

PLATEAUユースケースにおける 流体数値解析の活用

株式会社ウエスコ 関西支社 技術部 河川防災課
松田 哲裕 (企画開発室兼務)

自己紹介

- ▶ 名前：松田哲裕（52歳）
- ▶ 出身：兵庫県宝塚市
- ▶ 学歴・職歴

1993 東京理科大学 理工学部 土木工学科卒（水理研究室）

◆株式会社ニュージエック入社

※1995.1 阪神淡路大震災

1993～1997：水理模型実験所にて実験業務に携わる。

1999～2012：河川・ダム計画にて、流出・氾濫解析を経験

（うち、2008～2012 滋賀県流域治水計画検討業務に従事）

※2011.3 東日本大震災

◆株式会社パスコ入社

2012～2016：地域防災計画、地震被害想定、地震火災避難計画策定等に従事

◆株式会社オリエンタルコンサルタント入社

2016～2020：浸水想定区域図作成業務等、水理解析業務、危機管理計画策定等に従事

◆株式会社ウエスコ入社

2020～2023現在：流域治水対策、プラトージュースケース事業（直轄）、危機管理に関する訓練業務等に従事

日本の防災行政はどうなっているのか？と思い転職

地域密着型で流域治水と地域防災の仕事するぞと人生最後の転職

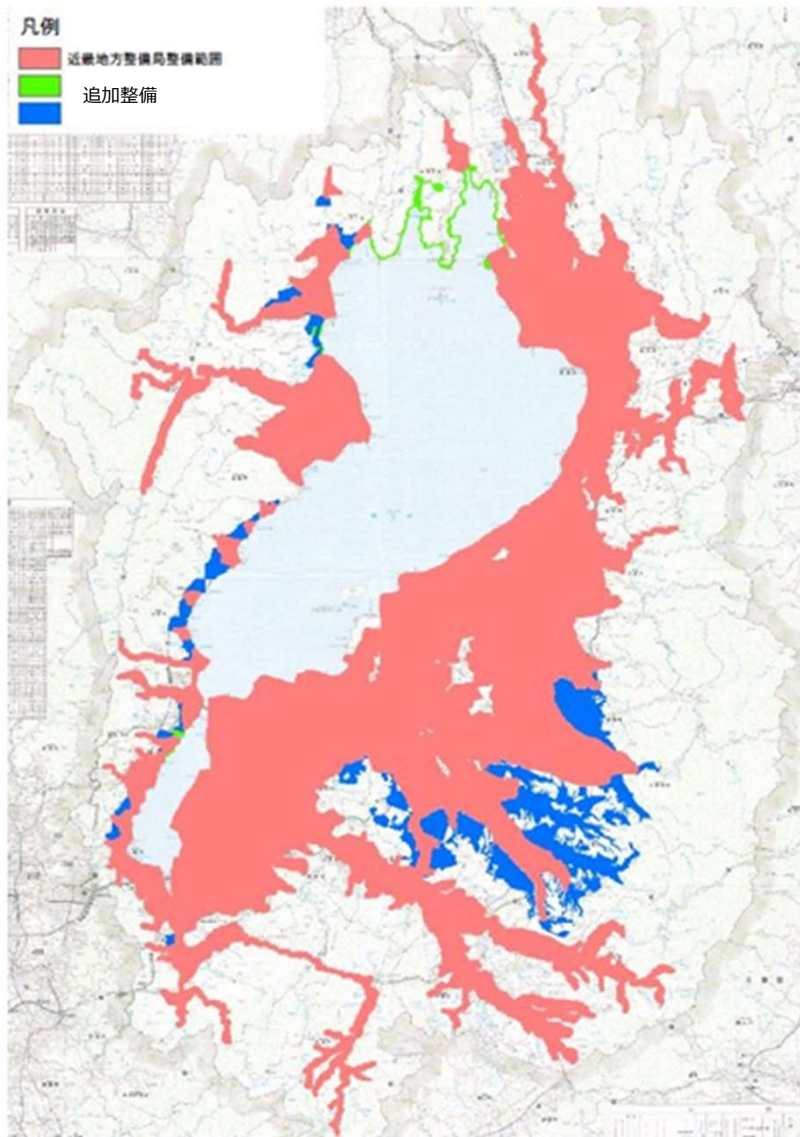
地理空間情報との出会い

滋賀県流域治水の取組みへの活用

- ▶ ニュージェック時代、滋賀県流域治水計画検討業務
滋賀県全域の航空レーザー測量データ
→水害リスク分析（地先の安全度マップ）

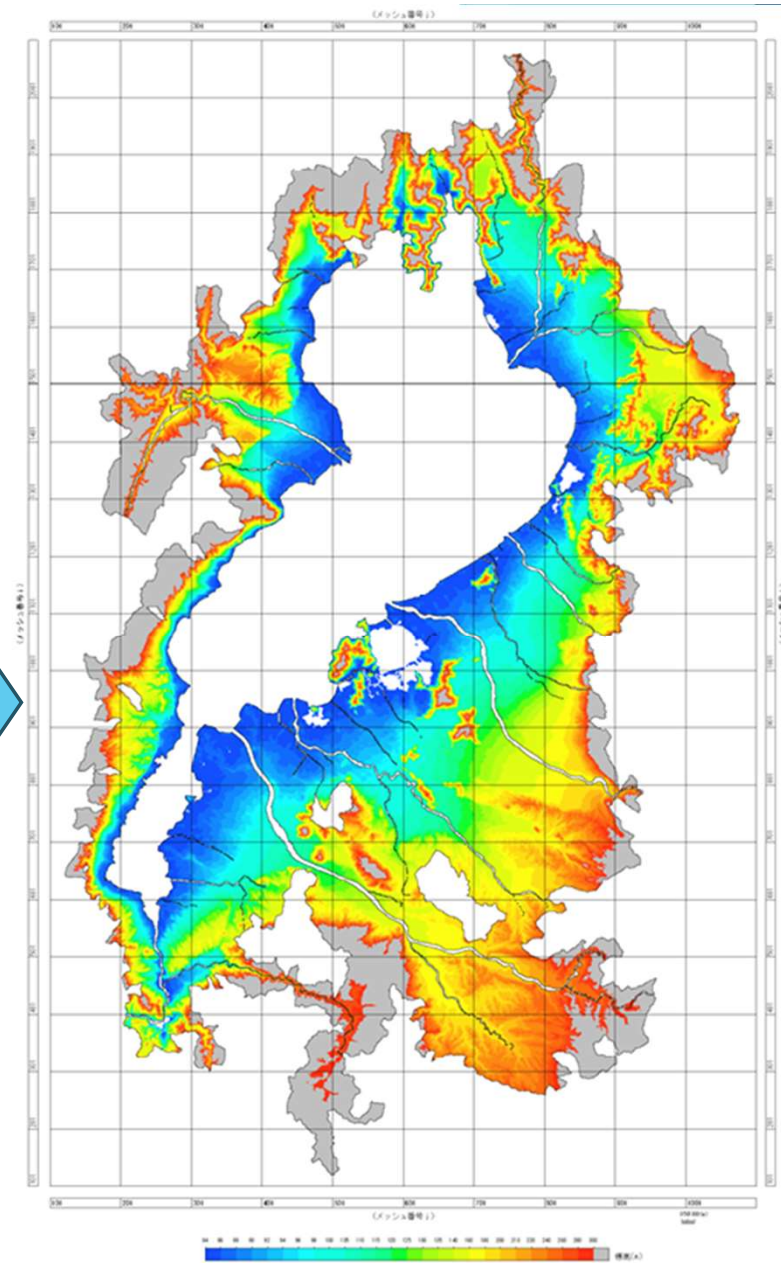


2007年ごろ

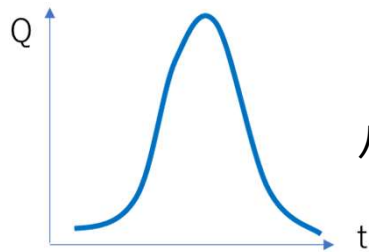


航空レーザー測量範囲

50mメッシュ
平均地盤高
可視化



統合型水理解析モデル



ハイドログラフ
(時間流量曲線)

1次元モデル: 河道

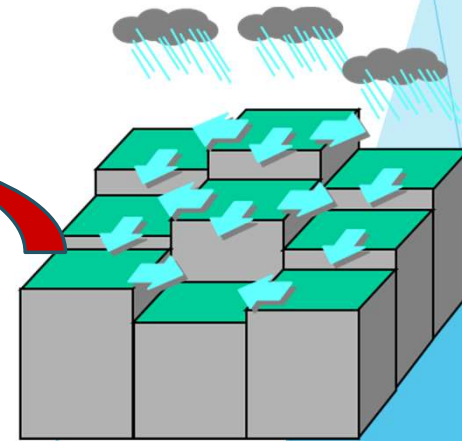
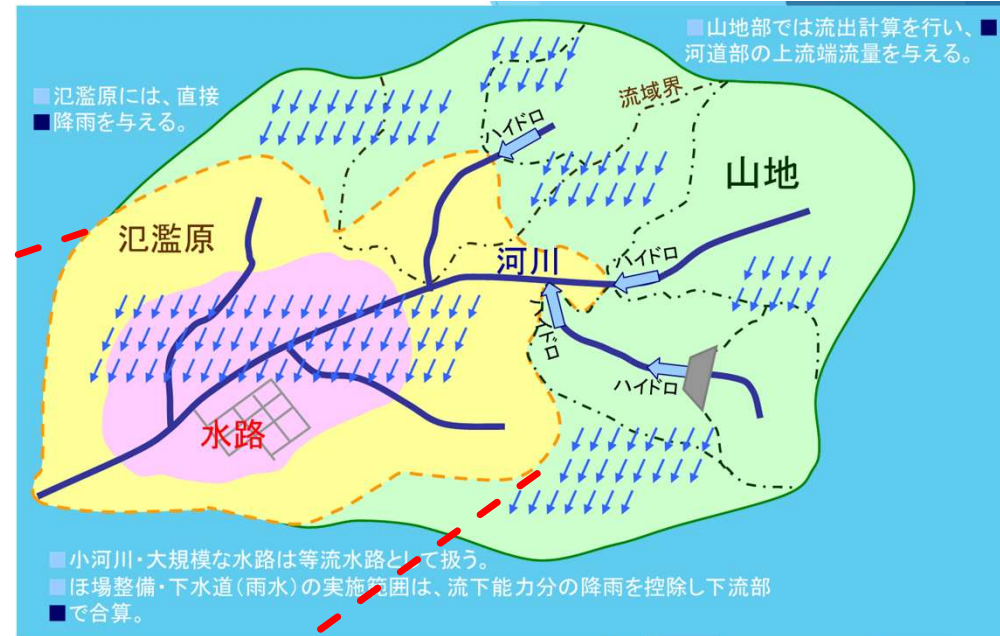
水位・流量

2次元モデル: 堤内地

水深・x,y方向の
流量フラックス

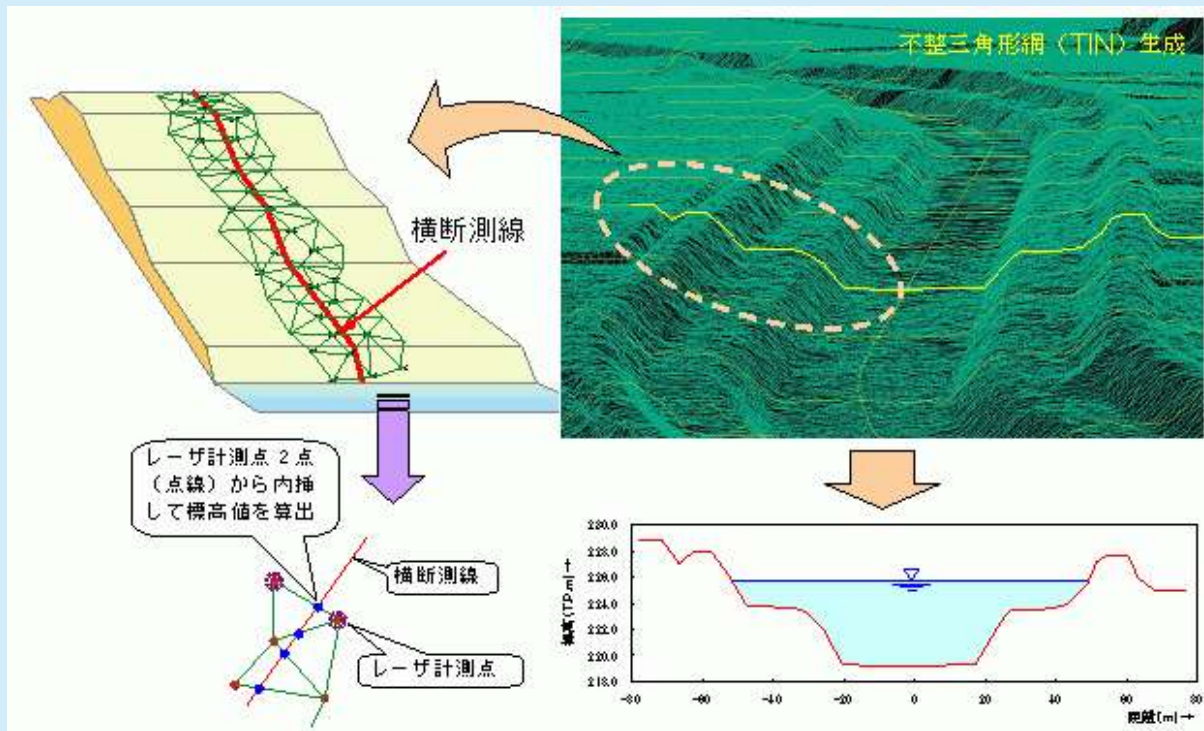
破堤流量モデル

破堤点からの流入流量



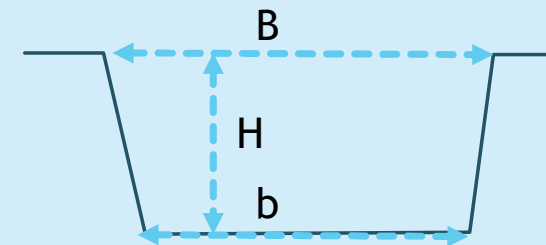
河道断面の取得と補正

河道は一次元不定流計算のため断面データを取得



補正 (地盤標高からの差分計測)

- 水面部は河床高が取れていない。
 - 当時のレーザー点群は1~2m? → 中小河川の護岸高が取れない。
- ↓
- 各土木事務所総出で断面測量 (護岸高~川底の高さ等)

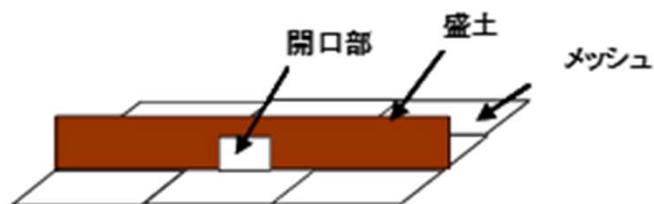


連続盛土・開口部の設定、解析後の補正

連続盛土位置・高さ取得



計算メッシュ辺上で高さ・開口部を表現

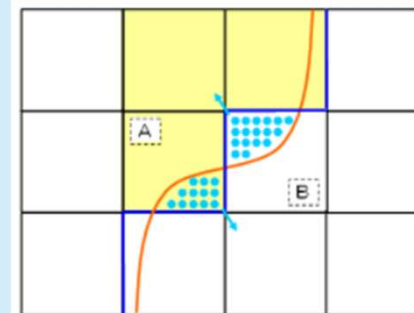


図一 線状構造物モデル化のイメージ

表一 盛土ラインのモデル化の一例



補正



—: 盛土 (地形)
 —: 盛土 (モデル)
 ●: 盛土 (モデル) の反対側の浸水履歴を参照する箇所

- 氾濫計算はメッシュ単位 (50m×50m) で実施
- 5mメッシュで微地形表現をする際、実際の盛土位置を踏まえ浸水状況を補正

計算プログラムの整備

離散化、差分化

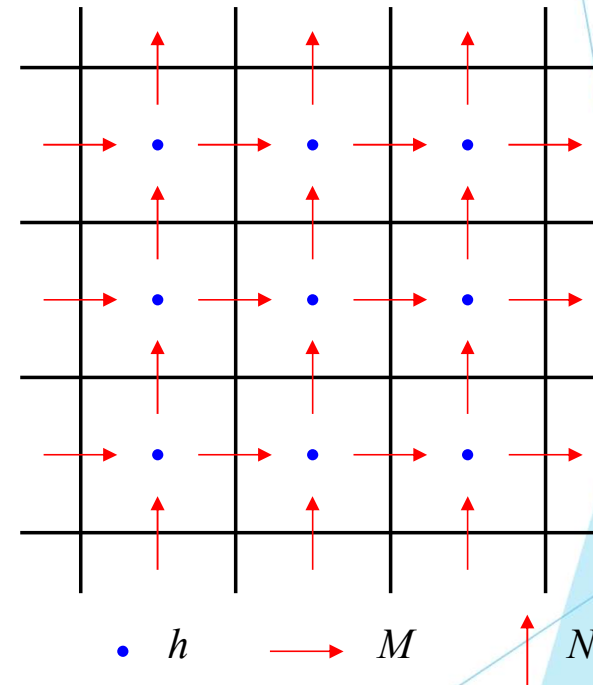
$$\begin{aligned}\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} &= -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 M \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \\ \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} &= -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 N \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}\end{aligned}$$

コンピュータで計算できる形に近似
FDM (Finite Difference Method)

変数配置: staggered配置

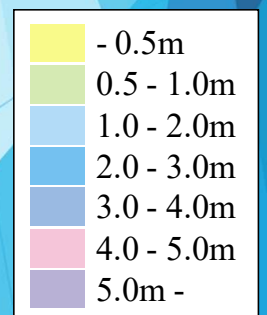
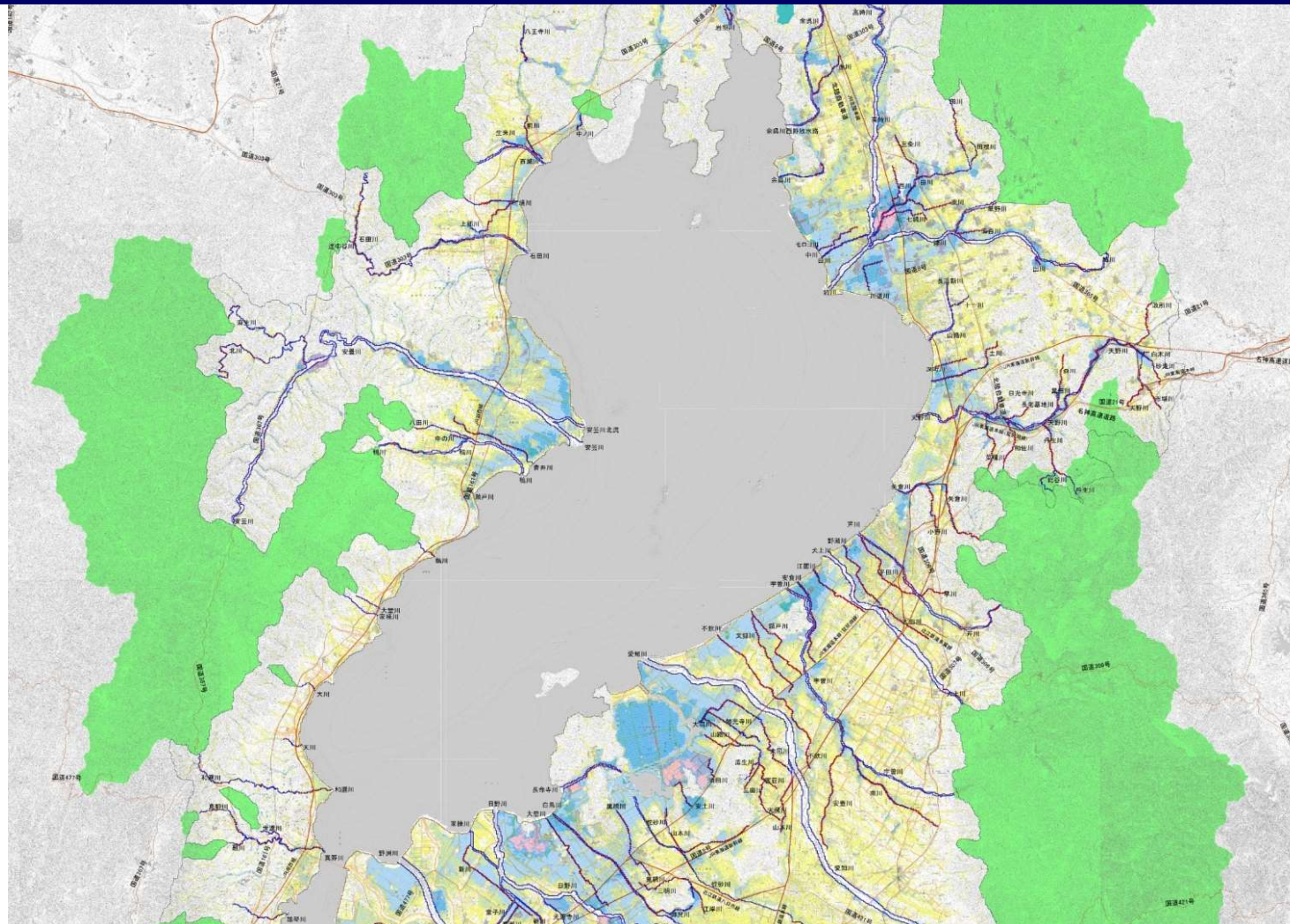
スカラー量(水深: h) → 格子の中心

