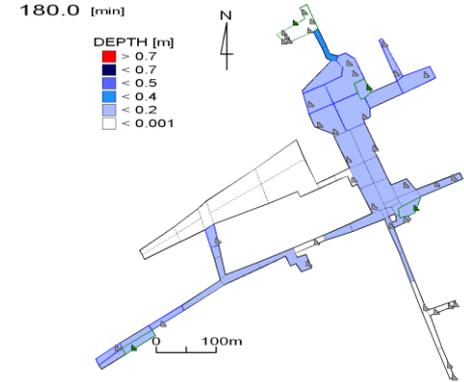
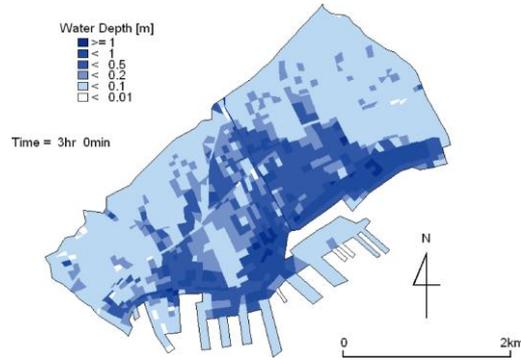
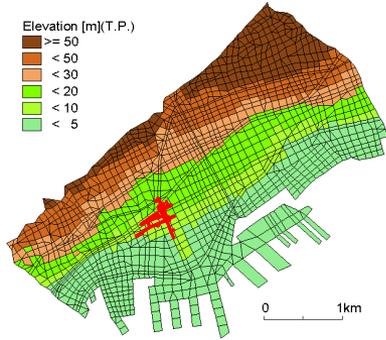
統合型モデルの概念図

