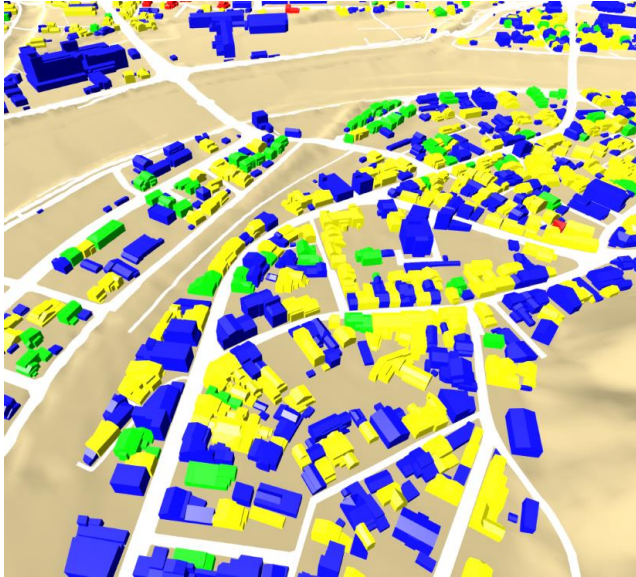
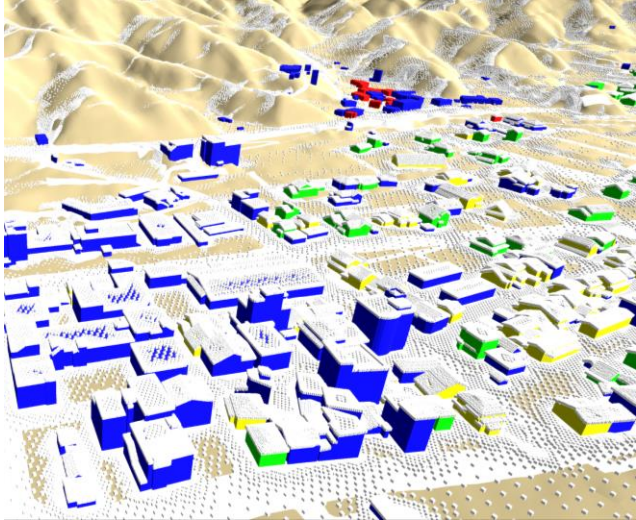
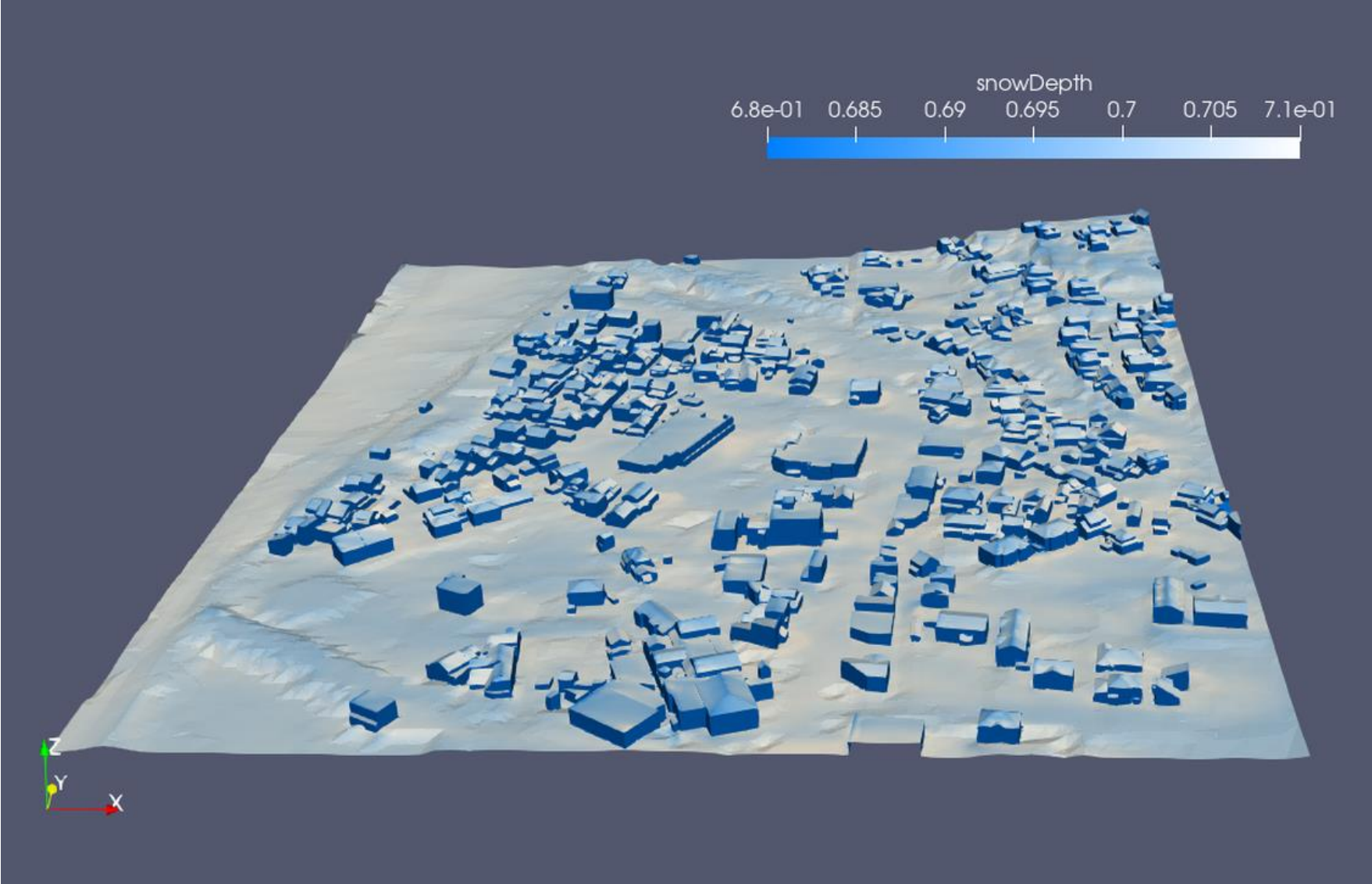


雪害対策支援ツール 技術検証レポート

Technical Report For Snow Risk Management Support Tool



PLATEAU
by MLIT



目次

I. 実証概要	3		
1. 全体概要	4		
2. 実施体制	6		
3. 実証エリア	7		
4. スケジュール	8		
II. 実証技術の概要	9		
1. 活用技術	10		
2. FME Desktop	11		
3. OpenFORM	12		
4. ParaView	13		
5. QGIS	14		
6. Unity	15		
7. Blender	16		
		4. システム機能	22
		4.1 風雪・融雪シミュレーション	22
		4.2 建屋リスク評価	33
		4.3 雪下ろし優先度評価	39
		4.4 道路除雪に関する評価	41
		4.5 可視化	43
		5. アルゴリズム	51
		5.1 風雪・融雪シミュレーション	51
		5.2 建屋リスク評価	56
		5.3 雪下ろし優先度評価	59
		5.4 道路除雪に関する評価	63
		5.5 可視化	64
III. 実証システム	17		
1. 実証フロー	18		
2. 業務要件	19		
3. アーキテクチャ全体図	20		

目次

6. データ	65
① 活用データ	65
② データ処理	75
③ 出力データ	77
7. ユーザーインターフェイス	88
8. システムテスト結果	95
IV. 実証技術の検証	101
1. システム検証	102
2. 政策活用に向けた検証	105
3. 検証ポイントと検証結果の整合	112
V. 成果と課題	113
1. 今年度の実証で得られた成果	114
① 3D都市モデルによる技術面での優位性	114
② 3D都市モデルによる政策面での優位性	115
2. 今後の取り組みに向けた課題	116

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

I. 実証概要 > 1. 全体概要

全体概要 (1/2)

ユースケース名	雪害対策支援ツール
実施場所	兵庫県朝来市
目標・課題 ・創出価値	<p>豪雪地帯である朝来市都市整備部建設課等へヒアリングした結果、近年の少雪傾向において除雪頻度が低下しており除雪体制の効率化が課題であること、一方で、昨年末のような豪雪時には、高齢化が進む市街地路地で除雪ができず孤立の恐れがあること、屋根雪の落雪による家屋損傷の発生があること等、諸処の積雪時の社会的課題が確認される。</p> <p>このため、これらの雪害リスクを街区レベルで可視化し、建屋リスク（屋根雪による倒壊、落雪等）、除雪困難エリアの出現による孤立化などの地区を把握し、限られた資源、財源の中で、どのような雪害対策の戦略が考えられるかを検討していくことが求められる。</p>
ユースケース の概要	<p>本業務では、雪による被害の予防や減災に役立てることを目的として、建物構造、築年数等の家屋の属性情報を備えた3D都市モデルを用いて、流体力学、日照の影響等も踏まえた風雪・融雪のシミュレーションモデルの開発を行うことを目的とする。また、開発したシミュレーションモデルを用いて、対象地域の道路や建物への積雪量を予測し、建屋リスク評価、雪下ろし優先度評価、道路除雪評価を実施し、システムによる課題解決手法としての有効性を検証する。</p>

I. 実証概要 > 1. 全体概要

全体概要 (2/2)

実証仮説	<ul style="list-style-type: none">• 3D都市モデルの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することで、街区スケールでの降雪量分布の把握が可能である。• 街区スケールでの降雪量分布を用いて屋根雪による建屋リスク分布や除雪困難な状況などを可視化することで、高齢者世帯に対する雪下ろし支援、要援護者世帯の道路除雪等の実施優先度などの判断に資することが期待される。
検証ポイント	<ul style="list-style-type: none">• 個別建屋の基礎情報（建屋構造、築年代等）を用いた建屋リスク評価の妥当性について、過年度の既往最大降雪時の被害の有無との比較により検証できないか。• 除雪困難な路線について、3D都市モデルを用いた道路閉塞リスク評価結果の妥当性が検証できるか。• 雪下ろし支援の優先度評価（提案）等、3D都市モデルを用いることで、地域において人的・物的資源の制約がある中での効率的・効果的な施策検討のための有益なツールになり得るか。また改善点などはあるか。

I. 実証概要 > 2. 実施体制

実施体制

表 各主体の役割

主体	役割
(株) ウエスコ	<ul style="list-style-type: none"> ・全体統括 ・風雪・融雪シミュレーション ・道路除雪に関する評価 ・雪下ろし優先度評価
(株) 構造計画研究所 (KKE)	<ul style="list-style-type: none"> ・建屋のリスク評価 ・風雪・融雪シミュレーション及びリスク評価結果の3次元可視化
兵庫県朝来市	<ul style="list-style-type: none"> ・実証フィールドの提供 ・実証成果の政策展開
国際航業 (株) (KKC)	<ul style="list-style-type: none"> ・データ整備範囲、仕様の決定 ・データ作成
日本ESI (株)	<ul style="list-style-type: none"> ・OpenFOAM開発
新潟工科大学	<ul style="list-style-type: none"> ・風雪・融雪シミュレーションの動作について助言
香川大学	<ul style="list-style-type: none"> ・気象・地域防災の見地から助言
(株) 三菱総合研究所 (MRI)	<ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクトマネジメント ・ユースケース実証に係る連絡・調整

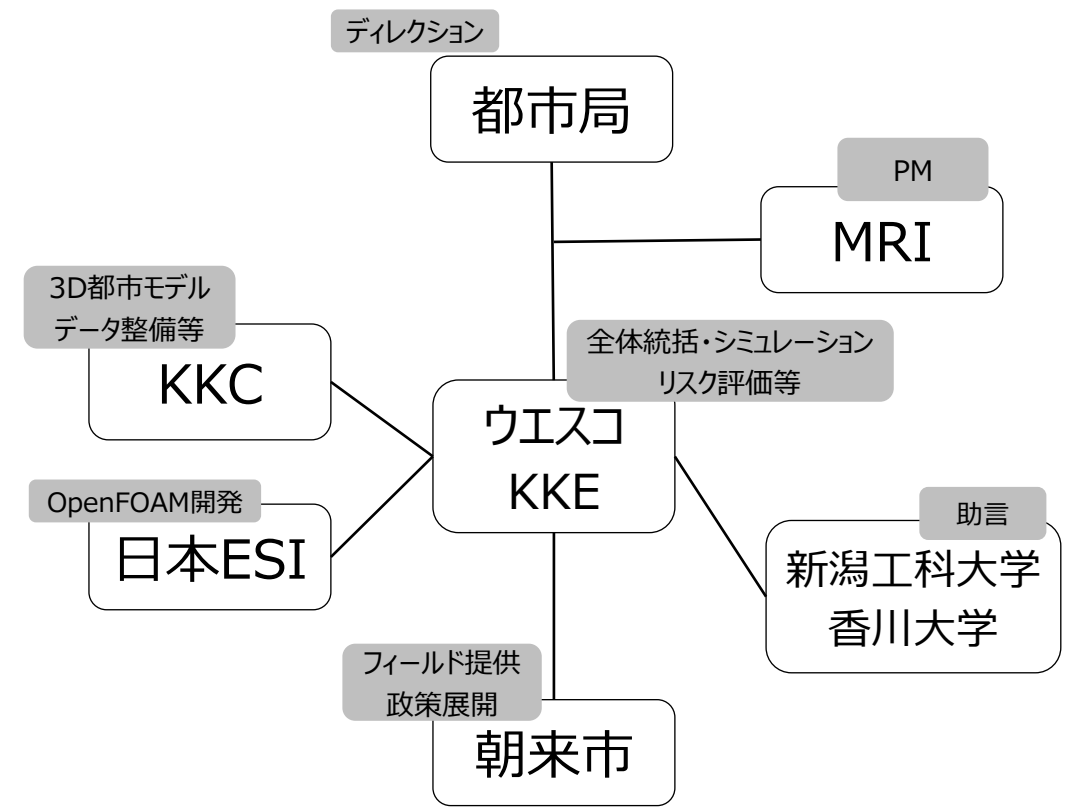


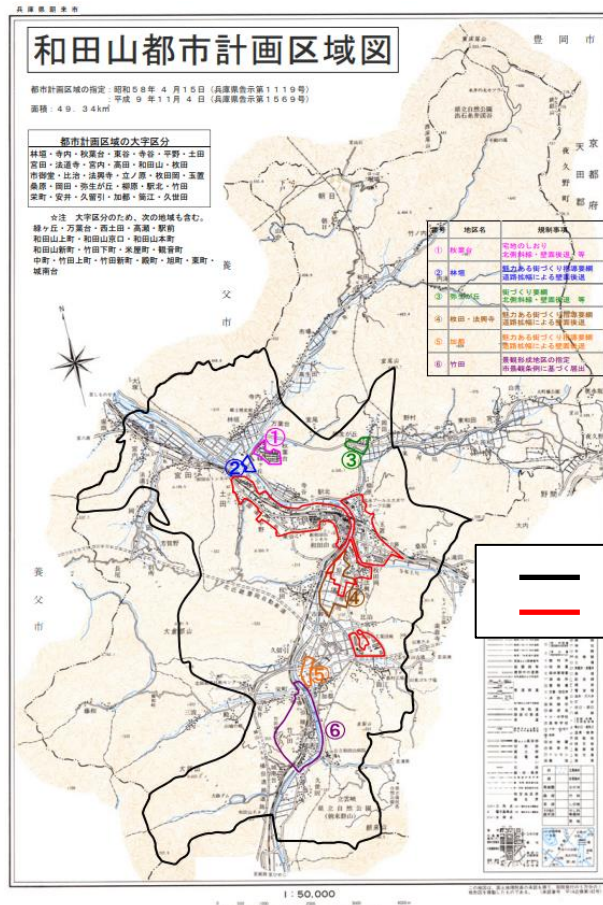
図 実施体制

I. 実証概要 > 3. 実証エリア

実証エリア

- 本実証は、兵庫県朝来市の都市計画区域及び用途地域を対象として実施した。

兵庫県 朝来市 都市計画区域 (49.3km²) 及び用途地域 (2.73km²)



市街地中心部



生活道路沿道



旧道沿道



生活道路沿道



出典：和田山都市計画区域図 <http://www.city.asago.hyogo.jp/000004420.html>

I. 実証概要 > 4. スケジュール スケジュール

実施事項	令和4年										令和5年		
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1. 3D都市モデルを活用した 社会課題解決型ユースケース開発の検討		実証内容の検討											
2. 社会課題解決型ユースケース開発 の実証計画の策定		実証計画の策定											
3. 3D都市モデルを活用した ユースケース開発の実証		ユースケース開発の実証											
(ア) データ整備		3D都市モデルデータの構築・調整											
(イ) システム開発		風雪・融雪シミュレーション・可視化システムの設計・開発											
(ウ) ユースケース開発の実証		積雪重量の算出、建屋リスク評価及び雪下ろし優先度評価、道路除雪に関する評価、3次元可視化											
(エ) PLATEAU VIEWへのデータ提供											データ整理・提供		
4. 業務報告書の作成											事業のとりまとめ		

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

Ⅱ. 実証技術の概要 > 1. 活用技術

活用技術 | 一覧

- 活用した技術・ソフトの概要を以下に示す。

活用技術	内容
FME Desktop	空間データの統合やデータ形式の変換などを行えるプラットフォーム
OpenFORM	工学・科学の分野で活用されるフリーのオープンソースCFDソフトウェア
ParaView	フリーの後処理視覚化エンジンであり、数値流体力学をはじめ、材料科学や医学などの分野で使用
QGIS	豊富なファイル形式の空間情報の参照・加工・分析等が可能なGISフリーソフトウェア
Unity	ユニティ・テクノロジーズ社が開発したゲーム開発プラットフォーム
Blender	オープンソースの統合型3DCG制作ソフト

II. 実証技術の概要 > 2. FME Desktop

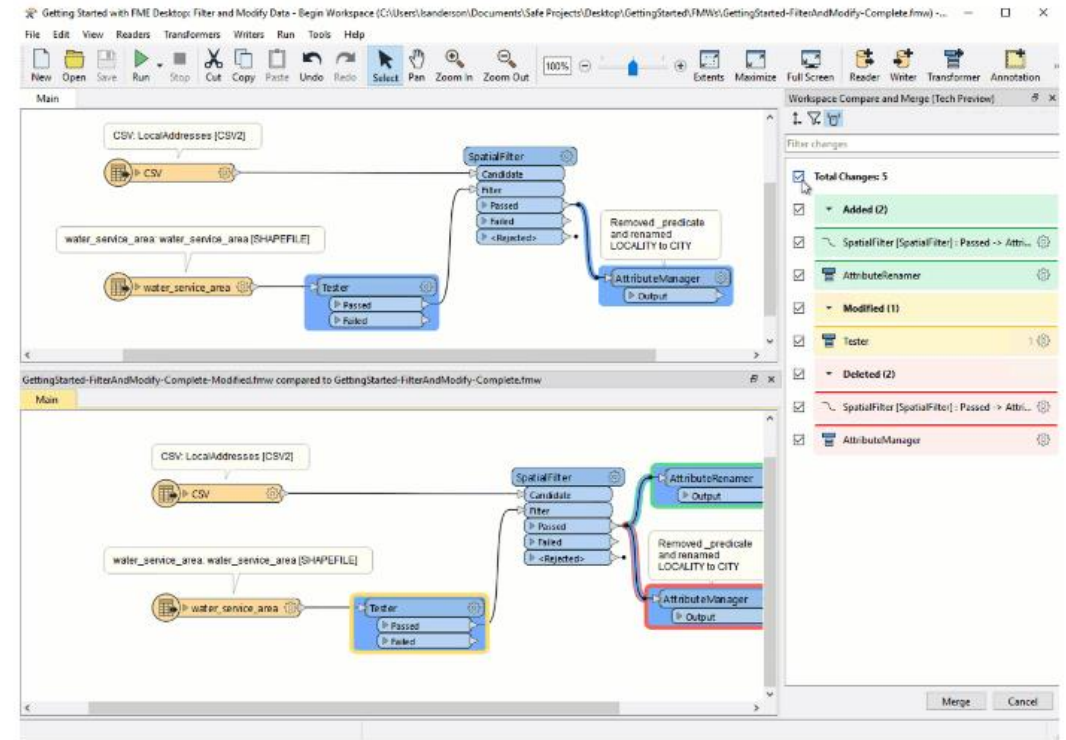
FME Desktopの概要

- 空間データの統合やデータ形式の変換などを行えるプラットフォーム

概要

項目	内容
名称	FME Desktop
概要	<ul style="list-style-type: none"> 空間データの統合やデータ形式の変換などを行えるプラットフォーム
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> 空間データの統合 データ形式の変換
利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> CityGMLを構造物データ(STL)やポリゴンデータ(SHP)に変換
バージョン等	<ul style="list-style-type: none"> Edition : Professionnal Edition Version : 2022.1.2.0 URL : https://www.safe.com/fme/fme-desktop/

データ変換の概要



出典 : FME HP (<https://www.safe.com/>)

Ⅱ. 実証技術の概要 > 3. OpenFORM

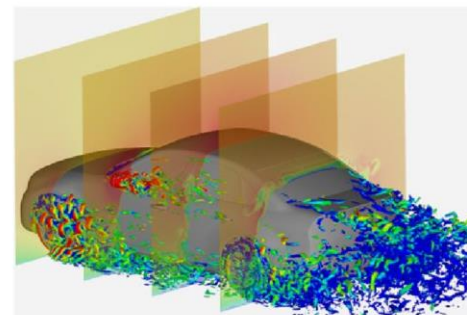
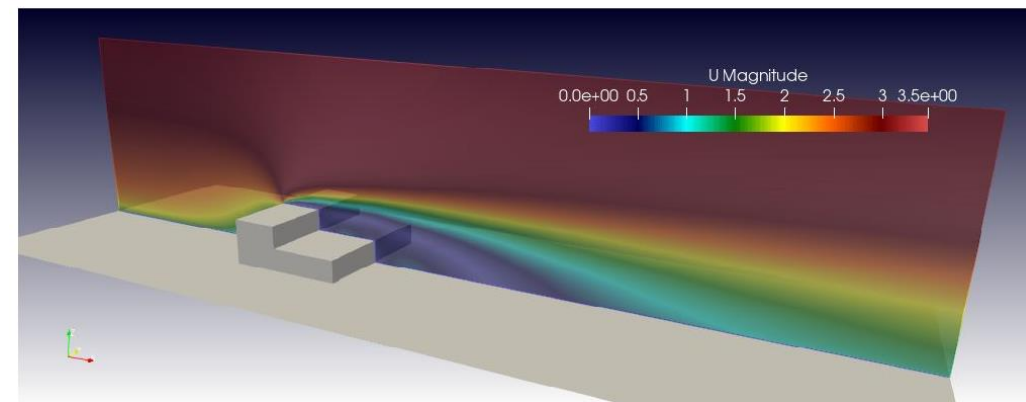
OpenFORMの概要

- 工学・科学の分野で活用されるフリーのオープンソースCFDソフトウェア

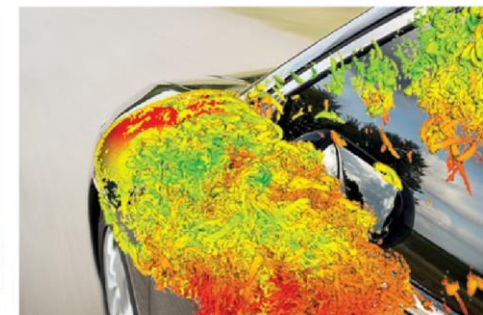
概要

項目	内容
名称	OpenFOAM
概要	<ul style="list-style-type: none"> 工学・科学の分野で活用される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)
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> メッシュ作成、品質チェック 気流、熱伝達、音響、弾性波、電磁気などに関する数値解析ソルバー 並列計算
利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> 気流解析、熱伝達に関するソルバー
バージョン等	<ul style="list-style-type: none"> Version : v2206 URL : https://dl.openfoam.com/

数値解析の概要



【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

出典 : OpenFOAM HP (<https://www.openfoam.com/>)

Ⅱ. 実証技術の概要 > 4. ParaView

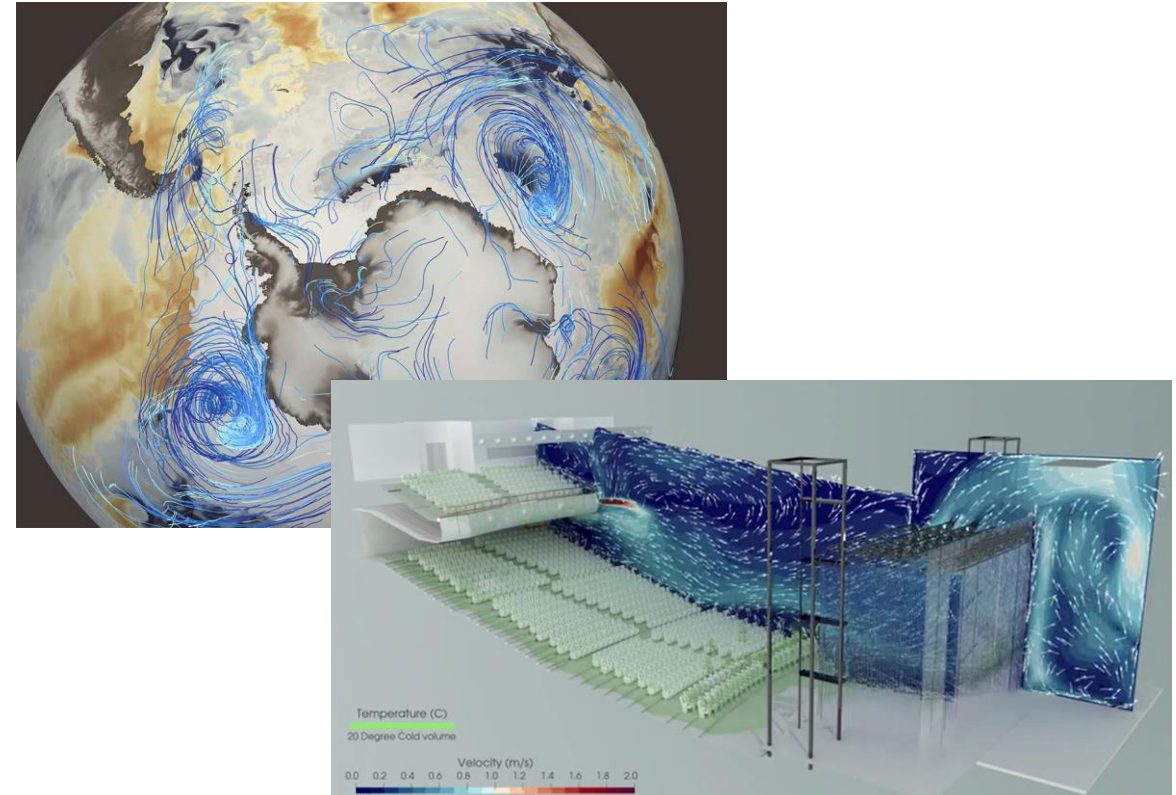
ParaViewの概要

- フリーの後処理視覚化エンジンであり、数値流体力学をはじめ、材料科学や医学などの分野で使用

概要

ParaView公式サイト

項目	内容
名称	ParaView
概要	<ul style="list-style-type: none">フリーの後処理視覚化エンジンであり、数値流体力学をはじめ、材料科学や医学などの分野で使用されている
主な機能	<ul style="list-style-type: none">数値解析結果の可視化数値データの出力（動画、画像、点群データ）
利用する機能	<ul style="list-style-type: none">解析結果の可視化（動画、画像で出力）CSVデータの抽出
バージョン等	<ul style="list-style-type: none">Version : 5.11.0URL : https://www.paraview.org/