ベクトル量(流量フラックス M, N) → 格子境界線の中心



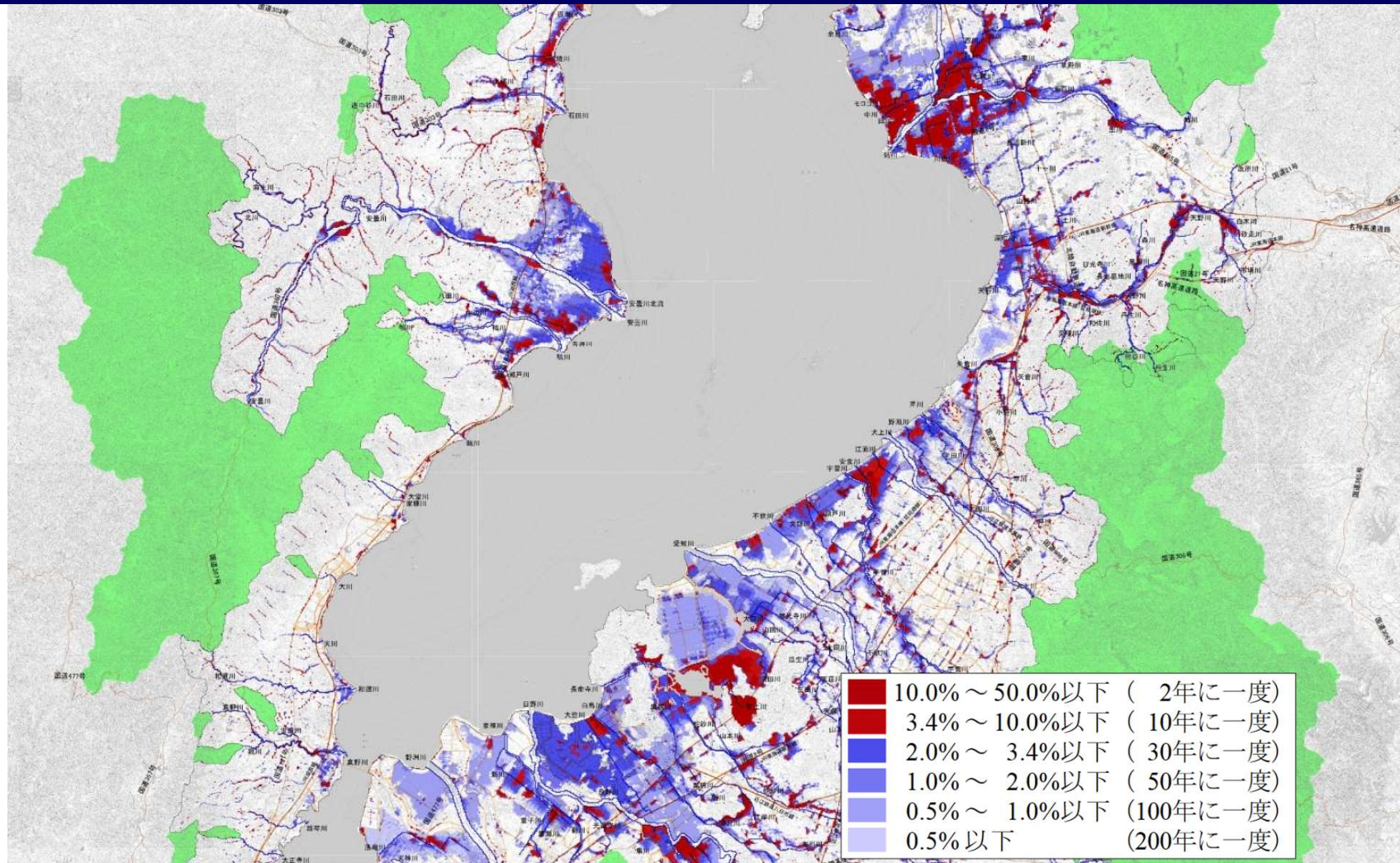
「地先の安全度」に関する情報

～最大浸水深図（発生確率別）～



「地先の安全度」に関する情報

～“床上浸水”年発生確率図～



浸水想定区域図の高度化

洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版） 2015年

建物の影響考慮の高度化

【連続式】

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial \gamma M}{\partial x} + \frac{\partial \gamma N}{\partial y} = 0$$

【運動方程式】

x 方向

$$\gamma \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial \gamma u M}{\partial x} + \frac{\partial \gamma v M}{\partial y} = -\gamma g h \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{g n^2 M \sqrt{M^2 + N^2}}{h^{7/3}} - \frac{1}{2} C_D (1 - \gamma) \frac{M \sqrt{M^2 + N^2}}{h}$$

y 方向

$$\gamma \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial \gamma u N}{\partial x} + \frac{\partial \gamma v N}{\partial y} = -\gamma g h \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{g n^2 N \sqrt{M^2 + N^2}}{h^{7/3}} - \frac{1}{2} C_D (1 - \gamma) \frac{N \sqrt{M^2 + N^2}}{h}$$

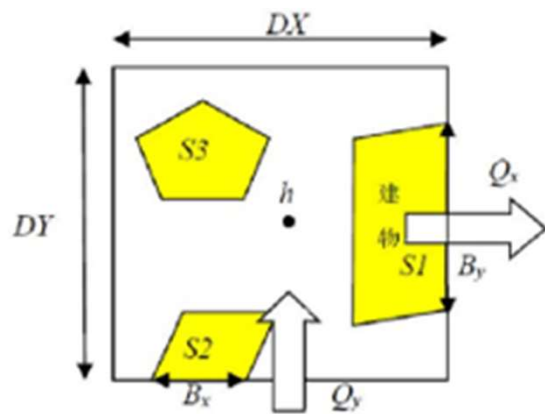
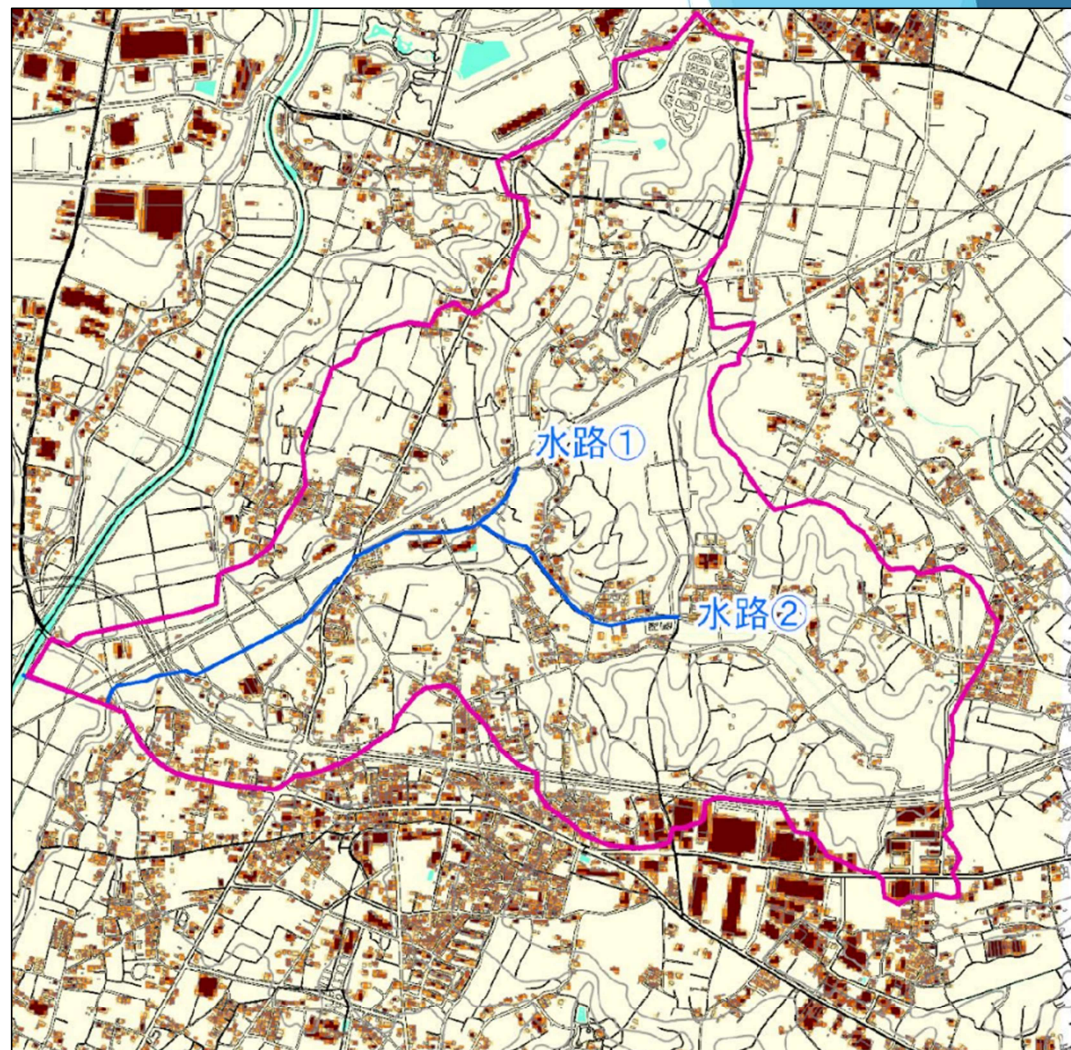


図-3.2-1 メッシュ内の建物と空隙率・透過率の設定



PLATEAUとは

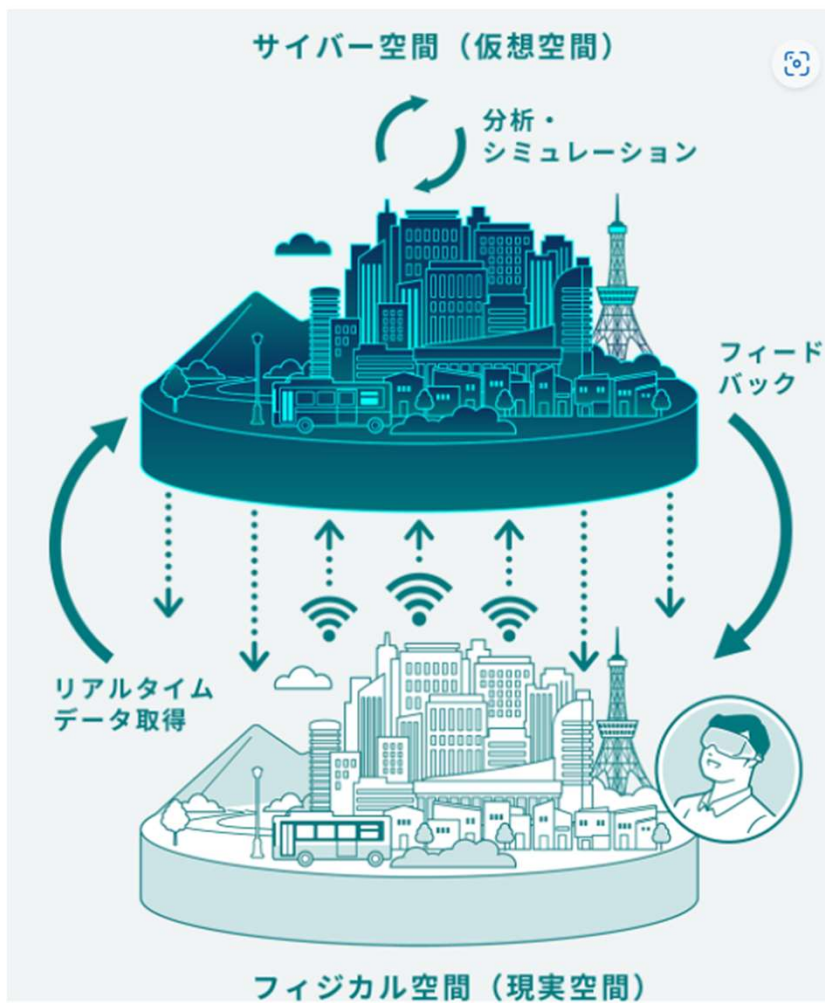
国土交通省の推進する3D都市モデル 「Project PLATEAU」

- ▶ 国土交通省では、2020年度からProject PLATEAU（プラトー）として、**都市デジタルツインの社会実装プロジェクト**を開始しました。
- ▶ 「3D都市モデル」と呼ばれる都市空間のデジタルツインデータの整備・活用・オープンデータ化の取組みを進め、現在、様々な領域における新たな**サービスやイノベーションの創出**が進みつつあります。
- ▶ 様々な領域のエンジニアやクリエイター、プランナーが**自らの技術と3D都市モデルのデータを組み合わせ、新たな価値を生み出すことを期待**しています。



デジタルツインとは

東京都 デジタルツイン実現プロジェクト



デジタルツインの提供価値

現実と連動したリアルタイムデータ取得

IoTセンサー技術や5Gの進展により、様々なデータをリアルタイムに収集

3D空間を活かした分析・シミュレーション

これまでの平面の地図上だけでなく、3次元空間の中で、従来は重ね合わせることが難しかったデータを可視化。AIによって高度な分析・シミュレーションが可能

現実へのフィードバック

その結果をAR/VRやロボットなどの各種デバイスへ、リアルタイムにフィードバック

様々な技術を最大限に活用することにより、都政のQoS (Quality of Service) をアップグレードし、都民の生活の質の向上を目指します。

活用分野

防災・まちづくり・モビリティ・エネルギー・自然・ウェルネス・教育・働き方・産業といった様々な分野での活用が期待されます。

まちづくりのデジタル・トランスフォーメーション実現ビジョン(ver1.0)(概要版)(1/4)

まちづくりDXの背景・目的

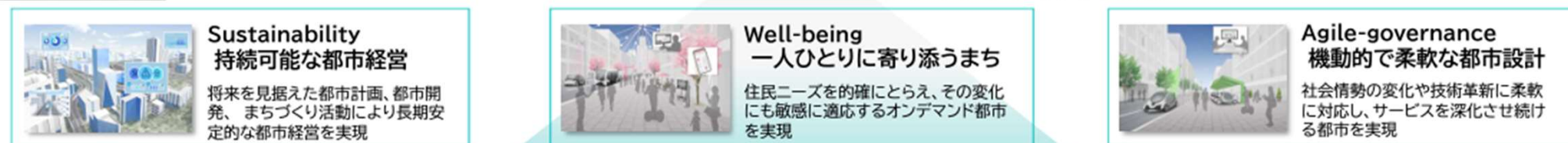
- 少子高齢化、生産性・国際競争力の強化、都市と地方の格差、新型コロナウイルス危機、災害の激甚化、Well-Being志向の高まり等、都市を巡る課題はますます複雑化、深刻化している。従来のまちづくりの手法にデジタル技術を取り入れるだけでは、これらの課題に対応し、都市の役割を果たしていくことは難しい。
- 都市が様々な人々のライフスタイルや価値観を包摂し、多様な選択肢を提供するとともに、人々の多様性が相互に作用して新たな価値を生み出すためのプラットフォームとしての役割を果たしていくためには、単にこれまでのプロセスの効率化や利便性向上等を図るだけでなく、従来のまちづくりの仕組みそのものを変革し、新たな価値創出や課題解決を実現する必要がある。

まちづくりDXにより実現を目指す姿

- まちづくりDXでは、インターネットやIoT、AI、デジタルツイン技術等を活用することで、まちづくりに関する従来の空間的、時間的、関係的制約を外し、従来の仕組みを変革していくことで、「豊かな生活、多様な暮らし方・働き方を支える「人間中心のまちづくり」」の実現を目指す。
- そのため、これまでの都市政策を包含するまちづくりの具体的な共通目的として3つの「まちづくりDXのビジョン」を定める。さらに、ビジョンを実現するための政策を「重点取組テーマ」として位置づけて推進する。また、まちづくりDX実現のため都市政策が則るべき基本原則を「まちづくりDX原則」を提示する。

豊かな生活、多様な暮らし方・働き方を支える
「人間中心のまちづくり」の実現

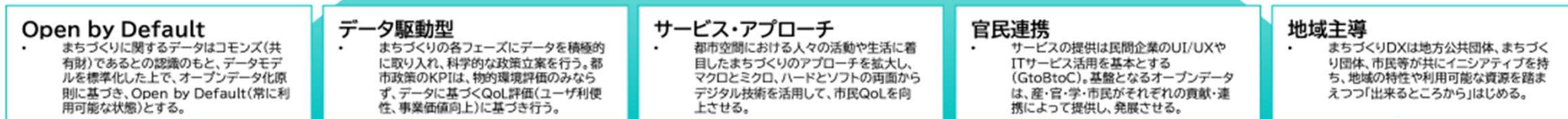
3つのビジョン

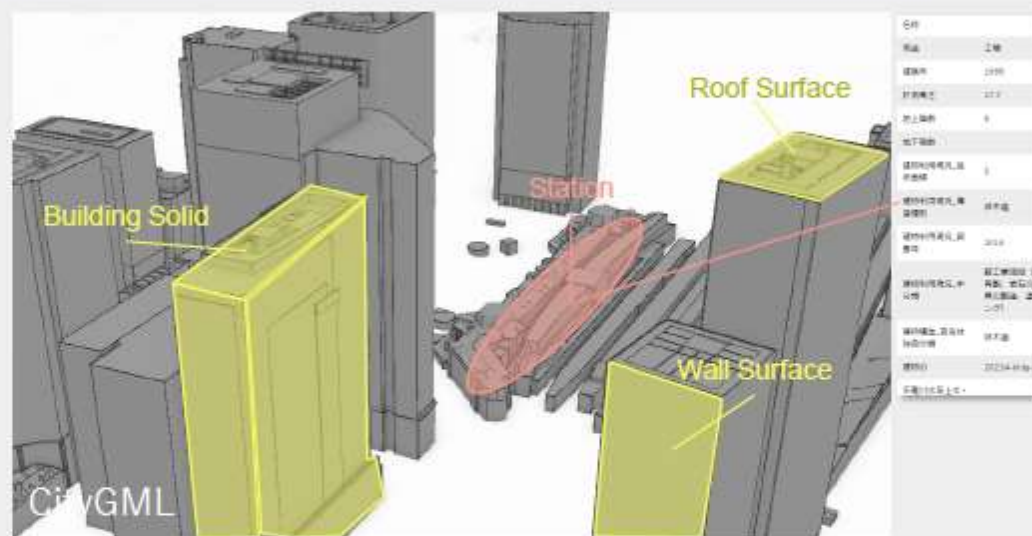
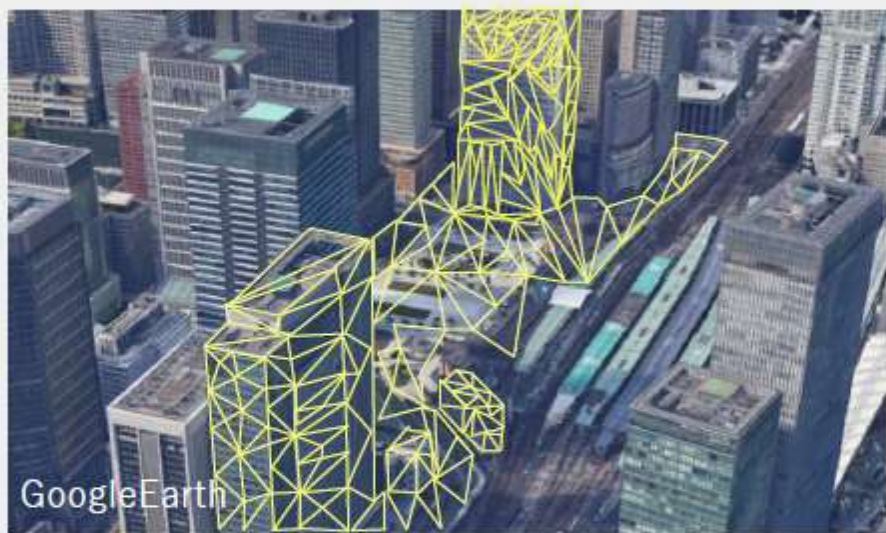


4つの重点取組テーマ



まちづくりDXの5原則

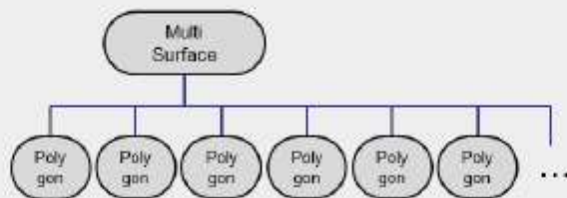




Semantics

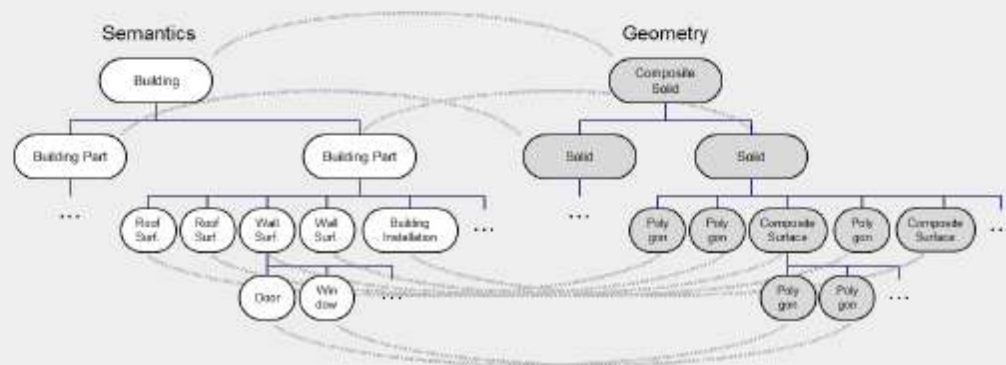


Geometry



Semantics

Geometry



データの詳細度レベル

3D都市モデルは、LOD1から4までの詳細度を定義することで情報の一元的な管理を行う

LOD 1

建物+高さ情報
<箱モデル>



- 建物の箱型モデル
- 高さ情報を活用した各種Simulationが可能

LOD 2

+屋根形状



- 建物の屋根形状表現
- 景観シミュレーション
- 都市計画・建築規制の検討

LOD 3

+外構（開口部）



- 建物の外構（窓、ドア）
- 自動運転、ドローン配送
- 建築計画の検討等

LOD 4

+室内（BIM/CIM）

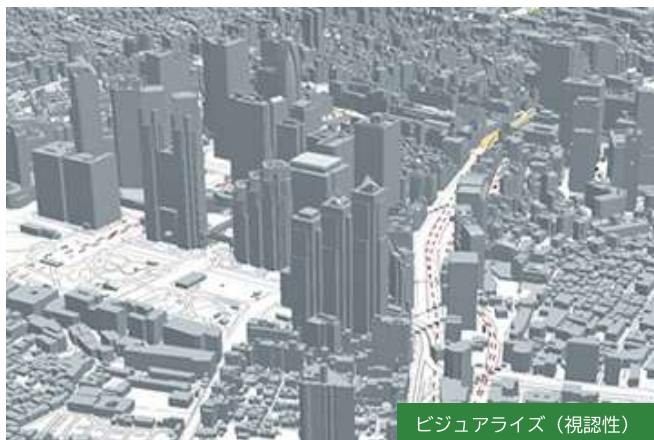


- BIM/CIM等の建物内部までのモデル化
- 屋内外のシームレスなシミュレーション

3D都市モデルの提供価値

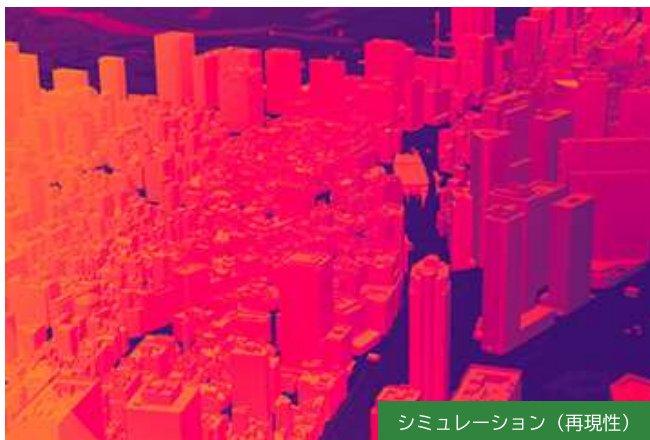
ビジュアライズ(視覚性)