# 生田川流域と三宮地区

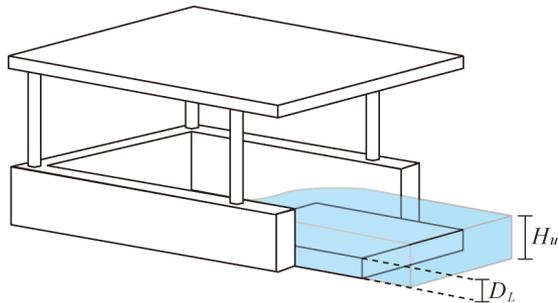


三宮地区と三宮地下街

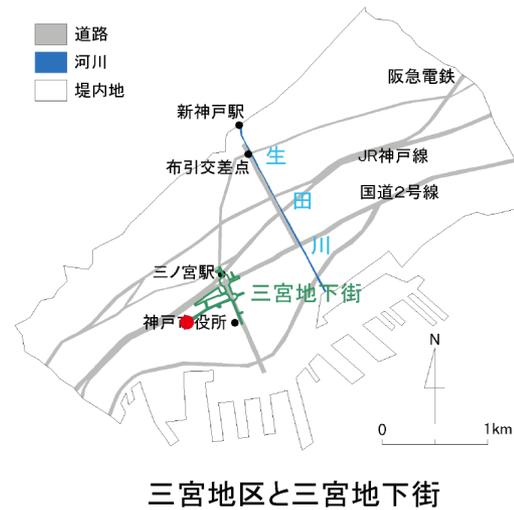
# 解析条件



## 東京都神田川流域の洪水時の降雨

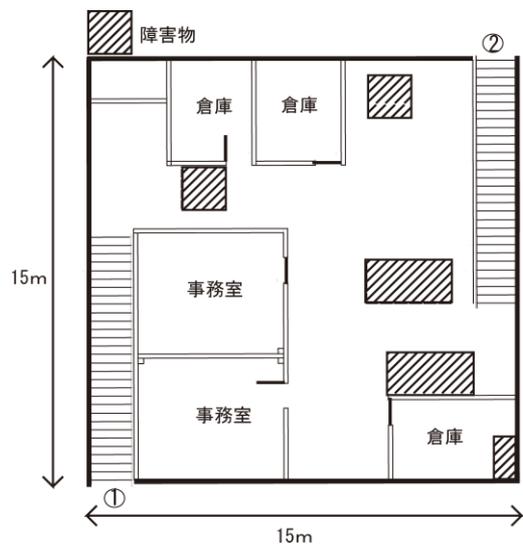


人の出入りする部分にはあらかじめ  
15cmの段差が設置

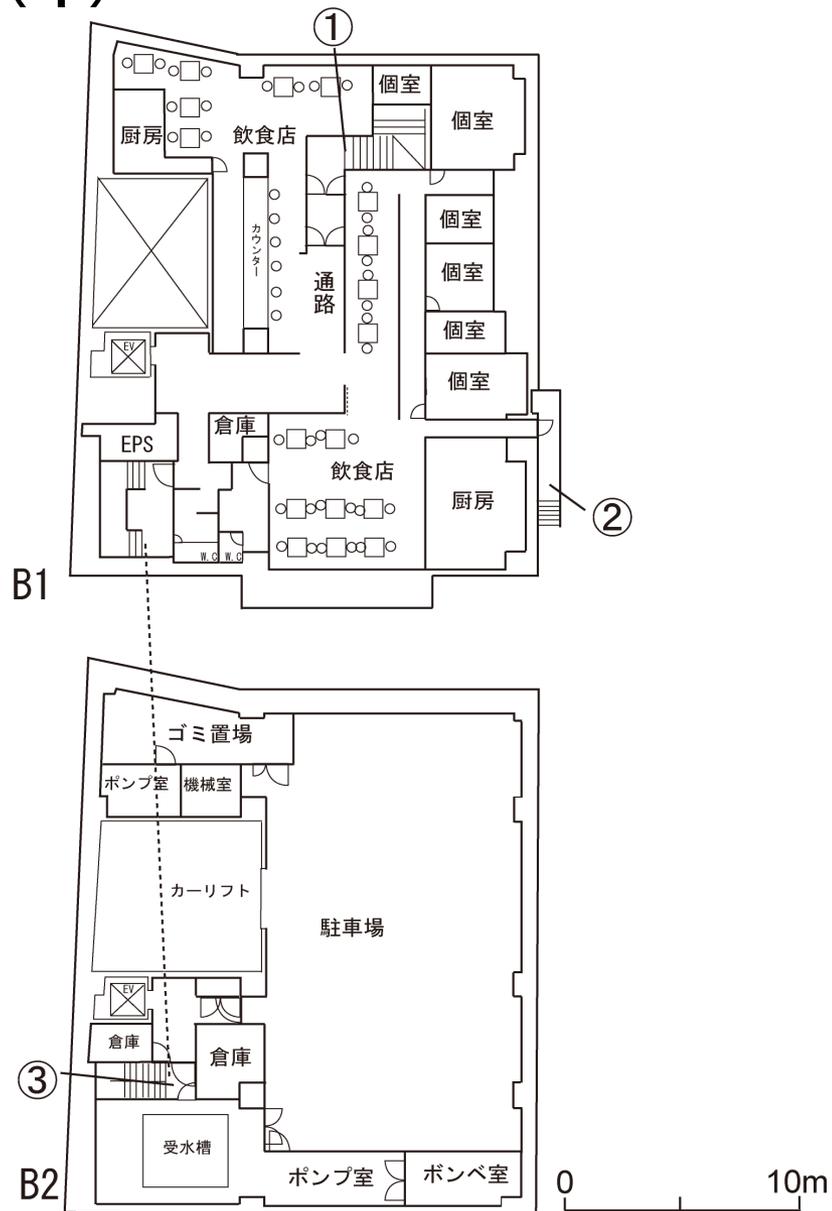


三宮地区と三宮地下街

# 対象領域 (1)



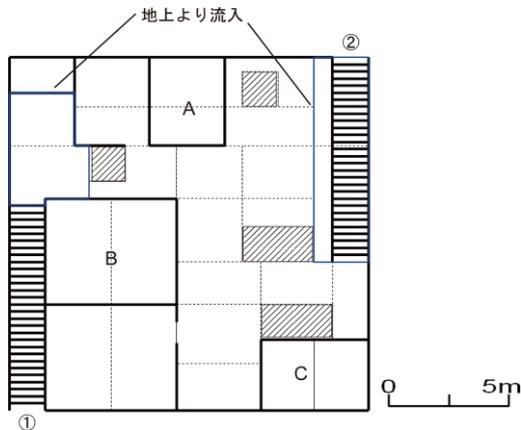
地下室 (小規模地下空間)  
床面積 : 225m<sup>2</sup>



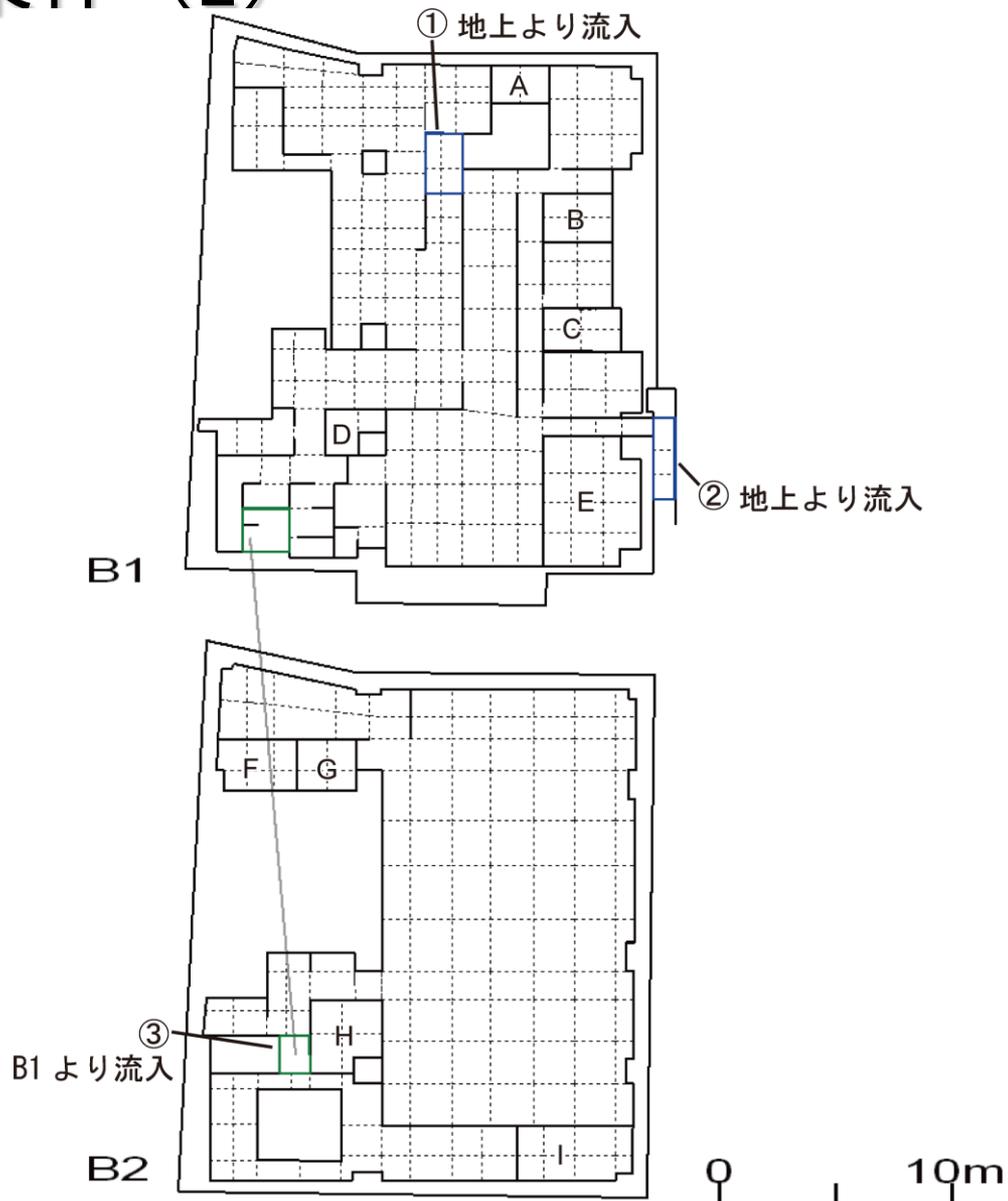
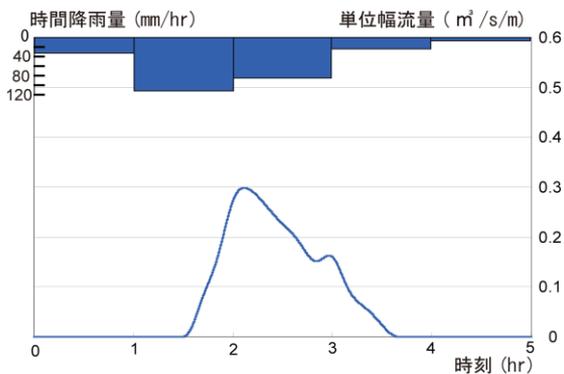
Sビル (中規模地下空間)  
床面積 : 942m<sup>2</sup>