出典 : ParaView HP (<https://www.paraview.org/>)

II. 実証技術の概要 > 5. QGIS

QGISの概要

- 豊富なファイル形式の空間情報の参照・加工・分析等が可能なGISフリーソフトウェア

概要

QGIS公式サイト (QGISについて)

項目	内容
名称	QGIS
概要	<ul style="list-style-type: none"> 主要なGISフリーソフトウェア
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> GISデータの閲覧 形状・属性等の加工編集 形状・属性等を利用した空間解析 GIS関連ファイルの入出力
利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> 地理空間情報データの閲覧、編集、分析機能
バージョン等	<ul style="list-style-type: none"> QGIS3.20 https://www.qgis.org/ja/site/about/index.html



QGISについて

QGISは、GNU General Public License で提供されている、ユーザーフレンドリーなオープンソースの地理情報システム (GIS) です。QGIS は、Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) のオフィシャルプロジェクトで、Linux, Unix, Mac OSX, Windows, Android で動作し、数多くのベクター、ラスター、データベースフォーマットや機能をサポートしています。

出典 : QGISプロジェクトへようこそ! (<https://www.qgis.org/ja/site/about/index.html>)

Ⅱ. 実証技術の概要 > 6. Unity

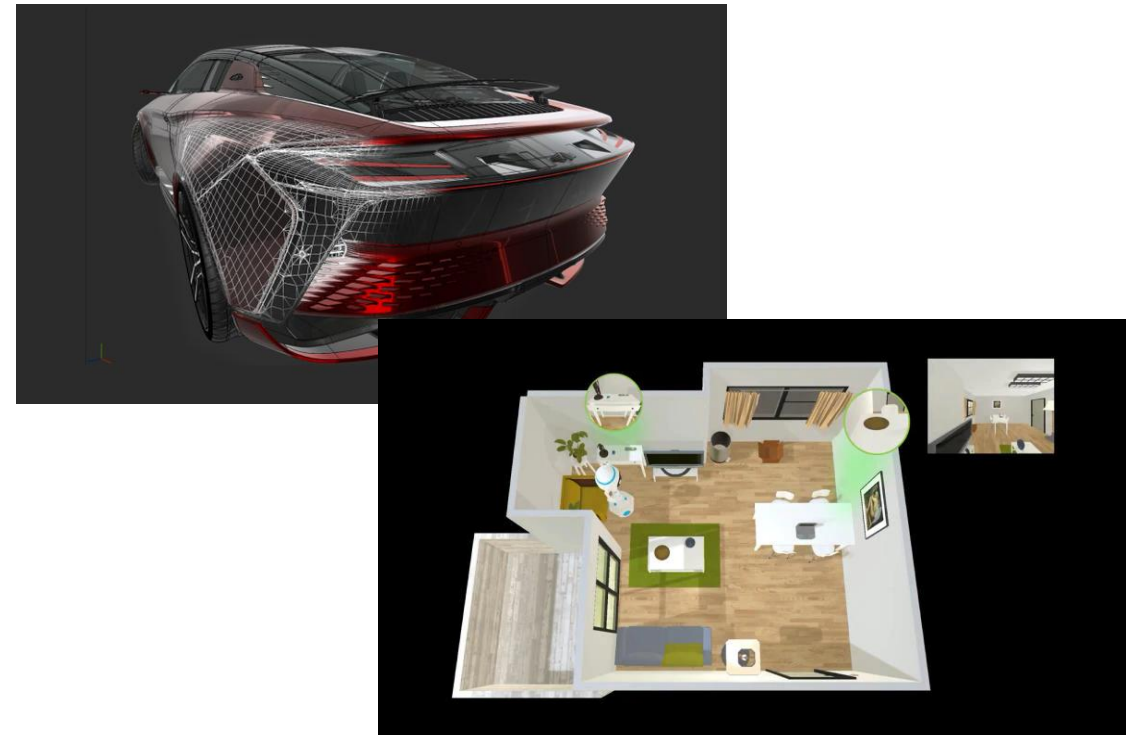
Unityの概要

- ユニティ・テクノロジーズ社が開発したゲーム開発プラットフォーム

概要

Unity公式サイト

項目	内容
名称	Unity
概要	<ul style="list-style-type: none">• ユニティ・テクノロジーズ社が開発したゲーム開発プラットフォームであり、ゲームのみならず、3次元表現やVR/XR技術を活用した、産業界のインタラクティブ体験等にも幅広く活用されている
主な機能	<ul style="list-style-type: none">• シーン管理、オブジェクト管理• レンダリング• ライティング、シャドウイング• 物理シミュレーション• アニメーション再生 など
利用する機能	<ul style="list-style-type: none">• シーン管理、オブジェクト管理、レンダリング
バージョン等	<ul style="list-style-type: none">• Unity-2018.4.2f1• https://unity.com/ja



出典 : Unity HP (<https://unity.com/ja>)

II. 実証技術の概要 > 7. Blender Blenderの概要

- オープンソースの統合型3DCG制作ソフト

概要

項目	内容
名称	Blender
概要	<ul style="list-style-type: none"> 3DCGアニメーションを作成するためのオープンソースの統合環境アプリケーション 3Dのモデリング、レンダリング、アニメーション等幅広い用途に利用可能
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> 3Dモデリング（作成、編集、等） 3Dレンダリング データ変換
利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> 高さ座標の付与
バージョン等	<ul style="list-style-type: none"> Blender3.0 https://blender.jp/

Blender公式サイト



The screenshot shows the Blender.jp website interface. At the top, there is a navigation bar with links for Home, News, Image Gallery, Forum, About Blender, Tutorials, and Release Notes. The main content area is divided into several sections:

- ログイン (Login):** A form for logging in with fields for username and password, a checkbox for "Remember ID and password", and a "ログイン" button. There is also a link for "パスワード紛失" (Forgot password).
- Blender とは (What is Blender):** A section describing Blender as a unified environment application for 3DCG animation. It lists the latest version as 3.4.1 (3.4 release notes translation) and provides download links for 3.3 LTS and 2.93 LTS, along with their respective release notes translations.
- おしらせ (Notice):** A section containing several notices, including server maintenance times (3/8 23:00 to 3/9 6:00), a request not to send old posts for deadlinks, a disclaimer that the site is non-official, and a notice about the removal of registration and quick link links on 6/30.

出典 : Blender HP (https://blender.jp/)

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

Ⅲ. 実証システム > 1. 実証フロー

実証フロー

- 実証フローを以下に示す。

3D都市モデル入力

- 3D都市モデル（建築物LOD1及びLOD2）をSTLデータに変換し、街区エリアを対象とした計算領域に対し3Dメッシュを作成し、風雪・融雪シミュレーションの初期地形条件を設定する。

風雪・融雪シミュレーション
の実施

- 街区エリアを対象とした3D地形メッシュ（家屋形状を考慮）に対し、境界条件（風向・風速、降雪量、気温、日射量等）を設定し、流れ場の計算、ならびに降雪による雪面の侵食・堆積を予測するとともに、融雪を踏まえた積雪重量を推定する。
- モデル検証として、既往研究※と同じ計算条件で再現性を確認する。

※出典： 富永ら「雪面の侵食・堆積のモデル化に関する基礎的検討」(2009)

建屋のリスク評価

- 木造建屋を対象に、積雪に伴う建屋被害の簡易評価手法（被害関数）に関する既往研究に則り建屋被害を簡易評価する。また、非住宅建屋から代表的な建屋1棟を選定の上、建屋の構造性能確認を実施する。

雪下ろし優先度評価

- 建屋のリスク評価にて高リスクとされた家屋に対し、大雪援助隊の派遣必要性を評価する。

道路除雪に関する評価

- 路線別の積雪量結果および、道路幅員・沿道建屋の有無より大雪時の道路閉塞リスクを評価する。
- 道路閉塞リスク箇所の総積雪量を算出し排雪機材の作業効率から道路閉塞リスク箇所の排雪に要する時間を推定する。

風雪・融雪シミュレーション及びリスク
評価結果の3次元可視化

- 風雪・融雪シミュレーション及び各評価結果を、3次元可視化プラットフォーム上で可視化する。

行政職員からの
意見聞き取り

- 3D都市モデルによるシミュレーション・積雪リスク評価及び可視化が積雪対策の施策検討等に有効かどうかを行政職員より意見を聞き取り検証する。

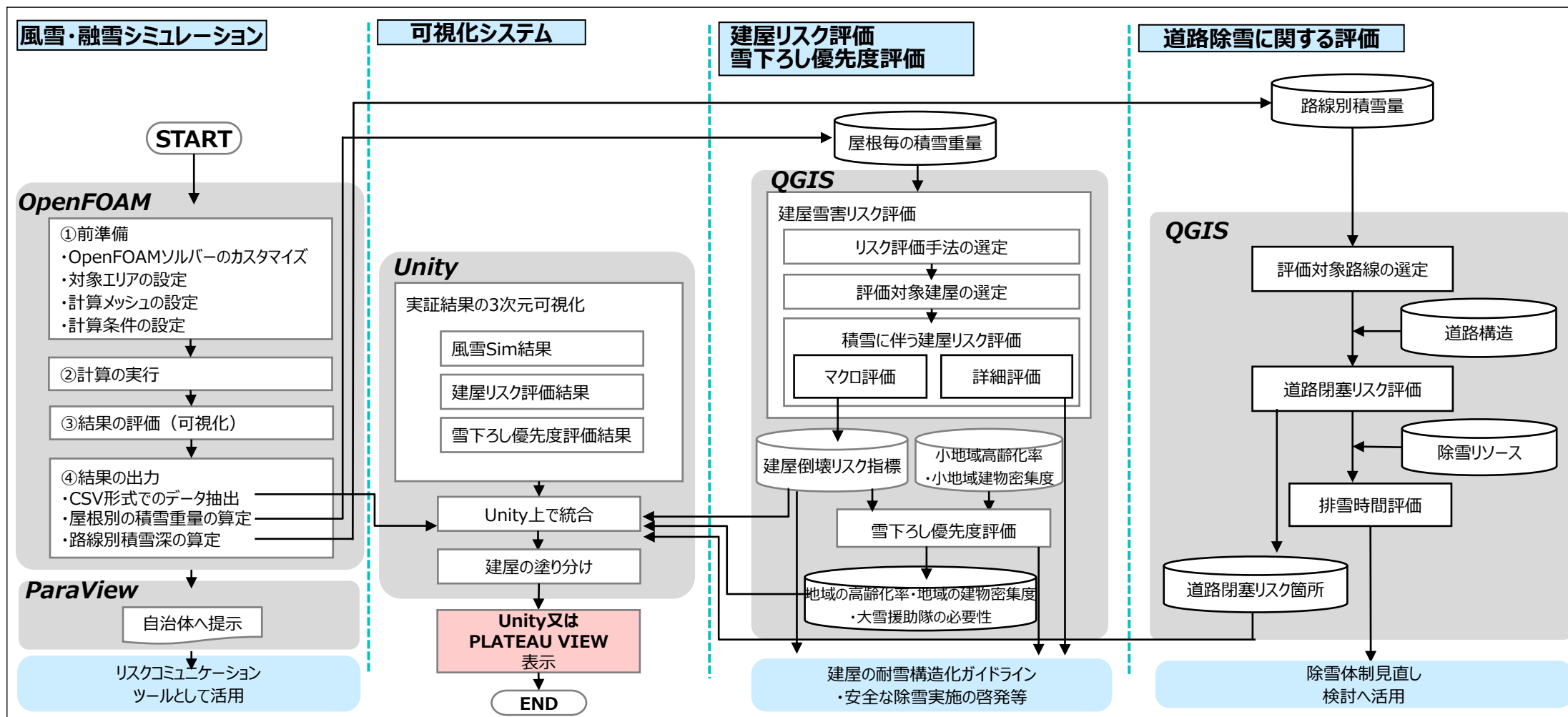
Ⅲ. 実証システム > 2. 業務要件 業務要件

	従来の業務フロー	本システムの目指す業務フロー
事前準備	—	・社会属性データをあらかじめ本システムに取り込む（個人情報データについては未達）
除雪等の計画	・経験的な判断により除雪計画を作成	・風雪・融雪シミュレーションによる降雪状況・雪害リスクが潜在する建物・路線の把握（本実証では過去データによるシナリオ設定） ※将来的に気象予測によるシミュレーションの実施
除雪等の実施	・経験的に決められた除雪区間での除雪 ・苦情があったところから対応	・対象地区における高リスク箇所を優先的に除雪・雪下ろし等を実施
事後の対応	—	・除雪路線等の見直し ・大雪援助隊の派遣計画への活用

Ⅲ. 実証システム > 3. アーキテクチャ全体図

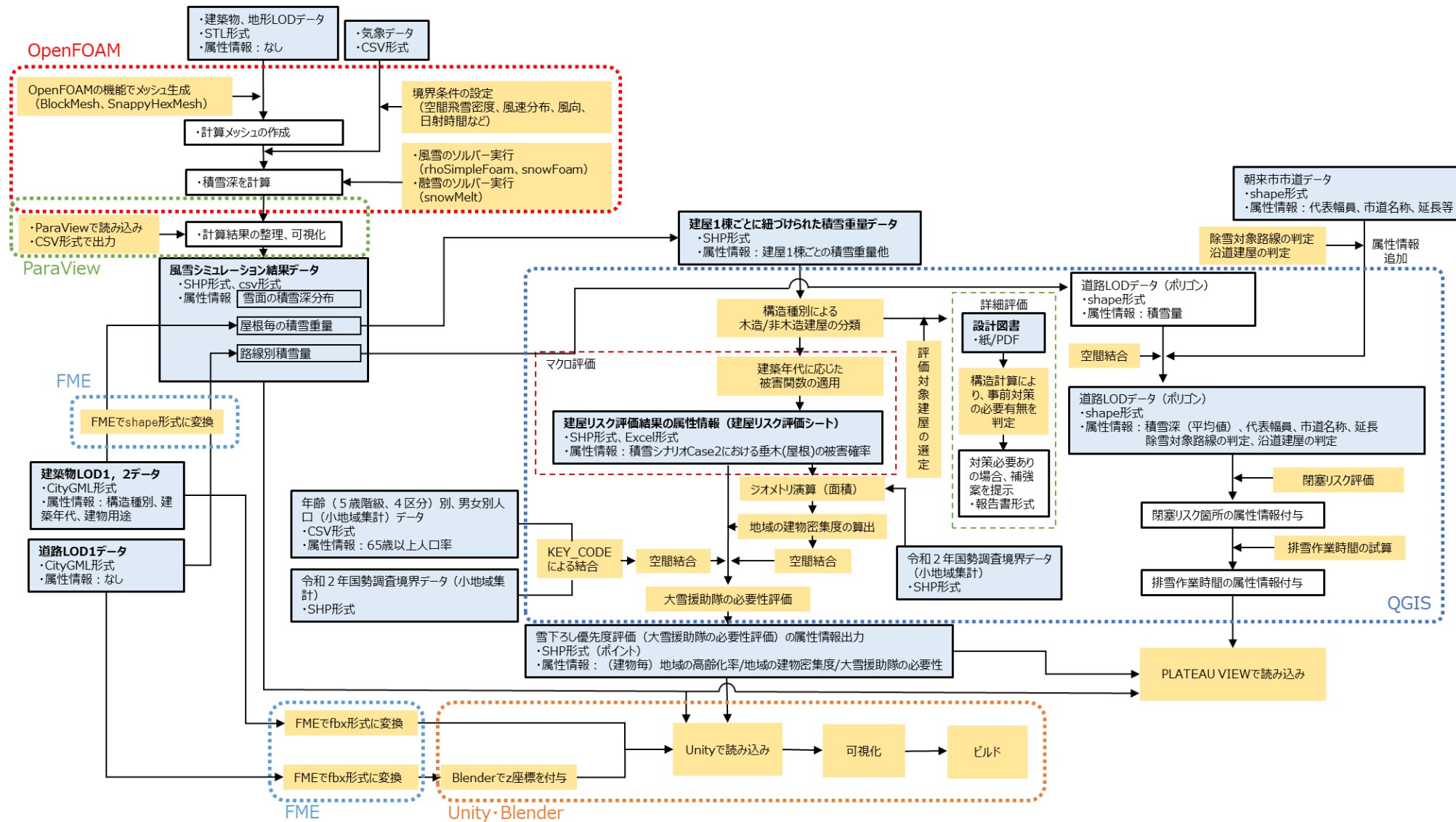
システムアーキテクチャ全体図

- 本実証では、3D都市モデルを活用した風雪・融雪シミュレーションを実施し、積雪荷重に対する建屋リスクの評価、地域情報を踏まえた雪下ろし優先度評価、道路除雪に関する評価を実施し、この結果を3次元で可視化する。



Ⅲ. 実証システム > 3. アーキテクチャ全体図

データアーキテクチャ全体図



使用データ
データ入力・処理作業



Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能

4.1 風雪・融雪シミュレーション

- 風雪・融雪シミュレーションシステムは、オープンソースのCFD解析ソフトウェアである Open FOAM のソルバーをカスタマイズして開発し、これと3D都市モデルを組み合わせることにより街区レベルで吹き溜まりや日陰部分の残雪等の詳細な解析を行う。

開発機能一覧

機能名		インプットデータ (データ形式)	説明	アウトプットデータ (形式)
①前準備	①-1 OpenFOAMソルバーの カスタマイズ	—	OpenFOAMで積雪・融雪の計算を行えるよう既存ソルバーをカスタマイズする	—
	①-2 対象エリアの設定	—	風雪・融雪シミュレーションを行う対象地域を設定する	—
	①-3 計算メッシュの設定	地物データ (STL形式)	風雪・融雪シミュレーションに用いる計算メッシュ（地物モデル）を設定する	計算メッシュデータ (テキスト形式)
	①-4 計算条件の設定	計算条件データ (テキスト形式)	風雪・融雪シミュレーションの計算条件（境界条件、物理量等）を設定する	計算条件データ (テキスト形式)
②計算の実行		①から	風雪・融雪シミュレーションを行い、計算結果を出力する	③へ
③結果の評価（可視化）		②から	計算結果をParaViewを用いて可視化する	—
④結果の出力	④-1 CSV形式でのデータ抽出	③から	ParaViewを用いてCSV形式のデータを生成する	雪面の積雪深分布 (CSV形式)
	④-2 屋根別の積雪重量の算定	雪面の積雪深分布 (CSV形式)	計算結果をQGISを用いて屋根別の積雪重量を算定する	屋根毎の積雪重量 (SHP形式)
	④-3 路線別の積雪深の算定	雪面の積雪深分布 (CSV形式)	計算結果をQGISを用いて路線別（交差点ごと）の積雪量を算定する	路線別積雪量 (SHP形式)

①-1 OpenFOAMソルバーのカスタマイズ

- 風雪・融雪シミュレーションを行うため、標準ソルバーを基にカスタマイズを行う。
- ソルバーとはOpenFOAMの各流体計算モジュールのことである。

OpenFOAMの標準ソルバーの例

今回カスタマイズを実施したソルバー

乱流層圧縮性流体

rhoicoFoam 非定常層流解析ソルバー

rhosimpleFoam 定常乱流解析ソルバー

rhopisoFoam 非定常乱流解析ソルバー

rhopimpleFoam 非定常乱流解析ソルバー
 (PIMPLE法 = PISO法 + SIMPLE法)

雪の計算に必要な対流拡散方程式を加え
 カスタマイズを行う。(p.52参照)

熱流動

buoyantSimpleFoam 定常流熱流動解析ソルバー

buoyantPimpleFoam 非定常熱流動解析ソルバー

その他

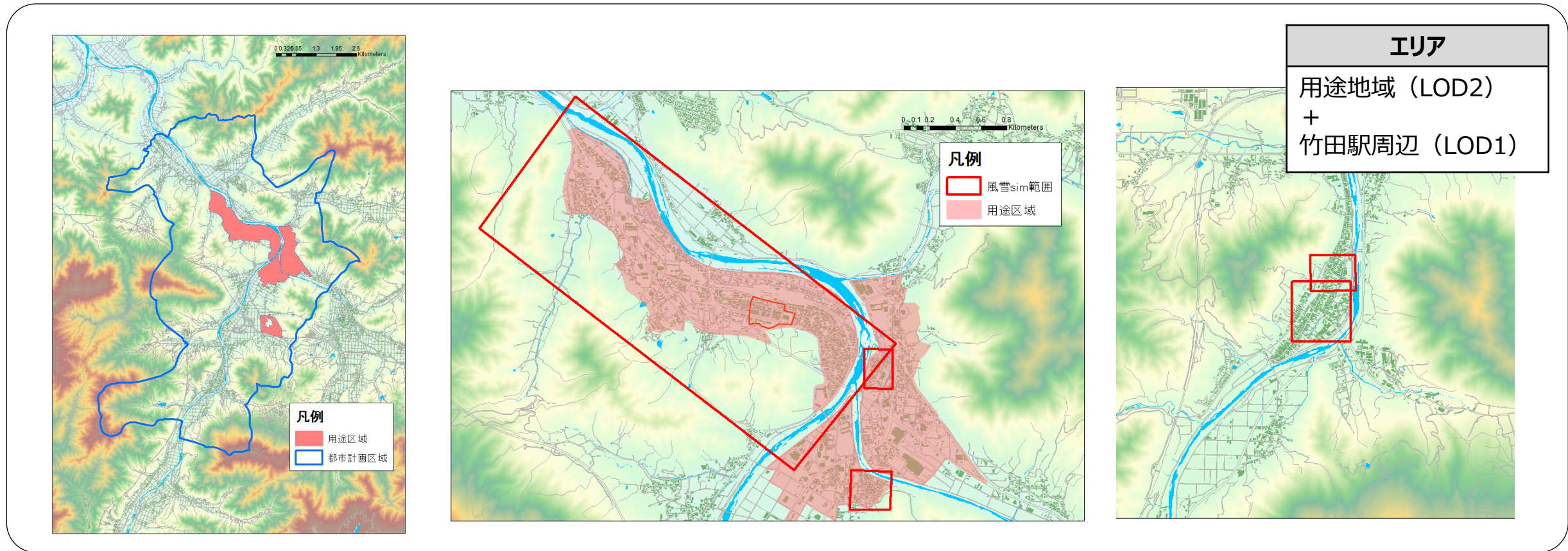
thermoFoam 凍結した流れ場での熱輸送、熱力学の計算のソルバー

融雪に関してカスタマイズを行う。(p.53参照)

Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能 > 4.1風雪・融雪シミュレーション > ①前準備

①-2 対象エリアの設定

- 風雪・融雪シミュレーションは、吹き溜まりなどで街路の除雪が困難になる等が想定されるエリアを対象とする。



Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能 > 4.1風雪・融雪シミュレーション > ①前準備

①-3 計算メッシュの設定

- 3D都市モデル (LOD 1、LOD2) をもとに、風雪・融雪シミュレーションで使用する計算メッシュ (地物モデル) を設定する。
- 計算メッシュの作成は、OpenFOAMのメッシュ作成ソルバーを用いている。

```

:/mnt/g/ubuntu/snowFoamTestCase$ blockMesh
-----
| Field          | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox |
| Operation      | Version: 2206                          |
| And            | Website: www.openfoam.com             |
| Manipulation   |                                         |
-----
Build : _76d719d1-20220624 OPENFOAM=2206 version=2206
Arch  : "LSB;label=32;scalar=64"
Exec  : blockMesh
Date  : Mar 24 2023
Time  : 20:43:20
Host  :
PID   : 754
I/O   : uncollated
Case  : /mnt/g/ubuntu/snowFoamTestCase
  
```

図 入力画面 (例 : blockMesh)

■ OpenFOAMのメッシュ作成ソルバー

- ①ベースとなるメッシュを作成
\$ blockMesh
- ②形状(STL)の特徴線を抽出
\$ surfaceFeatureExtract
- ③形状に沿ってメッシュを再分割
\$ snappyHexMesh