都市空間を立体的に認識可能となり、説明力や説得力が向上



シミュレーション(再現性)

立体情報を持った都市空間をサイバー上に再現することで、幅広く、精密なシミュレーションが可能



インタラクティブ(双方向性)

フィジカル空間とサイバー空間が相互に情報を交換し作用し合えるためのプラットフォームを提供



これらの価値が複合的に発揮され、都市のデジタルツイン、そして新たなソリューション創出を実現

3D都市データとデータマッピング

3D都市データは、都市の現状を正確に把握するための非常に有用なツールです。例えば、建物の高さや形状、街路の幅や曲がり具合などを3Dで把握することで、都市の交通状況や災害リスクなどをより正確に評価することが可能です。

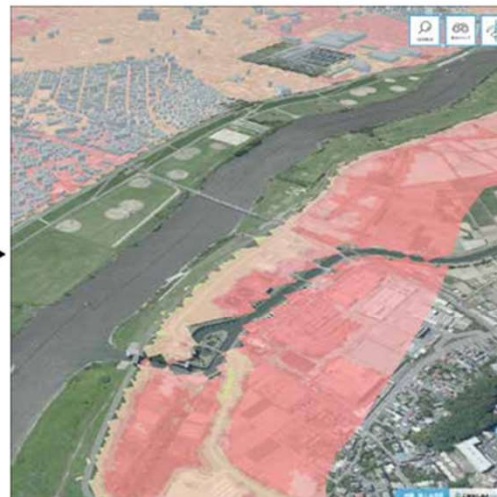
3D都市データ



災害など



3D都市データ+災害状況



3D都市モデルとシミュレーション結果を重ね表示している。
もっと高度に3D都市モデルデータを活用できないか。

公共ユースケース開発 | 防災・防犯

2022

雪害対策支援ツール (ウエスコ、構造計画研究所)

概要

- 屋根形状や属性情報を活用した風雪・融雪シミュレーションを実施。建築物の積雪荷重に対する損壊及び落雪リスクの評価・可視化ツールを開発。

主な結果・課題

- 風雪・融雪シミュレーションでは街区レベルで気流、吹きだまり、積雪荷重などの推定が可能となった。
- 建屋リスク評価では、1棟ごとに建物倒壊リスクの評価を実施できた。
- 道路除雪については、区間ごとの積雪量や閉塞リスクの高い箇所を把握できた。

実証イメージ



2023

精緻な土砂災害シミュレーション (ウエスコ/構造計画研究所)

概要

- 3D都市モデルを活用し、家屋の倒壊判定等を加味した精緻な土石流シミュレーションを開発。
- 建物損壊リスクを考慮した精緻な避難計画を立案する。

実現したい価値

- 家屋の倒壊等の影響を加味した精緻な土石流シミュレーションし、比較的风险が低い地点等を工学的根拠に基づき示す。
- 土砂災害警戒区域等が重なるように指定されている地域などにおいて、より実効性のある避難計画の検討が可能となる。

実証イメージ





兵庫県朝来市

雪害対策支援ツール

防災・防犯

OpenFOAM

シミュレーション

QGIS

Unity

GIS

2022.7.29 [Last updated : 2023.3.24]

uc22-027

雪害対策の背景

PLATEAUによる課題解決シナリオの検討

ヒアリング先		ヒアリング内容
自治体	石川県加賀市【1回】	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 今までは屋根の雪下ろしを住民自身が判断していたが、一定の基準を設けることができれば、不要な事故を避けること（高齢者による雪下ろし事故等）や雪下ろしによる道路閉塞の防止に貢献できる ※実際に除雪のGOサインが出るのは、各職員による現地パトロールや住民からの通報をもとに、必要に応じたとき
	滋賀県長浜市【1回】	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 長浜市では複数の除雪車両を有しており、降雪時には除雪車両による除雪を行っている。 ✓ 当該除雪に係るルートは住民からの通報等によるものであるところ、事前に降雪による道路閉塞や住民の閉じ込めが発生しやすい場所が分かると、優先的な除雪ルートのシミュレーションを組むことができ、大変助かる。
	小浜・舞鶴周辺自治体	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 平年は雪が降らないことが多いが、時にドカ雪が降り、市民生活に支障が出る。 ✓ たまに降るドカ雪を統計値から計画的に予測し、対策を講じたい。実績等だと降雪状況が偏在するため、シミュレーション等による計画外力が望ましい。



- そこで、3D都市モデルを活用して、**雪下ろしの基準を設定するとともに、事前に除雪優先度が高い建物・エリアを抽出し、除雪の最適化を実現するルートを設定する。**これらシミュレーション結果を**自治体の雪対策基本計画等に盛り込む。**

参考：雪下ろしシグナル

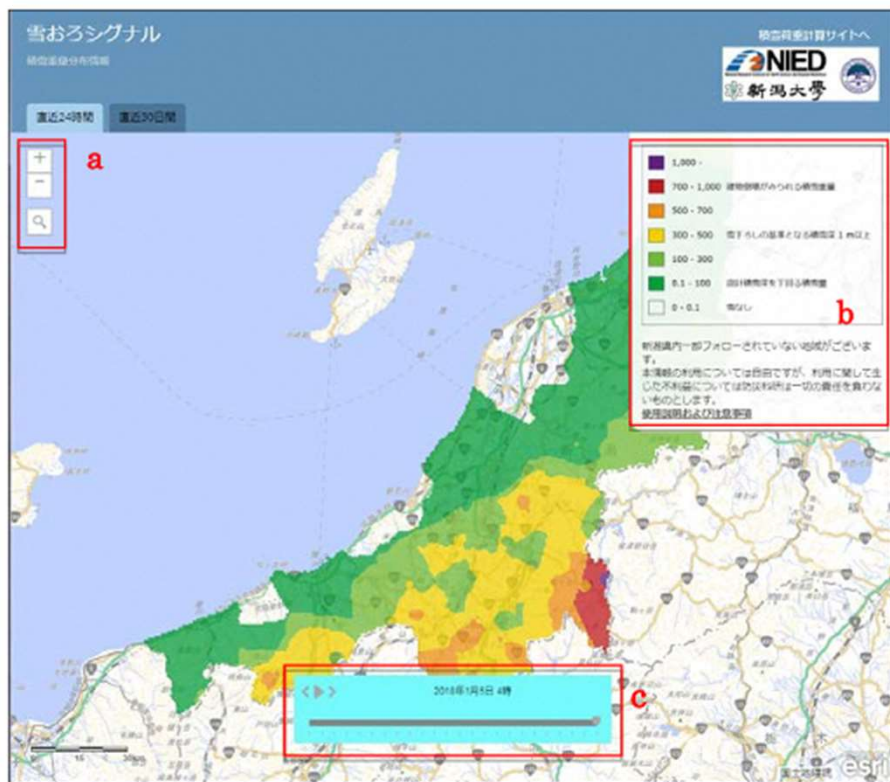


図2 「雪おろシグナル」積雪重量分布情報

表1 図2におけるbの凡例の詳細

最小値 (kg/m ²)	最大値 (kg/m ²)	色		備考
1000	∞	紫		
700	1000	赤		建物倒壊がみられる積雪重量
500	700	橙		
300	500	黄色		雪下ろしの基準となる積雪深 1m 以上
100	300	黄緑		
0.1	100	緑		設計積雪深を下回る積雪量
0	0.1	無色		雪なし

1.地点キーワード 検索 3.雪下ろし実施日 2017/12/01 00:00
 例1. 長岡市、例2. 栃吉町 4.現在 2017/12/26 00:00
 (2017/12/01-)

2.居住地 選択して下さい

5.積雪荷重計算 現在の積雪荷重 =

図4 積雪荷重計算サイト

新聞報道において指摘されている主な課題

- ▶ 記録的な大雪による人的被害の増加
- ▶ 高齢者に集中して被害が発生
- ▶ 過疎化などで除雪作業の人手不足が深刻化
- ▶ 同時多発的な作業需要に対する人手不足
- ▶ 業者等へ委託する場合の雪下ろし費用の増大
- ▶ 連続した降雪による疲労の蓄積
- ▶ 普段なら雪下ろしの必要ない地域での不慣れ
- ▶ 体力の衰えた状態での重作業による事故、疾患
- ▶ 危険で特殊な作業に対する一般ボランティアの受入の困難

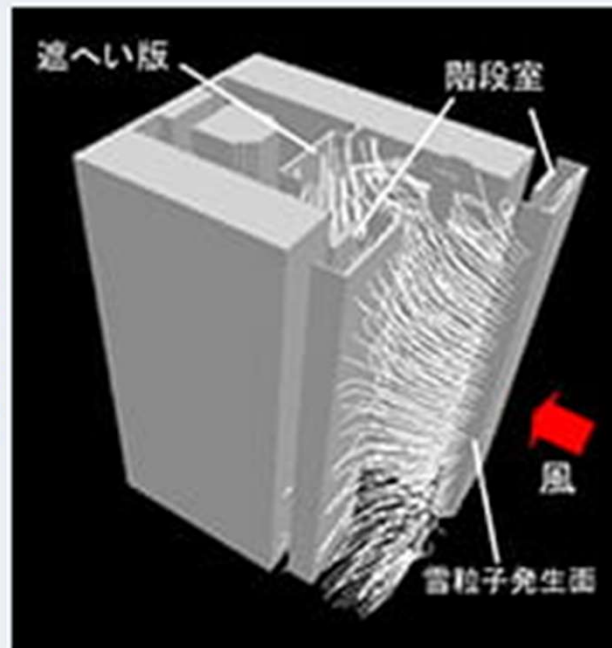
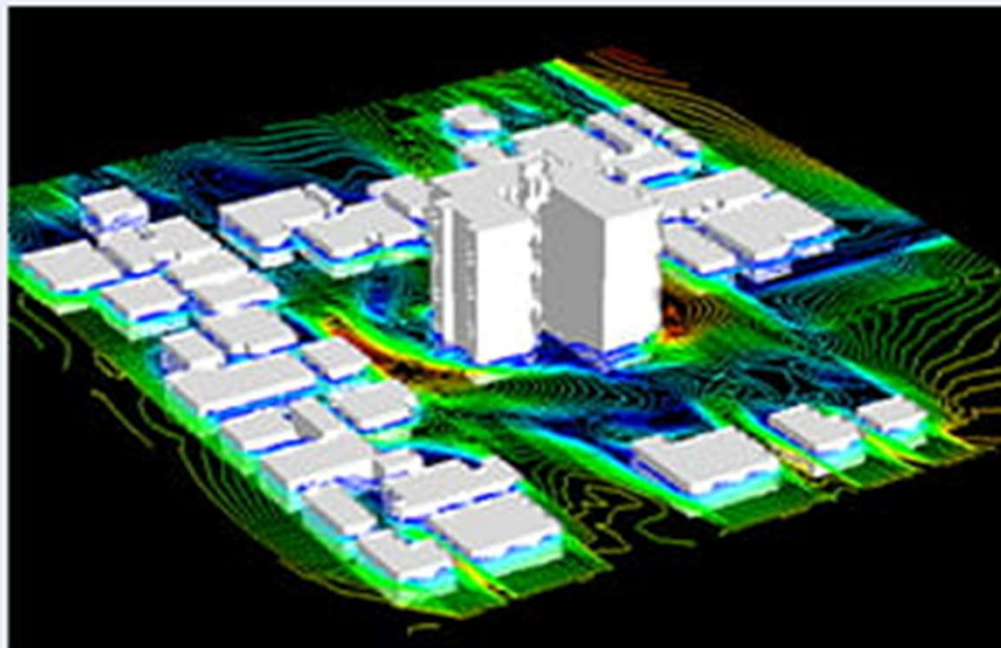
(近年) 道路上での立ち往生



備えを考えるなら、
ミクロな分析ができる必要がある。

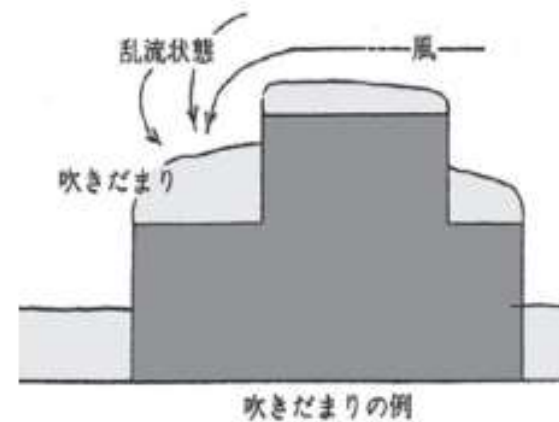
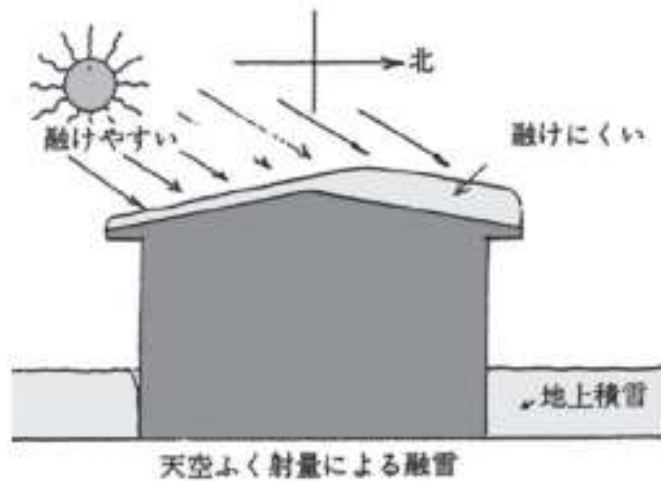
風・流体工学の活用

新潟工科大学 風・流体工学研究センター



建物周辺の風環境・雪の吹き溜まりの予測

(参考)「I. 積雪リスク評価」 —積雪による不均等荷重の発生例



「積雪荷重に関する考え方」
社)日本金属屋根協会 技術委員会
<http://www.kinzoku-yane.or.jp/technical/pdf/no254.pdf>

風雪・融雪に関する論文

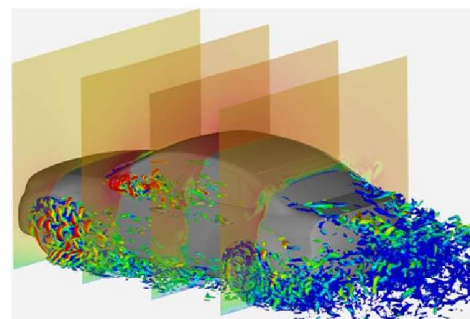
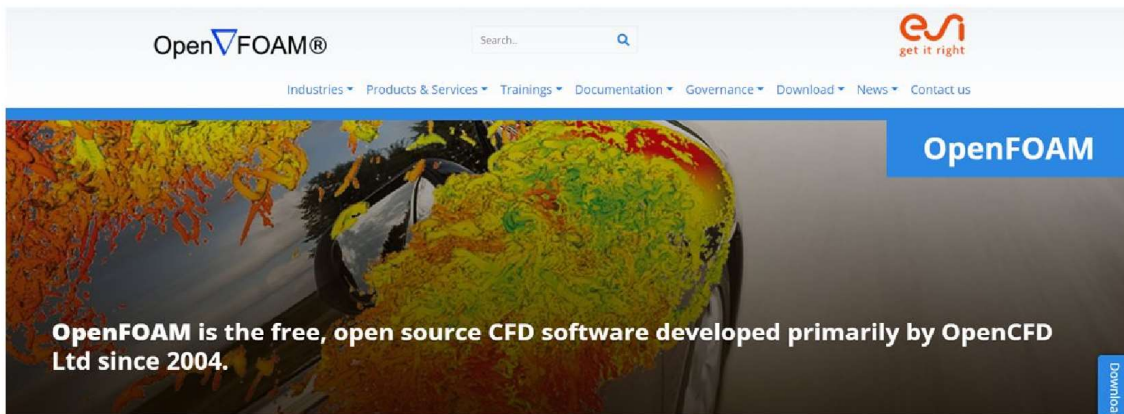
	論文名
風雪シミュレーション	1)富永, 大風, 持田, 志田, 吉野, 雪面の侵食・堆積のモデル化に関する基礎的検討, 日本建築学会環境系論文集, 第 74 巻 2009 2)富永, 大風, 持田, 単体切り妻屋根建物を対象として屋根上積雪深の予測手法の検証, 日本建築学会構造論文集, 第 81 巻, 第 725 号, 2016 3)村山, 五十嵐, 富永, 2 段屋根建物の積雪分布の再現性の検討 CFD を用いた風による屋根雪辺分布の予測, 日本建築学会構造論文集, 第 84 巻, 第 762 号, 2019
融雪シミュレーション	4)青木, 富永, 村田, 住宅配置形態と積雪分布に関する CFD・熱収支解析, 日本建築学会構造論文集, 第 75 巻, 第 647 号, 2010 5)富永, 本吉, 気象観測データと熱収支モデルに基づく地上積雪重量推定法, 日本建築学会構造系論文集, 第86巻 2021



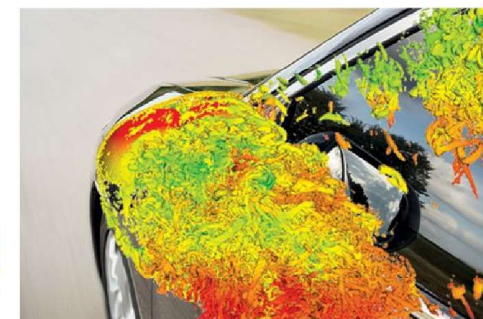
CFDを用いた解析が可能！
プラトーの目指すオープンデータ化に合致

OpenFOAMの利用

- ◆ OpenFOAMは、2004年にOpenCFD Ltdによって開発された**無料のオープンソースCFDソフトウェア**
※CFD: Computational Fluid Dynamics(数値流体力学)
- ◆ 商業・学術の両方から、工学・科学のほとんどの分野にわたって用いられている
- ◆ OpenFOAMには、化学反応、**乱流、熱伝達を含む複雑な流体の流れ**から、音響、弾性波、電磁気まで、あらゆるものを解決するための幅広い機能が備わっている



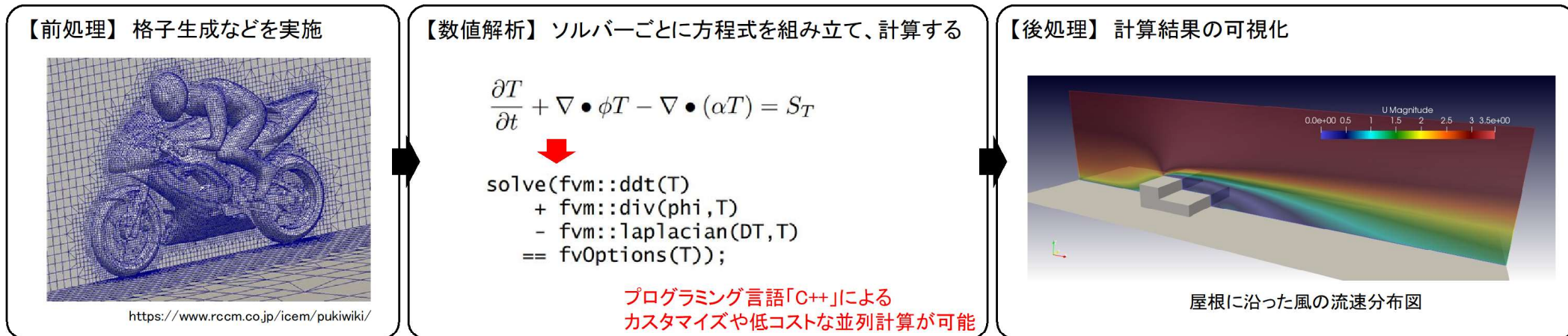
【空気力学】
Ex) 自動車周りの風の動き



【空力音響学】
Ex) ノイズ伝達、音響解析など

■ OpenFOAMの概要

◆ 前処理(格子生成など)、数値解析、後処理(可視化など)の機能を備えている



◆ 多数のソルバー (形状、材質、境界条件に基づいて方程式を組み立て、計算する機能のまとめり)、
そこで使用できる多数のモデル (乱流モデル、離散化スキームなど)が実装済み

- | | |
|------------------|----------------------------|
| <u>標準ソルバーの項目</u> | |
| ✓ 非圧縮性流体 | |
| ✓ 圧縮性流体 | |
| ✓ 多相流体 | |
| ✓ 熱輸送・浮力駆動流れ | etc... |
| <u>乱流モデル</u> | |
| ✓ Laminar | ： 層流 |
| ✓ RAS | ： レイノルズ平均乱流モデル |
| ✓ LES | ： Large Eddy Simulationモデル |



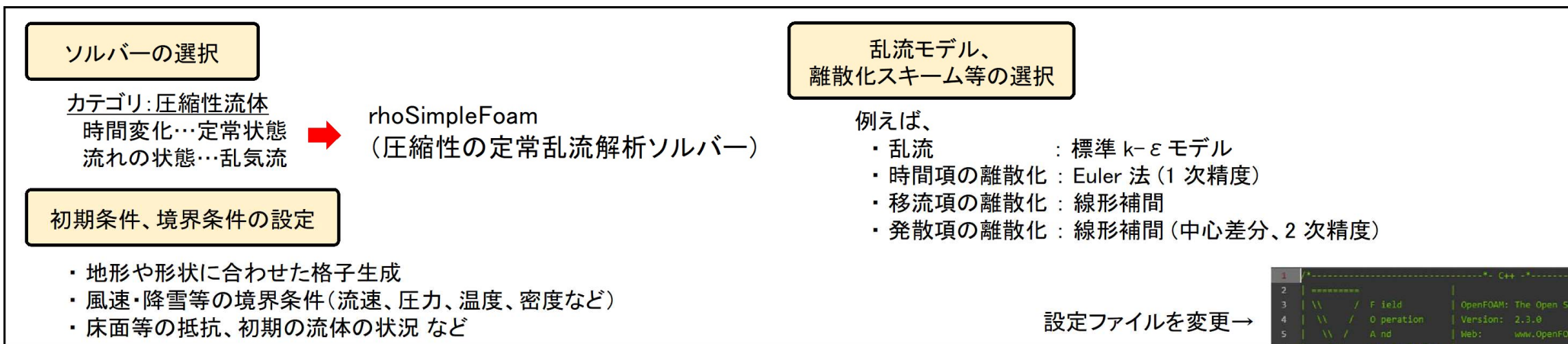
圧縮性流体に関するソルバー	
rhoCentralFoam	Kurganov と Tadmor による中心-風上スキームに基づく密度ベースソルバー
rhoPimpleFoam	非定常/HVAC(Heating、Ventilation、Air Conditioning)用
rhoSimpleFoam	定常
...	...