# 解析条件 (2)

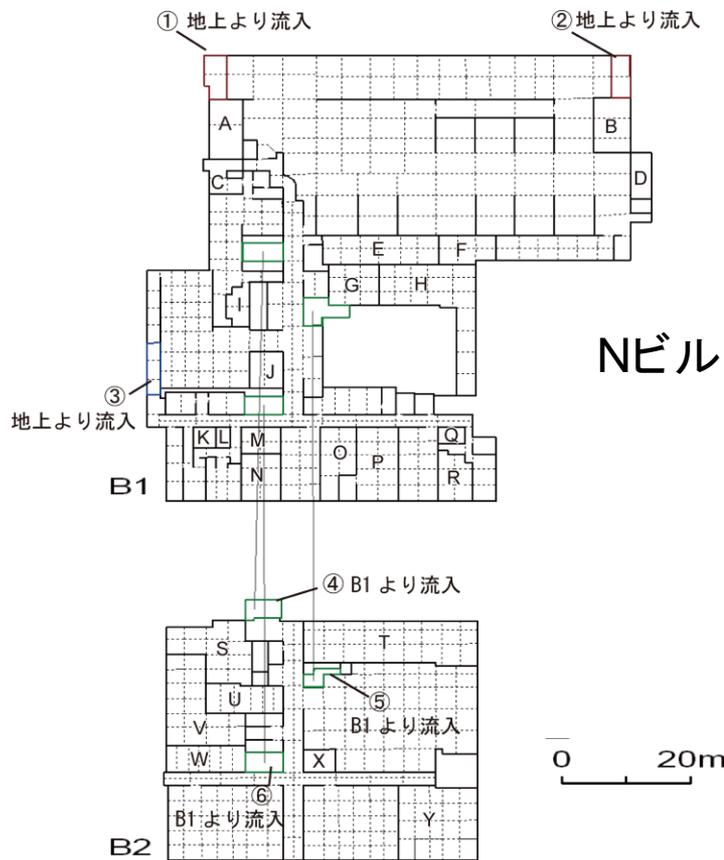


地下室 (小規模地下空間)  
床面積 : 225m<sup>2</sup>

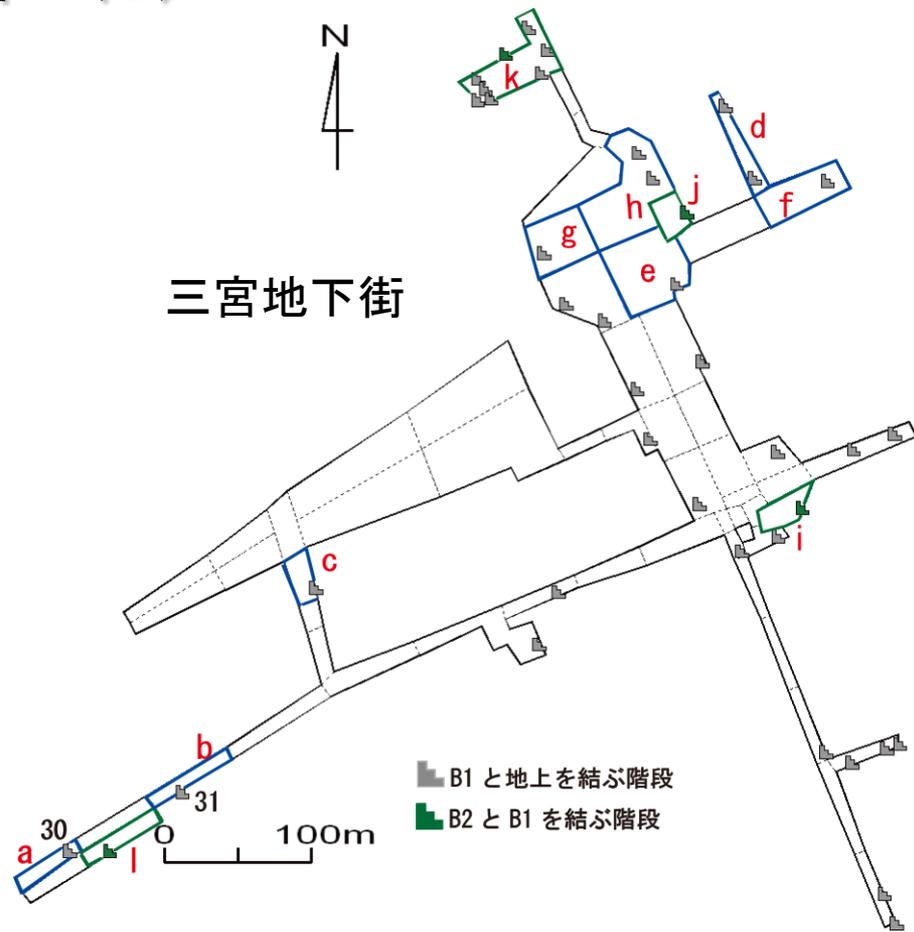


Sビル (中規模地下空間)  
床面積 : 942m<sup>2</sup>

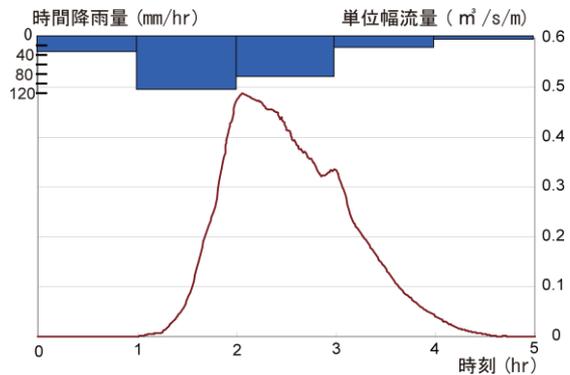
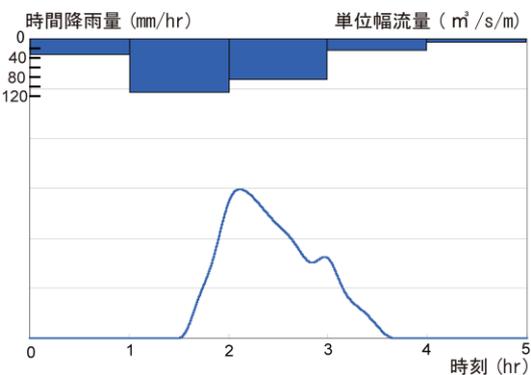
# 解析条件 (3)