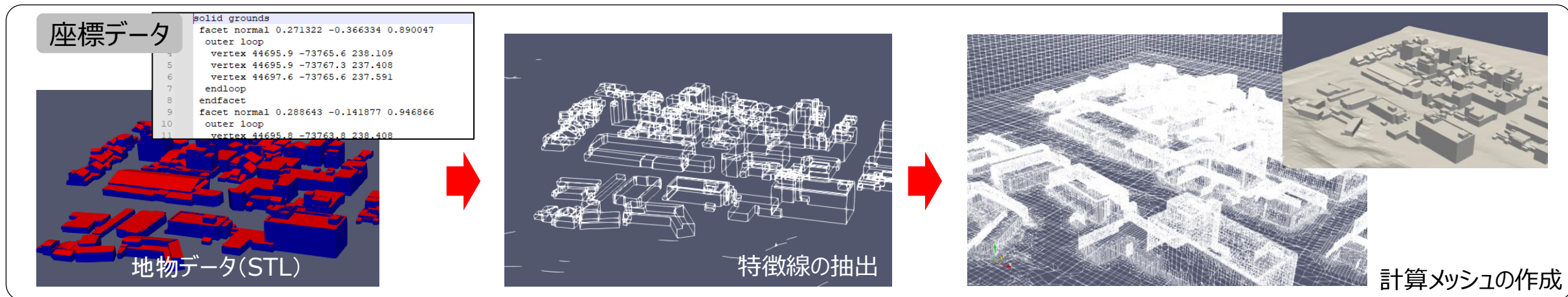


図 構造物データの計算メッシュ化イメージ

Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能 > 4.1風雪・融雪シミュレーション > ①前準備

①-4 計算条件の設定

- 風雪・融雪シミュレーションに用いる境界条件・物理量を設定する。
- 境界条件は風向・風速、降雪量（飛雪密度）、気温、日射量等である。

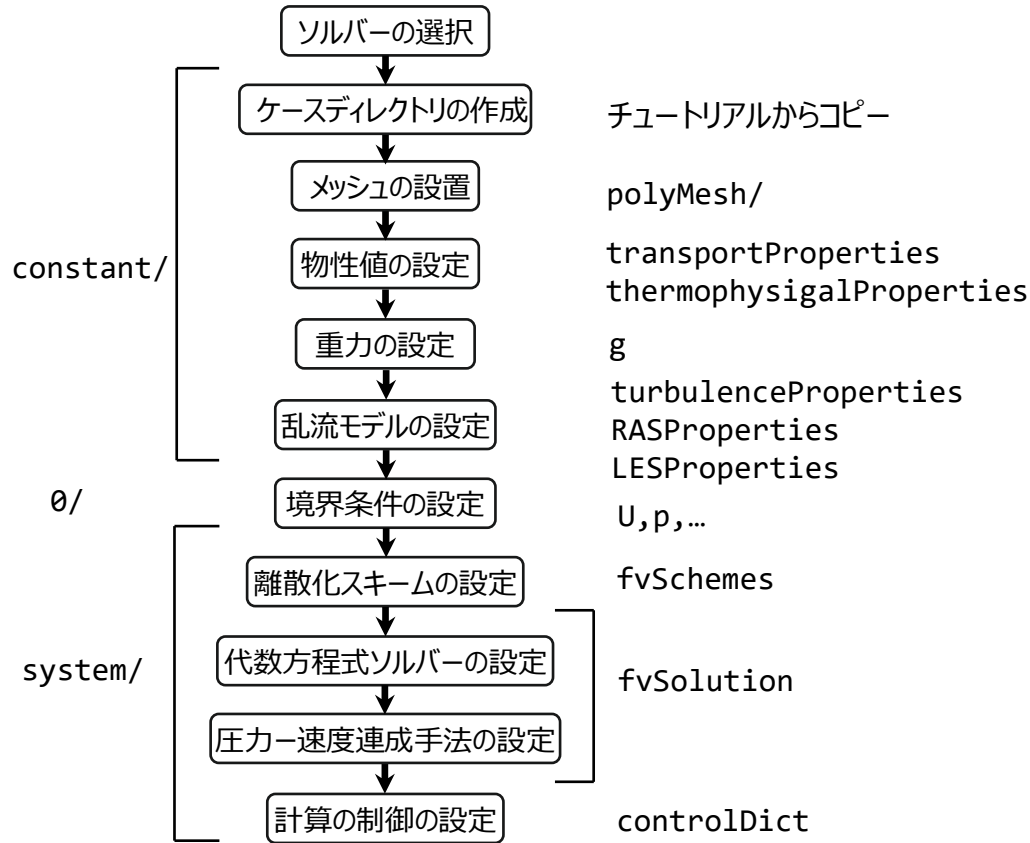


図 計算条件の設定手順

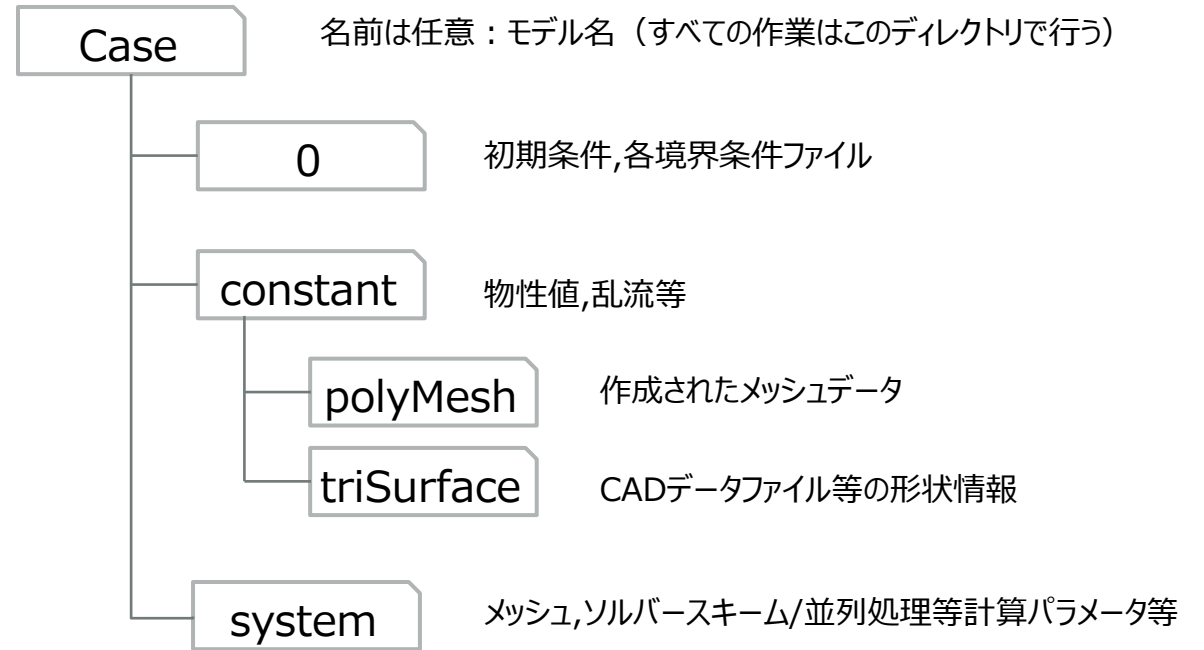


図 標準のケースディレクトリー

Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能 > 4.1風雪・融雪シミュレーション > ①前準備



PLATEAU
by MLIT

①-4 計算条件の設定

- 風雪に関する物理量等は富永教授の論文（下表）の値を用いている。

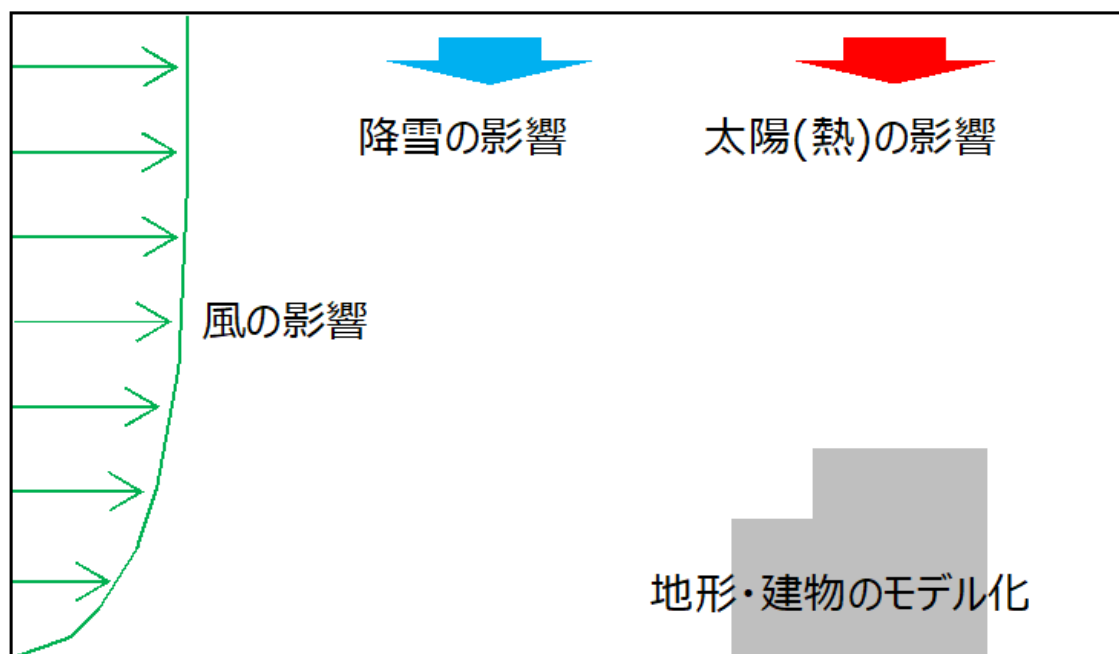
風雪シミュレーション	堆積・浸食のフラックスのモデル化に関する物性値 雪粒子の落下速度 (-0.5m/s) 雪面の摩擦速度、限界摩擦速度 (0.2m/s) 比例定数 氷の密度等	1)富永, 大風, 持田, 志田, 吉野, 雪面の侵食・堆積のモデル化に関する基礎的検討, 日本建築学会環境系論文集, 第 74 巻 2009
	屋根上吹き溜まり係数と屋根勾配の関係式	2)富永, 大風, 持田, 単体切り妻屋根建物を対象として屋根上積雪深の予測手法の検証, 日本建築学会構造論文集, 第 81 巻, 第 725 号, 2016
	流れ場の予測結果の風洞実験値	3)村山, 五十嵐, 富永, 2 段屋根建物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	積雪表面層の熱収支に関する構成	4)富永, 本吉, 気象観測データと熱収支に基づく地上積雪量推定法, 日本建築学会構造系論文集, 第 86 巻, 第 782 号, 2021

Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能 > 4.1風雪・融雪シミュレーション

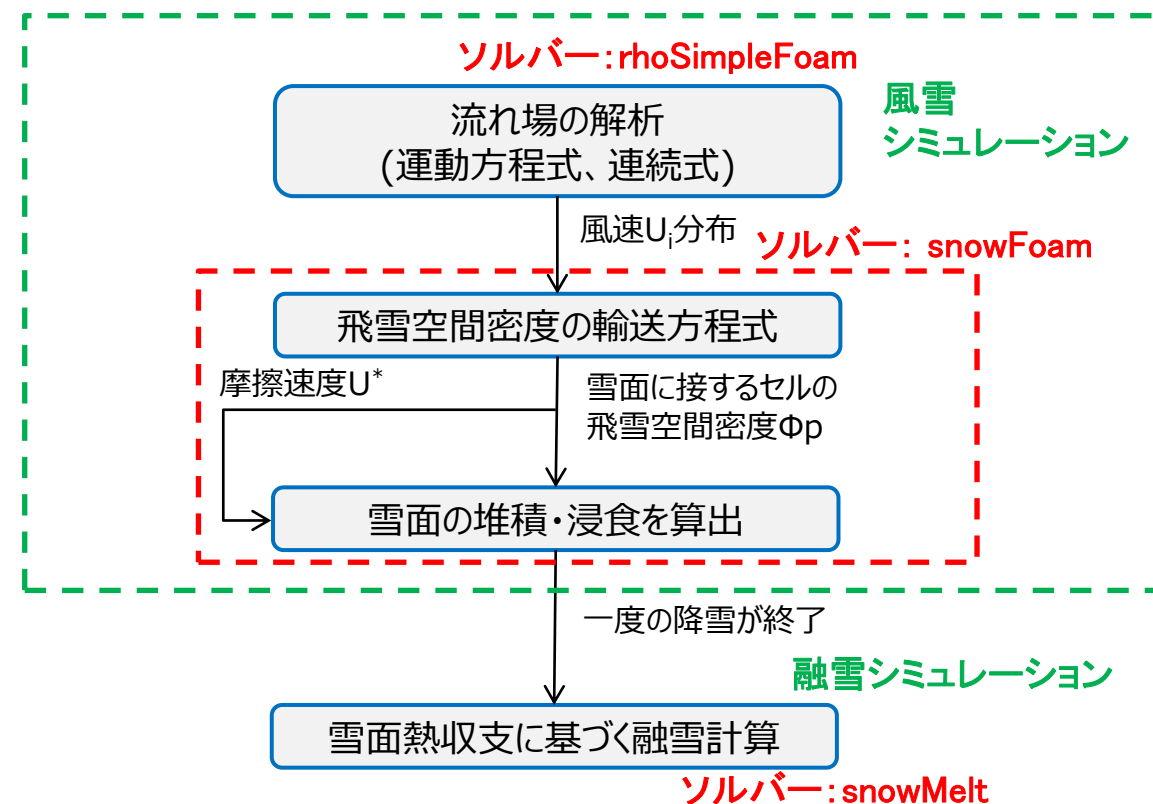
② 計算の実行

- 風雪・融雪シミュレーションは、OpenFOAMの標準ソルバーと本ユースケースで開発したソルバーを用い、設定した計算条件・物理量をシェルスクリプト（実行可能なコマンドの一連の流れを記述したもの）を作成し自動的に入力して実施する。降雪解析(風雪シミュレーション)と融雪解析(融雪シミュレーション)は解析フローに沿って段階的に計算する。

解析モデル（風雪・融雪）の外力の概要



風雪・融雪シミュレーション解析フロー

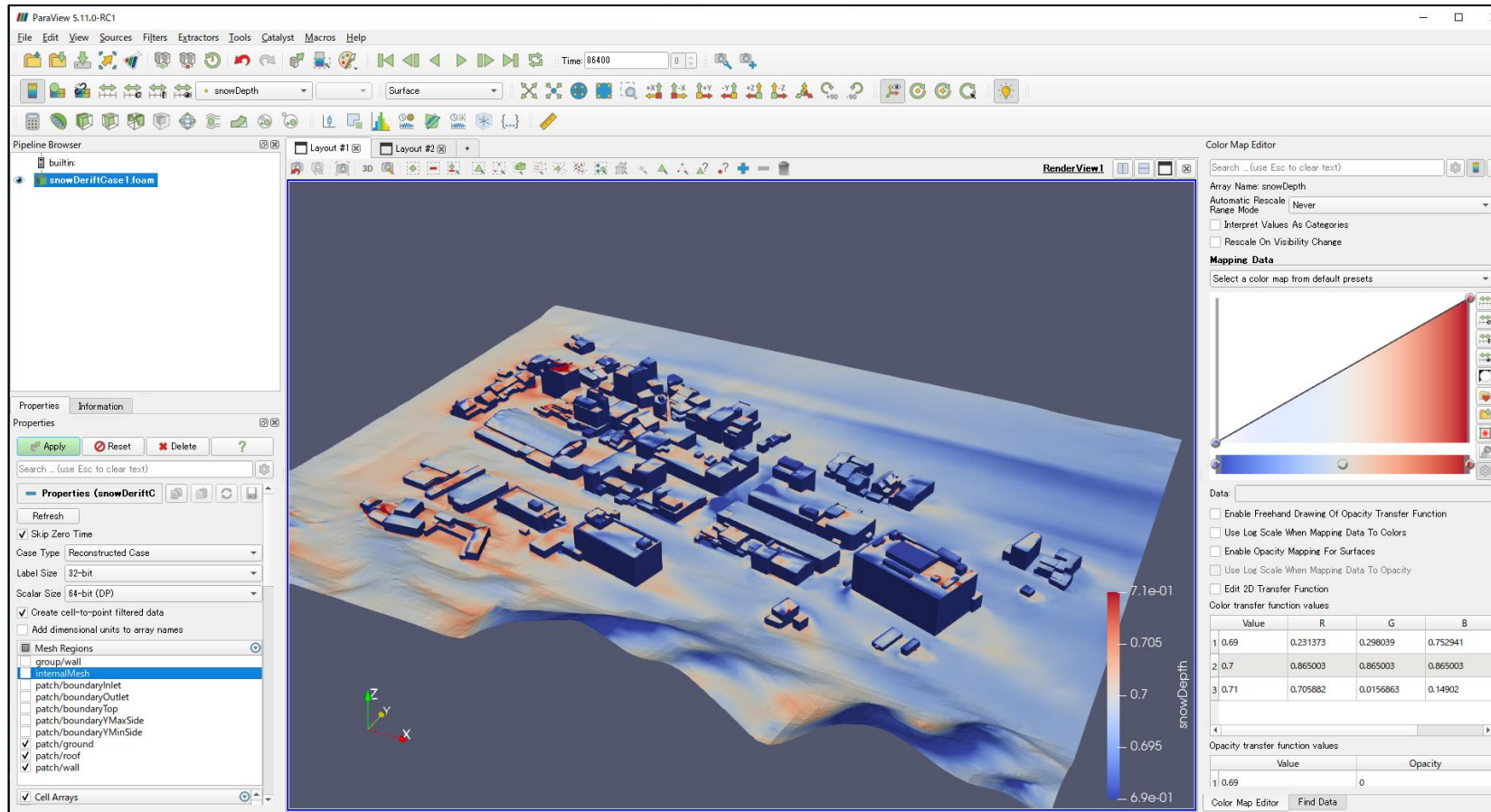


※飛雪空間密度：微小空間内に存在する飛雪量

Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能 > 4.1風雪・融雪シミュレーション

③結果の評価

- 計算結果は、風速や積雪深さなど物性値ごとにテキスト形式で出力される。このため、可視化ソフト（ParaView）を用いて、風速分布や積雪深分布を表示させる。





④-1 CSV形式でのデータ抽出

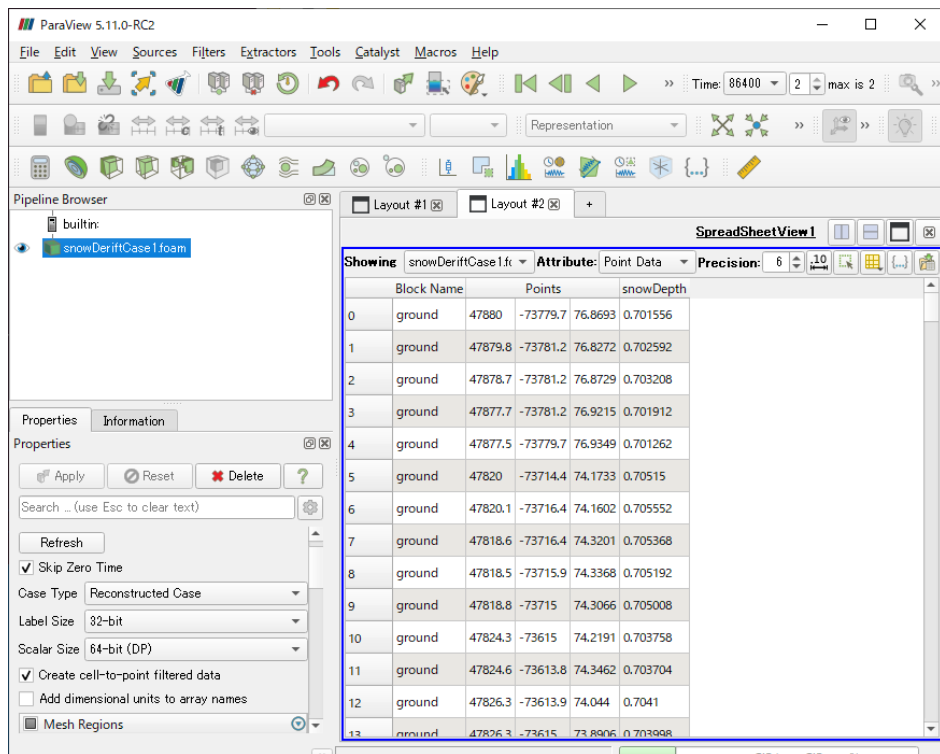
- 風雪・融雪シミュレーションの計算結果（積雪深：メッシュ）を用いて、QGISにより建屋ごと、路線ごとに統計処理を行う。

シミュレーションでアウトプットするデータ

	フィールド名	単位	データ形式	出力方法
1	積雪量(メッシュ)	m	CSV形式	ParaViewでCSV形式で出力
2	屋根毎積雪重量	kN (kgf)	CSV形式	積雪深(メッシュ)をQGISで読み込み、建屋ごとに積雪深を平均し、CSV形式で出力 建屋ごとの積雪深、積雪密度、屋根面積から建屋ごとの積雪重量を算出し、CSV形式で出力
3	路線別積雪量	m	CSV形式	積雪量(メッシュ)をQGISで読み込み、路線別に積雪深を平均し、CSV形式で出力

④-2 雪面の積雪深分布

- 各評価で使用するデータは、ParaViewによりCSV形式で出力した。



	A	B	C	D	E	F
1	Block Name	Points_0	Points_1	Points_2	snowDepth	
2	ground	46790.652	-73026.047	69.660736	0.708224	
3	ground	46790.277	-73026.461	69.662949	0.70790398	
4	ground	46789.801	-73026.469	69.64917	0.70798397	
5	ground	46789.75	-73025.977	69.637115	0.70826399	
6	ground	46790.129	-73025.516	69.607635	0.70836598	
7	ground	46794.953	-73009.078	69.062859	0.70723802	
8	ground	46795.352	-73009.477	69.047852	0.707232	
9	ground	46794.922	-73010.211	69.08316	0.707232	
10	ground	46794.512	-73009.594	69.057922	0.707268	
11	ground	46775.527	-73009.641	69.061592	0.70640397	
12	ground	46775.102	-73010.164	69.268997	0.70650399	
13	ground	46774.613	-73009.68	69.043854	0.70649397	
14	ground	46775.078	-73009.156	69.070869	0.70639199	
15	ground	46914.422	-73104.078	68.620003	0.70756799	
16	ground	46914.371	-73104.539	68.620003	0.707196	
17	ground	46913.777	-73104.07	69.062172	0.70937401	
18	ground	46914.473	-73103.648	68.620049	0.70992798	
19	ground	46976.988	-72996.602	68.980202	0.70813602	
20	ground	46976.219	-72996.039	69.066551	0.708372	
21	ground	46976.605	-72995.531	69.067177	0.70837802	

カラムの説明

- Block Name : 属性
ground : 地面
roof : 屋根面
wall : 壁面
- Points : 座標(m)
_0 : X方向
_1 : Y方向
_2 : Z方向
- snowDepth : 積雪深(m)

図 ParaViewでのデータ抽出
雪面における座標と積雪深などを選択
その他、空間中の速度Uや飛雪空間密度φなども出力できる

図 CSV形式で出力されたデータ

④-3 屋根毎積雪重量・路線別積雪量の算定

- 屋根面の積雪深をQGISで読み込み、屋根面ごとに平均積雪深、積雪重量を算定した。
- 路線別の積雪深をQGISで読み込み、路線別（交差点間）の平均積雪深、積雪量を算定した。

Block Name	Points_0	Points_1	Points_2	snowDepth
1 ground	46790.652	-73026.047	69.660736	0.708224
2 ground	46790.277	-73026.461	69.662949	0.70790398
3 ground	46789.801	-73026.469	69.64917	0.70798397
4 ground	46789.75	-73025.977	69.637115	0.70826399
5 ground	46790.129	-73025.516	69.607635	0.70836598
6 ground	46794.953	-73009.078	69.062859	0.70723802
7 ground	46795.352	-73009.477	69.047852	0.707232
8 ground	46794.922	-73010.211	69.08316	0.707232
9 ground	46794.512	-73009.594	69.057922	0.707268
10 ground	46775.527	-73009.641	69.061592	0.70640397
11 ground	46775.102	-73010.164	69.268997	0.70650399
12 ground	46774.613	-73009.68	69.043854	0.70649397
13 ground	46775.078	-73009.156	69.070869	0.70639199
14 ground	46914.422	-73104.078	68.620003	0.70756799
15 ground	46914.371	-73104.539	68.620003	0.707196
16 ground	46913.777	-73104.07	69.062172	0.70937401
17 ground	46914.473	-73103.648	68.620049	0.70992798
18 ground	46976.988	-72996.602	68.980202	0.70813602
19 ground	46976.219	-72996.039	69.066551	0.708372
20 ground	46976.605	-72995.531	69.067177	0.70837802

図 ParaViewで抽出した積雪深(CSV形式)

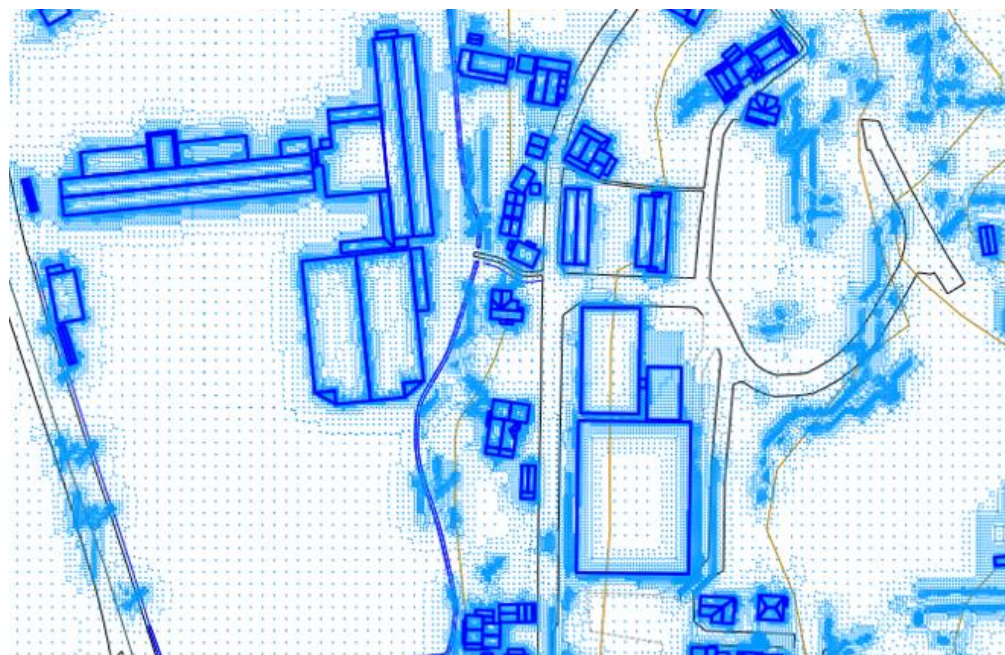


図 QGISで読み込んだ点群(積雪深)
屋根面ごとに積雪深を平均し、屋根面積雪重量を算出した

重心X	重心Y	面積	depth	mass
1 45203.78487	-78065.08077	18.38593926	0.822858187	45.38706195
2 45289.21647	-78158.79756	70.05884821	0.757540361	159.2172154
3 45293.63711	-78154.89025	6.941688262	0.757253745	15.7698583
4 45298.07619	-78059.8009	8.85337129	0.785470499	20.86218589
5 45299.12062	-78164.33726	181.4728487	0.756013486	411.5877626
6 45302.14809	-78122.49538	5.027431552	0.759030434	11.44792065
7 45308.04368	-78177.38664	69.31455815	0.754297959	156.8514893
8 45313.87322	-78206.29016	54.84951168	0.756177939	124.4279722
9 45318.4051	-78216.7618	64.40740374	0.754529015	145.7917647
10 45323.7333	-78060.84779	15.40004168	0.777769922	35.93306764
11 45325.67432	-78209.47326	56.74191992	0.755630324	128.627746
12 45326.41464	-78159.36578	8.744091892	0.753013408	19.75325532
13 45331.32442	-78236.77598	14.92853495	0.756721248	33.89021879
14 45336.72673	-78206.18989	52.81426533	0.755038826	119.6304627
15 45339.46823	-78184.05069	179.2805848	0.753792511	405.4210864
16 45351.9102	-78222.35776	188.0360095	0.755124081	425.9715564
17 45352.77652	-78198.92436	213.1702523	0.754139021	482.2800162
18 45362.78283	-78166.38509	64.31919626	0.752078401	145.1192348
19 45365.01478	-77882.86991	30.57797674	0.813476906	74.62343374
20 45366.67831	-77861.77755	4.836736592	0.810136173	11.75524582
21 45370.40079	-77870.25429	0.536026602	0.800926405	2.316774159

図 屋根面ごとの積雪深や積雪重量を出力(CSV形式)



Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能

4.2建屋リスク評価

- 「建屋リスク評価」では、風雪シミュレーション結果として得られた建屋ごとの積雪重量に対し、CityGML属性情報を活用して、建屋ごとに倒壊/損傷リスクを判定する。

開発機能一覧

機能名	入力データ (形式)	説明	出力データ (形式)
①リスク評価手法の選定	建物属性データ (SHP形式) ※	属性情報（建物用途、構造種別）から評価手法を選定	建物属性データ (SHP形式)
②評価対象建屋の選定		属性情報（建物用途、建築年代）により、雪害リスクの高い建屋を抽出	
③マクロ評価 【積雪に伴う建屋リスク評価】 (木造建屋対象)	屋根毎積雪重量 (SHP形式)	積雪荷重に対する損傷確率の算定	建屋倒壊リスク指標 (SHP形式)
④詳細評価 【積雪に伴う建屋リスク評価】 (非木造建屋対象)		積雪荷重に対する部材安全性の照査	ドキュメント