RASモデル	
kEpsilon	標準 k-ε モデル
LaunderSharmaKE	Launder-Sharma 低レイノルズ数型 k-ε モデル
RNGkEpsilon	RNG k-ε モデル
kOmega	標準 k-ωモデル
...	...

ソルバー・モデルごとにさらに細分され、多様な計算に対応できる

■ OpenFOAMの使い方

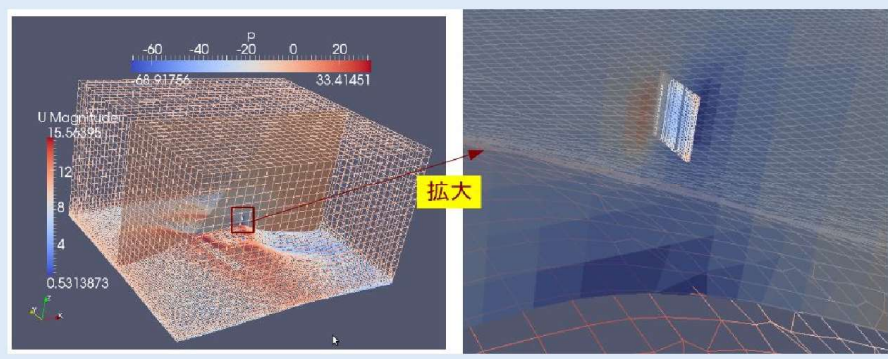
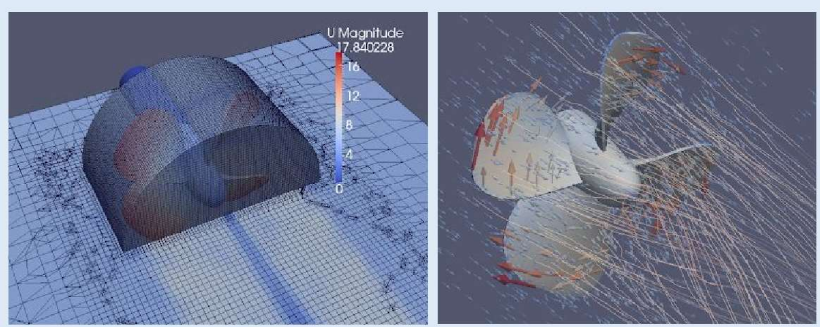
◆ 計算対象に適したソルバー、モデルを選択し、各種条件を設定して計算を実行



↓ 計算を実行…

事例①: スクリューの回転流れ場
 ソルバー: pimpleDyMFoam (非圧縮性の非定常乱流)
 乱流モデル: RASModel - kEpsilon

事例②: 風力発電所の風環境シミュレーション
 ソルバー: simpleFoam (非圧縮性の定常乱流)
 乱流モデル: RASModel - kEpsilon



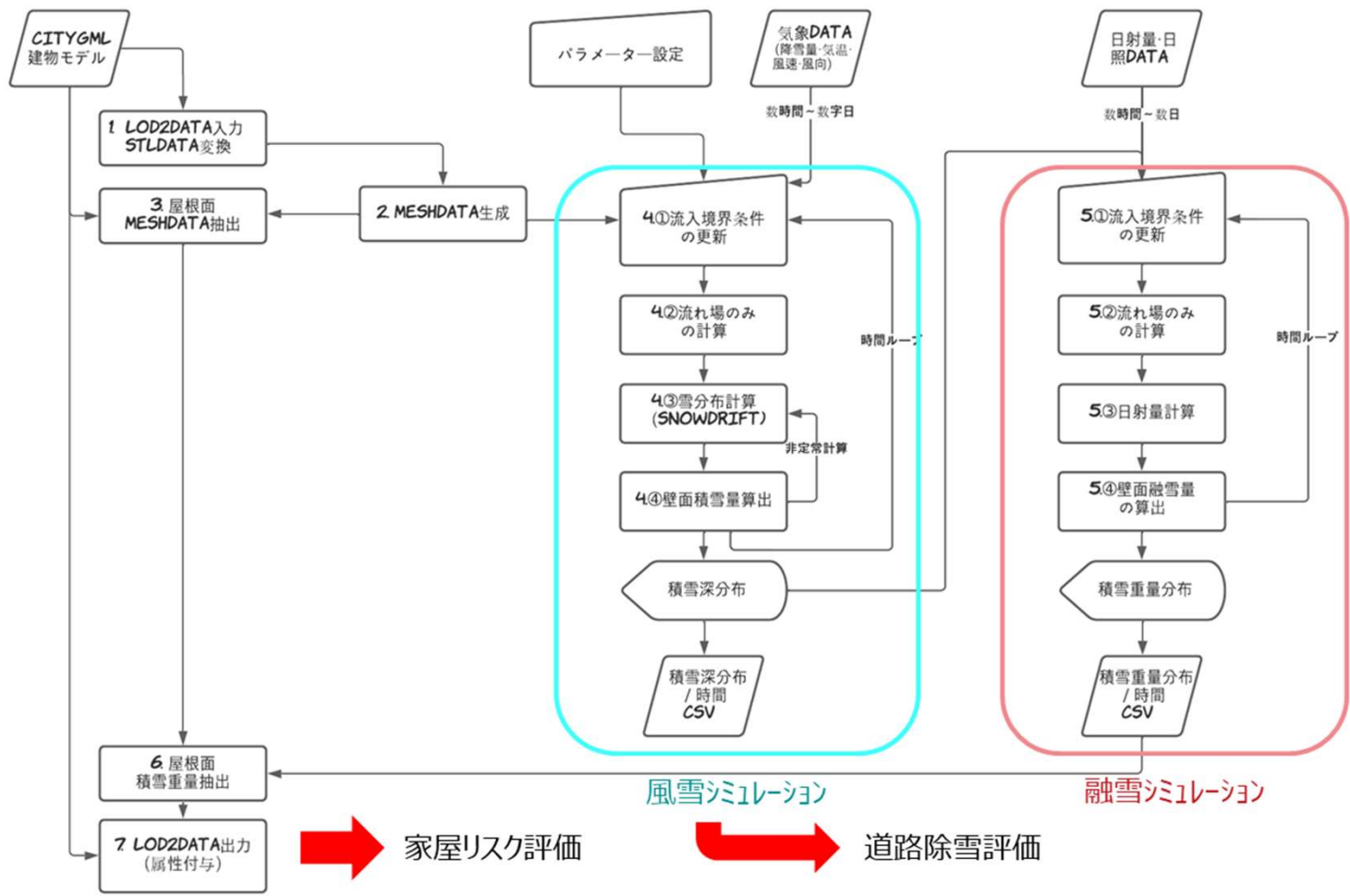
```

1  *-----*
2  |         | | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolb
3  | \ \ / /  | | Operation | Version: 2.3.0
4  | \ \ / /  | | And       | Web: www.OpenFOAM.org
5  | \ \ / /  | | Manipulation
6  | *-----*
7
8  FoamFile
9  {
10     version      2.0;
11     format        ascii;
12     class         dictionary;
13     location      "system";
14     object        fvSchemes;
15 }
16 // *-----*
17
18 ddtSchemes
19 {
20     default       Euler;
21 }
22
23 gradSchemes
24 {
25     default       Gauss linear;
26 }
27
28 divSchemes
29 {
30     //div(rhoPhi,U) Gauss limitedLinearV 1;
31     div(rhoPhi,U) Gauss linearUpwind grad(U);
32
33     div(U) Gauss linear;
34     //div(phi,epsilon) Gauss limitedLinear
    
```

出典: OpenFOAMチュートリアルドキュメント作成プロジェクト

風雪・融雪シミュレーションモデルの構築

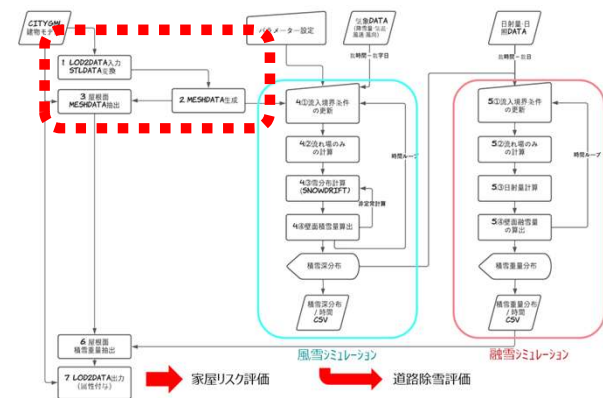
システム機能要件



メッシュデータ生成関連

対象

項目	No	処理内容	ソフトウェア処理	処理方針
LODデータ読み込み	1-1	CityGML LOD2の情報読み込み	FME Desktop	
	1-2	STLデータへの変換	FME Desktop	
メッシュデータ作成	2-1	3Dメッシュデータ作成	OpenFoam [snappyHexMesh]	解析空間のメッシュを構成する。
	2-2	3D地形メッシュデータのくり抜き	OpenFoam [snappyHexMesh]	地形データをくり抜いた解析空間のメッシュを構成する。
屋根面メッシュの抽出	3-1	CityGML LOD2の<Roofsurface>タグの情報読みこみ	FME Desktop	CityGMLの建物データを参照し<Roofsurface>の情報を読み込む。 屋根面IDと座標値、建物IDを紐付けて保持
	3-2	<Roofsurface>の各屋根面上のメッシュを抽出	-	各屋根面上の座標に囲まれた空間上に平面的に位置するメッシュIDと屋根面IDを紐付けて保持



```

1 solid grounds
2 facet normal 0.271322 -0.366334 0.890047
3 outer loop
4 vertex 44695.9 -73765.6 238.109
5 vertex 44695.9 -73767.3 237.408
6 vertex 44697.6 -73765.6 237.591
7 endloop
8 endfacet
9 facet normal 0.288643 -0.141877 0.946866
10 outer loop
11 vertex 44695.8 -73763.8 238.408
            
```

構造物データ (STL) への変換

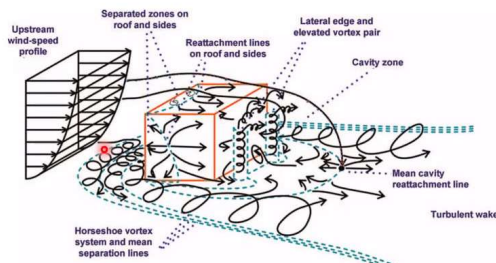
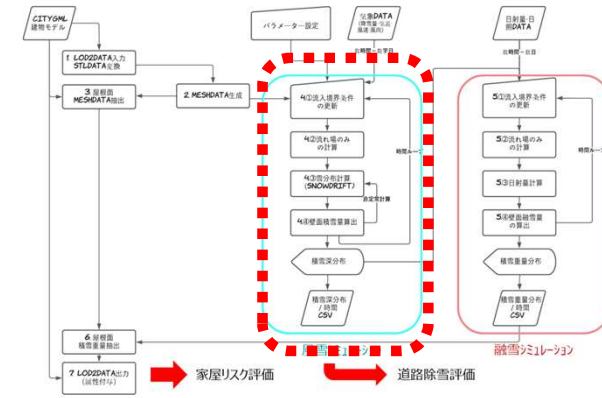
特徴線の抽出

計算メッシュの作成

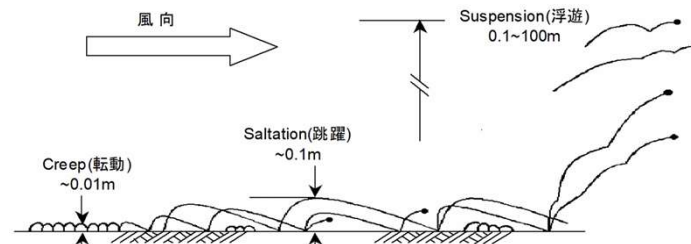
風雪シミュレーション

対象

項目	No	処理内容	ソフトウェア処理	処理方針
風雪シミュレーション	4-1	流入境界条件の更新	OpenFOAM	風向によりメッシュ方向（上流2側面以下）に風速データを分配。速度と乱流I初値 (k) を1時間ピッチで流入境界に設定する。 降雪データを1時間ピッチで流入境界（天井壁面）に設定する。
	4-2	流れ場の計算	OpenFOAM [rhoSimpleFoam]	乱流のk-εモデルを用いた定常流計算により流れ場（風）の計算を行う。
	4-3	雪分布計算	OpenFOAM [rhoPimpleFoam]※	雪濃度分布の計算を対流拡散方程式を加えた非定常計算で行う（※加算）。
	4-4	壁面積雪量算出	OpenFOAM [rhoPimpleFoam]※	積雪量（積雪フラックス）について参照論文の式を加えた非定常計算で行う（※加算）。



乱流モデルを用いた流れ場の計算（定常）



風によって運ばれる雪粒子の運動形態

rhoSimpleFoam (圧縮性-定常流-乱流 解析ソルバー)

…rho(密度 ρ)を考慮したSIMPLE法による数値解析境界条件等一定で、計算が収束するまでの計算

◆連続の式(質量保存の式)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0$$

◆運動方程式

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) = -\nabla p + \nabla \cdot (R_{vis} + R_{tur})$$

◆エネルギー方程式

$$\frac{\partial \rho h}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho h u) + \frac{\partial \rho K}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho K u) = -\frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (k \nabla T)$$

◆状態方程式

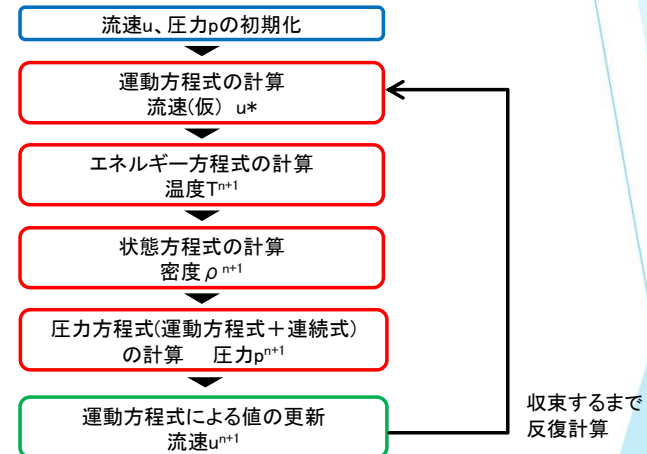
$$\rho = \frac{pW}{RT} = \Psi \times p$$

◇圧力方程式(運動方程式+連続の式により導出)

$$\nabla \cdot \left(\frac{\rho}{A} \nabla p \right) = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\frac{\rho}{A} \nabla H \right)$$

ρ : 密度、 u : 速度、 p : 圧力、 R_{vis} ・ R_{tur} : 粘性・乱流の項、 h : エントロピー、 K : 運動エネルギー、 k : 熱伝導率、 W : 分子量、 R : 気体定数、 T : 温度、 Ψ : 圧縮率、 A : 係数、 H : $\int u$

対象



rhoPimpleFoam (圧縮性-非定常流-乱流 解析ソルバー) 【カスタマイズver.】

…rho(密度 ρ)を考慮したPISO法+SIMPLE法による数値解析
 ※本検討では、速度(風速)は一定だが、密度が時間により変化するため、非定常流のソルバーを使用

◆飛雪空間密度 Φ の輸送方程式

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{\partial u_i \Phi}{\partial x_i} + \frac{\partial W_f \Phi}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_s} \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right) + S$$

Φ : 飛雪空間密度, u_i : 平均風速の3成分($i=(x,y,z)$), x_i : 空間座標の3成分, W_f : 雪粒子の落下速度, ν_t : 渦動粘性係数, σ_s : 乱流シュミット数(=1), S : 積雪面や境界面の飛雪の増減

◆雪の堆積・浸食、積雪深の計算

- 雪面における堆積フラックス q_{dep} [kg/m^2s]

$$q_{dep} = W_f \Phi_p \left(\frac{U_{*t}^2 - U_*^2}{U_{*t}^2} \right) \quad (U_* < U_{*t})$$

- 雪面のシアストレスによる侵食フラックス q_{ero} [kg/m^2s]

$$q_{ero} = -A_e \rho_i (U_*^2 - U_{*t}^2) \quad (U_* > U_{*t})$$

Φ_p : 雪面に接するセルの飛雪空間密度, W_f : 雪粒子の落下速度(-0.5m/s)
 U_* : 雪面の摩擦速度, U_{*t} : 限界摩擦速度 (本研究では0.2m/s)
 A_e : 比例定数 (本研究では 1.0×10^{-5}), ρ_i : 氷の密度

- 正味の積雪フラックス q_{total} [kg/m^2s]

$$q_{total} = q_{dep} + q_{ero}$$

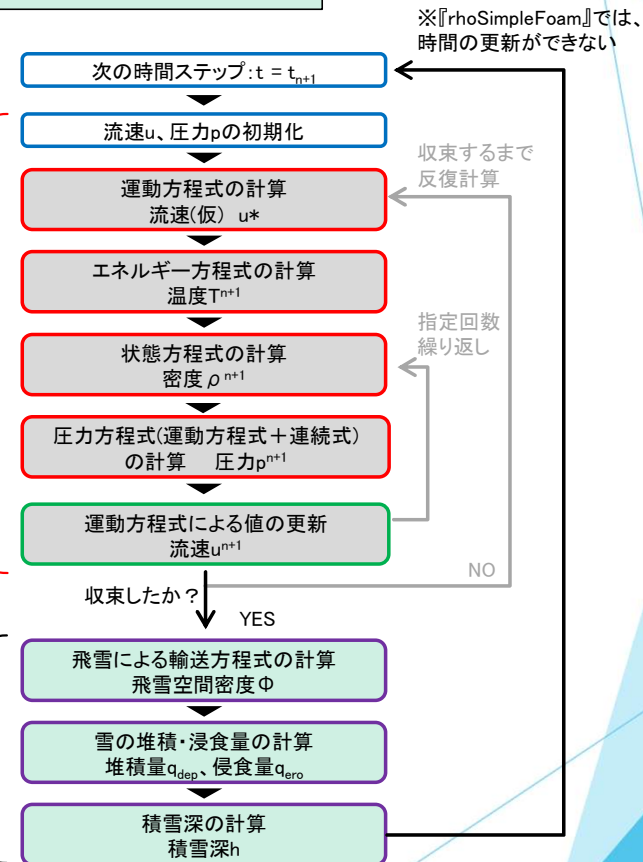
- 積雪深を h とすると

$$h = \frac{q_{total} \times T}{\rho_s} \quad T: \text{経過時間(s)}, \quad \rho_s: \text{積雪密度(kg/m}^3\text{)}$$

対象

rhoSimpleFoam
で計算済み

カスタマイズ



融雪解析（積雪重量の算出）

降水量の積算値から、融雪による流出量を引いたものが積雪重量となる。本手法は、積雪重量のみを計算対象とする（積雪深は計算過程に現れない）

（1）雨雪の判定

降水量は、雨雪判別気温 T_{SR} （ $0.5^{\circ}\text{C}\sim 2^{\circ}\text{C}$ ）以上で降雨、 T_{SR} 未満で降雪とする。

（2）流出量の算出

融雪によって氷から水に変化する1時間あたり単位面積あたりの重量 MW は、後述の融雪エネルギー M を用いて次式となる。

$$MW = 3600M/G_M$$

G_M ：氷の融解熱[J/kg]