床面積: 5840m<sup>2</sup>

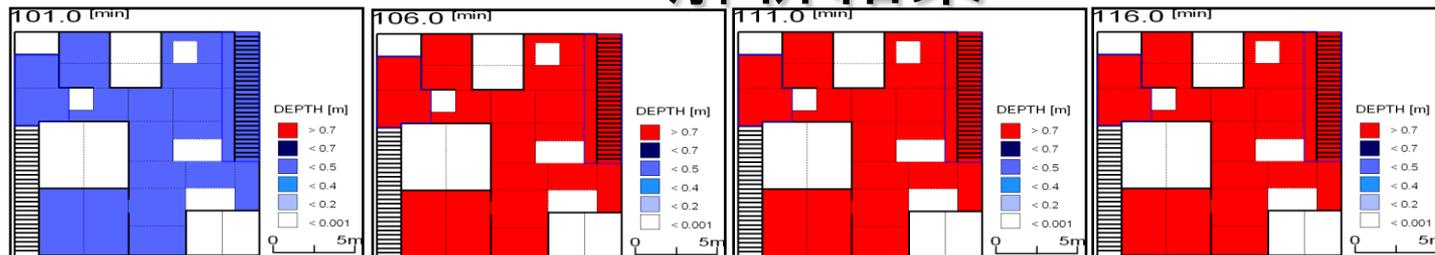


床面積: 約56000m<sup>2</sup>



# 解析結果

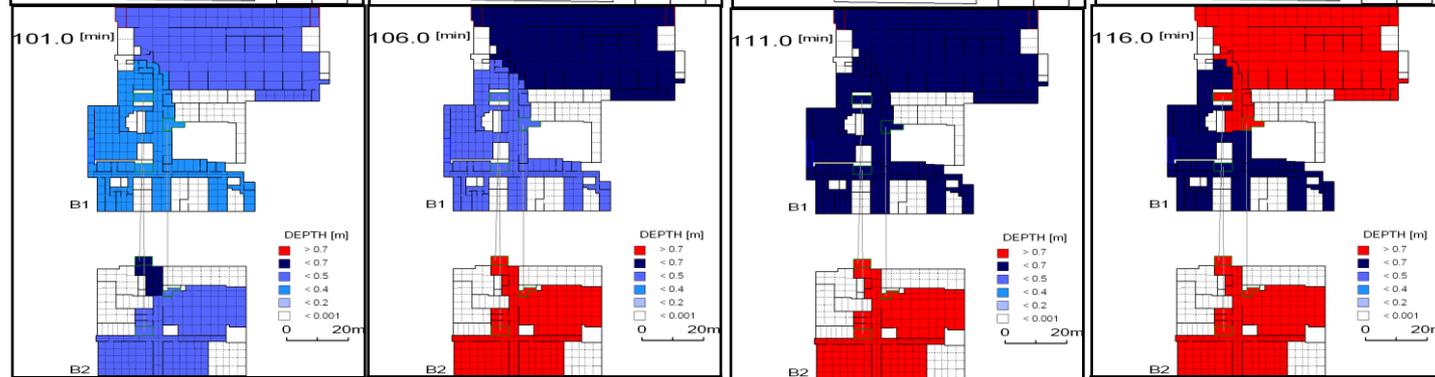
地下室



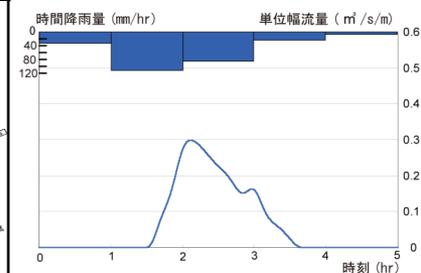
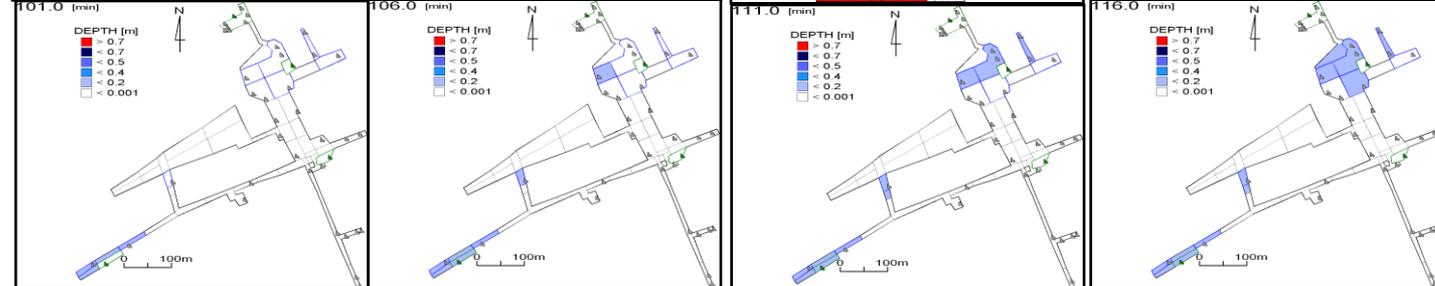
Sビル