※風雪・融雪シミュレーションの過程でCityGML形式からSHP形式に変換された建物属性データを入力データとして利用

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能 > 4.2 建屋リスク評価

① リスク評価手法の選定

- 「リスク評価手法の選定」とは、建屋構造種別(木造/非木造)、建物用途(住宅/非住宅)に応じて、適用されるべき建屋の倒壊/損傷リスク評価手法を、建屋ごとに選定するプロセスをいう。
- 「リスク評価手法の選定」が必要である理由と、建屋構造種別に応じたリスク評価手法の概要を、以下に示す。

【「リスク評価手法の選定」プロセスが必要である理由】

- 積雪による建屋の倒壊/損傷リスクは階高・階数・柱スパン・柱の断面といった特徴（以降、構造的な特徴）が大きく影響する。
- 戸建住宅等の**木造建屋**については、構造的な特徴のばらつきが小さいため、被害関数を用いた統計的な手法により建屋の倒壊/損傷リスクを判定することが可能である。
- 一方で、**非木造建屋**については、基本的には木造建物に比べて耐雪性能が高い可能性があるが、とりわけ体育館・倉庫・ホールのように柱スパン・階高を大きくして大空間を確保した**非住宅建屋の倒壊/損傷リスクは無視できない**。このとき非住宅建屋は構造的な特徴が建物によって大きく異なるため、木造建屋のように統計的な手法による評価は困難であり、構造計算による詳細な評価が必要となる。
- 上記理由より、本実証において「建屋リスク評価」を行うにあたっては、構造種別（木造/非木造）、建物用途（住宅/非住宅）に応じて、適用する評価手法を選定する必要がある。

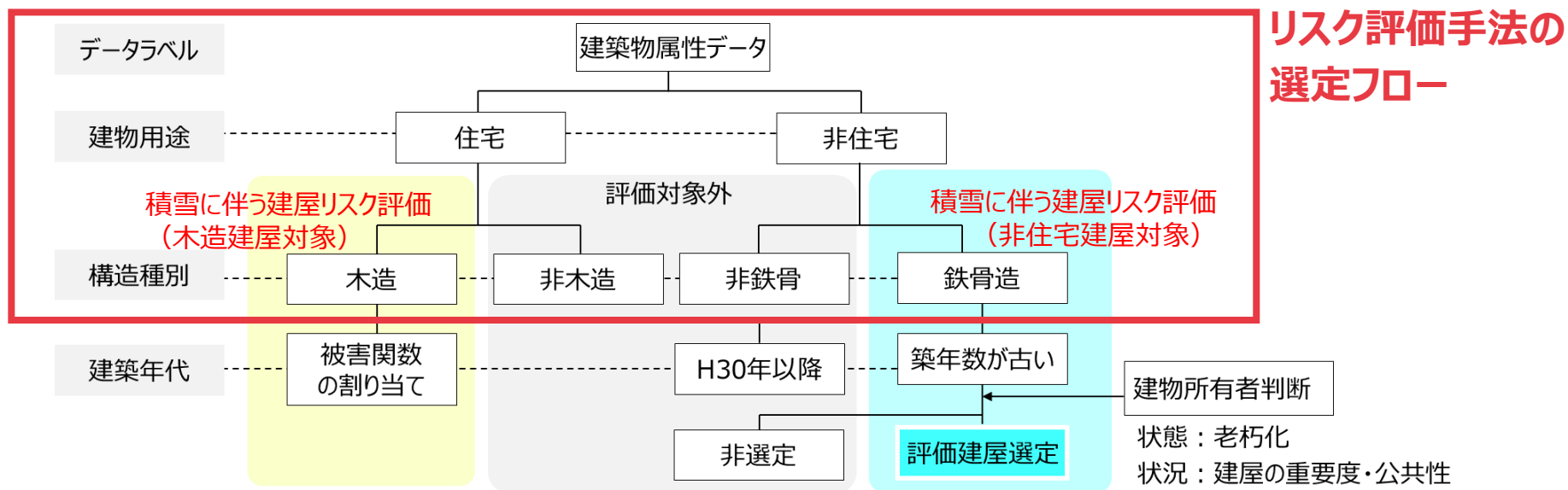
【本実証における建屋構造種別に応じたリスク評価手法の概要】

- 「木造建屋」の建屋リスク評価については、積雪荷重から建屋損傷確率を統計的に算出する手法（以下、「マクロ評価」と呼ぶ）を採用する。
- 「非木造・非住宅建屋」の建屋リスク評価については、構造計算を行って建屋の耐雪性能を評価する手法（以下、「詳細評価」と呼ぶ）を採用する。

Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能 > 4.2 建屋リスク評価

② 評価対象建屋の選定

- CityGMLの属性情報のうち「建物用途」「構造種別」情報を利用し、建屋毎にリスク評価手法(マクロ評価/詳細評価)を選定する。
※CityGMLの情報のみでは不完全な部分に関しては、朝来市より借用した固定資産台帳の情報を活用した。
- 建物用途「住宅」かつ構造種別「木造」の建屋に対して、積雪荷重から建屋損傷確率を統計的に算出する手法（マクロ評価）を適用する。
- 建物用途「非住宅」かつ構造種別「鉄骨」の建屋を、構造計算を行って建屋の耐雪性能を評価する手法（詳細評価）の適用候補とする。



Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能 > 4.2 建屋リスク評価

③ マクロ評価

- 「積雪荷重から建屋損傷確率を統計的に算出する手法」（マクロ評価）の概要を以下に示す。

- CityGMLの属性情報のうち「建築年代」情報を抽出する。

- 風雪シミュレーション結果（積雪荷重）と建築年代をインプットとして、選定した被害関数に則り各建屋に対して簡易評価を実施する。

※LOD2整備エリアに関しては、屋根面ごとの積雪荷重をもとに建屋の被害評価が可能となるため、LOD1整備エリアに比べて評価精度は向上する。

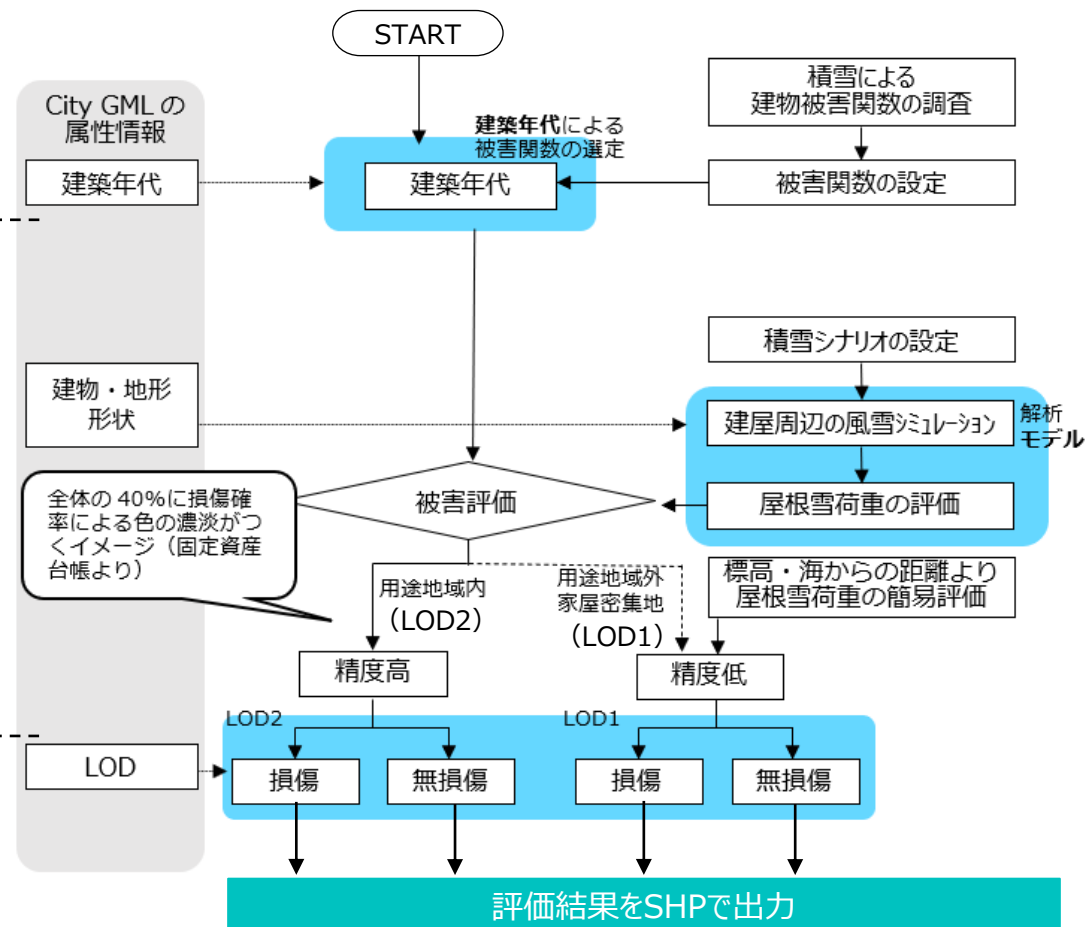
※風雪シミュレーションの対象エリア外の建屋に対しては、シミュレーションのシナリオに応じて以下方針で積雪荷重を付与した。

Case1：積雪観測記録に基づき、過去最大積雪重量を建屋ごとに付与

Case2：日本建築学会の指針をもとに、長期的な降雪による積雪の単位体積重量を 3kN/m^3 、短期的な大雪による積雪の単位体積重量を 1kN/m^3 と仮定し、建屋ごとに重量計算を行った上で付与

- Case1,2で各建物（小屋梁・垂木）の損傷確率を評価した後、Case2の垂木の損傷確率から建物倒壊リスク（高い、やや高い、やや低い、低い）を決定する。

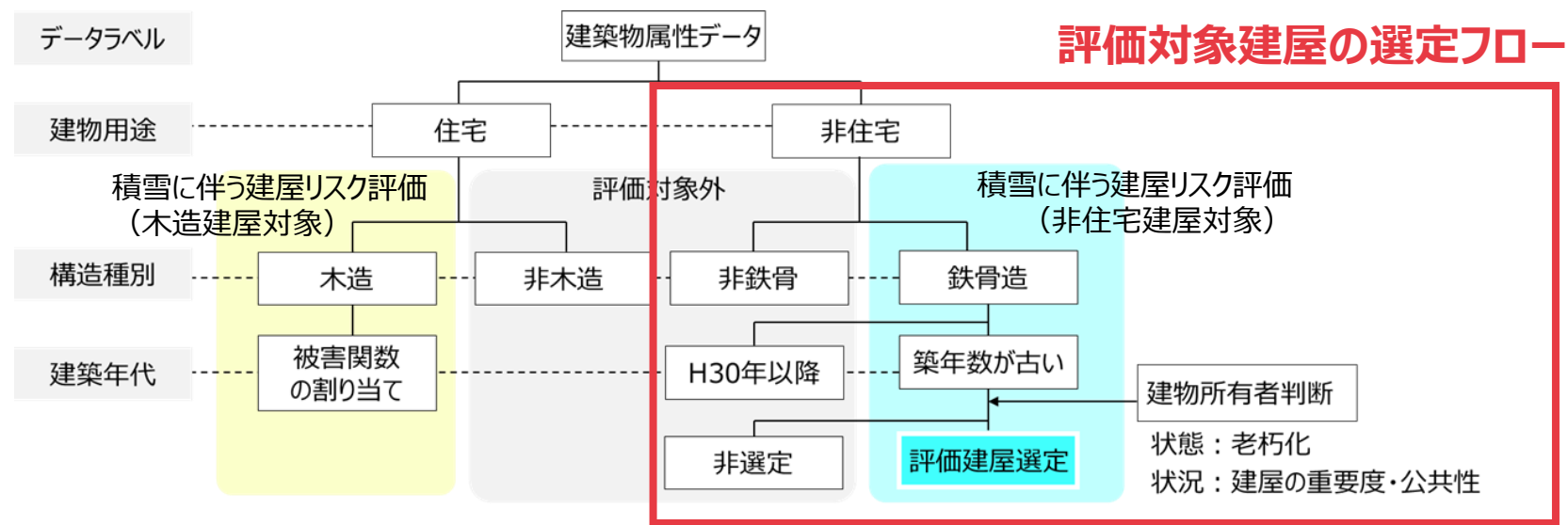
- この評価結果をSHPで出力する。



Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能 > 4.2 建屋リスク評価

④ 詳細評価 | 対象建屋の選定

- 非住宅建屋は構造的な特徴が建屋によって大きく異なるため、構造計算による詳細検討により積雪に伴う倒壊/損傷リスクを評価する必要がある。膨大な件数の非住宅建屋すべてを対象に詳細評価を行うことは不可能であるため、評価対象とする建屋を選定し、評価を実施した。
- 選定の方法は、CityGML属性情報から構造種別:鉄骨造、かつ建築年代:平成30年以前（平成31年に鉄骨造の積雪荷重についての告示改正が行われた）を抽出し、さらに建屋状態として老朽化が心配されるもの、使用状況として公共性が高いもの等を、自治体とも相談の上、優先度が高い建屋として選定した。
- 本実証では朝来市の提示により、朝来市内の代表的な公共施設 1 棟について、既存設計図面に基づき、安全性確認を実施した。

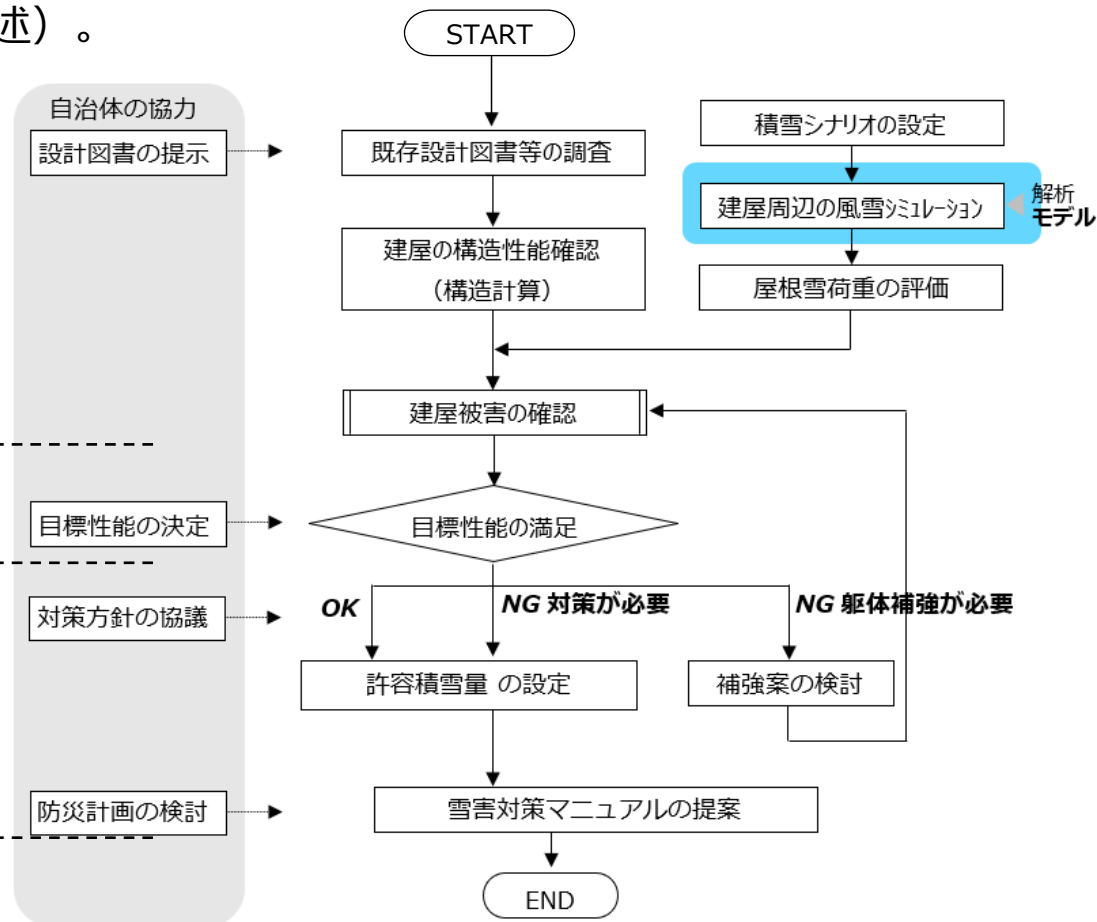


Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能 > 4.2 建屋リスク評価

④ 詳細評価

- 「構造計算を行って建屋の耐雪性能を評価する手法」（詳細評価）の概要を以下に示す。
- 詳細評価における対策（躯体補強等）要否の閾値は、所有者判断により設定する。
- 本実証では、「安全確保」ならびに「補修不要」を目標性能と設定した。よって、曲げモーメントの検定で検定値が1.0以下であること、撓みの検定で1/250以下であることを閾値とした（p57「5.アルゴリズム」にて詳述）。

- 対象建屋の設計図書を朝来市から入手
 - 設計図書より建屋の構造解析モデルを作成
 - 風雪・融雪シミュレーションより算出された「積雪シナリオ」荷重を構造解析モデルに入力し、静的応力解析を実施
-
- 主要構造部材等に対して許容応力度等確認を行い、部材損傷の恐れの有無を判断
 - 部材損傷による建物の継続使用や修繕に係るリスクを試算し、対策要否の閾値を設定
 - 構造計算の結果確認された建屋被害リスクと、対策要否の閾値を照らし合わせ、「積雪シナリオ」に対する事前対策が必要と判断される場合は、補強案を検討
-
- 補強案等を、建屋評価報告書としてまとめる。報告書内では雪害対策案についても提案



Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

4.3 雪下ろし優先度評価

- 地域の脆弱性評価（小地域の高齢化率、小地域の建物密集度による）と建屋リスク評価結果から、大雪援助隊の必要性について評価する。

機能名	インプットデータ (形式)	説明	アウトプットデータ (形式)
雪下ろし優先度評価	建屋倒壊リスク指標 (SHP形式)	地域の脆弱性評価と建屋リスク評価結果から、地域別の大雪援助隊の必要性について評価する	(建物毎) 地域の高齢化率 (SHP形式) 【p59で説明】
	小地域※高齢化率 (SHP形式)		(建物毎) 地域の建物密集度 (SHP形式) 【p60で説明】
	小地域※建物密集度 (SHP形式)		(建物毎) 大雪援助隊の必要性 (SHP形式) 【p61で説明】
	上記3つのデータ	建屋倒壊リスク指標、小地域高齢化率、小地域高齢化率を用いて、地域別の大雪援助隊必要性評価を行う（詳細は、アルゴリズムで説明）	地域別の必要性評価結果 (9段階) (SHP形式) 【p62で説明】

※小地域とは国勢調査の集計単位となっている地域一つ一つを指す。

Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能

4.3 雪下ろし優先度評価

- 大雪援助隊の派遣による雪下ろしの必要性が高いと考えられる状況を想定し、建屋倒壊リスクと地域の脆弱性の大きく2つの観点により大雪援助隊の必要性の評価を行った。

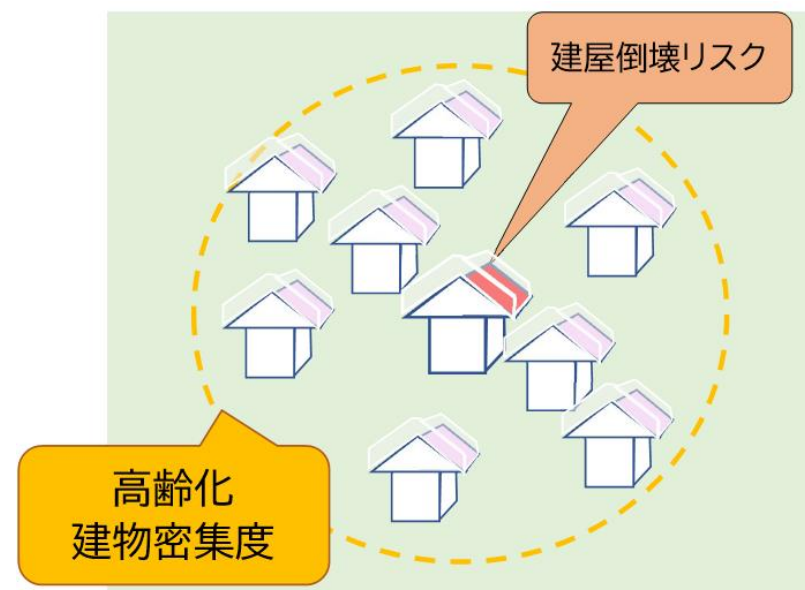
評価項目の設定内容

地域の脆弱性と建屋リスクの関係イメージ

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を実施されない（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



Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

4.4 道路除雪に関する評価

- 積雪量分布データと道路幅員、沿道建屋の立地状況をもとに、大雪時に閉塞リスクの高い道路を抽出する道路閉塞リスク評価と、道路閉塞リスク箇所の閉塞解消に要する時間を算定する排雪時間評価を行う。

機能名	インプットデータ (形式)	説明	アウトプットデータ (形式)
道路閉塞リスク評価	路線別積雪量 (SHP形式)	路線別積雪量、除雪対象路線データ、市道の道路構造データを統合し、路線ごとの道路閉塞リスクを評価（詳細は、「5. アルゴリズム」で説明）	道路閉塞リスク箇所 (SHP形式)
	市道データ (SHP形式)		
	除雪対象路線データ (PDF形式)		
	上記3つのデータ		
排雪時間評価	道路閉塞リスク箇所 (SHP形式)	道路閉塞リスク箇所の閉塞解消に要する時間を試算	排雪時間 (SHP形式)

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能 > 4.4 道路除雪に関する評価

道路閉塞リスク評価・排雪時間評価

- 風雪シミュレーション結果（路線別積雪量）と除雪対象路線の有無、沿道建屋の有無、道路幅員をインプットとして、QGISを用いて道路閉塞リスク評価を行い、道路閉塞リスク箇所を抽出した。評価方法は朝来市および除雪事業者ヒアリング結果より設定した。
- 道路閉塞リスク箇所について、路線別積雪量、道路幅員、道路延長を掛け合わせ総積雪量を算出し、排雪機材の作業効率（ $40\text{m}^3/\text{h}$ ）で割ることで、道路閉塞リスク箇所の排雪に要する時間を評価した。作業効率は除雪事業者ヒアリング結果より設定した。

道路閉塞リスク箇所の評価方法

インプットデータ	評価方法
除雪対象路線の有無	除雪対象路線は除雪が実施されるため、道路閉塞リスクなし
沿道建屋の有無	沿道両側に建屋がなければ、道路敷地外の田畑等へ除雪可能であり、道路閉塞リスクなし
道路幅員	道路幅員が5.5m以上であれば、道路用地内で雪を寄せることが可能であり、道路閉塞リスクはなし
路線別積雪量	積雪量が30cm以下であれば、除雪車による除雪や人力での対応が可能であるため、道路閉塞リスクはなし



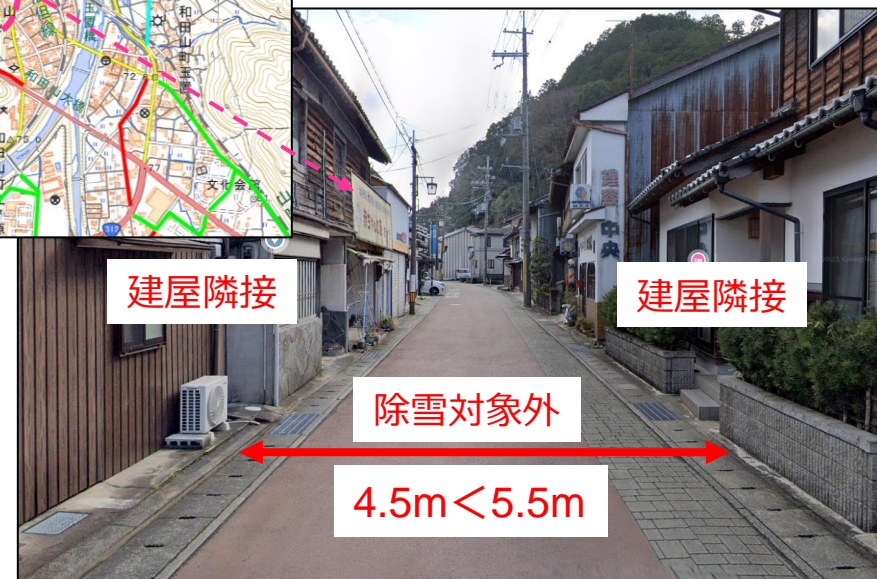
道路閉塞リスク箇所 = 除雪非対象、沿道両側に建屋あり、道路幅員5.5m未満
路線別積雪量30m以上、全ての条件に合致する箇所

道路閉塞リスク箇所イメージ



図 除雪対象路線図

出典：電子地形図25000（国土地理院）を加工して作成



Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能

4.5 可視化

- 3D都市モデルおよび各評価項目の評価結果をもとに、以下の項目について3次元可視化を行った。

開発機能一覧

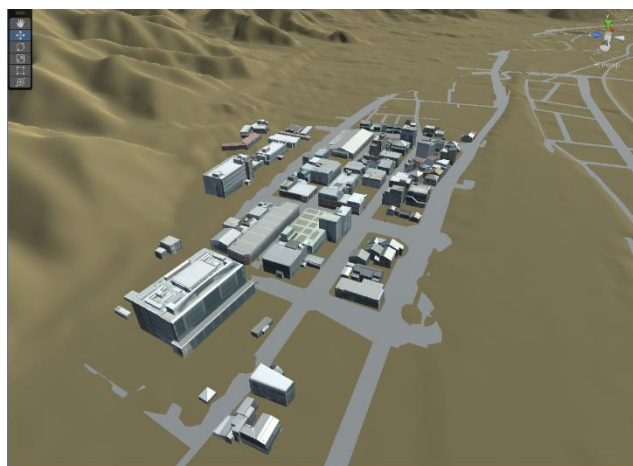
機能名	インプットデータ (データ形式)	処理内容	データ処理 ソフトウェア	アウトプットデータ (データ形式)
①3D都市モデル取り込み	建築物LOD1,LOD2データ、道路LOD1データ (fbx形式)	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを可視化するにあたって、建築物LOD1,LOD2データに加えて、道路LOD1データについてもUnityに取り込み、可視化を行った。 	Unity	—
②風雪・融雪シミュレーション結果表示	雪面の積雪深分布 (csv形式)	<ul style="list-style-type: none"> 風雪・融雪シミュレーション結果の可視化を、Case 2 [最悪のケース]を対象に行った。 	Unity	—
③建屋倒壊リスク表示	建屋倒壊リスク指標 (SHP形式)	<ul style="list-style-type: none"> Case2[最悪のケース]を対象とした建屋リスク評価結果の可視化を行った。 Case2の垂木の被害確率を、「建屋倒壊リスク」を示す指標として採用した。 	NetTopology Suite	—
④地域の高齢化率表示	(建物) 地域の高齢化率 (SHP形式)	<ul style="list-style-type: none"> 国勢調査ベースで町丁目・字別に整理した65歳以上人口の高齢化率について、建屋ごとに可視化を行った。 	NetTopology Suite	—
⑤地域の建物密集度(地域建蔽率)表示	(建物) 地域の建物密集度 (SHP形式)	<ul style="list-style-type: none"> 都市計画基本図をベースに算出された建物空間分布(地域建蔽率)について、コミュニティ強度を示す指標として建物ごとに可視化を行った。 	NetTopology Suite	—
⑥大雪援助隊の必要性表示	(建物) 大雪援助隊の必要性 (SHP形式)	<ul style="list-style-type: none"> 建屋倒壊リスク・地域の高齢化率・地域の建物密集度のリスク情報を総合し、大雪援助隊の必要性について建屋ごとに可視化を行った。 	NetTopology Suite	—

Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能 > 4.5 可視化

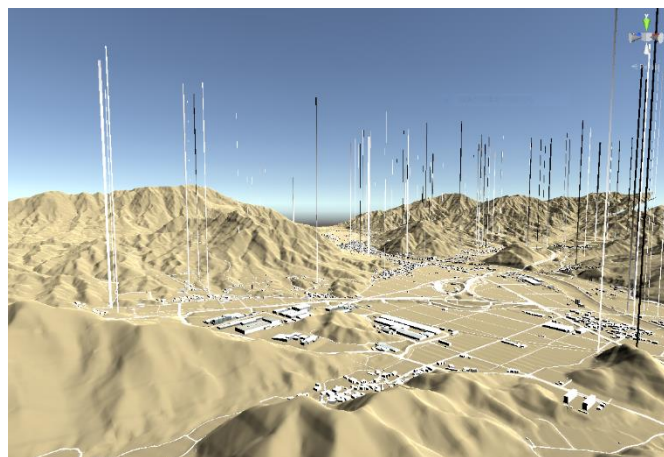
① 3D都市モデル取り込み

- 3D都市モデルを可視化するにあたって、建築物LOD1, LOD2データに加えて、道路LOD1データについてもUnityに取り込み、可視化を行った。
- 建築物LOD1、LOD2のCityGMLデータを、Unity上で可視化した。
- 道路LOD1データについては、Blenderを用いてtran※にz座標を付与。地表面に沿った道路データとしてUnity上に3次元可視化を行った(下図参照)。

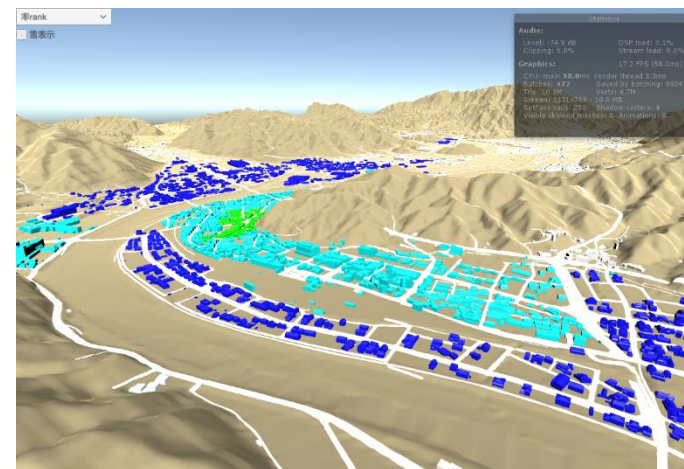
※tranは空間の定義のうち交通を意味する名前。



道路LOD1への高さ情報付与前



道路LOD1への高さ情報付与後
(アーティファクト除去前)



道路LOD1への高さ情報付与後
(アーティファクト除去後)

図 道路LOD1データへの高さ情報付与のフロー

Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能 > 4.5 可視化

② 風雪・融雪シミュレーション結果表示

- 風雪・融雪シミュレーション結果の可視化を、Case 2 [最悪のケース]を対象に行った。

風雪・融雪シミュレーション結果の3D可視化フロー

積雪シミュレーション
結果の読み込み

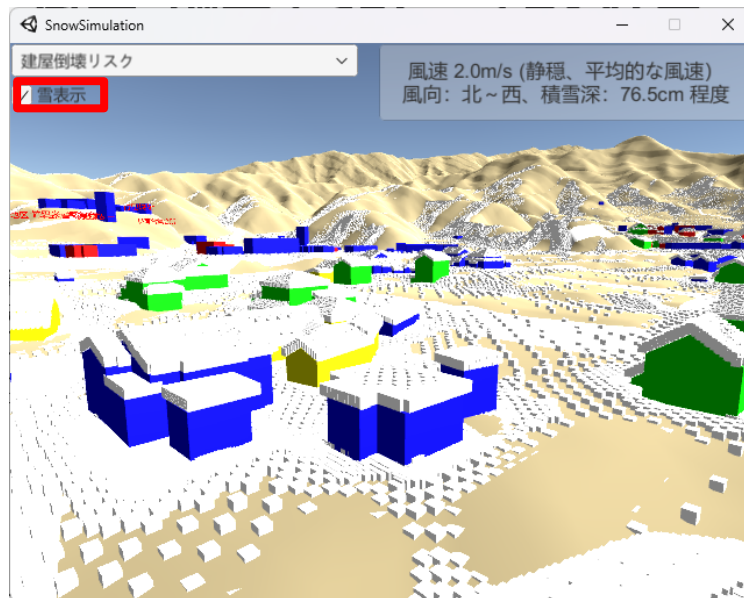
- シミュレーション結果である、メッシュ単位の積雪深(csv)をUnity上で読み込み

ビルド

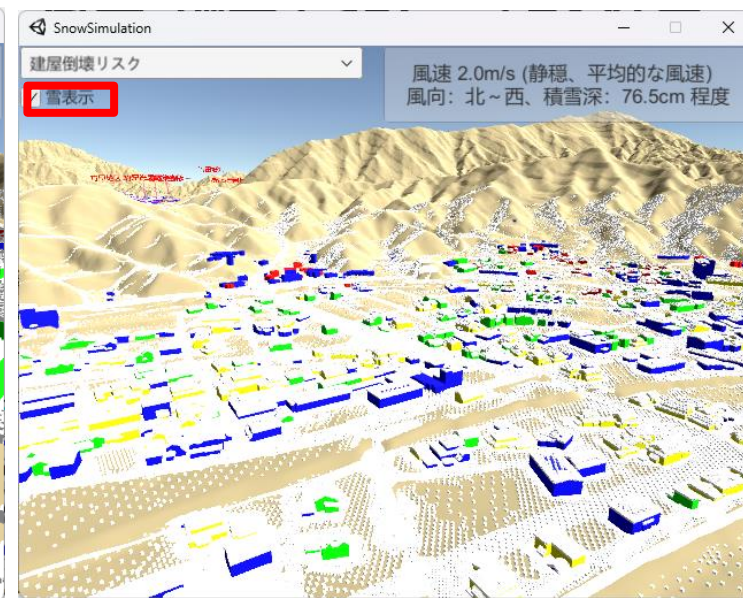
- File>Build Settings>Buildで、シミュレーション結果を取り込んだ3D可視化ツールとして、Unityでビルドする

データの確認

- ビルドした3D可視化ツールの「雪表示」機能(右図赤枠)を利用して、シミュレーション結果を確認する



狭域(ズームイン)



俯瞰視点(ズームアウト)

図 風雪・融雪シミュレーション結果_Unityビルドアプリ上の表示画面

積雪状況を表示しつつ、建屋リスク評価・雪下ろし優先度評価の結果（建屋ごとに色付け）を視認できるように、雪を立方体で表示することにより、建屋のカラーリングも確認できるようにした

Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能 > 4.5 可視化

③ 建屋倒壊リスク表示

- Case2[最悪のケース]を対象とした建屋リスク評価結果の可視化を行った。
- Case2の垂木の被害確率を、「建屋倒壊リスク」を示す指標として採用した。

建屋リスク評価結果の3D可視化フロー

建屋リスク評価
結果の読み込み

- 建屋リスク評価結果(SHP)を、インポート(NetTopologySuite)を介してUnity上で読み込み

ビルド

- File> Build Settings>Buildで、シミュレーション結果を取り込んだ3D可視化ツールとして、Unityでビルドする

データの確認

- ビルドした3D可視化ツールの「評価結果表示プルダウン」(右図赤枠)にて「建屋倒壊リスク」を選択し、評価結果を確認する

表 凡例

プルダウンで選択可能な評価結果	建屋の色	カラーリングの定義
建屋倒壊リスク (Case2の垂木の被害確率)	4	高い (40%以上)
	3	やや高い (30%以上)
	2	やや低い (20%以上)
	1	低い (20%未満)
	0	対象外

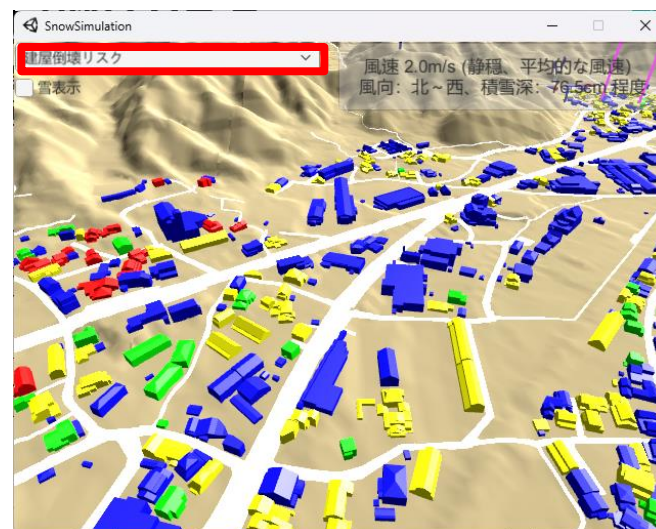


図 建屋倒壊リスク_Unityビルドアプリ上の表示画面

※建屋への着色はイメージであり、実際の建屋の評価を示すものではありません。

Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能 > 4.5 可視化

④ 地域の高齢化率表示

- 国勢調査ベースで町丁目・字別に整理した65歳以上人口の高齢化率について、建屋ごとに可視化を行った。

地域の高齢化率の3D可視化フロー

地域の高齢化率の整理結果の読み込み

- 地域高齢化率の整理結果を建屋ごとにフラグ付けしたSHPファイルを、インポータ(NetTopologySuite)を介してUnity上で読み込み

ビルド

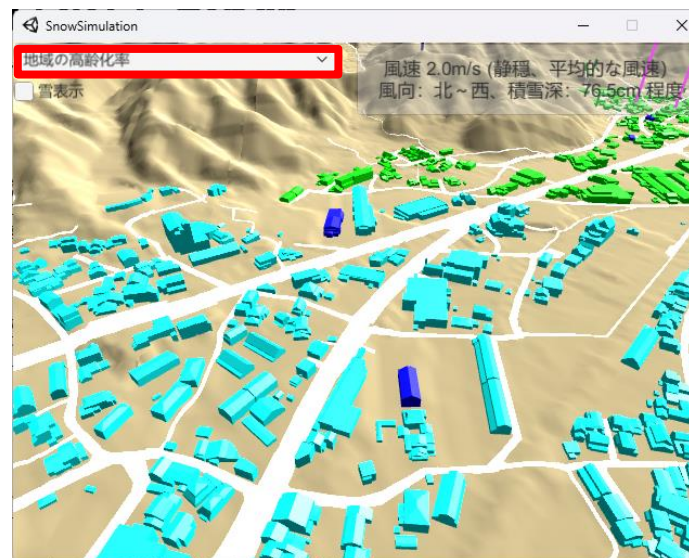
- File>Build Settings>Buildで、シミュレーション結果を取り込んだ3D可視化ツールとして、Unityでビルドする

データの確認

- ビルドした3D可視化ツールの「評価結果表示プルダウン」(右図赤枠)にて「建屋倒壊リスク」を選択し、評価結果を確認する

表 凡例

プルダウンで選択可能な評価結果	建屋の色	カラーリングの定義
地域の高齢化率	3	高 (50%以上)
	2	中 (25%以上)
	1	低 (25%未満)
	0	対象外



※建屋への着色はイメージであり、実際の建屋の評価を示すものではありません。

図 地域の高齢化率_Unityビルドアプリ上の表示画面

Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能 > 4.5 可視化

⑤ 地域の建物密集度(地域建蔽率)表示

- 都市計画基本図をベースに算出された建物空間分布（地域建蔽率）について、コミュニティ強度を示す指標として建物ごとに可視化を行った。

地域の建物密集度(地域建蔽率)の3D可視化フロー

地域の建物密集度
整理結果の
読み込み

- 地域の建物密集度(地域建蔽率)の整理結果を建屋ごとにフラグ付けしたSHPファイルを、インポータ(NetTopologySuite)を介してUnity上で読み込み

ビルド

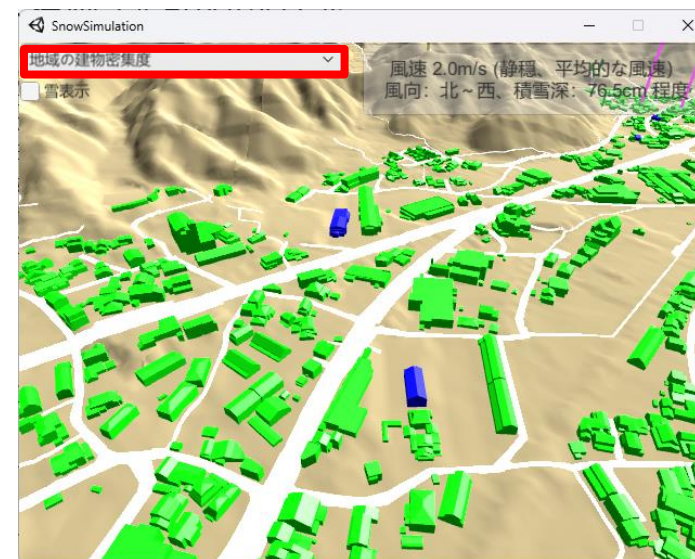
- File>Build Settings>Buildで、シミュレーション結果を取り込んだ3D可視化ツールとして、Unityでビルドする

データの確認

- ビルドした3D可視化ツールの「評価結果表示プルダウン」(右図赤枠)にて「地域の建物密集度」を選択し、評価結果を確認する

表 凡例

プルダウンで選択可能な評価結果	建屋の色	カラーリングの定義
地域の建物密集度 (地域建蔽率)	3	低 (10%未満)
	2	中 (10%以上)
	1	高 (25%以上)
	0	対象外



※建屋への着色はイメージであり、実際の建屋の評価を示すものではありません。

図 地域の建物密集度_Unityビルドアプリ上の表示画面

Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能 > 4.5 可視化

⑥大雪援助隊の必要性表示

- 建屋倒壊リスク・地域の高齢化率・地域の建物密集度のリスク情報を総合し、大雪援助隊の必要性について建屋ごとに可視化を行った。

大雪援助隊の必要性の3D可視化フロー

大雪援助隊の必要性
整理結果の
読み込み

- 建屋倒壊リスク・地域の高齢化率・地域の建物密集度のリスク情報について、総合的に評価した結果を建屋ごとにフラグ付けしたSHPファイルを、インポータ (NetTopologySuite) を介してUnity上で読み込み

ビルド

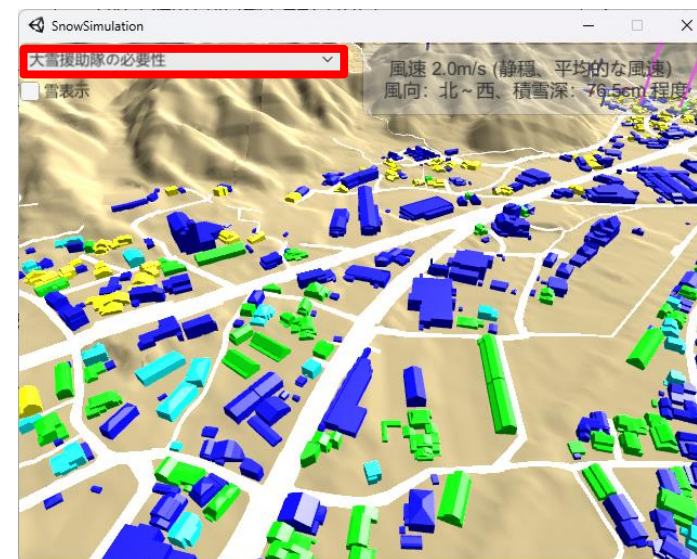
- File>Build Settings>Buildで、シミュレーション結果を取り込んだ3D可視化ツールとして、Unityでビルドする

データの確認

- ビルドした3D可視化ツールの「評価結果表示プルダウン」(右図赤枠)にて「大雪援助隊の必要性」を選択し、評価結果を確認する

表 凡例

プルダウンで選択可能な評価結果	建屋の色	カラーリングの定義
大雪援助隊の必要性	高い	-
	やや高い	
	やや低い	
	低い	
	対象外	



※建屋への着色はイメージであり、実際の建屋の評価を示すものではありません。

図 大雪援助隊の必要性_Unityビルドアプリ上の表示画面

Ⅲ. 実証システム > 4.システム機能 > 4.5 可視化 (参考) 朝来市の要望による追加機能

- 朝来市からの要望により、「雪表示」「Point of Interest」「風雪シナリオ(Case2)の諸元表示」の3機能を、Unityビルドアプリに追加した。

- 「雪表示」機能(下図赤枠)

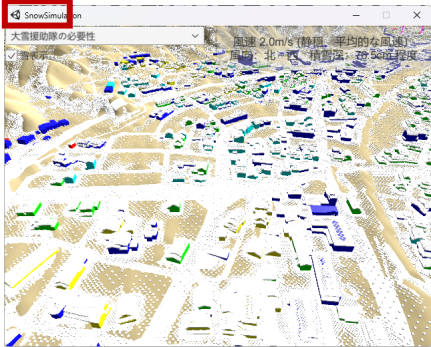


図 「雪表示」チェックをONにした状態

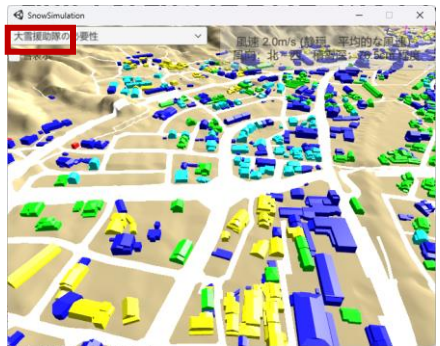


図 「雪表示」チェックをOFFにした状態

- 建屋ごとの評価結果の視認性を向上させるため、「雪表示」チェックボックスを作成。
- 「雪表示」チェックをOFFにすることで、積雪状態を表示せず、評価結果のみ確認することを可能とした。

- Point of Interest(POI: 下図赤枠)表示およびPOIズームイン

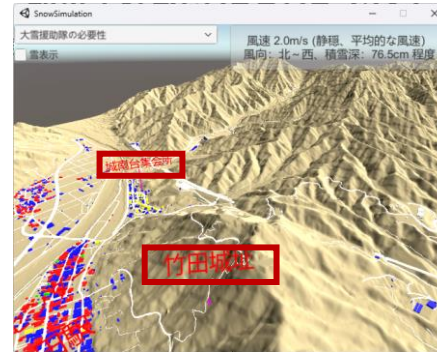


図 POIの例
POIダブルクリックで
施設にズームイン

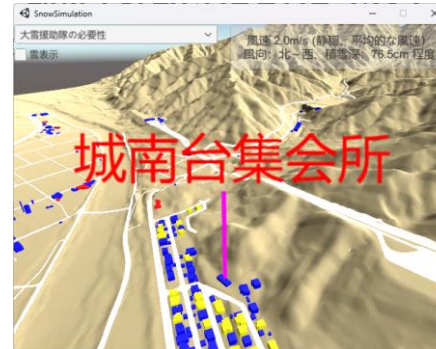


図 POIにズームインした例

- 評価結果や積雪状況を確認したいエリアへのアクセス性向上を目的として、市役所及び公的集会施設・竹田城・駅にPOIを付加した。
- POIダブルクリックで対象施設にズームインできる機能を追加した。

- 風雪シミュレーションシナリオ(Case2)の諸元表示(下図赤枠)

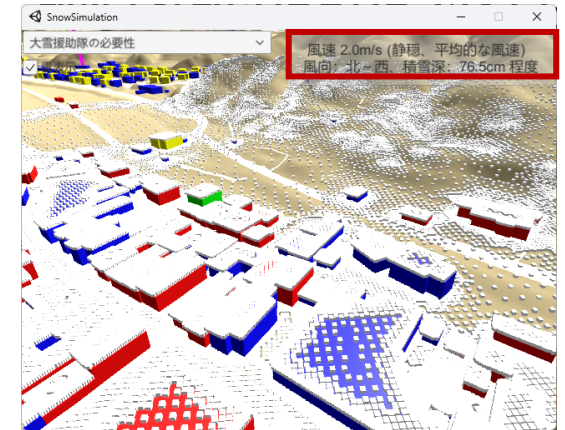


図 風雪シミュレーションシナリオの諸元表示

- アプリ操作者が風雪・融雪シミュレーション結果をリアリティを伴ってイメージできるよう、可視化されたシミュレーション結果の前提条件(風速・風向・想定される積雪深)が、画面上に常時表示されるようにした。

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム > 5.1 風雪・融雪シミュレーション 気流解析

- OpenFOAMのソルバーrhoSimpleFoamを用いた乱流のk-εモデルによる定常流の気流解析を実施した。

◆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

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

ρ: 密度、u: 速度、p: 圧力、R_{vis}・R_{tur}: 粘性・乱流の項、h: エンタルピー、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

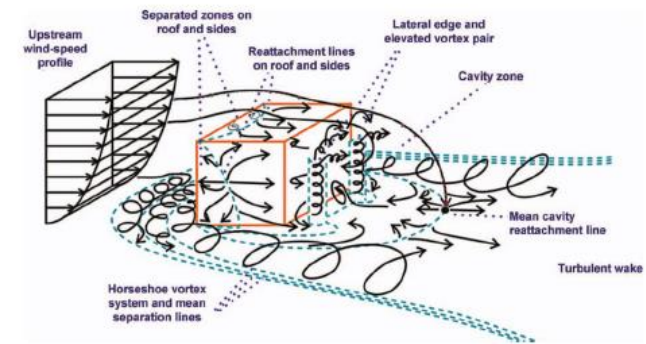
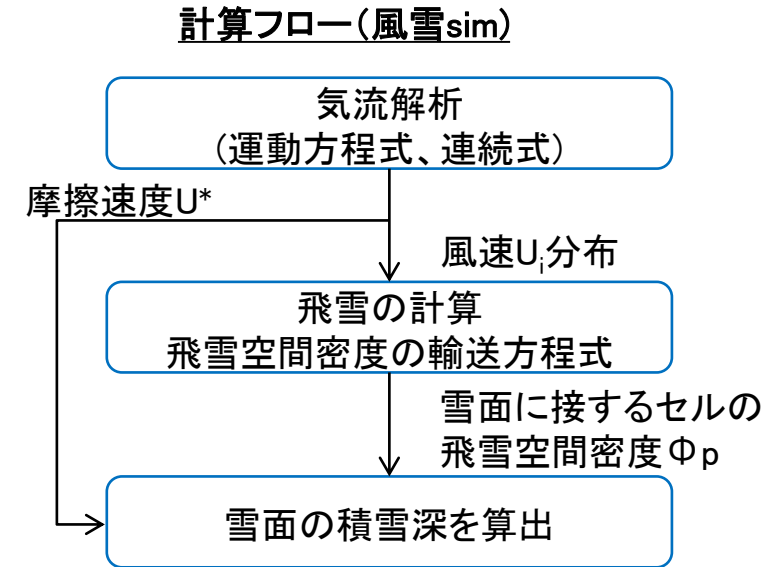
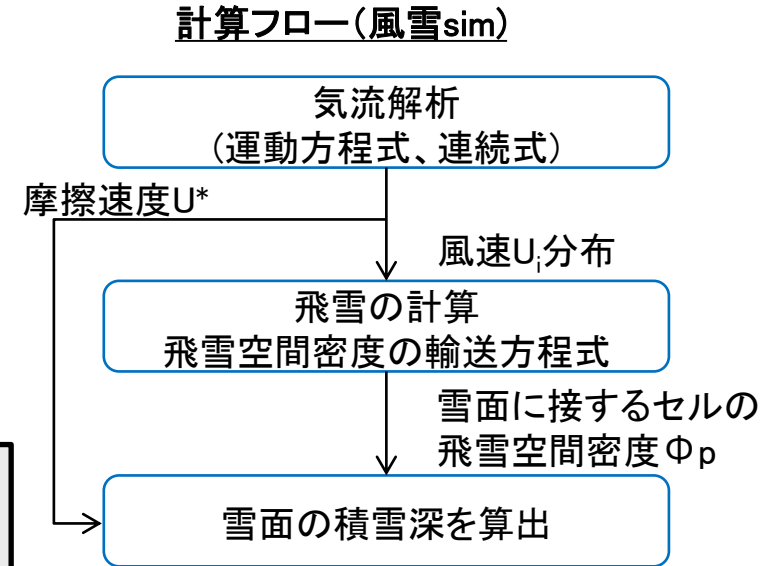


図 単独の低層建物周辺流れ
(Blockenet et al., 2011; modified from Hunt et al., 1978).