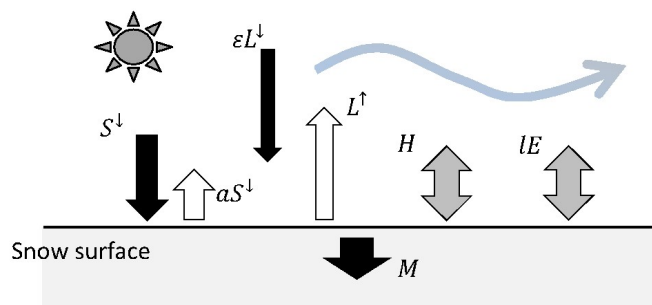


Fig. 1 Schematic of heat balance on snow surface

（3）融雪エネルギーの算出

表層の熱収支を考える。ない高水に伴う熱量は小さいものとして無視する。

$$M : \text{融雪エネルギー} [\text{W}/\text{m}^2] = R\downarrow - L\uparrow - H - IE$$

$$R\downarrow : \text{入力放射量} [\text{W}/\text{m}^2] = (1-a) S\downarrow + L\downarrow$$

a ：アルベド（地表面の反射率：時間経過によって指数関数的に低下）

$S\downarrow$ ：全天日射量 $[\text{W}/\text{m}^2]$ （短波放射）・・・気象要素

$L\downarrow$ ：大気放射量 $[\text{W}/\text{m}^2]$ （長波放射）・・・気象要素

$L\uparrow$ ：上向き長波放射量 $= \sigma T_s^4$

σ ：ステファン・ボルツマン定数 $[\text{W}/\text{m}^2/\text{K}^4]$

T_s ：積雪表面温度 $[\text{K}]$

H ：顕熱輸送量 $[\text{W}/\text{m}^2] = C_p \rho C_H U (T_s - T)$

C_p ：空気の比熱 $[\text{J}/\text{kg}/\text{K}]$

ρ ：空気の密度 $[\text{kg}/\text{m}^3]$ （大気圧と気温より算定）・・・気象要素

C_H ：顕熱輸送のバルク輸送係数

U ：高度1mでの風速 $[\text{m}/\text{s}]$ ・・・流れ場の解析より算定

T ：気温 $[\text{K}]$ ・・・気象要素

IE ：潜熱輸送量 $[\text{W}/\text{m}^2] = l \rho C_E U [(1-rh) q_{sat}(T) + \Delta \cdot (T_s - T)]$

l ：水の気化の潜熱 $[\text{J}/\text{kg}]$

C_E ：潜熱輸送のバルク輸送係数

rh ：相対湿度・・・気象要素

$q_{sat}(T)$ ：気温に対する飽和比湿 $[\text{kg}/\text{kg}]$

Δ ：飽和比湿の温度に対する変化率

（4）積雪表面温度

$$T_s = \frac{[R - \varepsilon \sigma T_s^4 - l \rho C_H U (1-rh) q_{sat}(T)]}{[4 \varepsilon \sigma T_s^3 + (l \Delta + C_p) \rho C_H U]} + T$$

出力データ

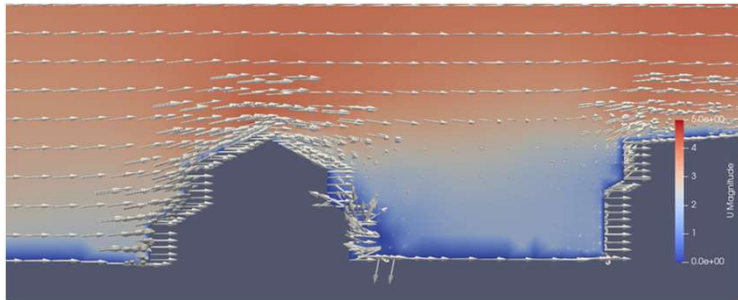


図 気流解析
地形に応じた3次元気流解析を実施

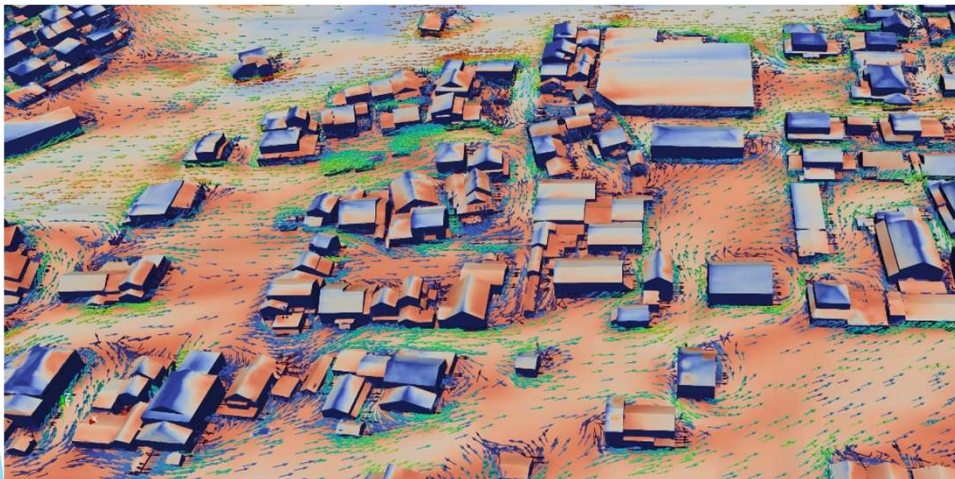


図 気流解析
地形に応じた風速分布と積雪の偏在を計算

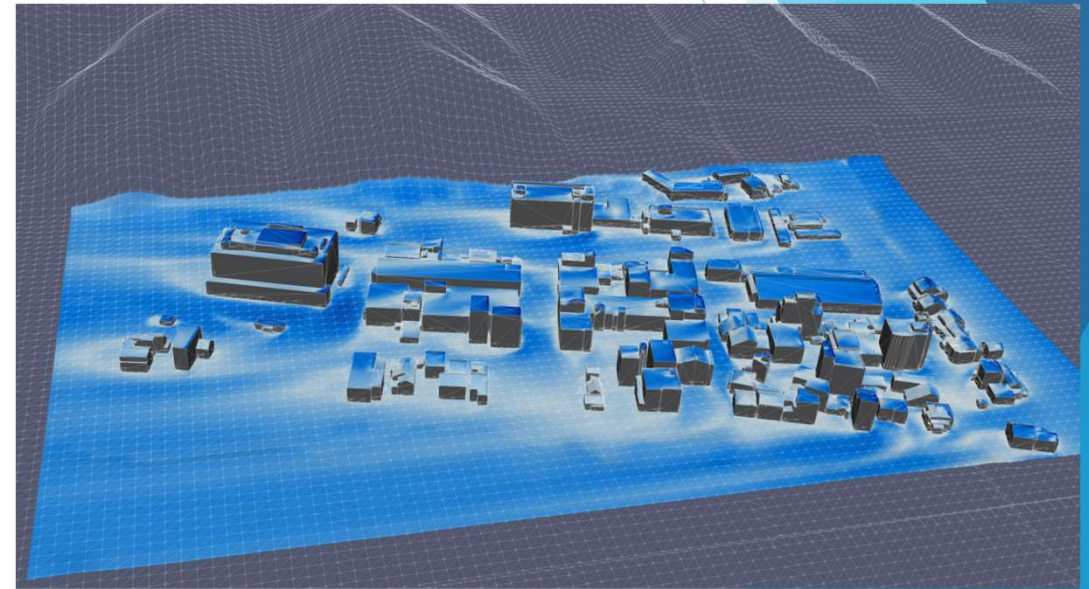
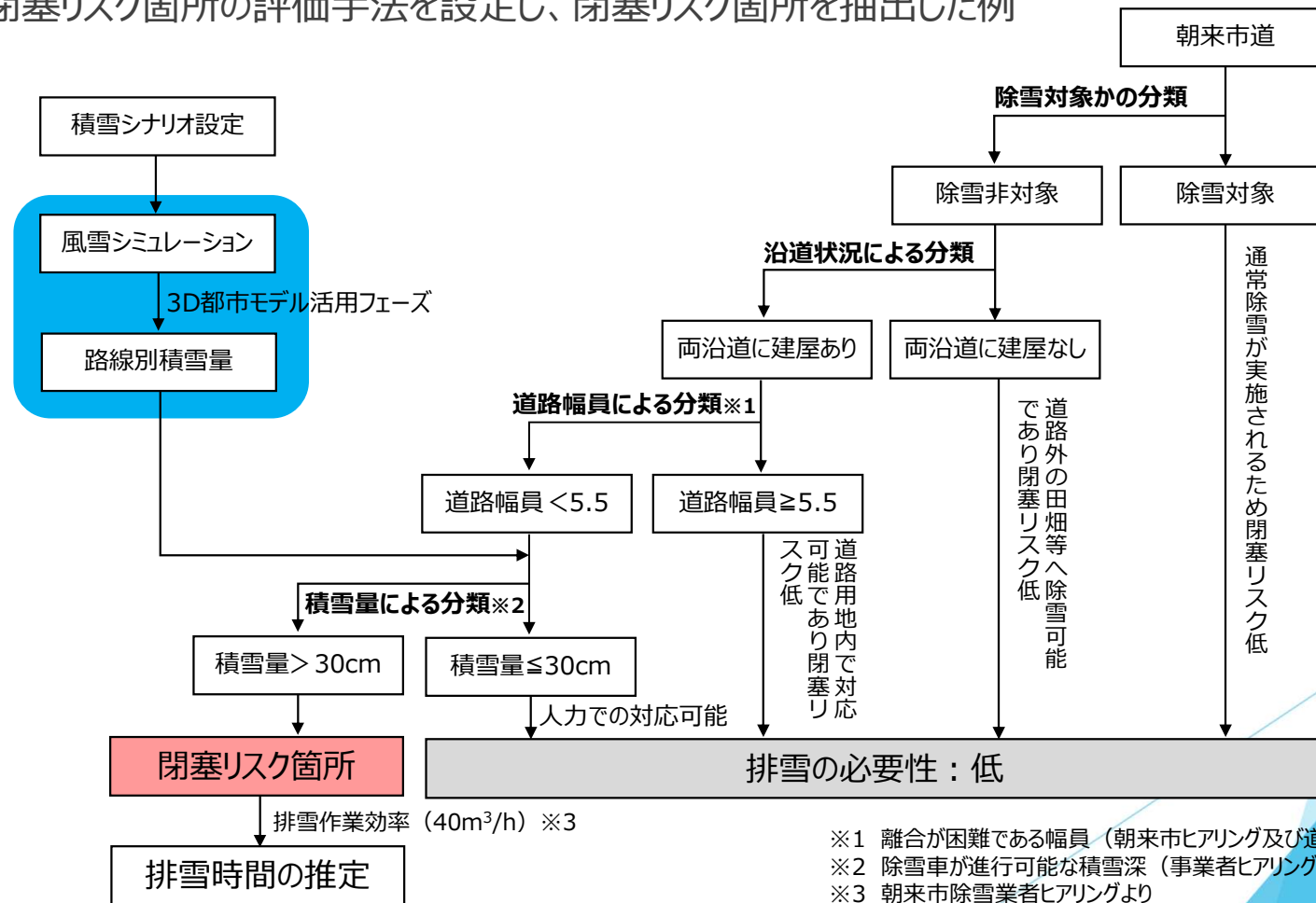


図 積雪深の分布
風雪シミュレーション結果をParaViewで抽出

風雪シミュレーション結果のプラトデータの活用

① 雪処理量の推定

- 道路閉塞リスク箇所の評価手法を設定し、閉塞リスク箇所を抽出した例



出力データ例

- 閉塞リスク箇所を塗分けし、閉塞リスクのある道路を可視化した。
- 除雪対象路線を塗分けし、除雪が実施される路線と閉塞リスク箇所の位置関係を可視化した。



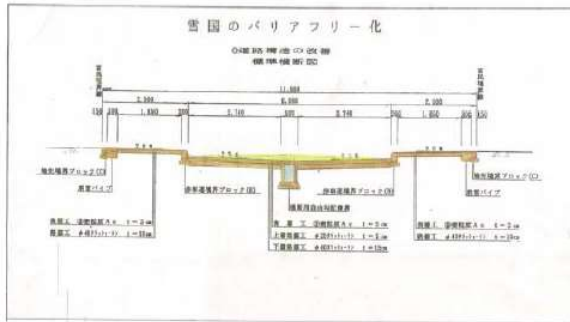
出所) 電子地形図25000 (国土地理院) を加工して作成

②歩行空間等の確保に必要な消雪水量の算定

未実施

■道路構造の改善によるバリアフリー化

○標準断面図



○写真



■車道消雪パイプ及び歩道機械除雪

長岡市資料

H18.1.26



■車道歩道とも機械除雪



③豪雪時の孤立しやすい地域の抽出

未実施

集落の雪処理の状況

○○地区



・自然落雪屋根が多く、敷地が広く堆雪スペースもある。



・水路から敷地内に水を取り込み融雪池としたり、散水消雪に使用している。



・近傍に湖があり、水量豊かで、集落内に水路がきめ細かく通る。

世帯数	: 60
人口	: 128 (推計)
60歳以上の比率	: 77.0% (推計)
平均敷地面積	: 352.9㎡
平均建ぺい率	: 39.8%
大雪住宅の普及	: 63.0%
雪下ろし平均回数	: 0.7回
雪下ろしの負担を感じている世帯	: 31.1%

△△地区



・道路空間は確保されているが、家屋を覆うように雪の壁ができています。



・融雪、自然落雪屋根が少ない。



・山間地の集落であり、古い家屋が多く、わらぶき屋根の家屋もある。

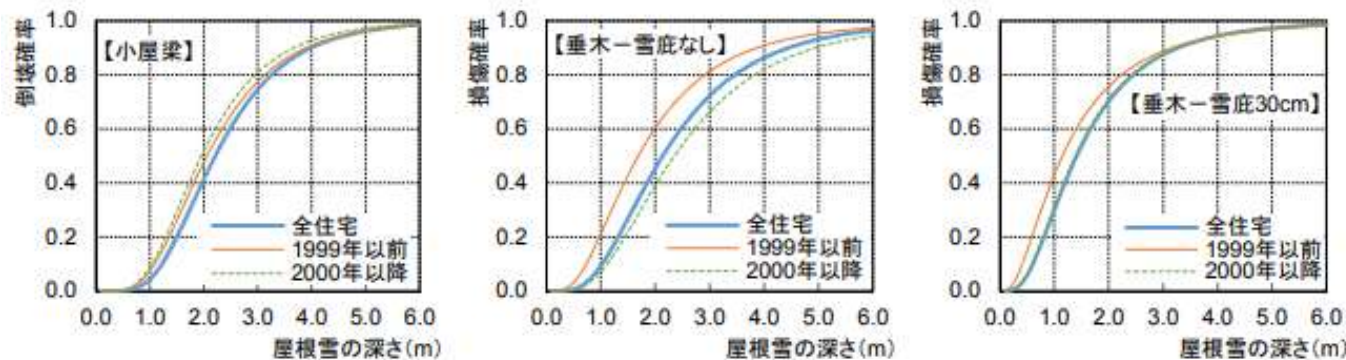
世帯数	: 20
人口	: 80 (推計)
60歳以上の比率	: 44.8% (推計)
平均敷地面積	: 419.9㎡
平均建ぺい率	: 44.6%
大雪住宅の普及	: 16.7%
雪下ろし平均回数	: 6.5回
雪下ろしの負担を感じている世帯	: 64.3%

(備考) 1 出典:国土庁地方振興局「高齢豪雪社会における家屋周辺除排雪実態調査報告書」(平成12年3月)
 2 平成11年11月～平成12年2月において、現地踏査、自治体等ヒアリング、地区居住者アンケートによりとりまとめ
 3 ○○地区、△△地区とも特別豪雪地帯

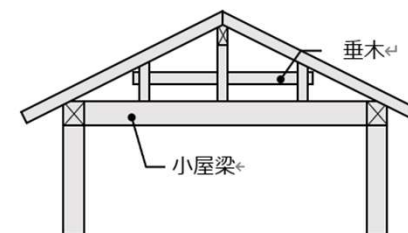
⑤屋根雪による倒壊リスクの評価

▶ 建物倒壊に関する調査事例

- 積雪に伴う建物被害の簡易評価手法として、屋根雪深さによる小屋梁、垂木の被害関数（千葉・他,2015）を用いた。
- この関数は、北海道における98棟の在来軸組み工法住宅の図面より、耐雪性能に関わる小屋梁および垂木を抽出し、それぞれが損傷する際の屋根上積雪深について、材料強度のばらつきを考慮して算定している。



- 積雪予測（積雪シナリオ）に対し、既往の被害関数を用いて建物被害を簡易評価する。
- 本評価結果を可視化することで雪害リスクの高い建物を把握する。



- 垂木の損傷確率（≒屋根の損傷確率）
- 小屋梁の損傷確率（≒建屋の倒壊確率）

1： 千葉隆弘・堤拓哉・高橋徹・苫米地司, 2015, 北海道における在来軸組み工法住宅の耐雪性能に関する研究-小屋梁および垂木の損傷リスクについて-, 北海道科学大学研究紀要, 第39号.

▶ 垂木の被害確率の評価結果の例

建屋倒壊リスク	Case2の屋根（垂木）の被害確率
高い	40%以上
やや高い	30%以上
やや低い	20%以上
低い	20%未満
対象外	—

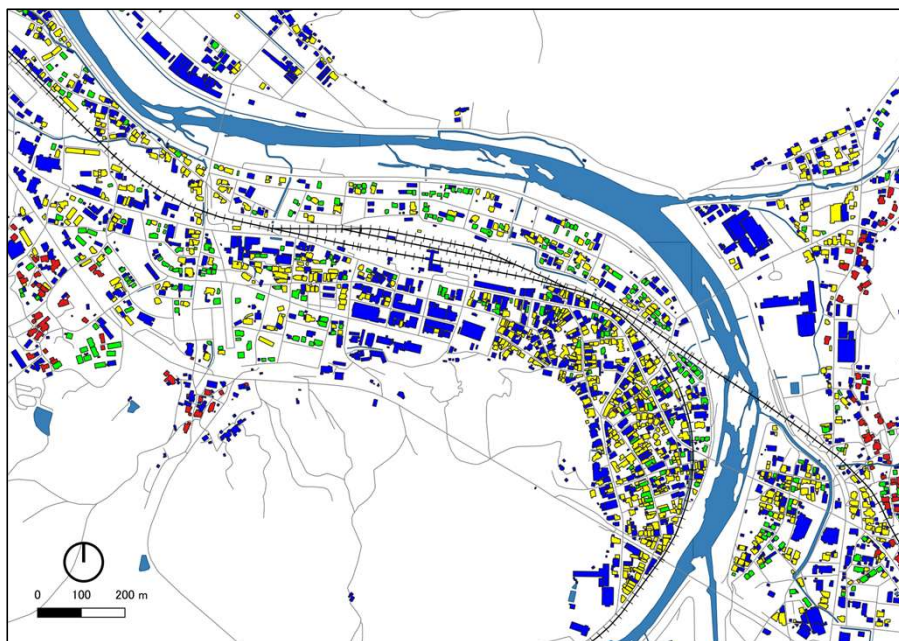


図 建屋倒壊リスク【和田山駅周辺】

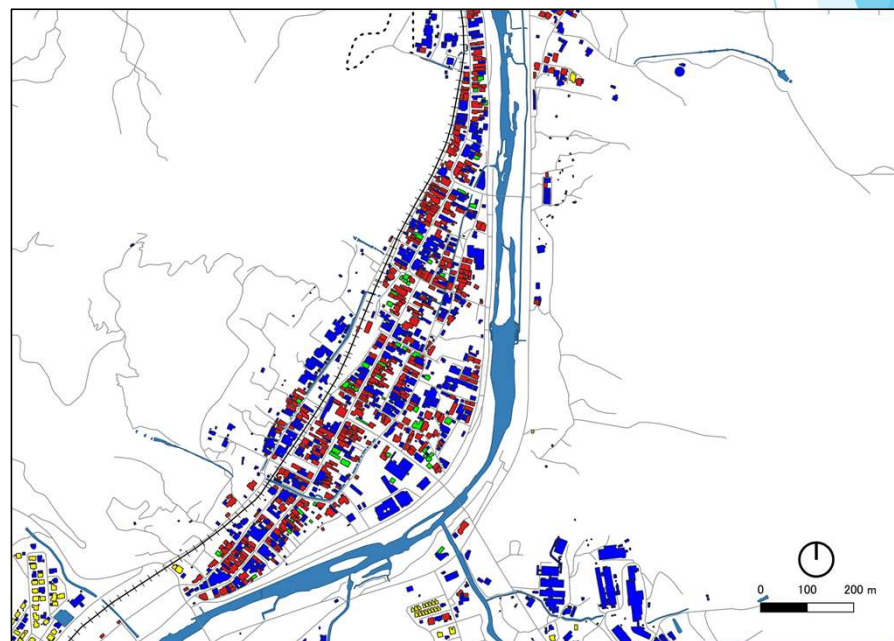


図 建屋倒壊リスク【竹田駅周辺】

「Case2の垂木の被害確率」の評価イメージ

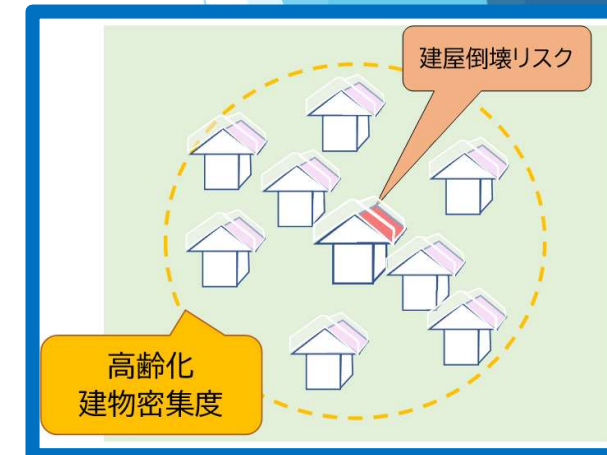
⑥担い手不足への支援体制の検討

- 積雪荷重による建屋倒壊リスクに対して、大雪援助隊の派遣の必要性が高いと考えられる状況を考慮した評価項目を設定し、大雪援助隊の必要性の評価を行った事例

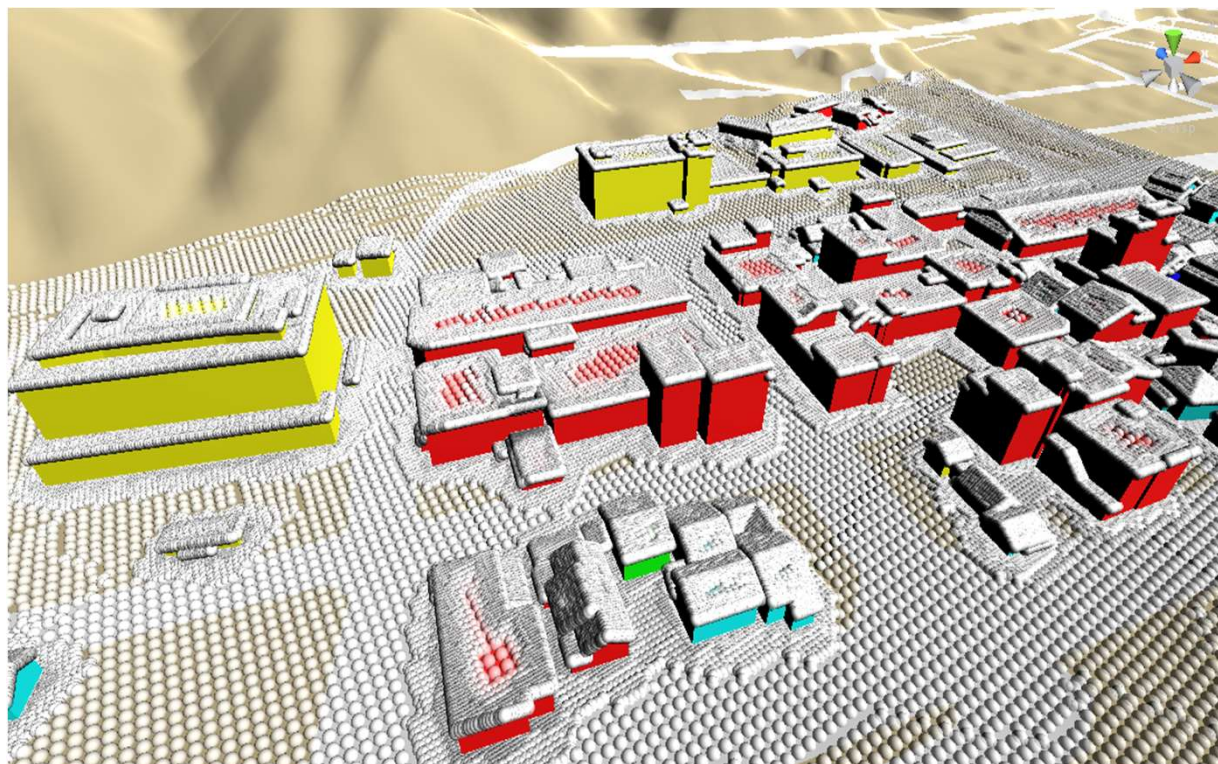
大雪援助隊の派遣の必要性が高いと考えられる状況

- 建屋が古く、構造が比較的弱い（木造）
- 居住者等による雪下ろしが実施されない（自助が不能）
- 共助、互助のポテンシャルが低い

評価項目		内容
積雪荷重による建屋倒壊リスク		Case2の垂木（屋根）の被害確率
地域の脆弱性	地域の高齢化率	小地域の合計人口に対する65歳以上人口の割合
	地域の建物密集度	地域全体の面積に対する建築面積の割合