Nビル



三宮地下街



計算開始101分後

106分後

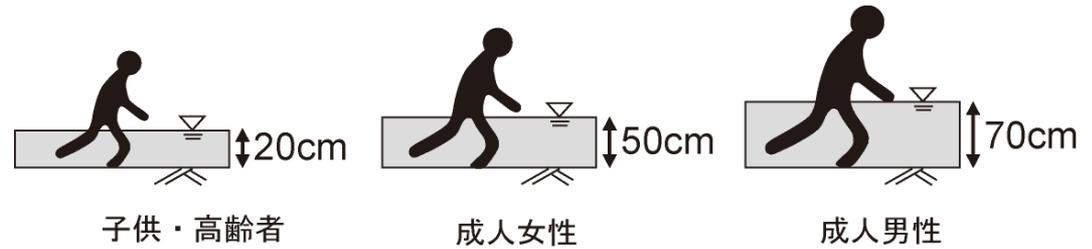
111分後

116分後

# 浸水時の危険度の比較 (1)



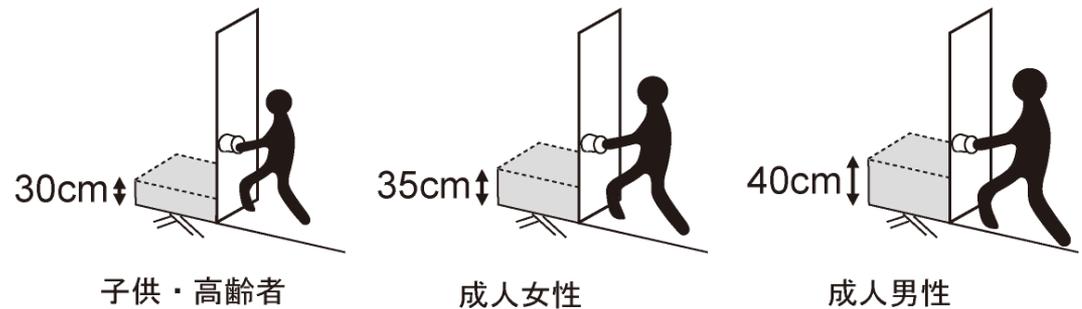
実規模の階段模型



実験風景

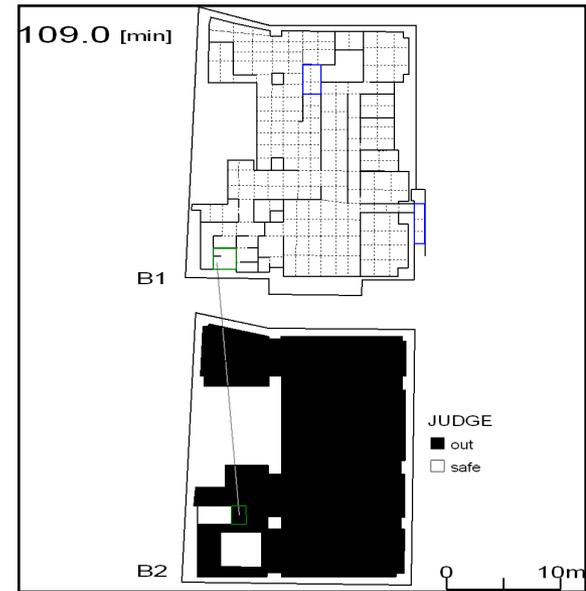
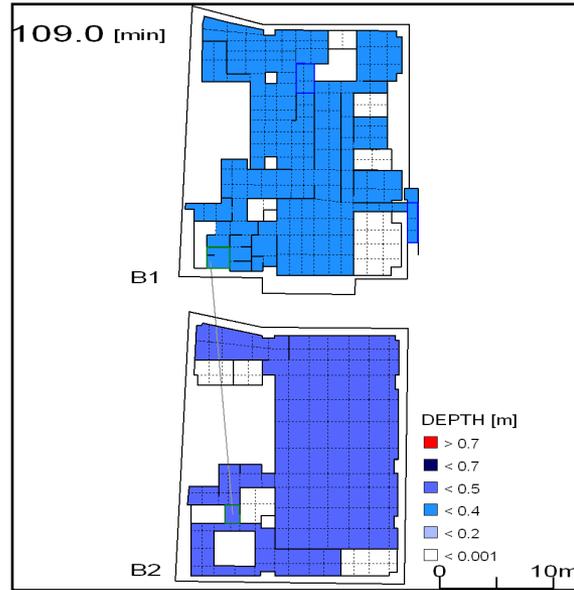


実規模ドア模型



# 浸水時の危険度の比較 (2)

(例) 成人女性のケース



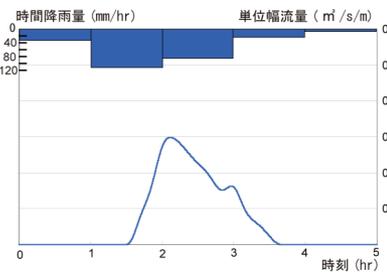
- ・ 浸水解析結果，避難限界指標を基に
- ↓
- ・ ある時刻において，地下空間のある地点から地上までの経路を考え，経路のどこかが利用不可能なとき，その領域を黒く表示
- ・ 地下室，Sビル，Nビル，三宮地下街で比較

(※)カッコ内は流入開始時刻からの時間(下段は新潟、上段はそれ以外)  
**子供・高齢者**

地下室  
 サンライン第7ビル  
 新潟市役所  
 三宮地下街



①91.5min (0.5min) (30min)      ②96min (5min) (34.5min)      ③98.5min (7.5min) (37min)      ④102.5min (11.5min) (41min)



(※)カッコ内は流入開始時刻からの時間(下段は新潟、上段はそれ以外)

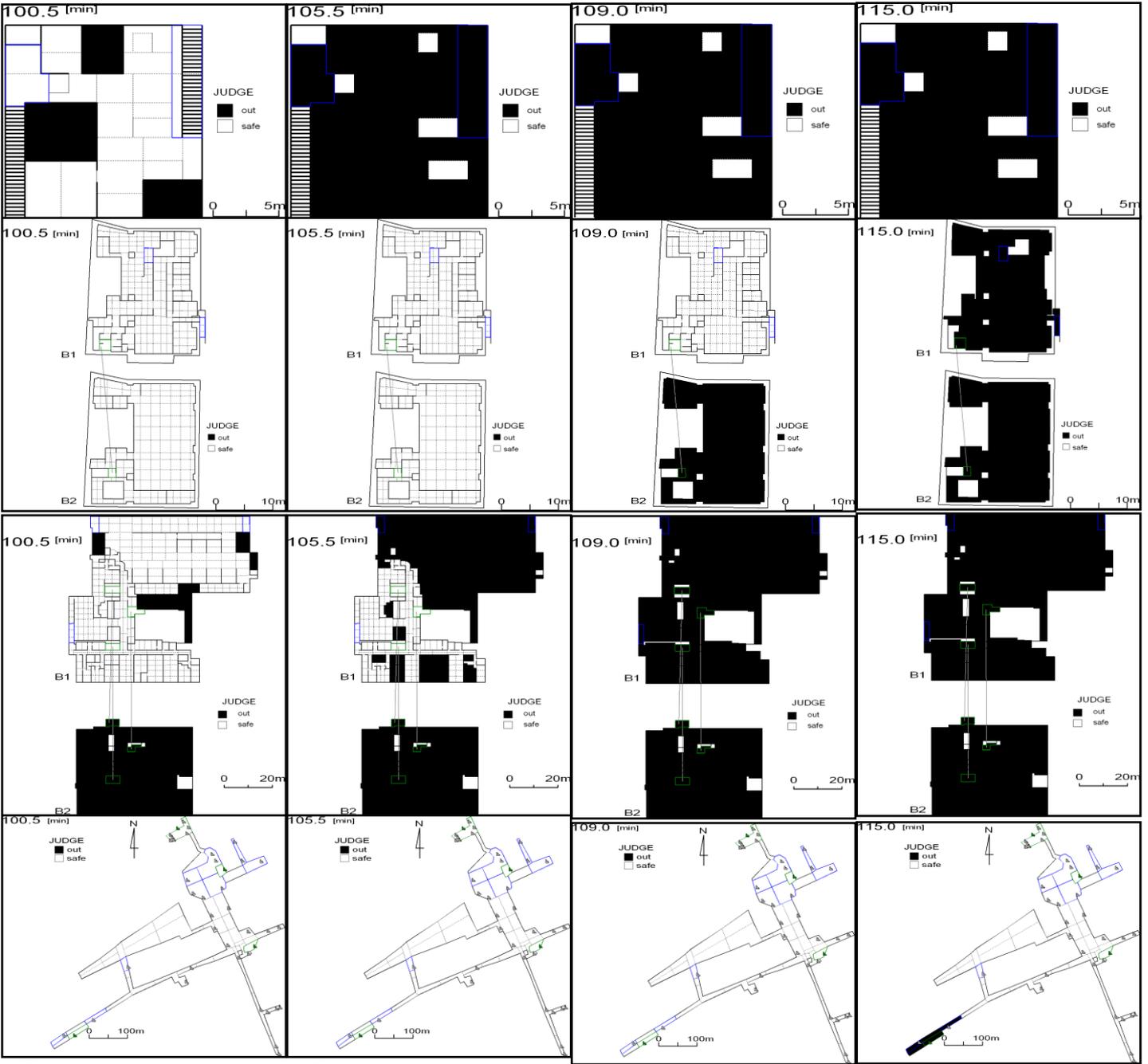
成人女性

地下室

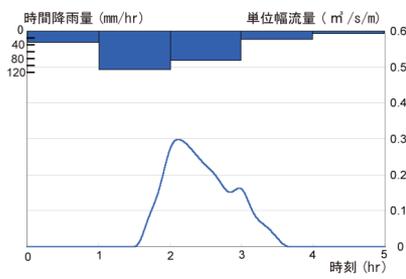
サンライン第7ビル

新潟市役所

三宮地下街



①100.5min(9.5min) (39min)      ②105.5min(14.5min) (44min)      ③109min(18min) (47.5min)      ④115min(24min) (53.5min)