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム > 5.1 風雪・融雪シミュレーション

飛雪空間密度Φの輸送方程式

- ソルバー-snowFoamにより飛雪と積雪の計算を実施した。
- 飛雪は、雪粒子の移動形態である浮遊を対象にセル内に含まれる飛雪空間密度の輸送方程式、積雪は、雪面近傍の堆積・侵食フラックスにより算出した。



◆ 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・侵食、積雪深の計算

- 雪面における堆積フラックス q_{dep} [kg/m^2s]

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

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

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

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_*' : 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

$$h = \frac{q_{total} \times T}{\rho_s}$$

T : 経過時間(s)

ρ_s : 積雪密度(kg/m^3)

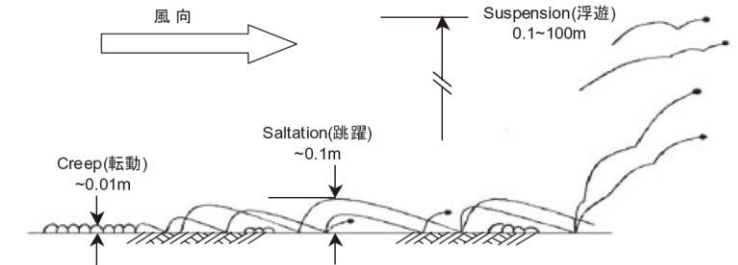


図 雪粒子の移動形態
(富永ら, 2009; 雪面の侵食・堆積のモデル化に関する基礎検討)

※飛雪空間密度: 微小空間内に存在する飛雪量

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム > 5.1 風雪・融雪シミュレーション

融雪シミュレーション

- ソルバー-snowMeltにより融雪シミュレーションを実施した。融雪は、雪面の熱収支により算出される融雪エネルギーより算出した。

$$M = R \downarrow - L \uparrow - H - IE$$

- ここに、
- M : 融雪エネルギー[W/m²]
 - ①R↓ : 入射放射量[W/m²]
 - ②L↑ : 上向き長波放射量[W/m²]
 - ③H : 顕熱輸送量[W/m²]
 - ④IE : 潜熱輸送量[W/m²]

融雪エネルギー値の積雪深への換算

$$\Delta h = \frac{M \times 3600}{\rho_s + I_c}$$

Ps : 雪密度[kg/m³]、Ic : 氷の融解熱 (3.34×10⁵[J/kg])

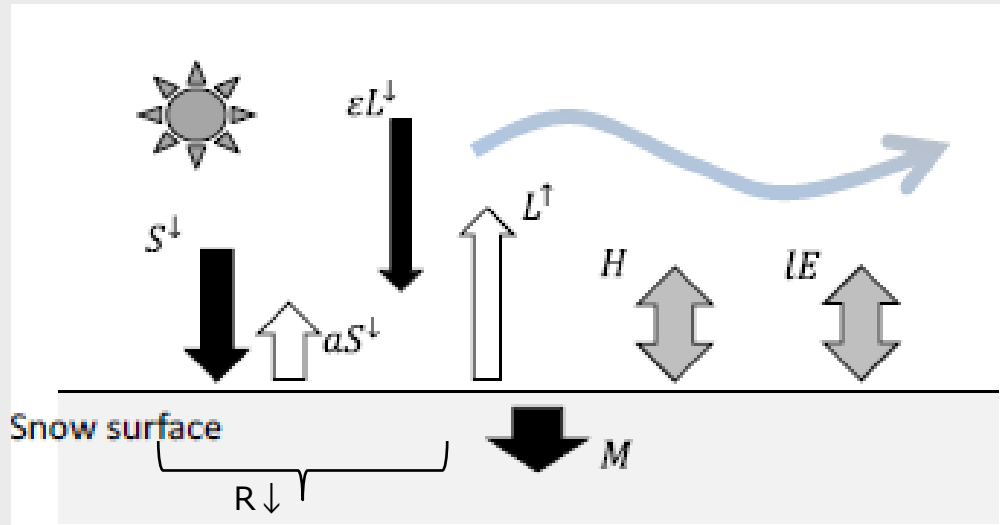


図 積雪面における熱収支図

① 入力放射量R[↓] [W/m²]

$$R^{\downarrow} = (1 - \alpha)S^{\downarrow} + \epsilon L^{\downarrow}$$

α : アルベド

S[↓] : 全天日射量[W/m²]

L[↓] : 大気放射量[W/m²]

ε : 積雪の射出率 (本研究では 1.0 とした)

② 上向き長波放射量L[↑] [W/m²]

$$L^{\uparrow} = \epsilon \sigma T_s^4$$

σ : ステファン・ボルツマン定数[W/m²/K⁴]

T_s : 積雪表面温度[K]

③ 顕熱輸送量H [W/m²]

$$H = C_p \rho C_H U (T_s - T)$$

C_p : 空気の比熱[J/kg/K]

ρ : 空気の密度[kg/m³]^(注2)

C_H : 顕熱輸送のバルク輸送係数 (本研究では 0.002 とした)

U : 高度 1.0m での風速[m/s]

T : 気温[K]

④ 潜熱輸送量IE [W/m²]

$$IE = l \rho C_E U [(1 - rh) q_{sat}(T) + \Delta \cdot (T_s - T)]$$

l : 氷の昇華の潜熱または水の気化の潜熱[J/kg]

C_E : 潜熱輸送のバルク輸送係数 (本研究では 0.002 とした)

rh : 相対湿度

ρ_v(T) : 気温に対する飽和比湿 [kg/kg]^(注4)

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

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム > 5.1 風雪・融雪シミュレーション

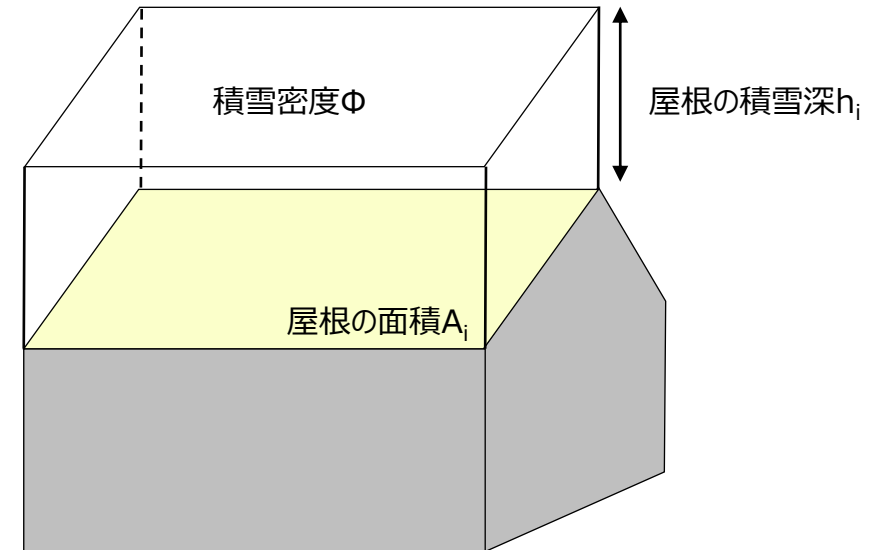
屋根毎積雪重量の算定

- 風雪・融雪シミュレーション結果により得られた積雪深、3D都市モデルの屋根の面積、積雪密度をもとに、QGISで建物ごとに屋根別積雪重量を算定した。

データ処理方法

データ処理内容	処理内容	データ処理ソフトウェア
積雪重量の算出	<ul style="list-style-type: none"> 積雪深、積雪密度、屋根面積から積雪重量を算出 積雪密度は、新雪1kN/m^3、締雪3kN/m^3と仮定 	QGIS

データ処理の状況



$$\text{積雪重量 } M_i = \text{積雪深 } h_i \times \text{面積 } A_i \times \text{積雪密度 } \phi$$

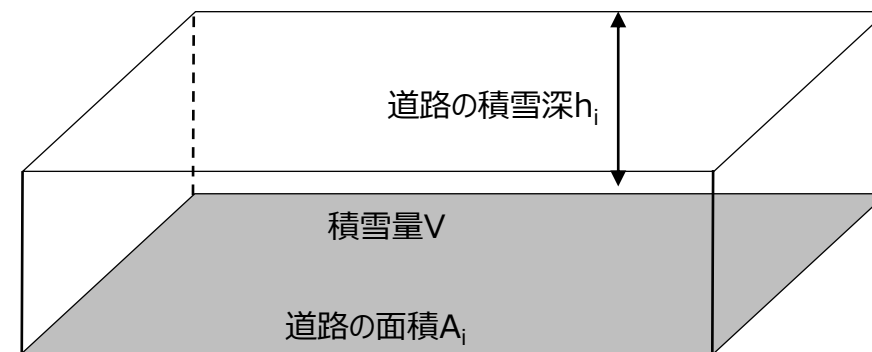
Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム > 5.1 風雪・融雪シミュレーション 路線別積雪量の算定

- 風雪・融雪シミュレーション結果により得られた積雪深、3D都市モデルの道路の面積、積雪密度をもとに、QGISで路線別積雪量を算定した。

データ処理方法

データ処理の状況

データ処理内容	処理内容	データ処理ソフトウェア
路線別積雪量の算出	<ul style="list-style-type: none"> 道路テクスチャに囲まれる積雪深（メッシュ）の平均値を算出 道路テクスチャの面積を乗じて、積雪量を算定 	QGIS



$$\text{積雪量}V_i = \text{積雪深}h_i \times \text{面積}A_i$$

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム > 5.2 建屋リスク評価 マクロ評価

- 木造建屋を対象とした「積雪に伴う建屋リスク評価」（マクロ評価）において、建屋損壊/倒壊リスク指標算出に用いたアルゴリズム（被害率曲線）を、以下に示す。
 - 積雪に伴う建屋被害の簡易評価手法として、累積対数正規分布で定義されている**屋根雪深さによる小屋梁、垂木の被害関数（千葉・他,2015*1）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。
 - 本実証では、上述の既往研究に示された被害関数のうち、**最も建屋損壊確率が高く評価されることが想定される、「屋根雪深さと垂木-雪庇30cmの損傷確率」の被害率曲線(図3)を採用した。**

被害関数

$$P(x) = \Phi\{(\ln x - \ln \lambda) / \zeta\}$$

$P(x)$: 損壊確率
 x : 屋根雪の深さ(m)
 λ : 平均
 ζ : 対数標準偏差

表 垂木-雪庇30cmの被害関数パラメータ

建築年	平均λ	対数標準偏差ζ
1999年以前	1.16	0.80
2000年以降	1.42	0.65

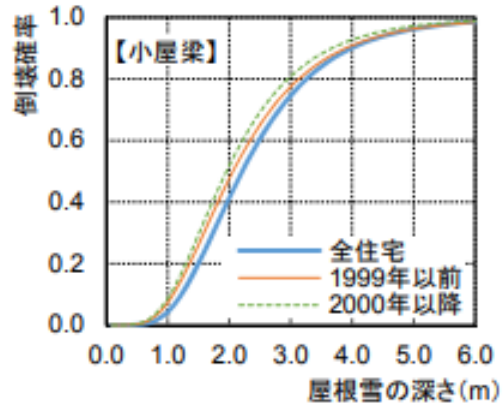


図 被害率曲線①
(屋根雪深さ 小屋梁の倒壊確率)

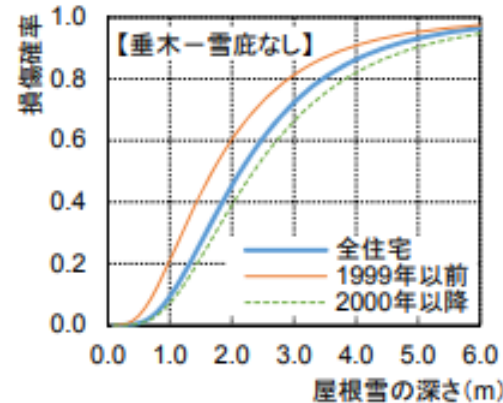


図 被害率曲線②
(屋根雪深さと垂木-雪庇なしの損傷確率)

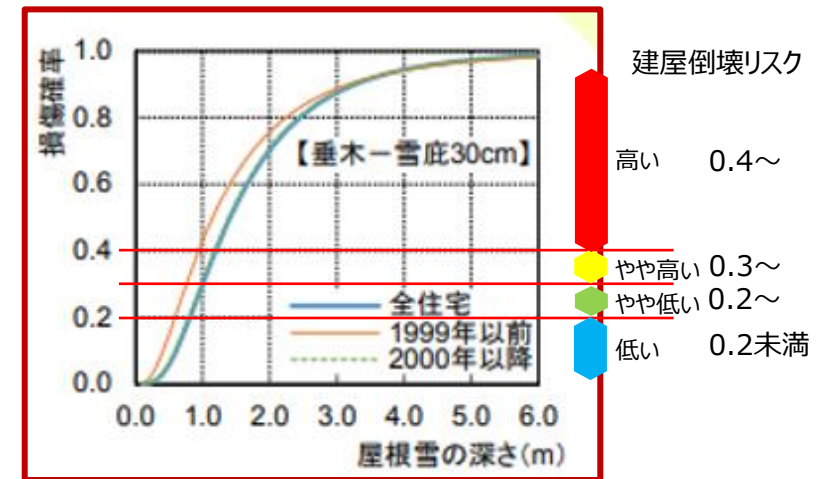
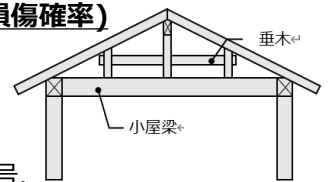


図 被害率曲線③
(屋根雪深さと垂木-雪庇30cmの損傷確率)

- 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.

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム > 5.2 建屋リスク評価 詳細評価

- 非住宅建屋を対象とした「積雪に伴う建屋リスク評価」（詳細評価）において、構造性能評価に用いたアルゴリズム（目標性能の設定例、屋根部材の安全性確認の方法）を、以下に示す。
 - 積雪予測（積雪シナリオ）と建屋の構造性能を把握する。これらの与条件から建屋被害の可能性を検証するとともに建屋の目標性能を定め、性能が満足しない場合には対策案を提案・協議する。
 - 朝来市内に実在する建屋の代表例として、特定の某公共既設一棟を取り上げ、一連の構造評価を実施する。

建屋の雪害リスク判定のパラメーター例			
所有者判断	外力の設定	建屋の性能	
目標性能※	積雪シナリオ	建屋被害	
・安全確保 ・補修不要 など	積雪荷重が大	甚大	屋根崩落・倒壊
	↑	↑	躯体損傷
			屋根材の損傷
小	—	無損傷	

事前対策

- ・躯体補強
- ・融雪設備の整備

豪雪時対応マニュアル

- ・雪下ろし判断与件
- ・建屋点検

※被害の指標・定量的な目安

安全確保：屋根が崩落しない、建物形状が変わらない（1/100 以下）

補修不要：雨漏り等が生じない、設備配管等の損傷がない

図 目標性能の設定例

屋根部材の安全性確認の方法

① 梁部材の曲げモーメントの検定

短期許容曲げ応力度に対する曲げ応力度（検定比）が1.0以下であることを確認する。

- ・ $\sigma_b / f_b \leq 1.0$
- ・ $\sigma_b = M / Z$

f_b : 許容曲げ応力度
 σ_b : 曲げ応力度
 M : 設計用曲げモーメント
 Z : 梁材の断面係数

② たわみの検定

- ・ $\delta / L \leq 1 / 250$
- ・ $\delta = \{5M_0 / (48EI)\} L^2 - \{(ML + MR) / 16EI\}$

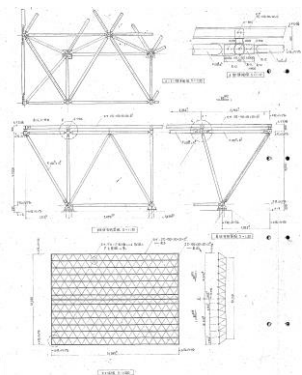
δ : 弾性たわみ
 L : 梁の有効長さ
 M_0 : 単純梁としたときの中央曲げモーメント
 ML, MR : 左端, 右端の長期の設計用曲げモーメント
 中央M : 長期の荷重による中央の曲げモーメント
 I : 中央のIで, 剛性計算条件によります。
 E : ヤング係数

図 屋根部材の安全性確認の方法

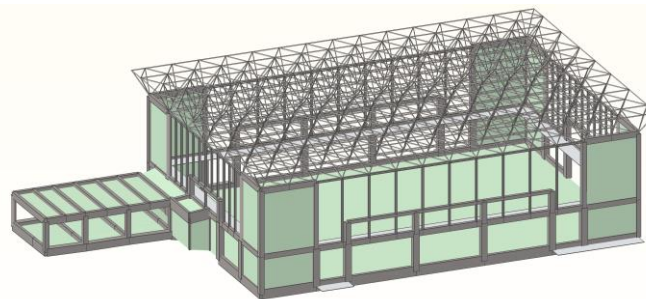
Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム > 5.2 建屋リスク評価 詳細評価

- 非住宅建屋を対象とした「積雪に伴う建屋リスク評価」（詳細評価）では、建物性状の調査・復元、応力解析、補強設計事例の提示を行った。
 - 朝来市内の代表的な公共施設 1 棟について、既存設計図面に基づき、屋根雪に対する安全性確認を実施した。
 - 当該建屋は、**想定シナリオ（最悪シナリオや積雪偏在）に対して十分に安全であること（損傷確率は1%未満）を確認した。**
 - 一般に被害リスクが高いとされている鉄骨造大スパン屋根架構の補強設計事例を示し、安全性の検討フローを示した。

建物性状の
調査・復元

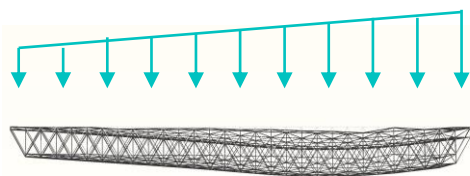


既存設計図面

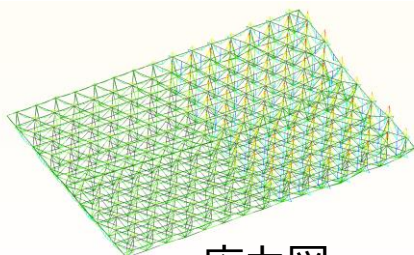


既存設計図面より復元した構造モデル

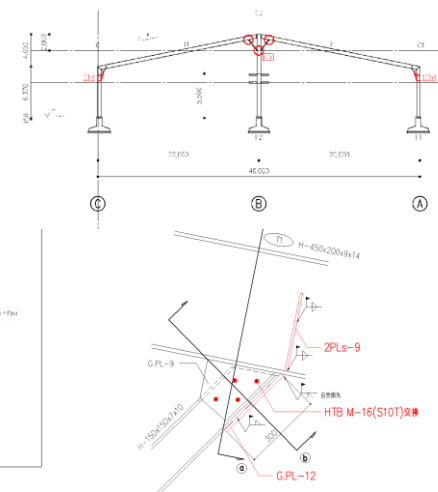
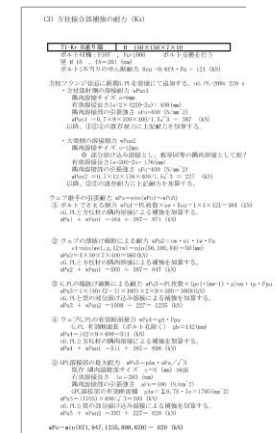
応力解析



屋根雪偏在時の屋根架構の変形図



応力図



鉄骨造大スパン屋根架構の補強設計例

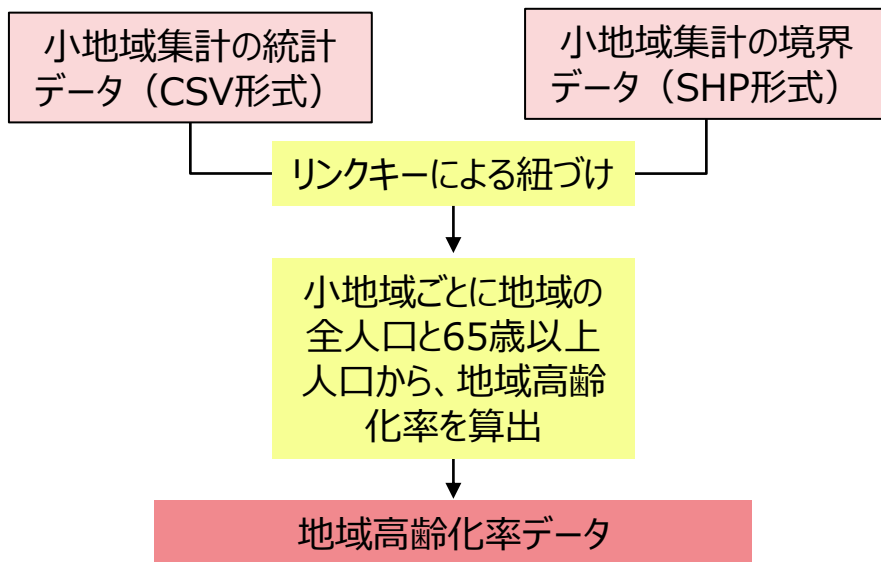
検討の結果、
積雪荷重に対して十分な
安全性を有することを確認

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム > 5.3 雪下ろし優先度評価 (建物毎) 地域の高齢化率データ (SHP形式) の作成

- 小地域集計の境界データ (SHP形式) と統計データ (CSV形式) をリンクキーによって紐づけし、小地域ごとの全人口と65歳以上人口から地域高齢化率を算出することで、地域高齢化率データを作成した。

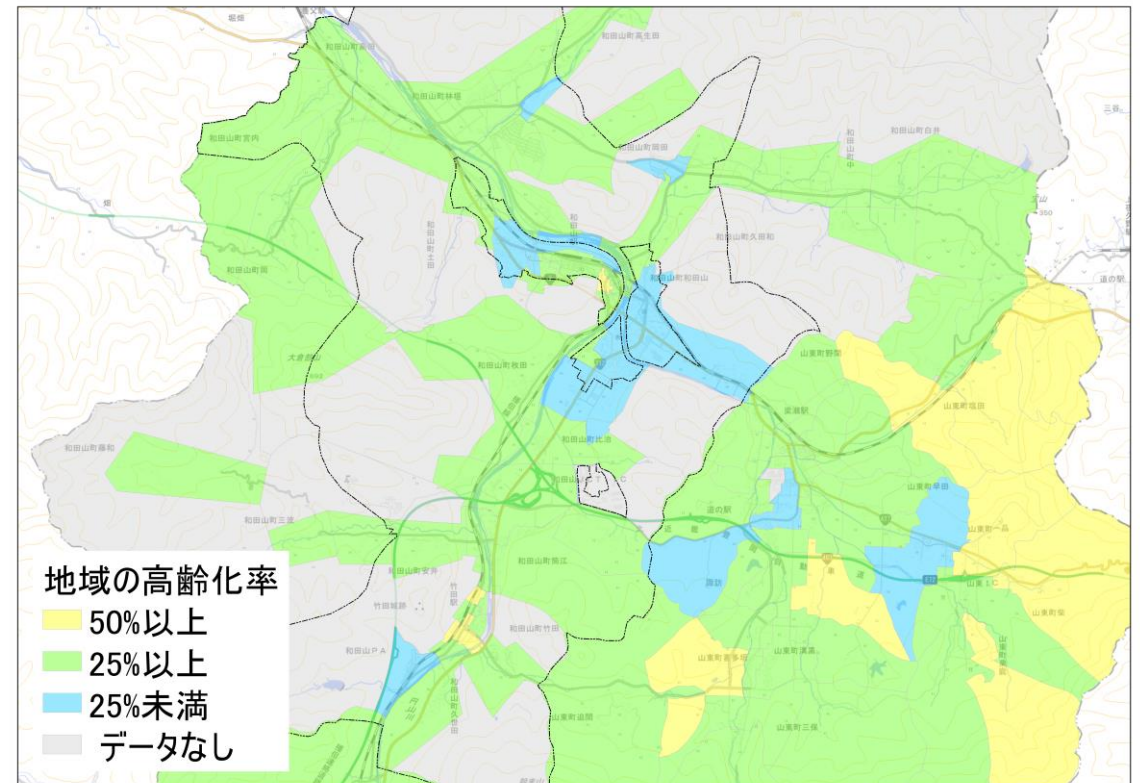
データ作成方法

地域高齢化率データのイメージ



使用データ

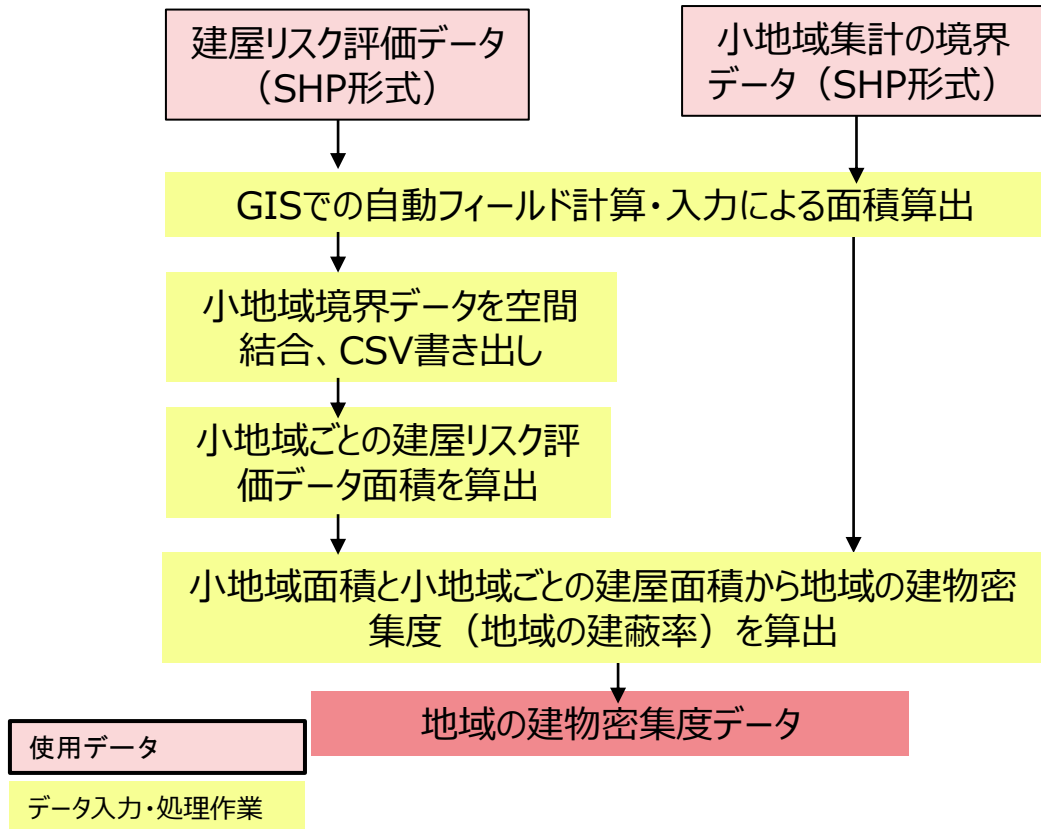
データ入力・処理作業



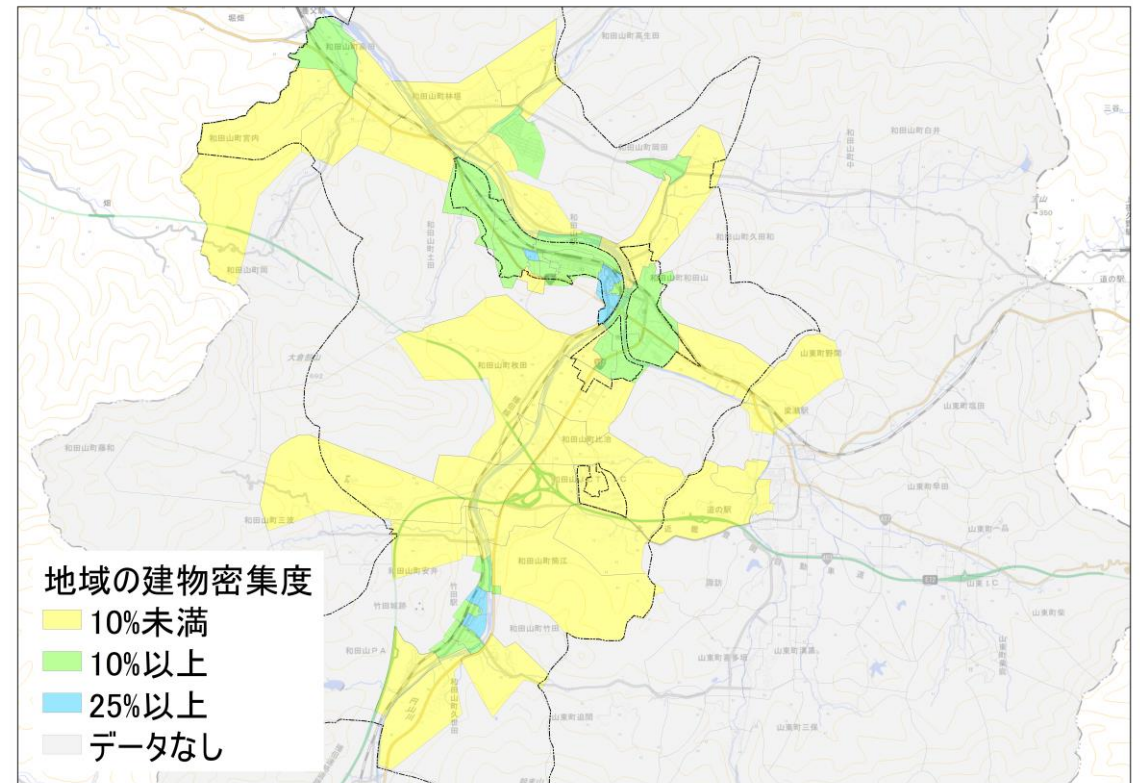
Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム > 5.3 雪下ろし優先度評価 (建物毎) 地域の建物密集度データ (SHP形式) の作成