プラトーデータ出力のイメージ



結果の反映

① 地域防災計画（雪害対策編）【ドキュメント】 （主な記載内容）

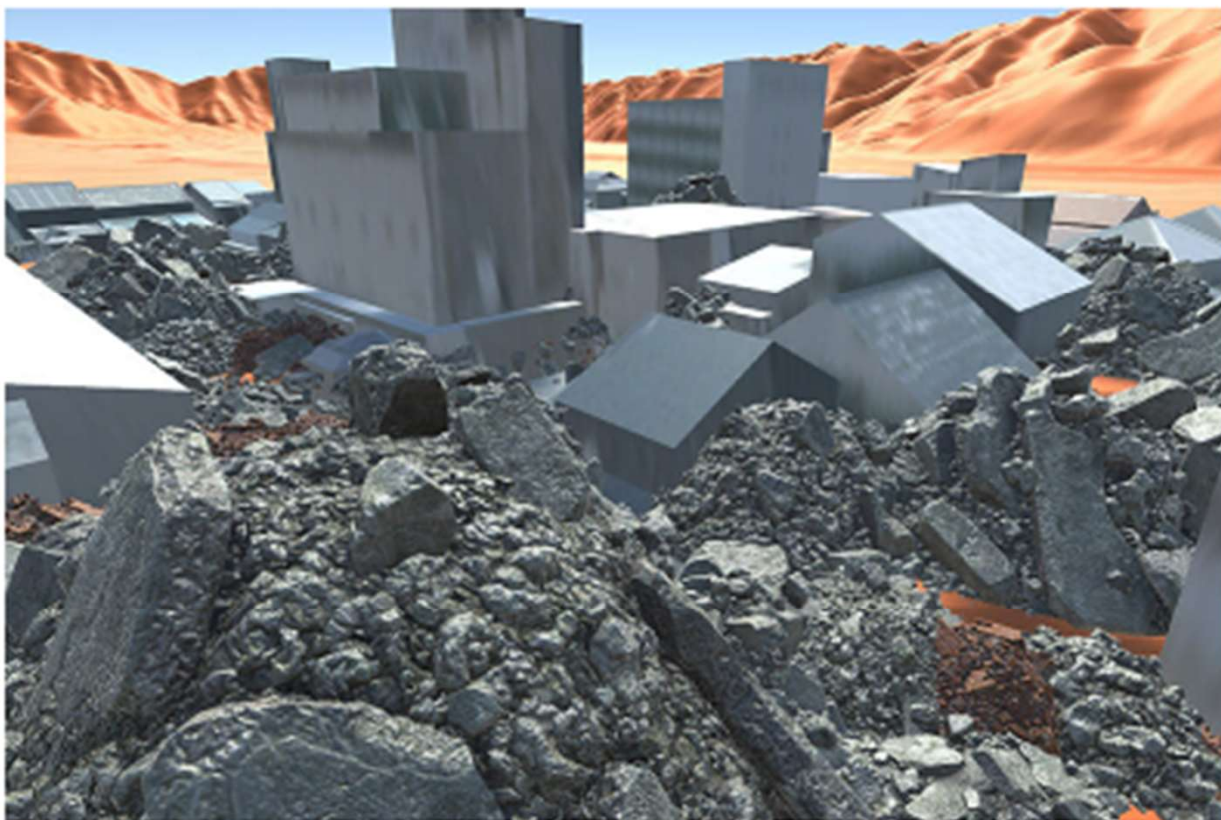
- 除雪対策－区、自主防災組織の協力
- 雪害防止対策－周知啓発、広報

② 3D都市モデル内での可視化【ブラウザ閲覧】

- 地域の高齢化率、地域建蔽率の表示
- 大雪援助隊の派遣の必要性の表示

今後の課題

介護や介助の状況などの分析や、病気・ケガ等の状態に関する情報を加味することで、大雪援助隊派遣の必要性の評価の精度を向上できる。今後、個人情報やリアルタイム情報の入手や分析手法の検討が課題である。



岡山県備前市

精緻な土砂災害シミュレーション

防災・防犯

土砂災害

シミュレーション

CFD

QGIS

GIS

2023.8.10

uc23-02

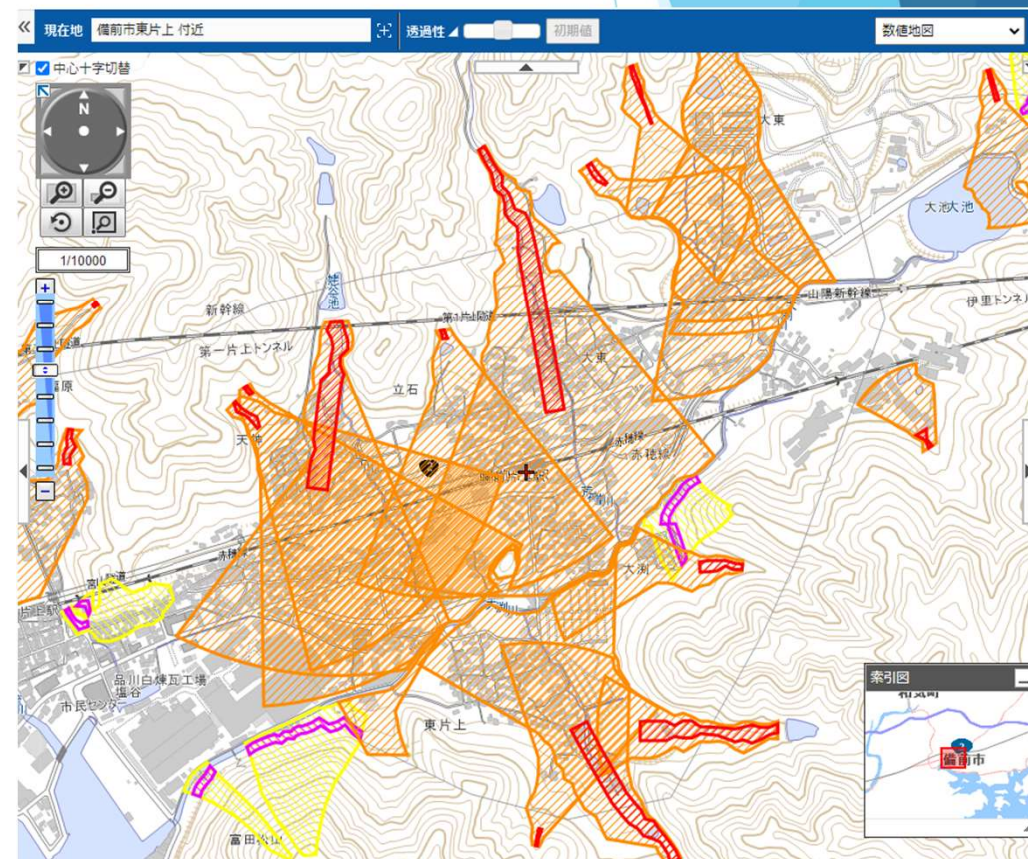
土石流対策の背景

解決すべき社会課題

本ユースケースが取り組むべき社会課題と本ユースケースの解決手法

項目	内容
解決すべき社会課題	<ul style="list-style-type: none"> • 備前市にて指定されている土砂災害警戒区域（土石流）は、市街化区域内において複数重なるように指定されており、避難計画の設定そのものが困難となりうる事が懸念される。 • 土砂災害警戒区域（土石流）は、一般的に地形条件から定められ、家屋によって土石流が制御されることが考慮されていない。 • 土石流が家屋に衝突することにより、家屋を流出させたり、半壊状態にさせたりする際、流れのエネルギーや方向を変えられるといった家屋の影響が評価されず、実態に即した土石流の氾濫範囲となっていない。
想定する解決手法	<ul style="list-style-type: none"> • 3D都市モデルを用いて、家屋の倒壊過程を考慮した高度な土石流シミュレーションを実施し、土砂災害警戒区域内のリスク分布を表現し、土砂災害避難マップの高度化、解析結果の3次元可視化による行政の避難所選定や住民の避難ルートを選定支援を行う。

社会課題のイメージ



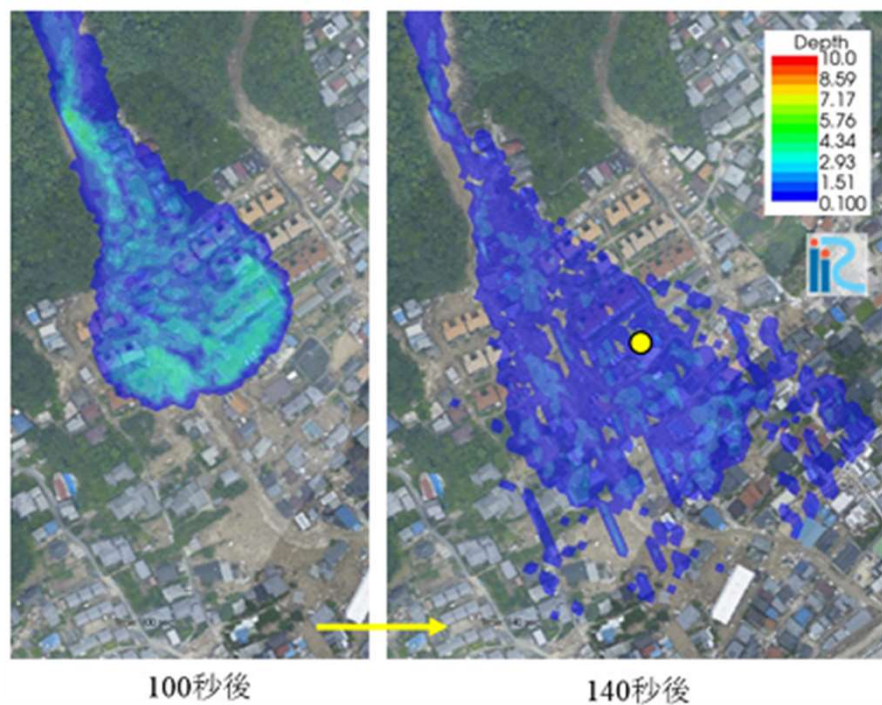
備前市中心市街地における土砂災害警戒区域

土砂水理工学・建築工学の利用

家屋の破壊過程を考慮した 土石流の数値シミュレーション

シミュレーション結果

家屋の存在を無視した場合



家屋の破壊を考慮した解析

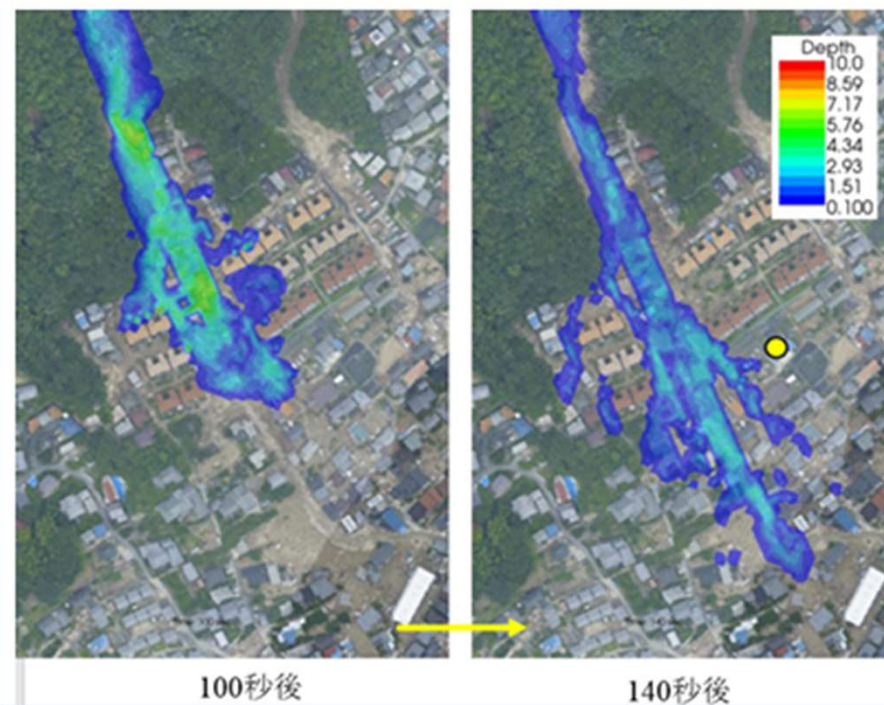




図-3 家屋の破壊状況 ((a) と (b) はルーチェサーチによる撮影)

土石流に関する論文

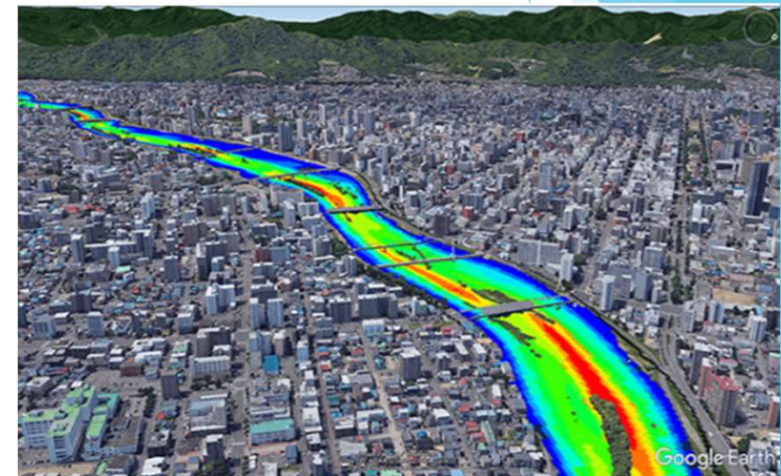
	論文名
土石流シミュレーション	1)中本, 竹林, 宮田, 藤田, 家屋の破壊過程を考慮した土石流の数値シミュレーション, 土木学会論文B1 (水工学) Vol.74, No.4, I_919-I_924, 2018. 2)竹林, 洋史. 熱海市で発生した泥流の流動特性を考慮した土砂災害対策. 自然災害科学総合シンポジウム講演論文集 2022, 59: 83-88
木造家屋倒壊	1)三浦, 白川, 土石流高さに注目した数値解析に基づく木造家屋の倒壊危険度評価, 地域安全学会論文集 No.39, 2021.11 2)久田, 藤内, 2021年熱海市伊豆山地区の土石流による建築物の被害調査, 日本建築学会技術報告集, 第29巻, 第71号, 549-554, 2023.2



土木と建築の両サイドから倒壊過程を根拠づけ
iRIC上で解析できるようカスタマイズ!

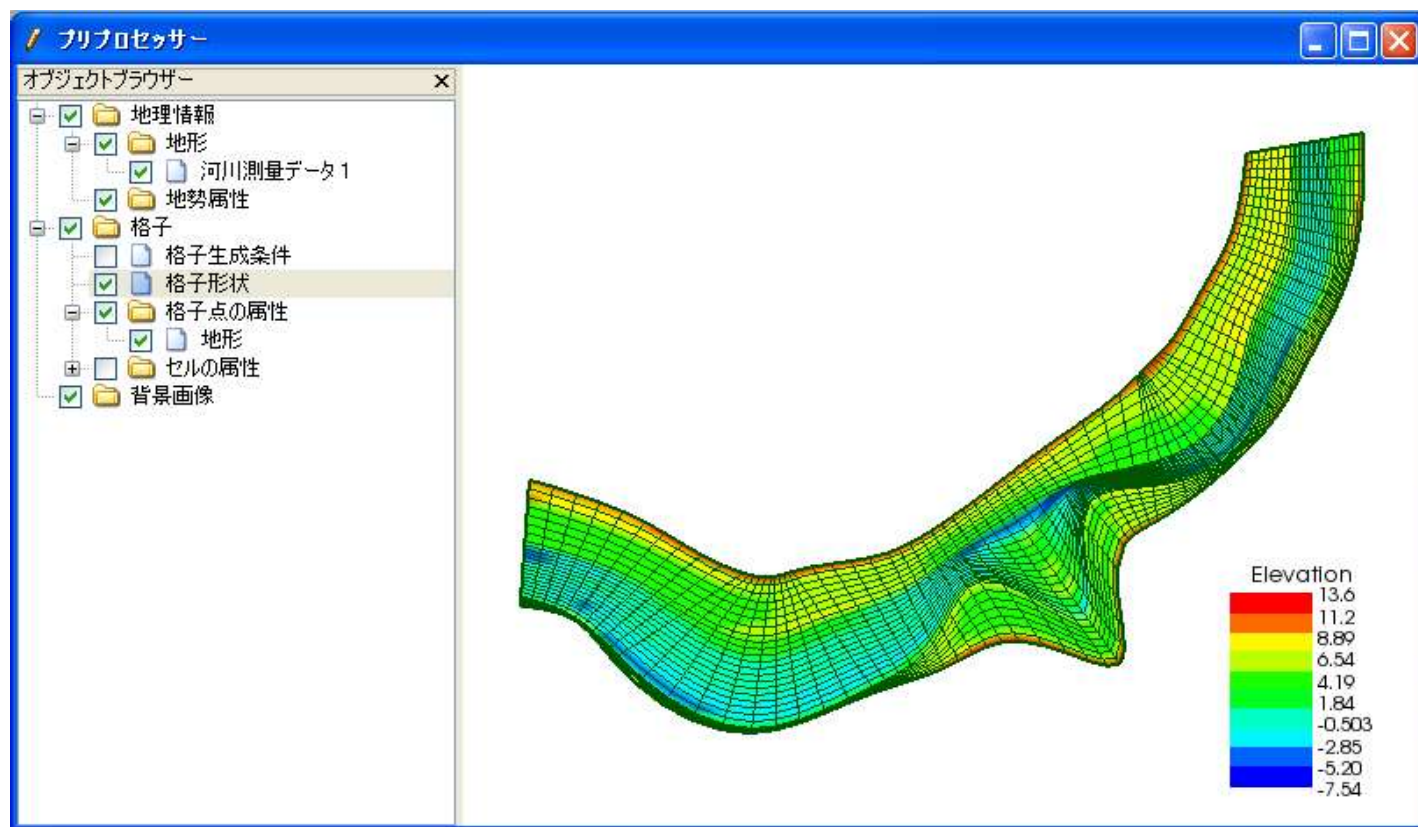
iRICを利用

- ▶ iRIC (International River Interface Cooperative) は、2007年に清水康行教授 (北海道大学) とJon Nelson博士 (USGS) の提唱によりはじまった活動で、河川をはじめ水や土砂など水工学に係る数値シミュレーションのプラットフォーム (iRICソフトウェア) の開発やそれに係る情報発信、講習会開催などを行っている団体です。
- ▶ iRICソフトウェアは、水工学に係る数値シミュレーションのプラットフォームで、**無償で利用**することができます。河川の流れ・河床変動解析ソフトウェアとして開発が始まりましたが、その後、氾濫や流出、津波、**土石流モデル**などの**様々な数値シミュレーションモデル**に対応することで**機能拡張が継続**されています。