(※)カッコ内は流入開始時刻からの時間(下段は新潟、上段はそれ以外)

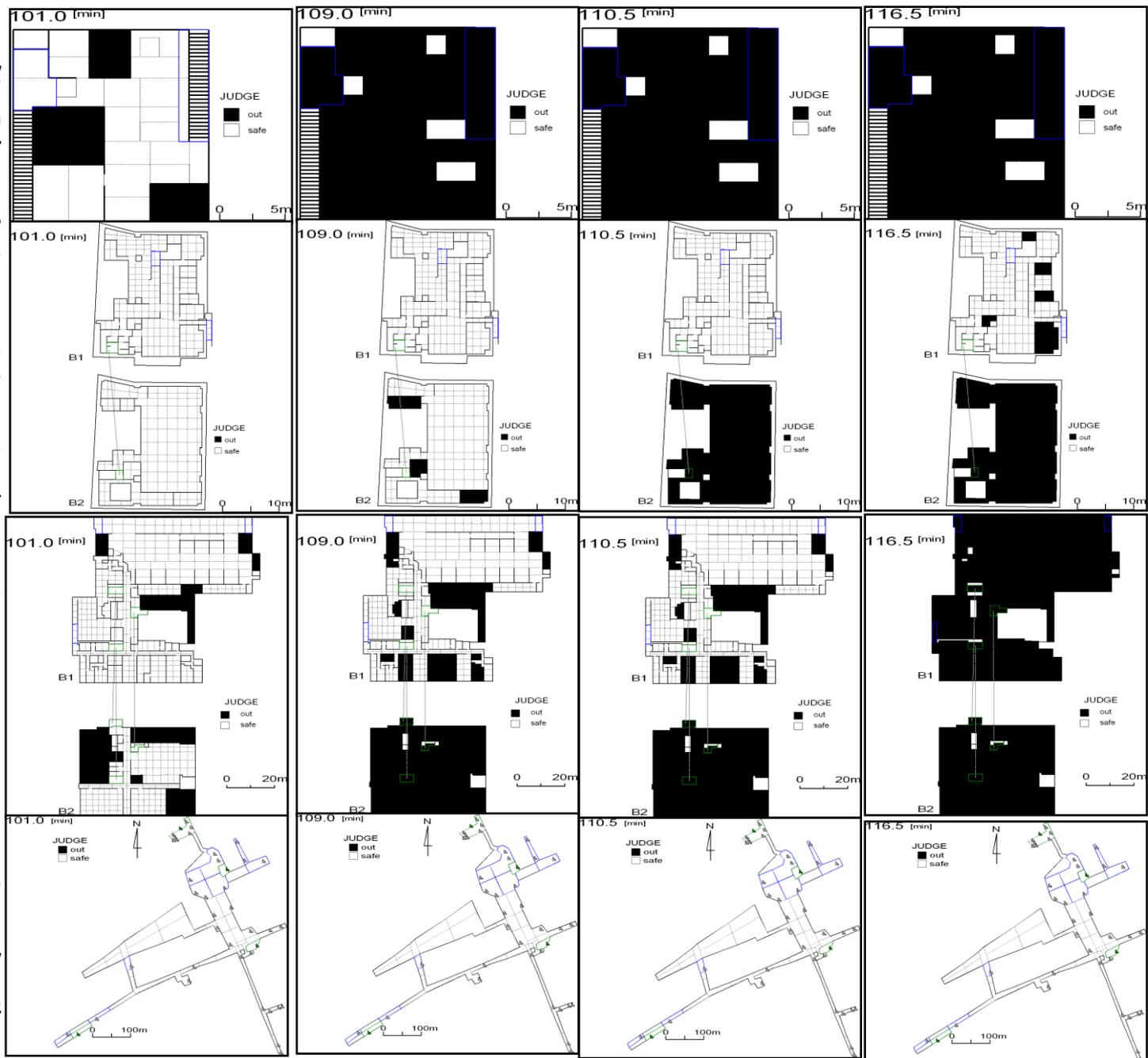
成人男性

地下室

サンライン第7ビル

新潟市役所

三宮地下街

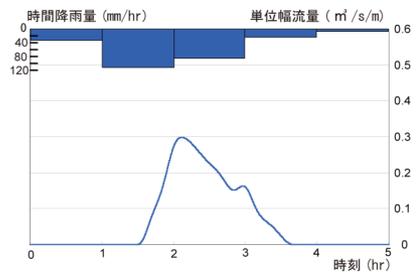


①101min(10min)  
(39.5min)

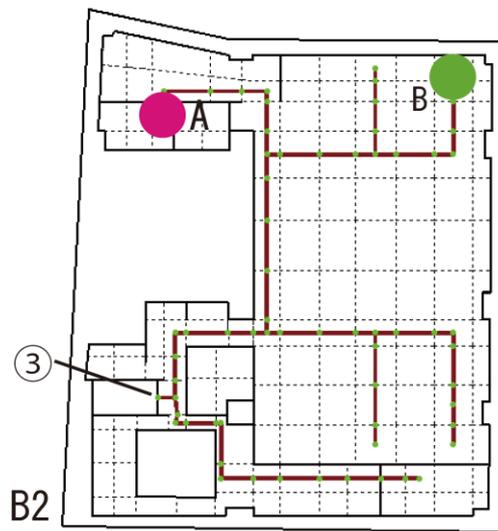
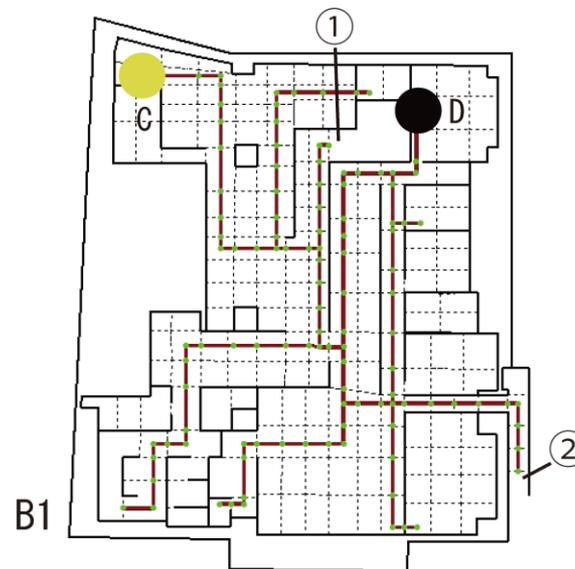
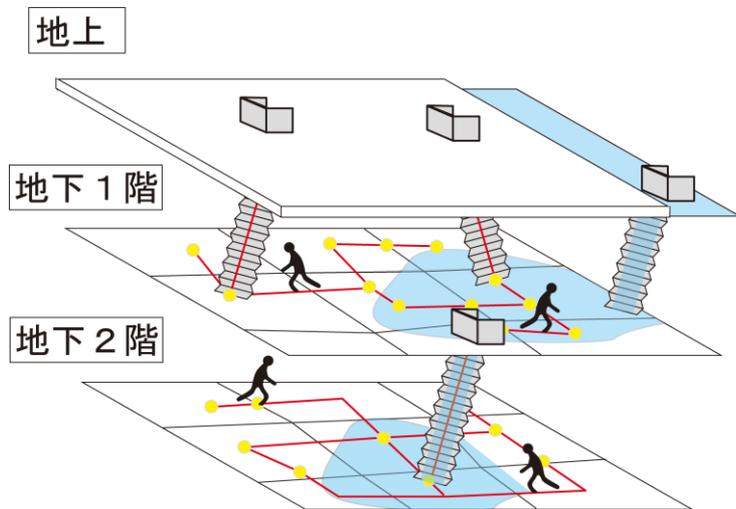
②109min(18min)  
(47.5min)