- 建屋リスク評価データ (SHP形式) から建屋面積を算出し小地域ごとに集計するとともに、小地域集計の境界データ (SHP形式) の面積を算出し、これらの結果を用いて地域の建物密集度 (地域の建蔽率) を算出することで、地域の建物密集度データを作成した。

データ作成方法



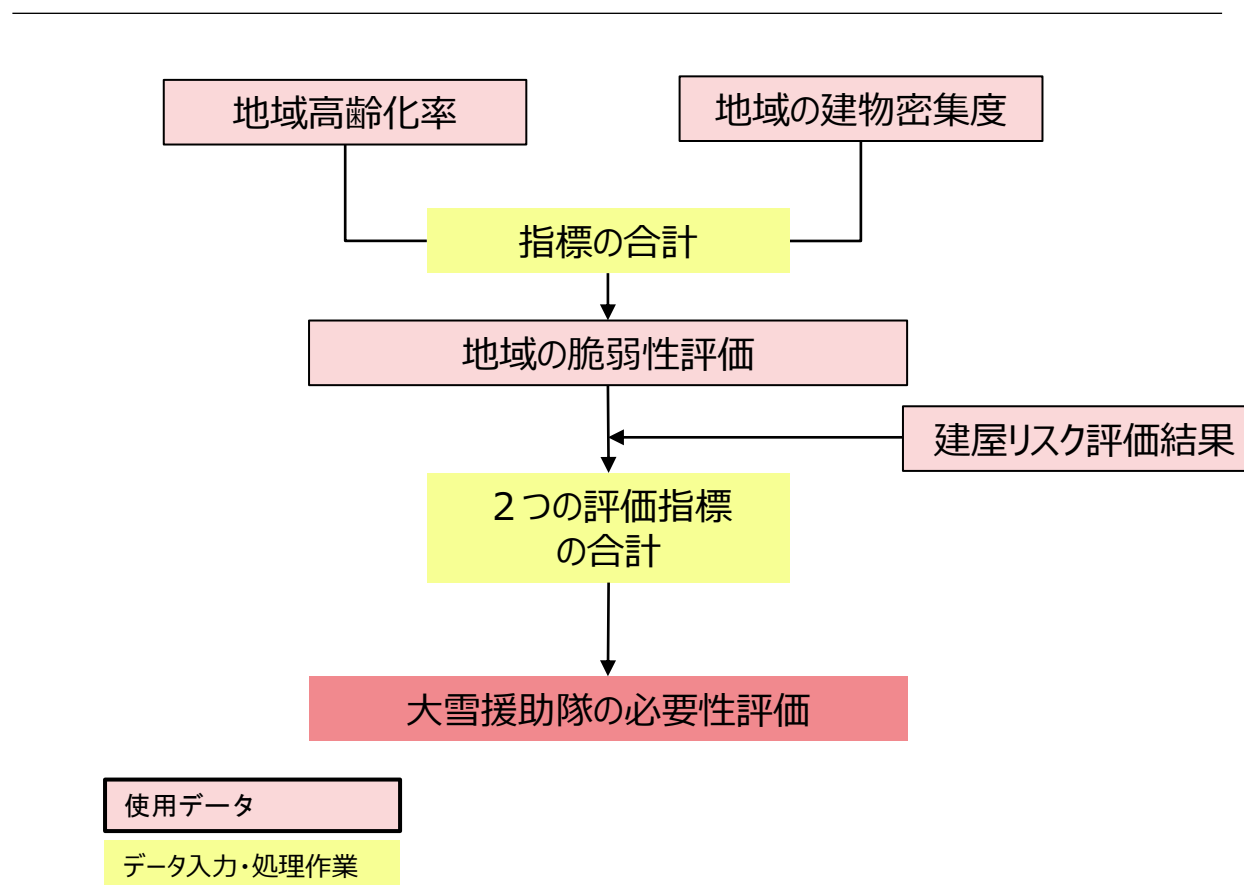
地域の建物密集度データのイメージ



Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム > 5.3 雪下ろし優先度評価 (建物毎) 大雪援助隊の必要性評価

- 地域高齢化率と地域の建物密集度の指標を合計し、地域の脆弱性の評価を行った。さらに、地域の脆弱性評価の結果に建屋リスク評価結果を合計することで、大雪援助隊の必要性評価を行った。

評価指標の計算手順

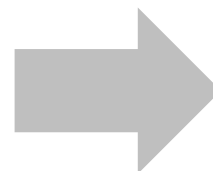


Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム > 5.3 雪下ろし優先度評価 (建物毎) 大雪援助隊の必要性評価

- 大雪援助隊は構成員が限定的であり、全ての地域に対して派遣することが困難であると想定される。そこで、大雪援助隊の必要性が相対的に高い地域を抽出するため、積雪荷重による建屋倒壊リスク及び地域の脆弱性の各項目を合計し、大雪援助隊の必要性評価の指標を整理した。
- なお、評価方法については、香川大学創造工学部 竹之内先生より、指標基準について実用性や地域性を考慮した議論を将来的に進める必要はあるが、活用可能データが限定的な評価手法としては有効性があると確認いただいた。

評価項目と評価指標

評価項目		評価指標	
積雪荷重による建屋倒壊リスク		4 : 高い 2 : やや低い 0 : 対象外 (詳細データ不足)	3 : やや高い 1 : 低い
脆弱性の	地域の高齢化率	3 : 50%以上 1 : 25%未満	2 : 25%以上 0 : データ不足
	地域の建物密集度	3 : 10%未満 1 : 25%以上	2 : 10%以上 0 : データ不足

 各項目の
合計


評価の具体的な内容

大雪援助隊の必要性 評価の指標		地域の脆弱性						
		5	4	3	2	1	0	
建屋リス ク	高い	4	9	8	7	6	5	4
	やや高い	3	8	7	6	5	4	3
	やや低い	2	7	6	5	4	3	2
	低い	1	6	5	4	3	2	1
	対象外	0	5	4	3	2	1	0

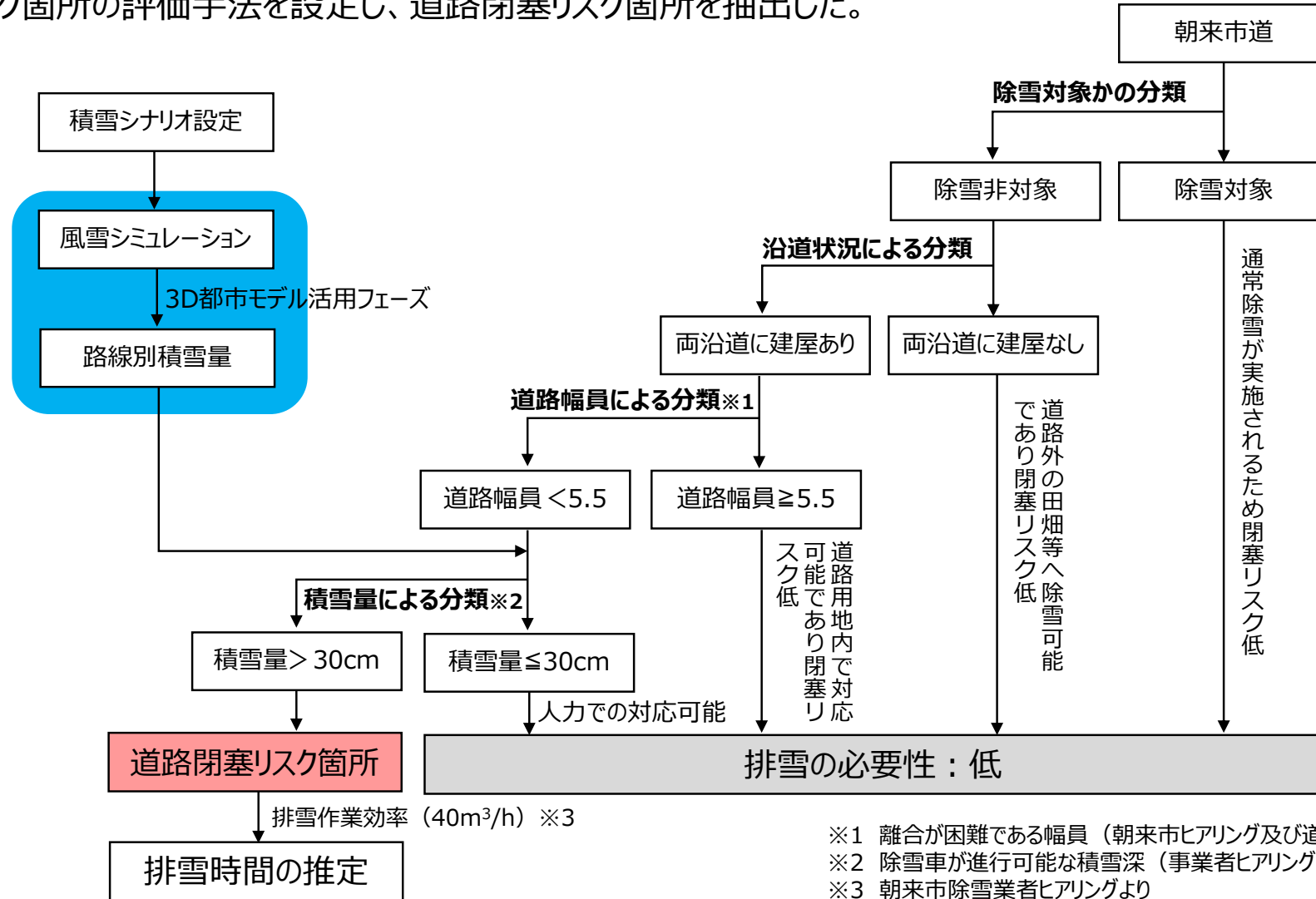
大雪援助隊の必要性	
高い	9
やや高い	8
やや低い	7
低い	6
対象外	5

※地域の脆弱性は、地域の高齢化率の評価指標と地域の建物密集度の評価指標の合計値

※対象地域では地域の脆弱性が「6」となる地域はない

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム > 5.4 道路除雪に関する評価 道路閉塞リスク箇所の評価

- 道路閉塞リスク箇所の評価手法を設定し、道路閉塞リスク箇所を抽出した。



Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム > 5.5 可視化 積雪及び評価結果の表現

- 積雪の表現
 - 雪面の積雪深分布のcsvファイルをUnityに取り込む
 - メッシュごとに積雪深データのx,y座標および高さ情報を読む
 - 読み込んだx,y座標および高さ情報に対応するように、積雪深をメッシュごとに白いキューブで表現
- 建屋リスク評価結果・雪下ろし優先度評価結果の表現
 - 建屋倒壊リスク指標、(建物毎) 地域の高齢化率、(建物毎) 地域の建物密集度、(建物毎) 大雪援助隊の必要性の各SHPファイルをインポータ(NetTopologySuite)を利用してUnityに取り込む
 - 以下凡例に則って、建屋ごとにUnity上で色付けを実施

プルダウンで選択可能な評価結果	建屋の色	カラーリングの定義
建屋倒壊リスク (Case2の垂木の被害確率)	4	高い (40%以上)
	3	やや高い (30%以上)
	2	やや低い (20%以上)
	1	低い (20%未満)
	0	対象外

図 建屋リスク評価結果_凡例

プルダウンで選択可能な評価結果	建屋の色	カラーリングの定義
地域の高齢化率	3	高 (50%以上)
	2	中 (25%以上)
	1	低 (25%未満)
	0	対象外

プルダウンで選択可能な評価結果	建屋の色	カラーリングの定義
地域の建物密集度 (地域建蔽率)	3	低 (10%未満)
	2	中 (10%以上)
	1	高 (25%以上)
	0	対象外

プルダウンで選択可能な評価結果	建屋の色	カラーリングの定義
大雪援助隊の必要性	高い	-
	やや高い	
	やや低い	
	低い	
	対象外	

図 雪下ろし優先度評価結果_凡例

Ⅲ. 実証システム > 6.データ

①活用データ | 3D都市モデル一覧

地物	地物型	属性区分	属性名	内容
建築物LOD2	bldg:Building	空間属性	bldg:lod2Solid	建築物のLOD2の立体
			主題属性	bldg:usage
		bldg:yearOfConstruction		建築年
		uro:buildingStructureType		構造種別
	bldg:RoofSurface	空間属性	bldg:lod2MultiSurface	建築物のLOD2の面
bldg:WallSurface	空間属性	bldg:lod2MultiSurface	建築物のLOD2の面	
建築物LOD1	bldg:Building	空間属性	bldg:lod1Solid	建築物のLOD1の立体
			主題属性	bldg:usage
		bldg:yearOfConstruction		建築年
		uro:buildingStructureType		構造種別
地形LOD1	dem:TINRelief	空間属性	dem:tin	地形形状
道路LOD1	tran:Road	空間属性	gml:lod1MultiSurface	道路のLOD1の道路面

Ⅲ. 実証システム > 6.データ

①活用データ | その他の活用データ一覧

活用データ	内容	データ形式	出所
気象データ	和田山観測所の過去の気象データ (風速、風向、降雪量、気温、日射量)	CSV	気象庁HP
物性値データ	積雪単位体積重量等	TXT	文献
年齢（5歳階級、4区分）別、 男女別人口（小地域集計）	小地域ごとに集計された年齢別人口データ	CSV	総務省統計局HP
令和2年国勢調査境界データ (小地域集計)	小地域ごとに集計された人口等の値をもつ小 地域境界データ	SHP	総務省統計局HP
朝来市道データ	朝来市道の延長、幅員、路線名等のデータ	SHP	朝来市
除雪対象路線データ	朝来市の除雪対象道路を示した図面データ (令和3年度)	PDF	朝来市
除雪実績データ	過去の除雪実績資料（令和3年度）	PDF	朝来市

Ⅲ. 実証システム > 6.データ > ①活用データ

気象データ | 降雪量

- 有識者の助言を踏まえ2つの極端なケースとして2つのシナリオを設定した。
- CASE1【再現性の検証】：令和3年12月豪雪による既往最大積雪シナリオ
- CASE2【潜在リスクの確認】：同規模の24時間最大降雪を加えた積雪シナリオ（最悪のシナリオ）

背景

- 豪雪時に気流の影響で吹き溜まり等の降雪の偏在が見られ、家屋リスク評価や道路閉塞リスク評価などに地形を考慮した積雪分布が必要となる。
- 経験のない積雪に対して予測計算が必要となる。

シナリオ設定

- 対象エリアに対して、CASE1、CASE2を設定した。
- CASE1(既往最大)では、再現計算によるモデル検証を想定した。
- CASE2(最悪のシナリオ)は、長期的な降雪による積雪深に加え、24時間の豪雪による積雪を想定したケースとした。

CASE1	既往最大 ⇒ 令和3年12月の豪雪を再現
CASE2	最悪シナリオ ⇒ 年最大積雪重量 + 既往最大積雪/24h



①長期間の積雪・融雪の繰り返し
(積雪の単位体積重量の増加)

②短期間の大雪による積雪

図 CASE2のシナリオイメージ

Ⅲ. 実証システム > 6.データ > ①活用データ

気象データ | 降雪量 (CASE 1)

- CASE1として、既往最大積雪量 (24h)を想定した。
- 想定した既往最大積雪量としては、令和3年12月の豪雪の際の積雪量とし、この再現計算を行うため、気象庁和田山観測所の風速、風向、積雪量データを収集・整理した。
- 当時の風速、風向をもとに、風速0.6 m/s、風向：円山川下流からの風(北～西)を設定した。
- 空間飛雪密度(雪の量)は、24時間降雪量の平均値 $\Phi = 0.00164 \text{ kg/m}^3$ (積雪深70cm程度)とした。

和田山 2021年12月26日

時	降水量 (mm)	気温 (°C)	霧温 (°)	風速・風向		日照 時間 (h)	雪	
				平均風速 (m/s)	風向		降雪 (cm)	積雪 (cm)
1	0.5	-0.1	/	0.0	静穏		0	0
2	1.0	-0.1	/	0.0	静穏		0	0
3	1.0	-0.2	/	///	///		3	3
4	1.5	0.0	/	///	///		2	5
5	3.5	-0.1	/	///	///		6	11
6	1.5	-0.1	/	///	///		1	12
7	0.5	-0.5	/	///	///		1	13
8	3.0	-0.7	/	///	///	0.0	4	17
9	3.0	-0.8	/	///	///	0.0	6	23
10	1.0	-0.5	/	///	///	0.0	0	22
11	2.5	-0.7	/	///	///	0.0	4	26
12	1.5	-0.4	/	///	///	0.0	0	26
13	2.0	-0.7	/	///	///	0.0	1	27
14	1.5	-0.7	/	0.6	南	0.0	3	30
15	4.5	-1.1	/	1.8	北西	0.0	7	37
16	4.5	-1.1	/	0.0	静穏	0.0	7	44
17	4.0	-1.1	/	0.0	静穏	0.0	4	48
18	3.5	-1.1	/	///	///		4	52
19	3.0	-1.4	/	///	///		3	55
20	2.5	-1.5	/	///	///		2	57
21	2.0	-1.3	/	///	///		1	58
22	3.0	-1.4	/	///	///		3	61
23	2.0	-1.3	/	///	///		2	63
24	4.0	-1.5	/	///	///		6	69

図 12月26日の気象データ (気象庁)

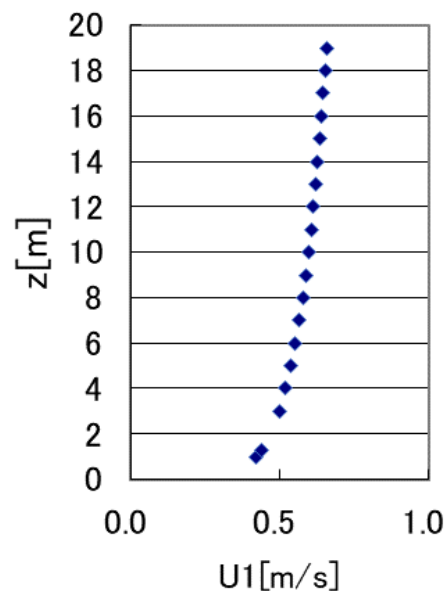
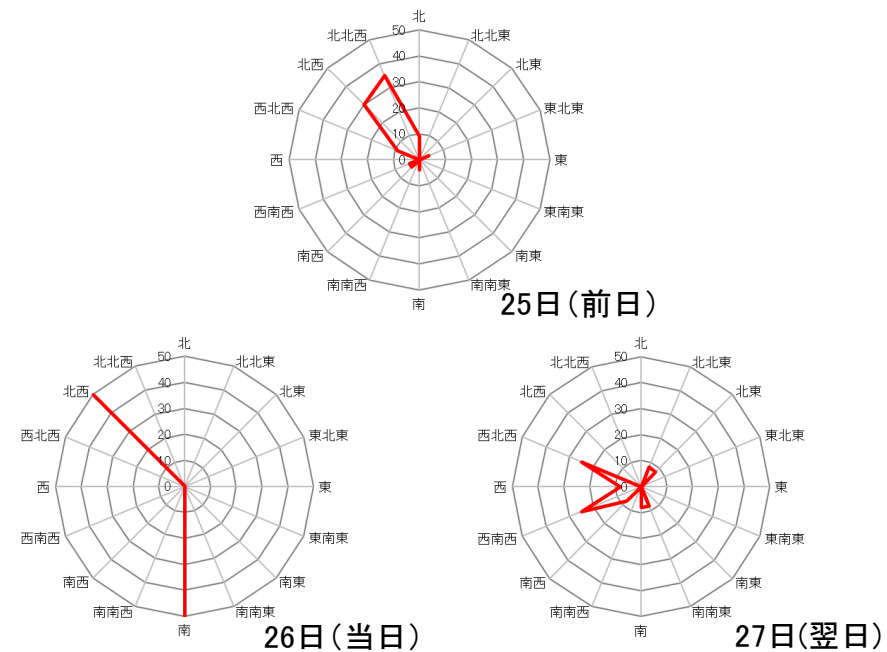

 図 風速の鉛直分布
(べき指数0.15の平均風速鉛直分布)


図 風配図 (欠測を除く風向きの割合(%))

Ⅲ. 実証システム > 6.データ > ①活用データ 気象データ | 降雪量 (CASE 2)

- CASE2は最悪ケースとして、長期的な降雪による年最大積雪となったのち、短期的な大雪が発生することを想定した。

(長期的な降雪による年最大積雪深)

- 下の回帰式で定義した。
- これより、年最大積雪深は、当該エリア内の海の割合と各地点の標高から求められる。
- 係数は、朝来市近傍の【豊岡】の値を引用した。

再現期間100年に対する年最大積雪深(豊岡)
 $= 0.0024 \times \text{標高} + 1.997 \times 0.0227 (\text{朝来市市役所の海率}) + 0.505$
 出典: 建築物荷重指針・同解説(2015) 日本建築学会

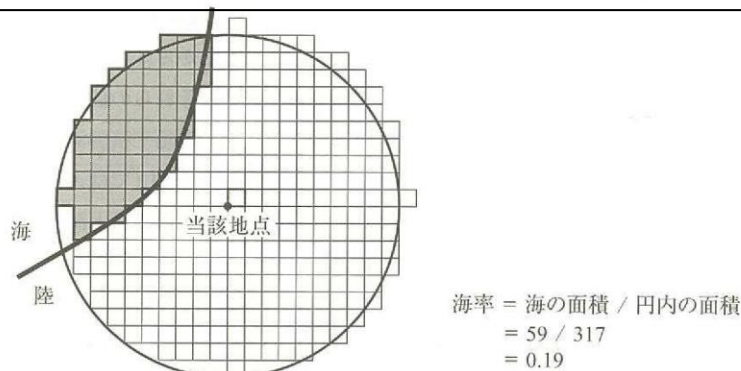


図 5.2.2 海率の定義

$$d = (\alpha \times \text{標高}) + (\beta \times \text{海率}) + \gamma \quad (5.2.5)$$

ここで、 α : 重回帰分析における標高の係数、 β : 重回帰分析における海率の係数
 γ : 重回帰分析における定数項

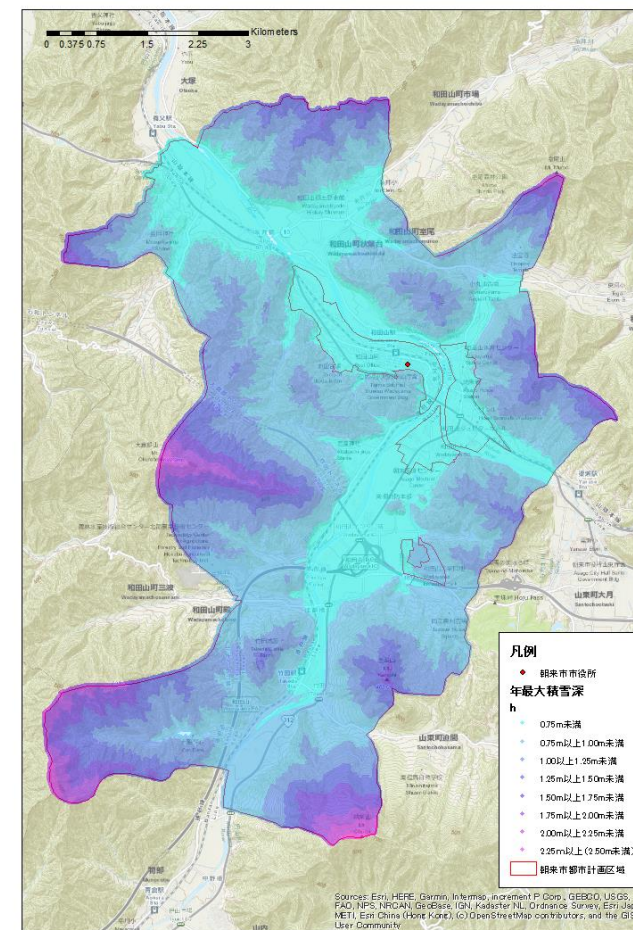


図 回帰式による積雪深分布(朝来市)

Ⅲ. 実証システム > 6.データ > ①活用データ 気象データ | 降雪量 (CASE 2)

(短期的な大雪による積雪深)

- 1/100確率 (100年に1度) の積雪となる風雪シミュレーションを実施した。
- 風速は冬季の平均的な風速2.0 m/s、風向は、CASE1同様、円山川下流からの風(北~西)を設定した。
- 空間飛雪密度(雪の量)は、24時間降雪量の平均値 $\Phi = 0.00177 \text{ kg/m}^3$ (積雪深76.5cm程度)とした。

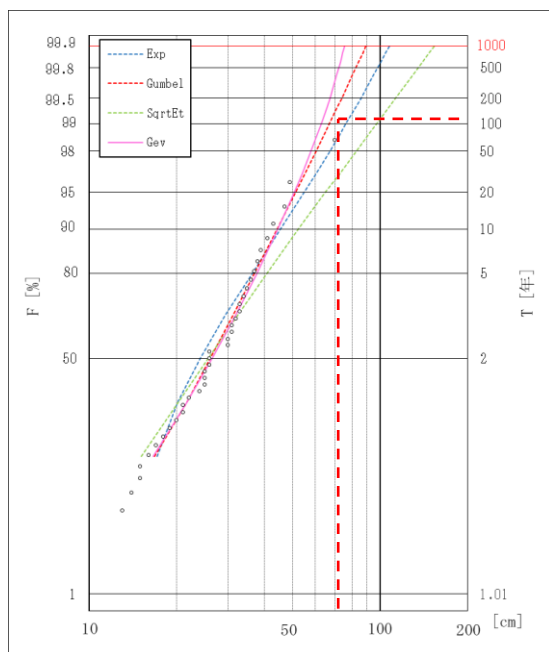


図 過去39年間の積雪深から1/100確率積雪深を推定
(1/100確率規模の積雪深 = 76.5 cm)

データ件数	39
α	0.4
Bootstrapサンプル数	2000
LN4PMの上限值 g	-9999
LN4PMの下限值 b	0
K(毎年) = $(X_p - X)/S$	2.27
K(非毎年) = $(X_p - X)/S$	2.27

	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev
X-COR(99%)	0.971	0.99	0.983	0.988
P-COR(99%)	0.934	0.995	0.992	0.997
SLSC(99%)	0.049	0.029	0.057	0.038
対数尤度	-140.3	-149.8	-151.9	-149.9
pAIC	284.7	303.7	307.7	305.8
X-COR(50%)	0.978	0.973	0.984	0.967
P-COR(50%)	0.978	0.983	0.977	0.985
SLSC(50%)	0.062	0.054	0.11	0.076