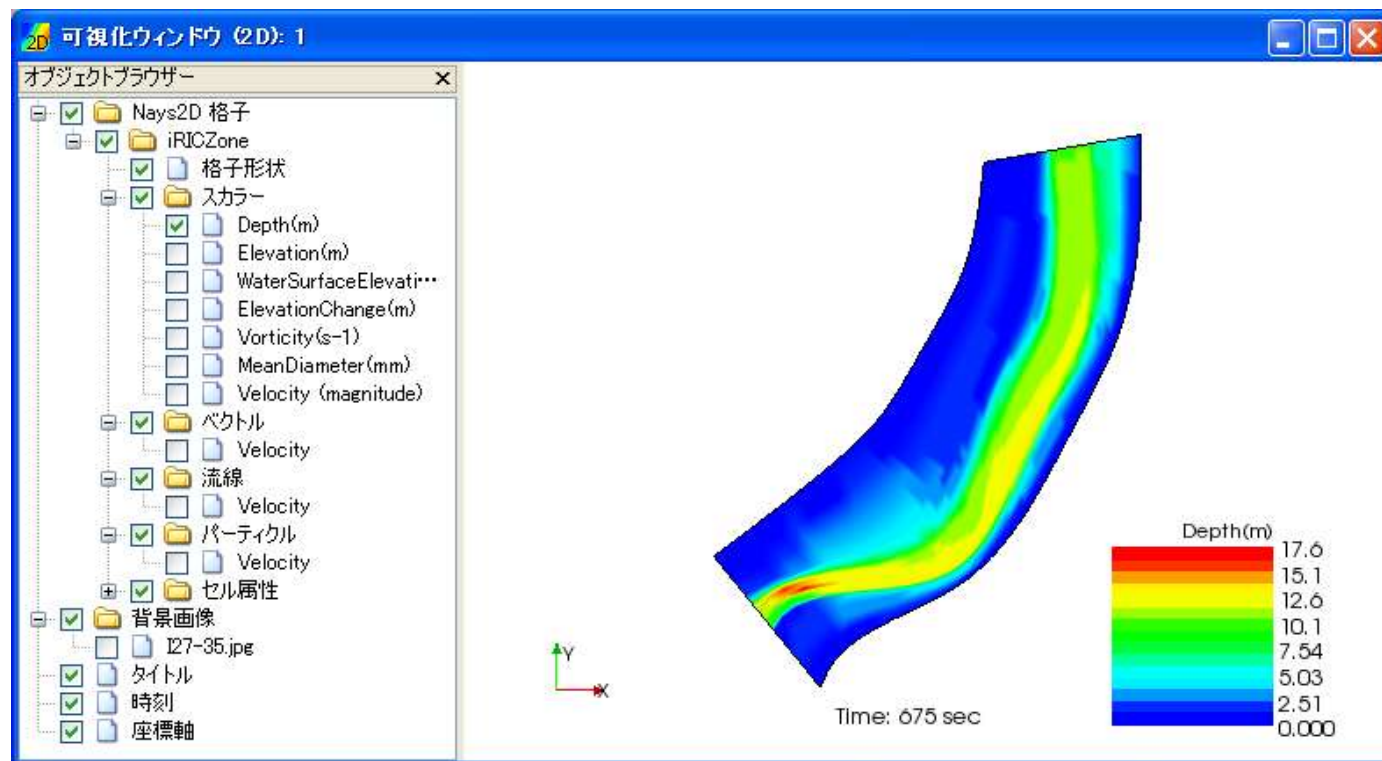


iRIC Software
Changing River Science

プリプロセッサ



可視化ウィンドウ (2D)



Morpho2DH

- ▶ Morpho2DH は平面二次元の土石流・泥流モデルを主体とした解析ソルバであり，斜面崩壊を初期条件とした土石流・泥流の流動・堆積過程を表現可能なモデルです。砂防ダム，堰，家屋などの構造物や地盤の浸食深さの平面分布などを考慮した解析が可能です。



土石流基礎式

「Morpho 2DH Solver Manual-Debris/Mud flow produced by Hiroshi Takebayashi」より

水及び土砂の混合物の質量保存則²⁾は以下のようである。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = \frac{E}{c_s} \quad (1)$$

ここに、 t は時間、 h は土石流・泥流の流動深である。 u と v は x と y 方向における速度成分、 c_s は静止堆積層の砂礫の堆積濃度、 E は河床の侵食速度であり、以下の江頭らの式²⁾を用いる。

$$\frac{E}{\sqrt{u^2 + v^2}} = c_s \tan(\theta - \theta_e) \quad (2)$$

ここに、 θ は流動方向の河床勾配であり、以下の関係がある。

$$\sin \theta = \frac{u \sin \theta_x + v \sin \theta_y}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (3)$$

ここに、 θ_x は x 方向の河床勾配、 θ_y は y 方向の河床勾配である。 θ_e は水及び土砂の混合物中の鉛直平均土砂濃度 \bar{c} に関する流動方向の平衡河床勾配であり、図 I-1 のように、水と土砂の混合物に対して河床近傍に層流域、その上に乱流域を有する二層流を考え、 \bar{c} を一定とすると、以下の関係が得られる。

$$\tan \theta_e = \frac{(\sigma/\rho - 1)\bar{c}}{(\sigma/\rho - 1)\bar{c} + 1} \frac{h_s}{h} \tan \phi_s \quad (4)$$

ここに、 ϕ_s は土砂の内部摩擦角である。

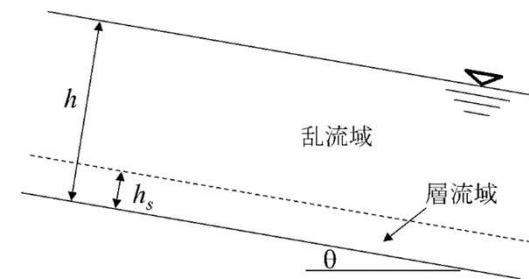


図 I-1 Case 1 の 80 秒後の流速の平面分布

運動量保存則²⁾は以下のようである。

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial huu}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_m} \quad (5)$$

$$\frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial huv}{\partial x} + \frac{\partial hvv}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_m} \quad (6)$$

ここに、 g は重力、 z_b は河床位である。 P は圧力であり、静水圧近似を用いる。 ρ_m は以下の関係がある。

$$\rho_m = (\sigma - \rho)\bar{c} + \rho \quad (7)$$

ここに、 ρ は水の密度、 σ は土砂の密度である。 τ_{bx} と τ_{by} は x と y 方向における掃流力成分であり、以下のようである。

$$\tau_{bx} = \left\{ \tau_y + \rho f_b (u^2 + v^2) \right\} \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (8)$$

$$\tau_{by} = \left\{ \tau_y + \rho f_b (u^2 + v^2) \right\} \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (9)$$

f_b は抵抗係数であり、以下の関係を用いる。

$$f_b = \frac{C_{mu}}{8} \alpha^2 \quad \alpha = \kappa/6 \quad (\text{乱流域}) \quad (10)$$

$$f_b = \frac{4}{25} \left\{ k_f \frac{(1-\bar{c})^{\frac{5}{3}}}{\bar{c}^{\frac{5}{3}}} + k_d \frac{\sigma}{\rho} (1-e^2) \bar{c}^{\frac{1}{3}} \right\} \left(\frac{h_s}{d} \right)^{-2} \quad (\text{層流域}) \quad (11)$$

ここに、 C_{mu} は泥流の抵抗に関する係数であり、ユーザーが泥流の流れ方を見ながら設定する値である。 $k_f=0.16$ 、 $k_d=0.0828$ 、 e は粒子の反発係数、 d は土砂の平均粒径である。

河床位方程式²⁾は以下のようである。

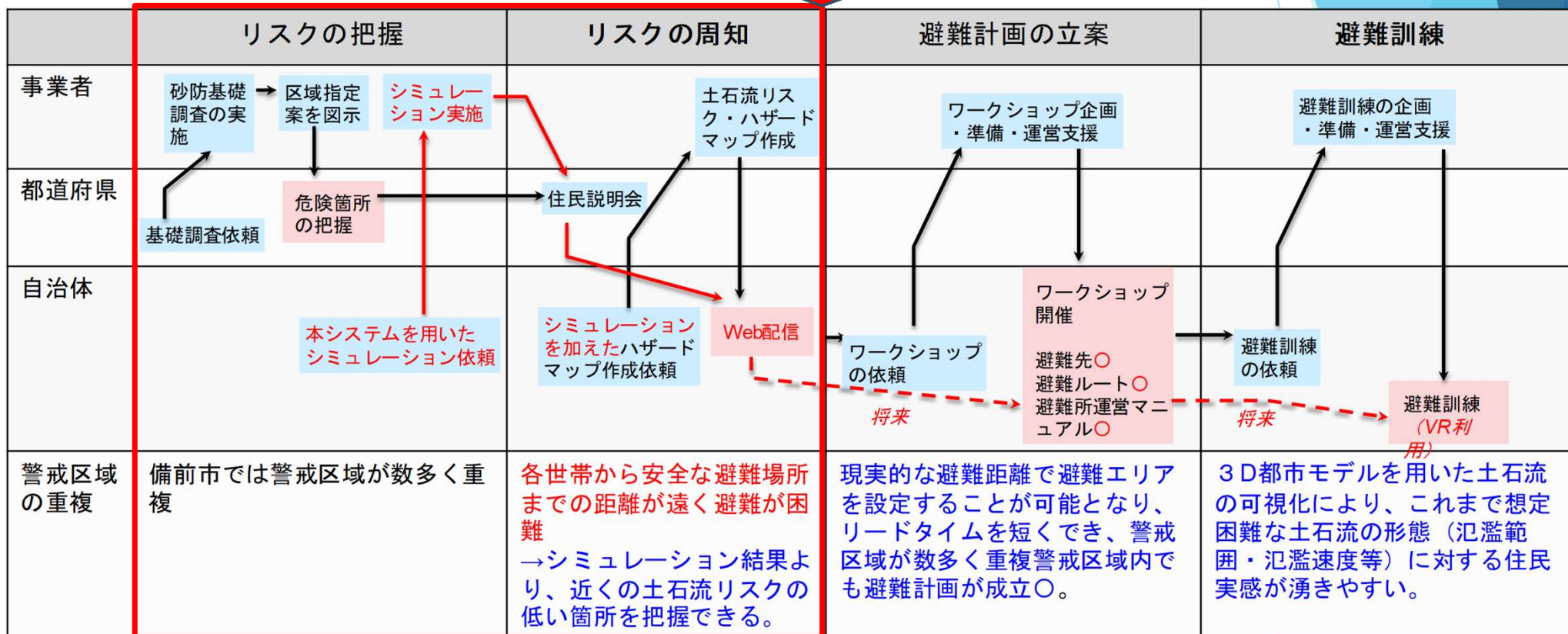
$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{E}{c_s} \quad (11)$$

- 1) 竹林洋史，江頭進治，藤口正治：2013年10月に伊豆大島で発生した泥流の平面二次元解析，河川技術論文集，第20巻，2014。
- 2) 江頭進治，伊藤隆郭：土石流の数値シミュレーション，日本流体力学会数値流体力学部門Web会誌，第12巻，第2号，pp. 33-43，2004。

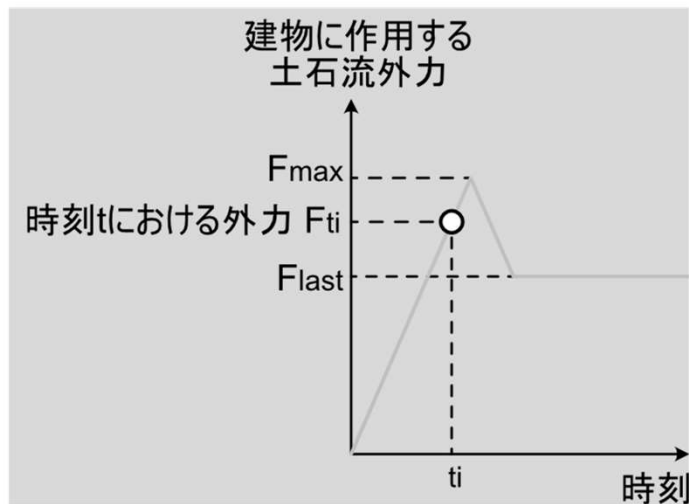
家屋属性とその破壊過程を考慮した 土石流の数値シミュレーションの構築


本システムによる業務フロー

今年度



家屋に対する土石流外力の与え方





建物

ここで、

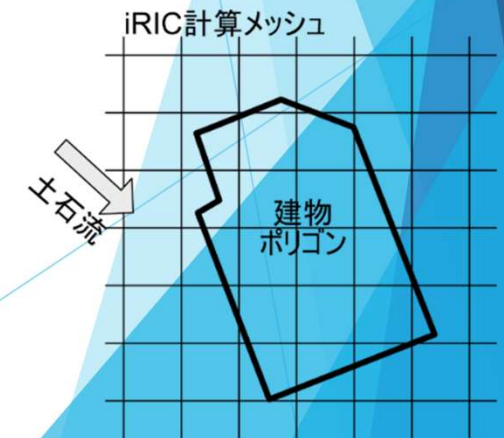
- ρ_m : 土石流密度
- g : 重力加速度
- h_{df} : 土石流高さ
- h_b : 建物高さ
- z : 当該部分の地表面からの高さ
- c : 開口低減率

- B : 受圧面の幅
- θ : 土石流と地表面のなす角
- v_x : 流速のx方向成分
- v_y : 流速のy方向成分
- A_f : 屋根面積

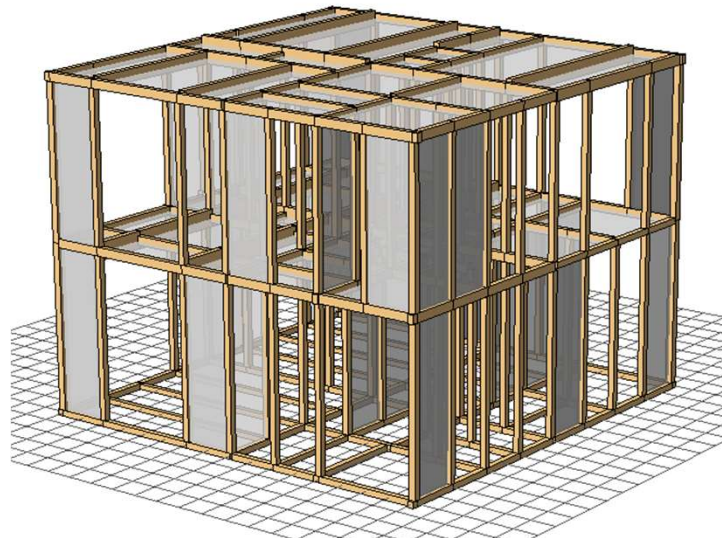
F_{t_i} = 静的成分 + 動的成分

静的成分: $\rho_m \cdot g \cdot \int_0^{h_{df}} (h_{df} - z) \cdot dz \cdot (c \cdot B \cdot \cos\theta) = \frac{1}{2} \cdot \rho_m \cdot g \cdot h_{df}^2 \cdot (c \cdot B \cdot \cos\theta)$

動的成分: $\rho_m \cdot (v_x^2 + v_y^2) \cdot h_{df} \cdot (c \cdot B)$



建物の倒壊プロセスの推定

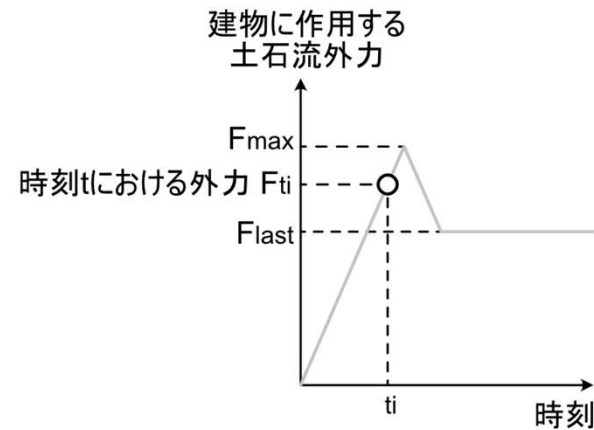
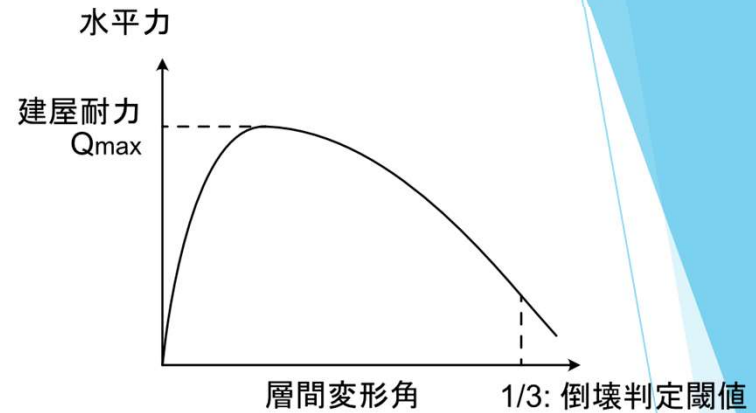


家屋の3次元モデル

階数
(1パターン) ×
・2階
2階建ての建物の方が多いため

建築年代
(4パターン) ×
・1950~1958
・1959~1981
・1982~1999
・2000~(耐震等級2)

→過去の航空写真から建物の建築年代を推定



面外荷重に対する開口低減率
(2パターン) = 計8パターン
・0.7
・0.9
土石流外力にこの係数をかけて低減させる

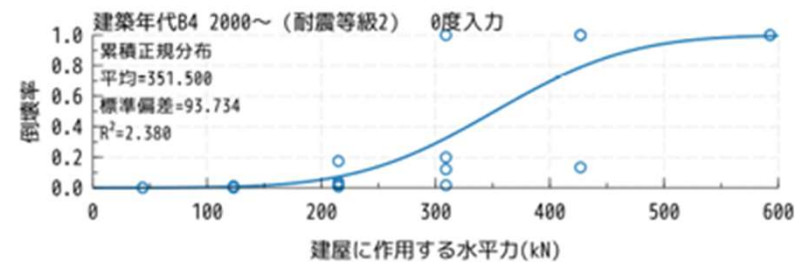
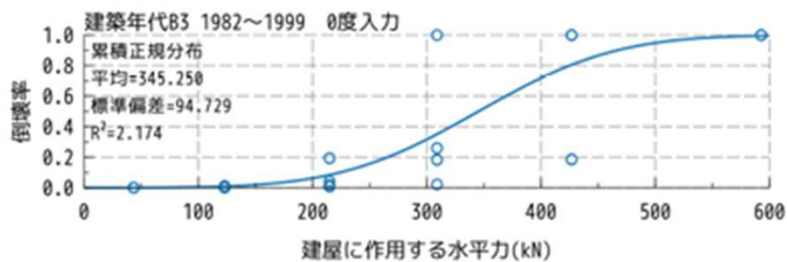
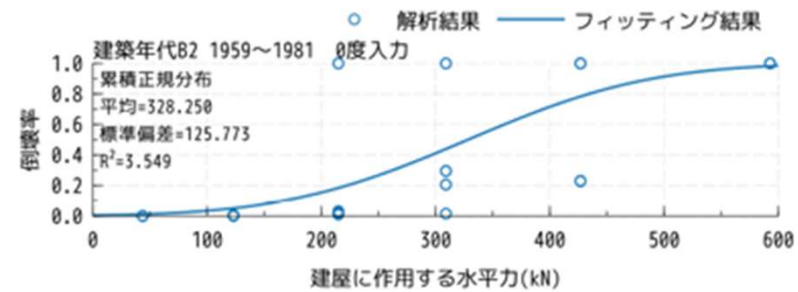
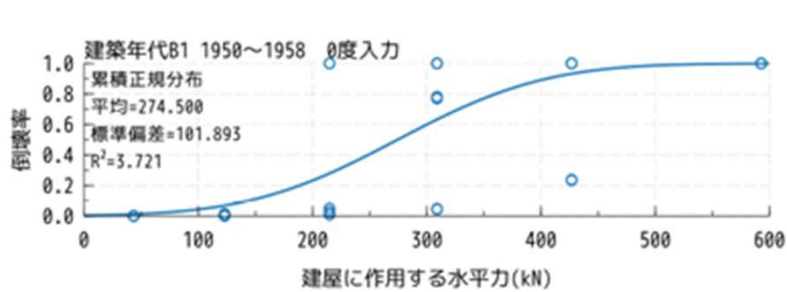
建物倒壊判定のデータ（検討中）



(イ) 家屋倒壊判定に関する検討 倒壊判定ロジック

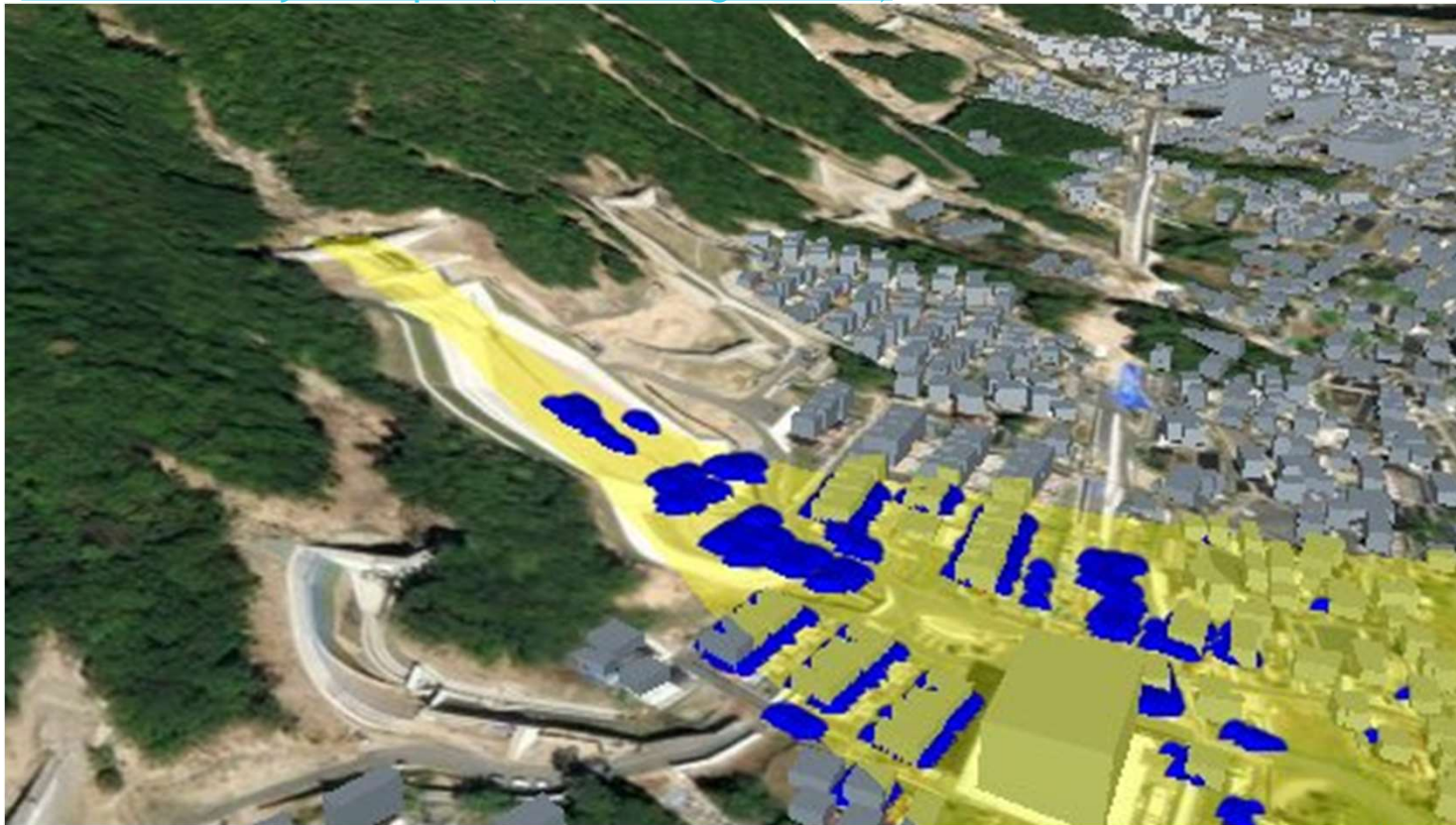
$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt$$