③110.5min(19.5min)  
(49min)

④116.5min(25.5min)  
(55min)



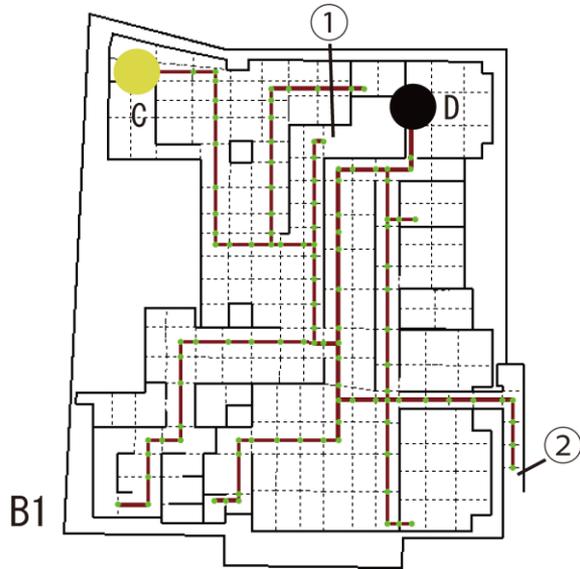
# オフィスビル（Sビル）での避難解析



0 10m

- ・ 人の初期位置に応じて地上までの避難経路をあらかじめ設定

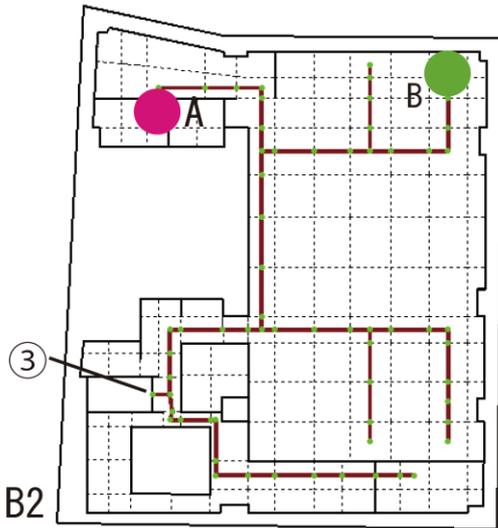
# オフィスビル（Sビル）での避難解析



- ・ 地下2階にA, B  
→A, Bは階段③を使い地下1階へ, 階段①を使い地上へ

- ・ 地下1階にC, D  
→Cは階段①, Dは階段②を使い地上へ

- ・ 平面部歩行速度・・・1.0 (m/s) (平常時)  
階段部歩行速度・・・0.5 (m/s) (平常時)  
→浸水によって歩行速度を低減

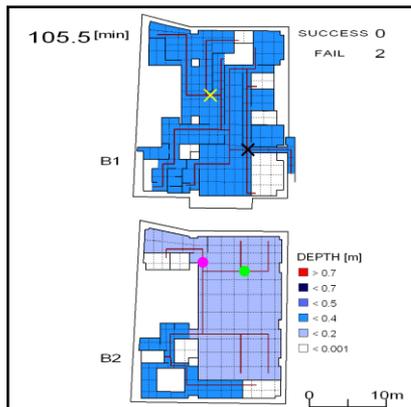
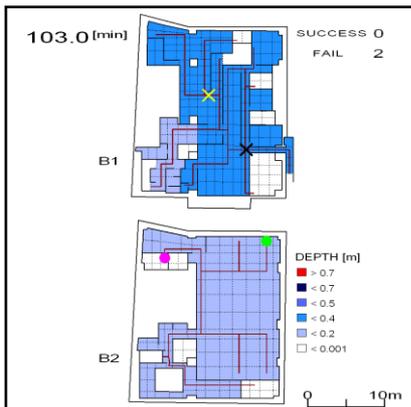
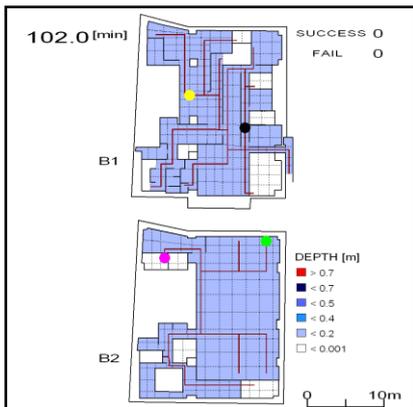


- ・ 自分の足もとの浸水深が  
1cm, 5cmから45cmの間の5cmごとに達したときに逃げ始める (計11ケース)