- 累積正規分布でフィッティング
- 倒壊率 = 最大層間変形角 / (壁としての機能維持限界層間変形角 = 1/3)



出力データ（検討中）

[Iframe Overlay Example \(kkeaikawa.github.io\)](https://kkeaikawa.github.io)



不確実性の説明について

土砂災害警戒区域が複数連なって設定されているような場所では、広い範囲が土砂災害警戒区域となり、土砂災害警戒区域外への避難には長距離の移動が必要となります。そのため、容易に避難できる避難場所の選定が著しく困難となると想定されます。

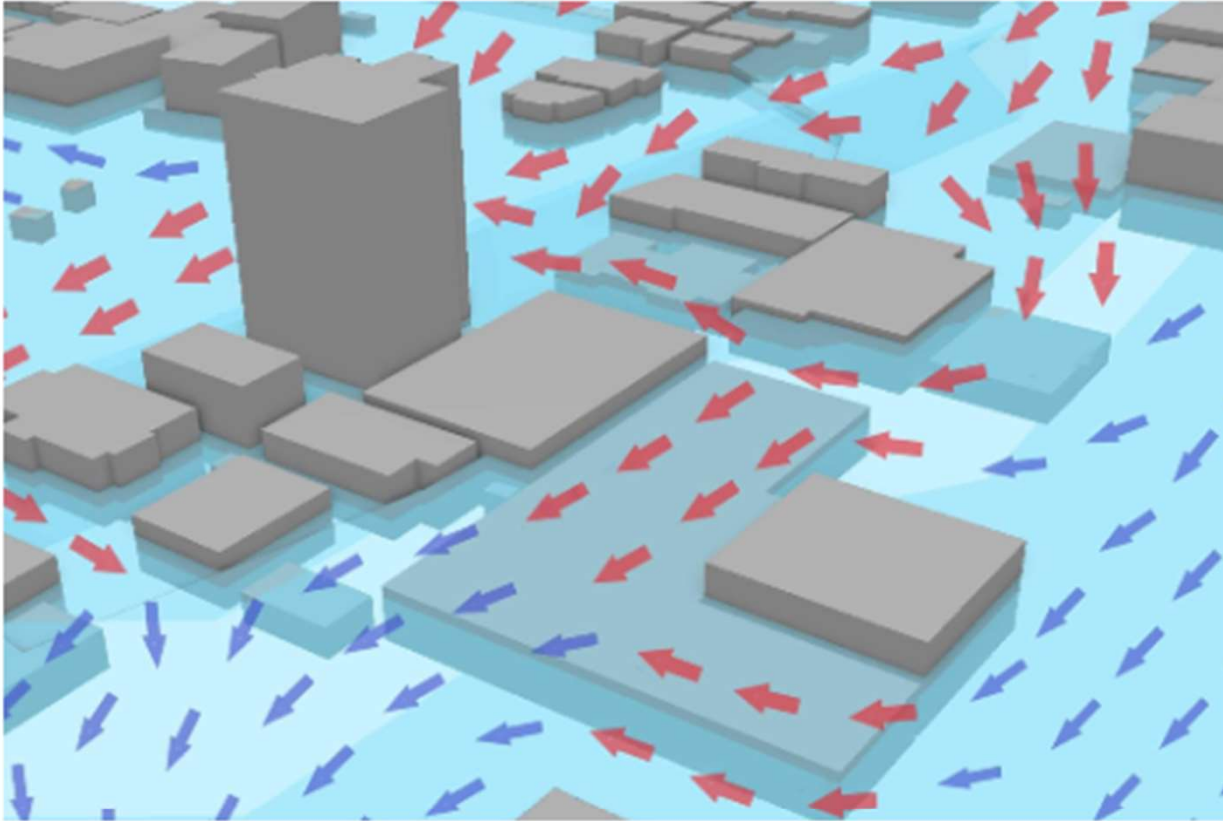
一方、土石流は家屋を倒壊させながらも家屋により氾濫の方向や範囲に影響を受けます。そこで、家屋が存在する地区の土石流の挙動を追跡できるシミュレーションモデルをこの度、フリー河川解析ソフトiRIC上で開発しました。また木造家屋を対象に詳細な構造シミュレーションを行い、築年代による強度の差を考慮したモデルとしました。

これにより、土砂災害警戒区域（イエロー）が定められるエリア内において、特に危ないところ、比較的安全なところの分析が可能となりました。

なお、土石流は自然現象であり、雨の強さ、地形・地質条件等、複雑な要因が影響するため、必ずシミュレーション通りに土石流が流れるとは限りません。建物についてもモデルケースによる試行的なモデルであり、あらゆる建物形状を対象としているわけではありません。

しかし、土石流が流れる可能性が高い場所を示すことは可能であり、土砂災害警戒区域外への避難が困難な状況となった場合、家に留まるよりも相対的に安全な場所を示すことに寄与すると考えます。

また、二階への避難（垂直避難）で対応できる可能性の高い場所を示すこともできます。そのため、一次的な避難方法を判断する場合の有益な情報提供に活用いただければと考えております。



愛知県岡崎市

高度な浸水シミュレーション

防災・防犯

洪水

ArcGIS

CesiumJS

シミュレーション

TerriaJS

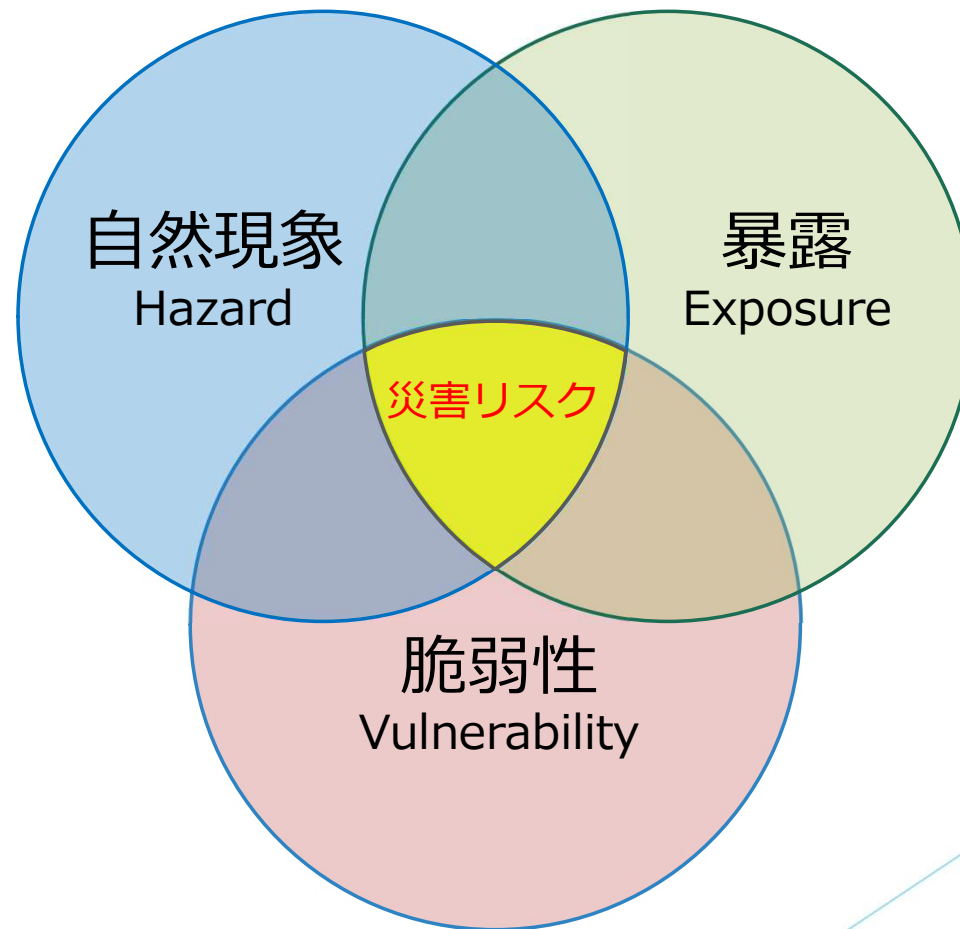
2022.6.27 [Last updated : 2023.3.24]

uc22-009

その他の 事例紹介

プラトーデータを用いた流体数値解析 の防災対策への活用

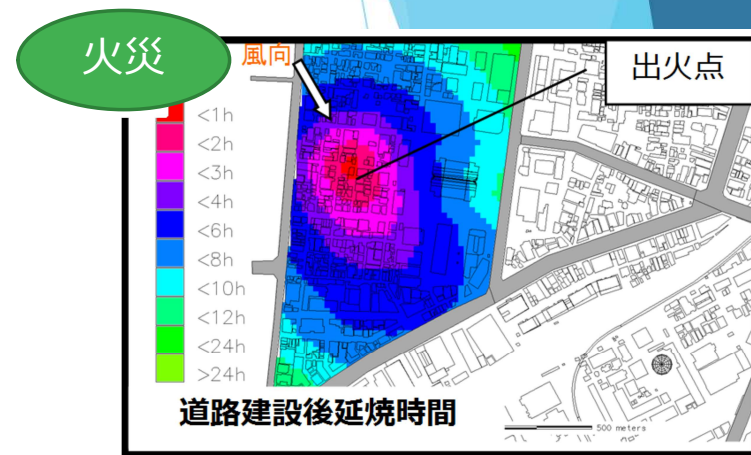
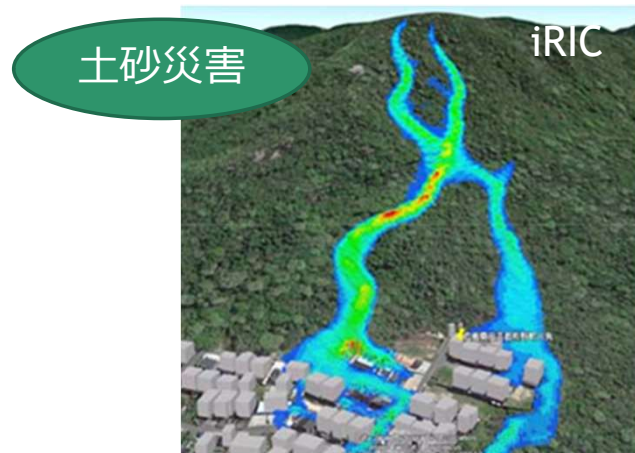
災害の構造



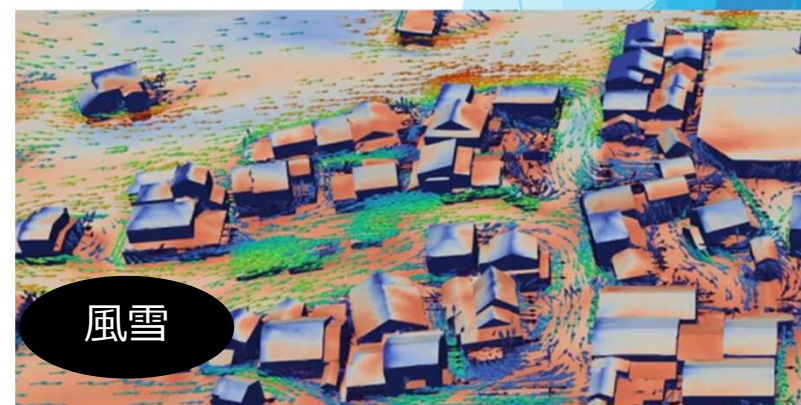
出典) 環境省自然観局, 生態系を活用した防災・減災に関する考え方, 2016 (ADRC, 2005をもとに作成)

自然現象の予測技術

- ▶ 地震
 - ▶ 火災
 - ▶ 津波
 - ▶ 洪水
 - ▶ 高潮
 - ▶ 土石流
 - ▶ 風雪
- 等



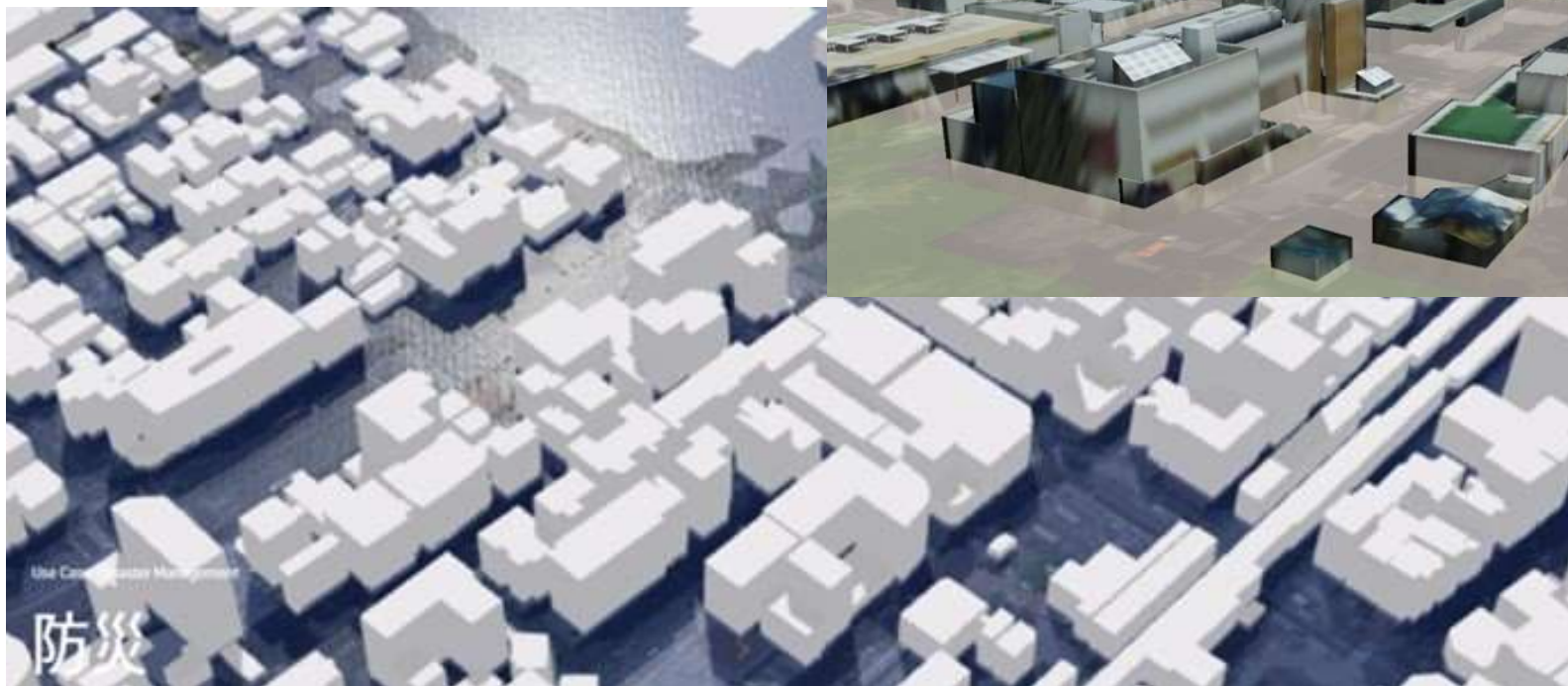
各種 予測技術、リアルタイム情報
(シミュレーション手法、衛星データ)



暴露の把握技術（空間地理情報）

- ▶ どこにどんな家や道路があるか。

地図～3Dマップの活用



脆弱性の評価技術

- ▶ 建物の耐水性、耐震性
 - ▶ 人口、年齢、要支援者把握
⇒リーシャルキャパ° 別の評価
 - ▶ 道路閉塞性
⇒道路ネットワーク解析
 - ▶ 避難行動シミュレーション
- 等

建物評価

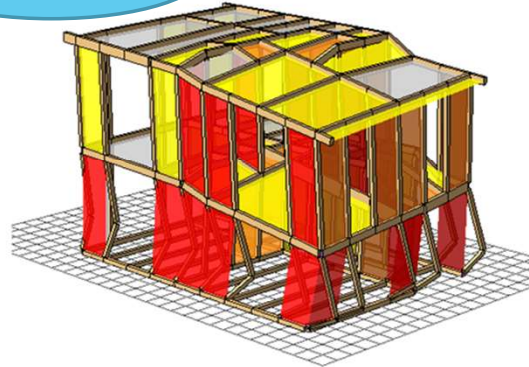


図2 増分解析の例

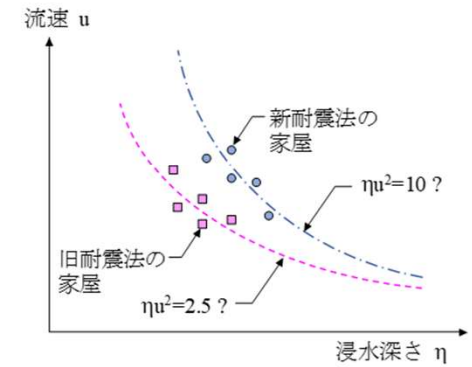


図3 被災事例との比較例

避難評価



道路評価



起こる自然現象・事象(シナリオ) ←

イメージ

- ・〇〇地方では低気圧が発達し、また上空に強い寒気が流れ込み、短時間に記録的な豪雪が発生
- ・〇〇地方に「大雪特別警報」が発令
- ・〇〇町で積雪量 50cm 以上
- ・大雪により〇〇本線が閉鎖
- ・〇〇送電線鉄塔が倒壊

発生する出来事(インシデント) ←

イメージ

- ・博物館の屋根から落雪があり、来館者が巻き込まれる
- ・〇〇送電線鉄塔が倒壊し、施設でも停電が発生
- ・停電により博物館の空調が停止される
- ・大雪により〇〇本線が閉鎖され、来館者の多くが帰宅困難になる

考えられる応急対応(レスポンス) ←

イメージ

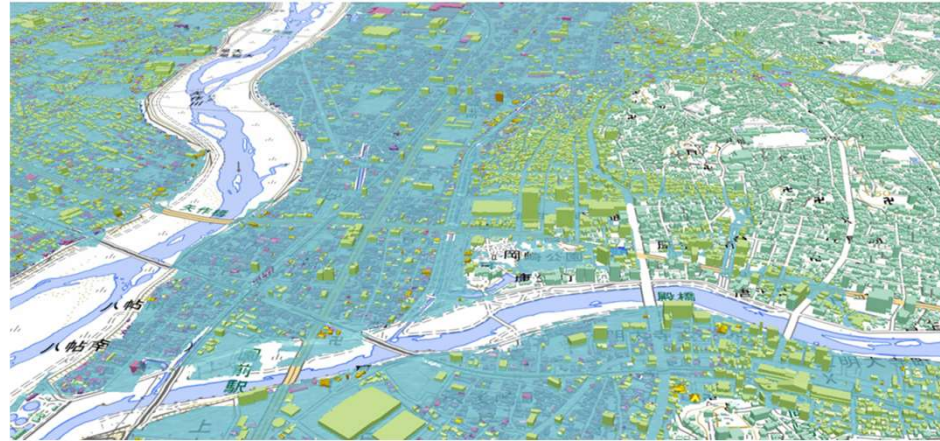
- ・気象情報の収集・伝達
- ・施設、設備等の安全確認
- ・閉じ込めの解消
- ・近隣の施設・避難所との連携
- ・気象情報の収集・伝達
- ・近隣の施設・避難所との連携
- ・一時滞在者名簿の作成

事前準備(プリペアードネス) ←

イメージ

- ・職員研修・教育及び訓練の実施
- ・安全確保・避難誘導方法の確立
- ・施設の検証
- ・外部関係者との連携の確保
- ・閉館措置
- ・食料、水、毛布及び応急対策用資機材等の備蓄

防災デジタルツインの今後



リアルタイム洪水予測システム RiverCast®
15時間先までの河川水位を確率的に予測するクラウドシステム

東京大学と共同開発した最先端の数理工学技術を活用した洪水予測システム
早期の避難判断や河川周辺の施設・工事現場でのオペレーションにお役立ていただけます
※ 気象庁業務の範囲内での提供です

気象予測からAIで
水位予測



写真などの情報を投稿

**スマートフォンアプリ
による通知・音声指
示等**



災害情報を通知

火災情報、気象情報（注意/警報/特別警報、洪水、土砂等）をダイレクトにスマホへオリジナルの音信音や音声で知らせます。



具体的な行動をスマホ確認

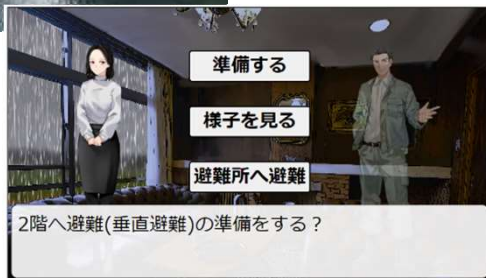
文字・音声・画像などにより誰がみてもわかりやすく表示します。外国語にも対応。災害情報に対応したアクションカードを表示します。

地区防災計画運営支援への活用



AR・VR等による
バーチャル体験

WEBアプリによるロール
プレイングゲームの体験



■地区防災計画の作成(一次案) 地区防災計画(一次案)



■予防策の取組み



■応急対策の取組み



■復興の事前対策の取組み



ご清聴ありがとうございました。