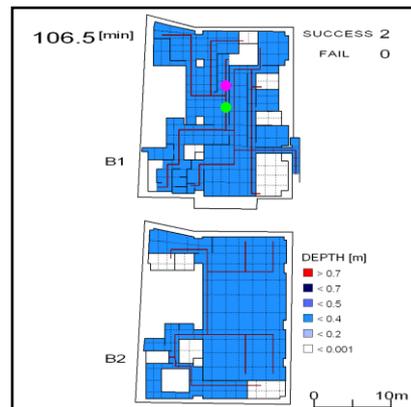
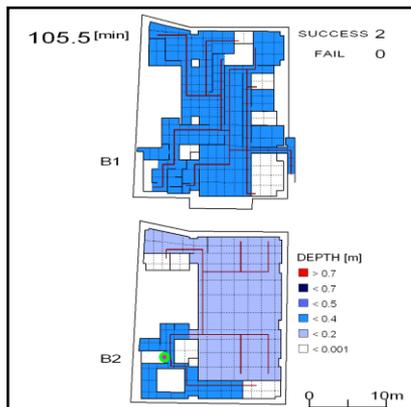
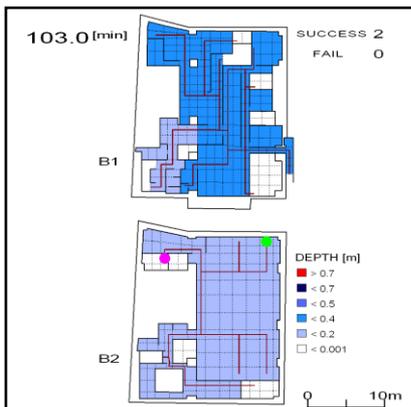
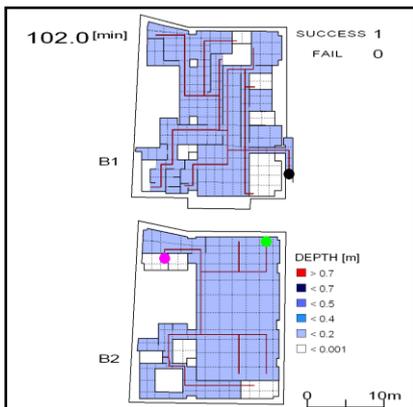
0 10m

15cm

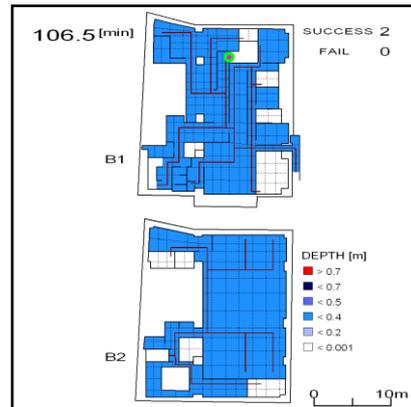
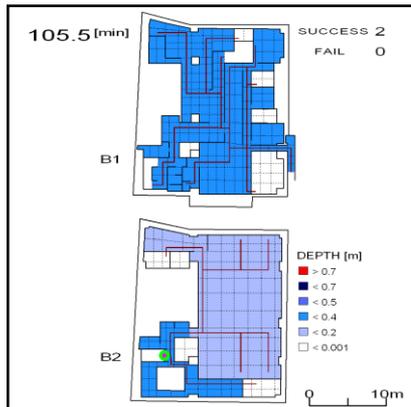
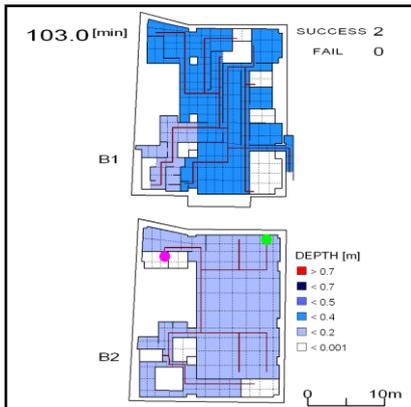
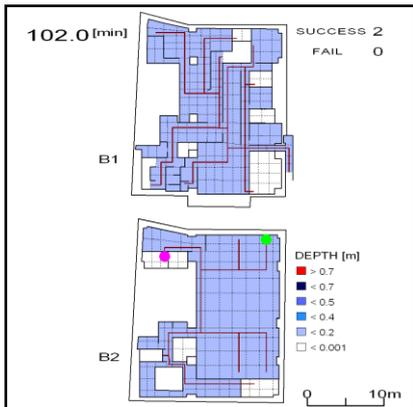
子供・高齢者



成人女性



成人男性



計算開始102.0分後  
(11.0分後)

計算開始103.0分後  
(12.0分後)

計算開始105.5分後  
(14.5分後)

計算開始106.5分後  
(15.5分後)

※( )内は流入開始時刻からの時間

30cm

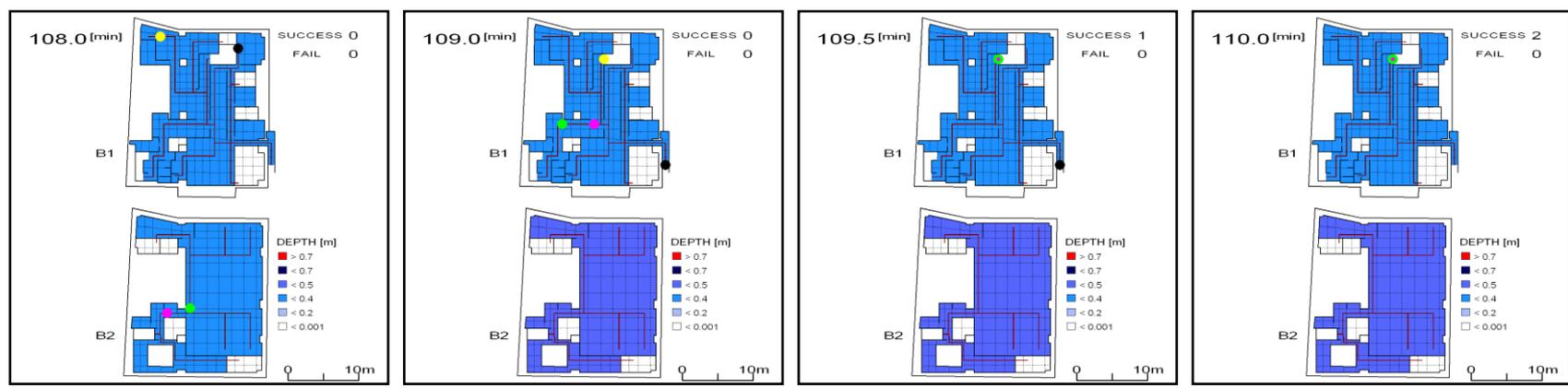
- 避難者 A
- 避難者 B
- 避難者 C
- 避難者 D
- 避難者 A・B

成人女性



※( )内は流入開始時刻からの時間

成人男性



計算開始108.0分後 (17.0分後)

計算開始109.0分後 (18.0分後)

計算開始109.5分後 (19.5分後)

計算開始110.0分後 (20.0分後)

# 結論

- SビルやNビルのような複層の地下空間は浸水時に地下2階の危険度が高い
- 同じ複層の地下空間で床面積が大きい建物であっても，Nビルのように地下駐車場を有するビルは早い時刻に避難が不可能になり，浸水時の危険性が高い
- 避難の際に子供・高齢者では平面部の避難限界が支配的であるが，成人女性，成人男性の場合，階段やドアの避難限界が支配的であることがわかった