Jackknife推定値	確率年	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev
	2	24	26	25.6	26.4
	3	29.4	31.2	32.4	31.8
	5	36.3	37	40.8	37.6
	10	45.6	44.3	52.5	44.5
	20	54.9	51.3	65	50.7
	30	60.4	55.3	72.7	54
	50	67.2	60.3	82.9	58
	80	73.5	64.9	92.7	61.3
	100	76.5	67.1	97.5	62.9
	150	82	71	106.6	65.5
	200	85.9	73.8	113.2	67.2
	400	95.2	80.6	129.9	71.1
	600	100.6	84.5	140.1	73.1
	800	104.5	87.3	147.6	74.4
	1000	107.5	89.5	153.5	75.4
	0	-	-	-	-
	0	-	-	-	-
	0	-	-	-	-

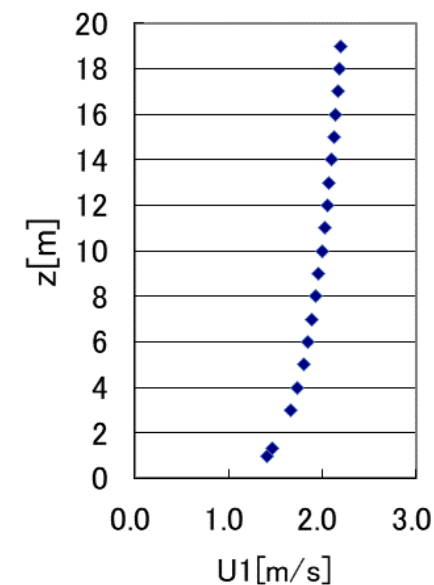
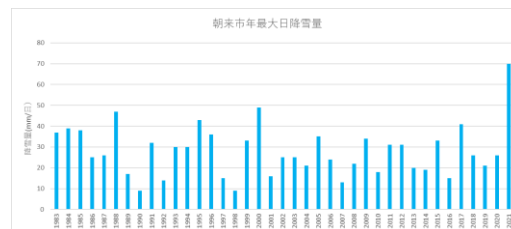


図 風速の鉛直分布
(べき指数0.15の平均風速鉛直分布)

Ⅲ. 実証システム > 6.データ > ①活用データ

物性値データ | 積雪単位体積重量

- 積雪単位体積重量は、長期的な降雪の場合と短期的な降雪で異なる。
- 長期的な降雪では、降雪と融雪が繰り返し行われ、新雪に比べて雨や融雪した水分を多く含むことから、単位体積重量が大きくなる。
- 本検討では、日本建築学会の指針をもとに、長期的な降雪による積雪の単位体積重量を 3kN/m^3 、短期的な大雪による積雪の単位体積重量を 1kN/m^3 と仮定した。

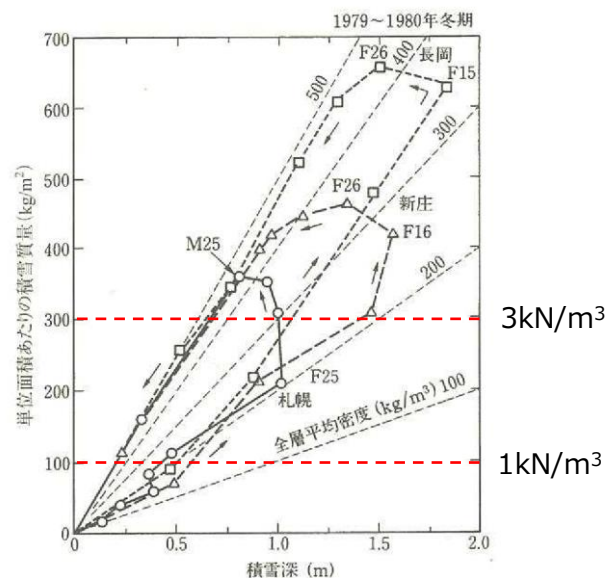


図 積雪深・積雪質量の時間的な変動
同じ積雪深でも積雪後期の方が重い

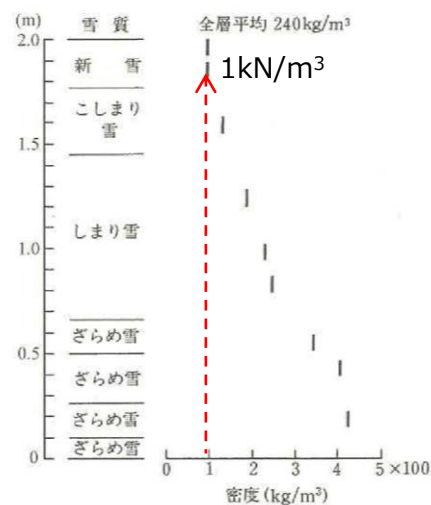


図 積雪断面の雪質分布
上層の新雪の密度は 100kg/m^3 ($\approx 1\text{kN/m}^3$)
下層の締め固まった雪の密度は4倍程度にまで大きくなる

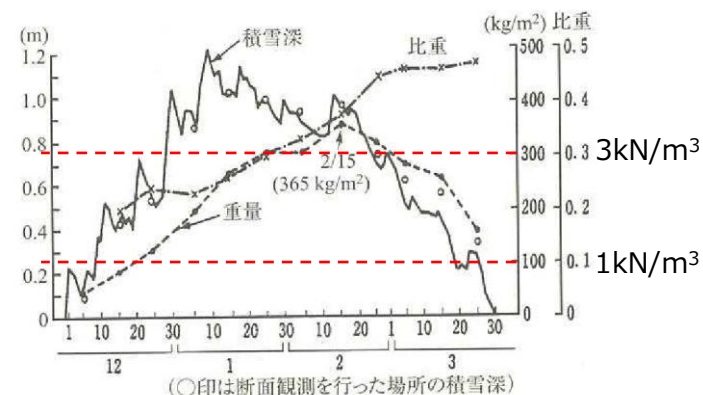


図 札幌の積雪状態の1冬期推移例
積雪重量の最大日は最大積雪深に遅れて発生する。



Ⅲ. 実証システム > 6.データ > ①活用データ 年齢（5歳階級、4区分）別、男女別人口（小地域集計）

- 年齢（5歳階級、4区分）別、男女別人口（小地域集計）の概要は以下に示す通り。

データの仕様

政府統計コード	00200521	国勢調査
調査年度	2020	令和2年
調査日	20201001	
集計単位	町丁・字等	
統計表	1003	
統計表別表	00	
統計表名	003-00	令和2年国勢調査 人口等基本集計 町丁・字等 男女、年齢(5歳階級)別人口、平均年齢及び年齢一町丁・字等

連番	階層	項目名	単位	統計表	別表
HP用表題	1	年齢(5歳階級、4区分)別、男女別人口			
T001082001	2	総数、年齢「不詳」含む	人	003	00
T001082002	2	総数0～4歳	人	003	00
T001082003	2	総数5～9歳	人	003	00
T001082004	2	総数10～14歳	人	003	00
T001082005	2	総数15～19歳	人	003	00
T001082006	2	総数20～24歳	人	003	00
T001082007	2	総数25～29歳	人	003	00
T001082008	2	総数30～34歳	人	003	00
T001082009	2	総数35～39歳	人	003	00
T001082010	2	総数40～44歳	人	003	00
T001082011	2	総数45～49歳	人	003	00
T001082012	2	総数50～54歳	人	003	00
T001082013	2	総数55～59歳	人	003	00
T001082014	2	総数60～64歳	人	003	00
T001082015	2	総数65～69歳	人	003	00
T001082016	2	総数70～74歳	人	003	00
T001082017	2	総数15歳未満	人	003	00
T001082018	2	総数15～64歳	人	003	00
T001082019	2	総数65歳以上	人	003	00
T001082020	2	総数75歳以上	人	003	00
T001082021	2	男の総数、年齢「不詳」含む	人	003	00
T001082022	2	男0～4歳	人	003	00
T001082023	2	男5～9歳	人	003	00
T001082024	2	男10～14歳	人	003	00
T001082025	2	男15～19歳	人	003	00
T001082026	2	男20～24歳	人	003	00
T001082027	2	男25～29歳	人	003	00
T001082028	2	男30～34歳	人	003	00
T001082029	2	男35～39歳	人	003	00
T001082030	2	男40～44歳	人	003	00
T001082031	2	男45～49歳	人	003	00
T001082032	2	男50～54歳	人	003	00
T001082033	2	男55～59歳	人	003	00
T001082034	2	男60～64歳	人	003	00
T001082035	2	男65～69歳	人	003	00
T001082036	2	男70～74歳	人	003	00
T001082037	2	男15歳未満	人	003	00
T001082038	2	男15～64歳	人	003	00
T001082039	2	男65歳以上	人	003	00

統計データの例

KEY_CODE	HYOSYO	CITYNAME	NAME	HTKSYOR	HTKSAKI	GASSAN	T0010820	T0010820	T0010820	T0010820	T0010820	T0010820	
							総数、年齢	総数0～4	総数5～9	総数10～	総数15～	総数20～	総数25～
28101	1	神戸市東灘区		0			213562	8034	9101	9514	10218	10495	8710
281010010	3	神戸市東灘	魚崎北町	0			6989	255	279	296	370	339	331
28101001001	4	神戸市東灘	魚崎北町一	0			917	43	37	33	51	38	53
28101001002	4	神戸市東灘	魚崎北町二	0			612	25	20	28	32	33	43
28101001003	4	神戸市東灘	魚崎北町三	0			572	16	25	27	32	39	23
28101001004	4	神戸市東灘	魚崎北町四	0			1558	53	69	76	83	50	46
28101001005	4	神戸市東灘	魚崎北町五	0			1060	31	35	28	50	61	58
28101001006	4	神戸市東灘	魚崎北町六	0			1217	43	44	63	82	74	62
28101001007	4	神戸市東灘	魚崎北町七	0			639	22	30	27	28	30	27
28101001008	4	神戸市東灘	魚崎北町八	0			414	22	19	14	12	14	19
281010020	3	神戸市東灘	魚崎中町	0			4321	131	129	165	170	252	240
28101002001	4	神戸市東灘	魚崎中町一	0			1113	20	25	28	28	63	67
28101002002	4	神戸市東灘	魚崎中町二	0			1327	51	55	68	72	78	71
28101002003	4	神戸市東灘	魚崎中町三	0			803	24	33	37	36	52	46
28101002004	4	神戸市東灘	魚崎中町四	0			1078	36	16	32	34	59	56
281010030	3	神戸市東灘	魚崎西町	0			2931	100	108	134	156	139	135
28101003001	4	神戸市東灘	魚崎西町一	0			374	10	8	12	17	22	31
28101003002	4	神戸市東灘	魚崎西町二	0			1349	48	69	74	85	55	24
28101003003	4	神戸市東灘	魚崎西町三	0			336	13	5	8	14	21	34
28101003004	4	神戸市東灘	魚崎西町四	0			872	29	26	40	40	41	46
281010040	2	神戸市東灘	魚崎浜町	0			62	-	-	-	1	11	5
281010050	3	神戸市東灘	魚崎高町	0			9545	276	360	426	476	516	382
28101005001	4	神戸市東灘	魚崎高町一	0			685	21	20	10	19	20	22
28101005002	4	神戸市東灘	魚崎高町二	0			1725	32	65	86	91	102	66
28101005003	4	神戸市東灘	魚崎高町三	0			1775	37	71	92	102	107	81

出典：年齢（5歳階級、4区分）別、男女別人口（小地域集計）定義書、28兵庫県（e-Stat 政府統計の総合窓口）（<https://www.e-stat.go.jp/>）

Ⅲ. 実証システム > 6.データ > ①活用データ 令和2年国勢調査 境界データ（小地域集計）

- 令和2年国勢調査 境界データ（小地域集計）の概要は以下に示す通り。

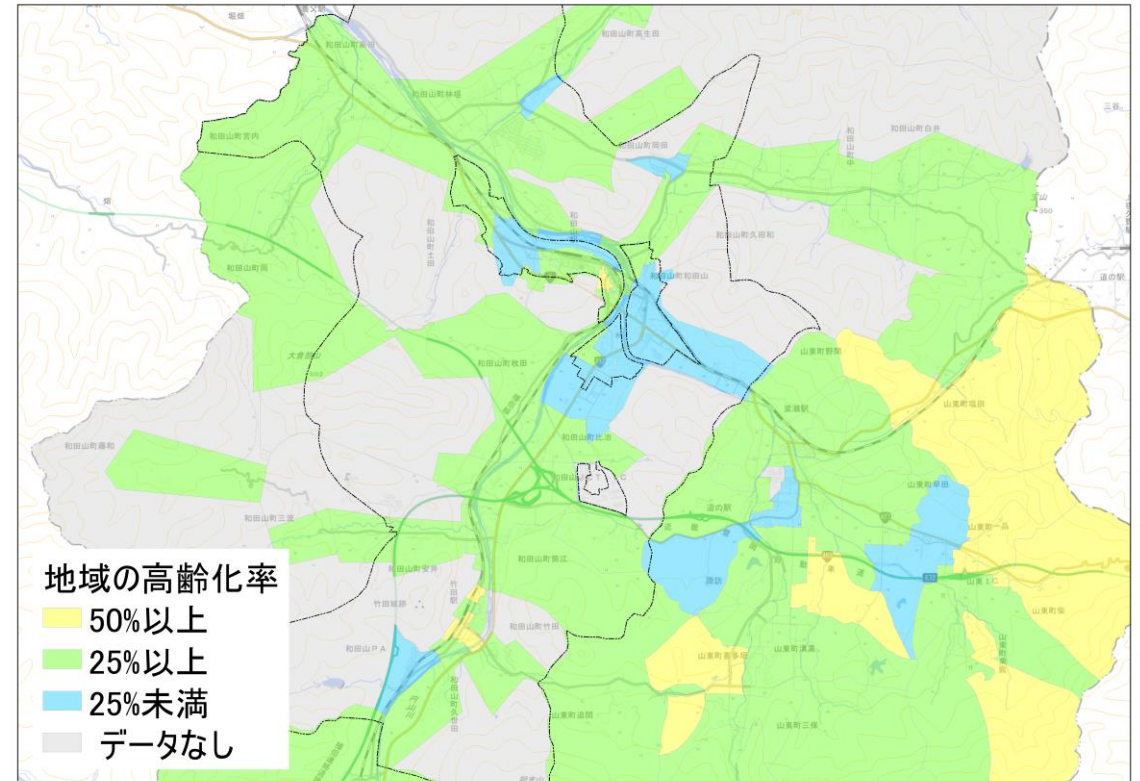
データの仕様

令和2年国勢調査 町丁・字等境界データ データベース定義書

ファイル名【r2kaxx.dbf】 (xxは都道府県番号)

No.	フィールド名	項目内容
1	KEY_CODE	図形と集計データのリンクコード
2	PREF	都道府県番号
3	CITY	市区町村番号
4	S_AREA	町丁・字等番号
5	PREF_NAME	都道府県名
6	CITY_NAME	市区町村名
7	S_NAME	町丁・字等名称
8	KIGO_E	特殊記号E（町丁・字等重複フラグ）
9	HCODE	分類コード
10	AREA	面積（㎡）
11	PERIMETER	周辺長（m）
12	R2KAxx	内部ID
13	R2KAxx_ID	外部ID
14	KIHON1	町字コード
15	DUMMY1	ダミー
16	KIHON2	丁目、字などの番号
17	KEYCODE1	マッチング番号
18	KEYCODE2	町丁・字等別結果マッチング番号
19	AREA_MAX_F	面積最大フラグ
20	KIGO_D	特殊記号D（飛び地、抜け地フラグ）
21	N_KEN	抜け地都道府県番号
22	N_CITY	抜け地市区町村番号
23	KIGO_J	特殊記号J（島フラグ）
24	KBSUM	基本単位区（調査区）数
25	JINKO	人口
26	SETAI	世帯数
27	X_CODE	図形中心点X座標（10進経度）
28	Y_CODE	図形中心点Y座標（10進緯度）
29	KCODE1	町丁・字等番号

境界データの状況（例：地域の高齢化率計算後の結果）



出典：小地域（町丁・字等）（JGD2011）定義書（e-Stat 政府統計の総合窓口）より作成

Ⅲ. 実証システム > 6.データ > ①活用データ 朝来市道データ

- 朝来市道に関するデータの概要は以下に示す通り。

データの仕様

朝来市道データ

データ	データ内容
朝来市道データ	整理番号
	路線名
	延長
	代表幅員
	除雪対象の有無（除雪対象路線図より付与）



Ⅲ. 実証システム > 6.データ

②データ処理 | 一覧 (1/2)

システムに入力するデータ (データ形式)	用途	処理内容	データ処理ソフトウェア	活用データ (データ形式)
3D都市モデルデータ (STL形式)	風雪sim用の3D都市モデル	<ul style="list-style-type: none"> 建築物LOD2モデルのCityGML形式からSTL形式への変換 	FME Desktop	3D都市モデル (CityGML形式)
3D都市モデルデータ (SHP形式)	建屋リスク評価用の3D都市モデル	<ul style="list-style-type: none"> 建築物LOD1・LOD2モデルのCityGML形式からSHP形式への変換 	FME Desktop	3D都市モデル (CityGML形式)
3D都市モデルデータ (SHP形式)	閉塞リスク評価用の3D都市モデル	<ul style="list-style-type: none"> 道路LOD1モデルのCityGML形式からSHP形式への変換 	FME Desktop	3D都市モデルデータ (CityGML形式)
朝来市道データ (SHP形式)	閉塞リスク評価用の道路情報の入力	<ul style="list-style-type: none"> 本システムに不要なエリアのデータ削除 除雪路線 (PDF形式) の情報を朝来市道データへ付与 	QGIS	朝来市道データ (SHP形式)
				除雪対象路線データ (PDF)
除雪実績データ (Excel形式)	排雪時間評価用の作業効率の入力	<ul style="list-style-type: none"> 過去の除雪実績より作業効率を設定し、排雪時間を計算 	Excel	除雪実績データ (PDF形式)

Ⅲ. 実証システム > 6.データ

②データ処理 | 一覧 (2/2)

システムに入力するデータ (データ形式)	用途	処理内容	データ処理ソフトウェア	活用データ (データ形式)
3D都市モデル (fbx形式)	実証エリアの建築物3次元可視化	<ul style="list-style-type: none"> UnityにCityGMLデータを取り込むために、fbx形式に変換 	FME Desktop	3D都市モデルデータ[建築物] (CityGML形式)
3D都市モデル (fbx形式)	実証エリアの道路 3次元可視化	<ul style="list-style-type: none"> UnityにCityGMLデータを取り込むために、fbx形式に変換 	FME Desktop	3D都市モデルデータ[道路] (CityGML形式)
3D都市モデル (fbx形式)	実証エリアの道路 3次元可視化	<ul style="list-style-type: none"> 道路LOD1データに高さを付与 	Blender	3D都市モデルデータ[道路] (fbx形式)
3D都市モデル (CityGML形式)	実証エリアの地形 3次元可視化	<ul style="list-style-type: none"> UnityにCityGMLデータを取り込むために、fbx形式に変換 	FME Desktop	3D都市モデルデータ[地形] (CityGML形式)

Ⅲ. 実証システム > 6.データ

③出力データ | 一覧 (1/2)

出力データ	内容	データ形式
雪面の積雪深分布	雪面(地面、屋根)における積雪深分布	CSV、MP4
建屋ごとの積雪重量	建屋ごとの積雪重量	CSV
雪面の熱量分布	雪面(地面、屋根)における日射量による熱量分布	MP4
小屋梁の損傷確率	積雪重量に応じた建屋ごとの小屋梁の損傷確率	SHP
垂木の損傷確率	積雪重量に応じた建屋ごとの垂木の損傷確率 【建屋倒壊リスク指標として採用】	SHP
建屋倒壊リスク指標	垂木の損傷確率を基にした、建屋ごとの倒壊リスク評価値 (高い：4、やや高い：3、やや低い：2、低い：1、評価対象外：0)	SHP
(建物毎) 地域の高齢化率	小地域集計の高齢化率を建屋リスク評価結果の建物ごとに付与したもの	SHP
(建物毎) 地域の建物密集度	小地域の建物密集度を建屋リスク評価結果の建物ごとに付与したもの	SHP
(建物毎) 大雪援助隊の必要性評価	建屋リスク評価結果を踏まえた建物ごとの大雪援助隊の必要性を示すもの	SHP

Ⅲ. 実証システム > 6.データ

③出力データ | 一覧 (2/2)

出力データ	内容	データ形式
路線別積雪量	交差点間の道路面上の積雪量	SHP
(路線別) 道路閉塞リスク箇所	大雪時に閉塞リスクのある道路	SHP
(路線別) 閉塞箇所の排雪作業時間	道路閉塞リスク箇所を排雪するのに要する時間	SHP
除雪対象路線	朝来市の除雪対象路線	SHP
雪面の積雪深の3D可視化	風雪Sim結果をUnityを用いて3次元可視化	—
建屋倒壊リスク指標の3D可視化	建屋リスク評価結果をUnityを用いて3次元可視化	—
地域の高齢化率の3D可視化	雪下ろし優先度評価結果をUnityを用いて3次元可視化	—
地域の建物密集度の3D可視化	雪下ろし優先度評価結果をUnityを用いて3次元可視化	—
大雪援助隊の必要性の3D可視化	雪下ろし優先度評価結果をUnityを用いて3次元可視化	—

Ⅲ. 実証システム > 6.データ > ③出力データ 雪面の積雪深分布

- 風雪シミュレーション結果（風速、積雪深）を可視化ソフトウェアParaViewで抽出した。



図 気流解析と積雪計算の結果
地形に応じた風速分布と積雪の偏在を計算

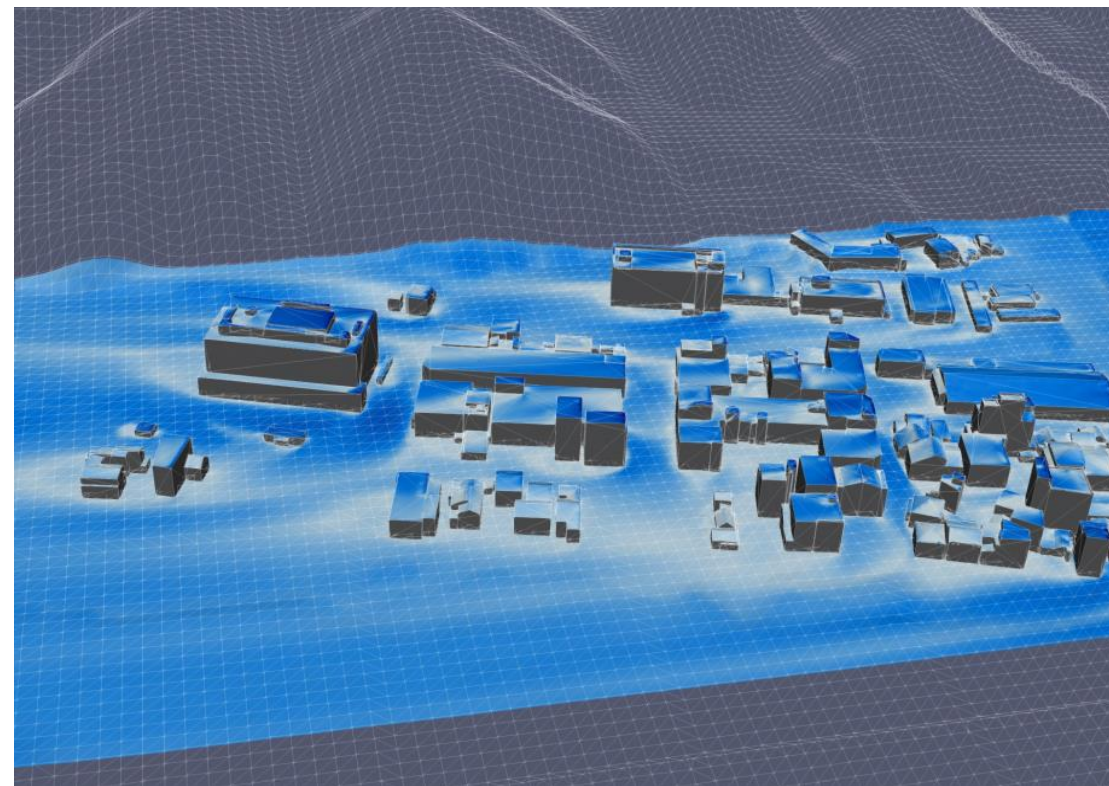


図 積雪深の分布
風雪シミュレーション結果をParaViewで可視化

Ⅲ. 実証システム > 6.データ > ③出力データ 雪面の熱量分布

- 融雪シミュレーション結果（熱量、積雪深(融雪量)）を可視化ソフトウェアParaViewで抽出した。

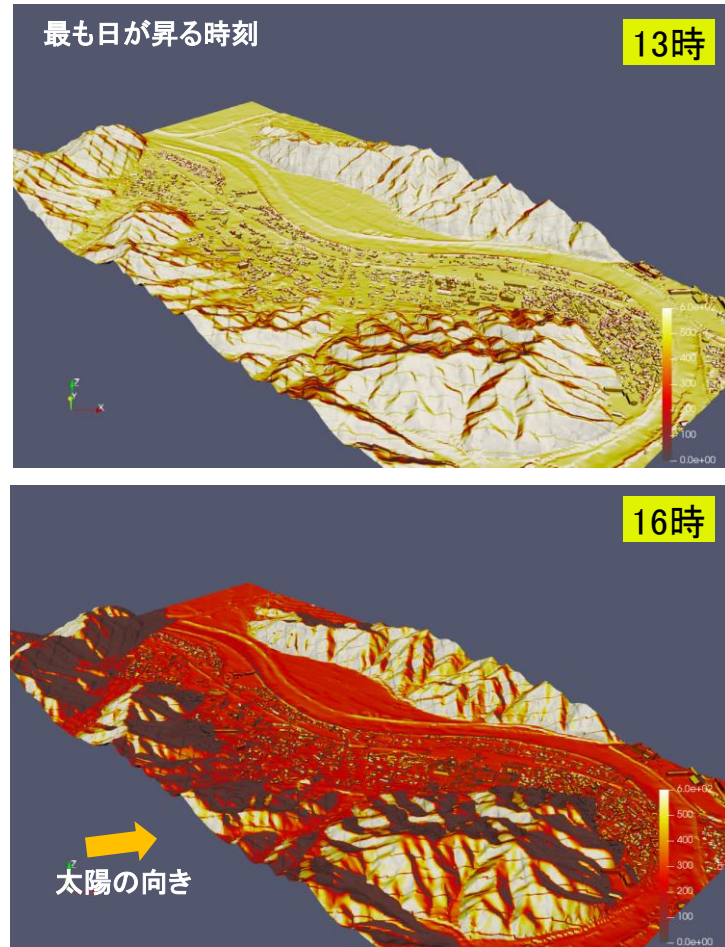


図 時刻ごとの雪面での熱量
月日時ごとに日射量・太陽の向きや傾きなどを考慮

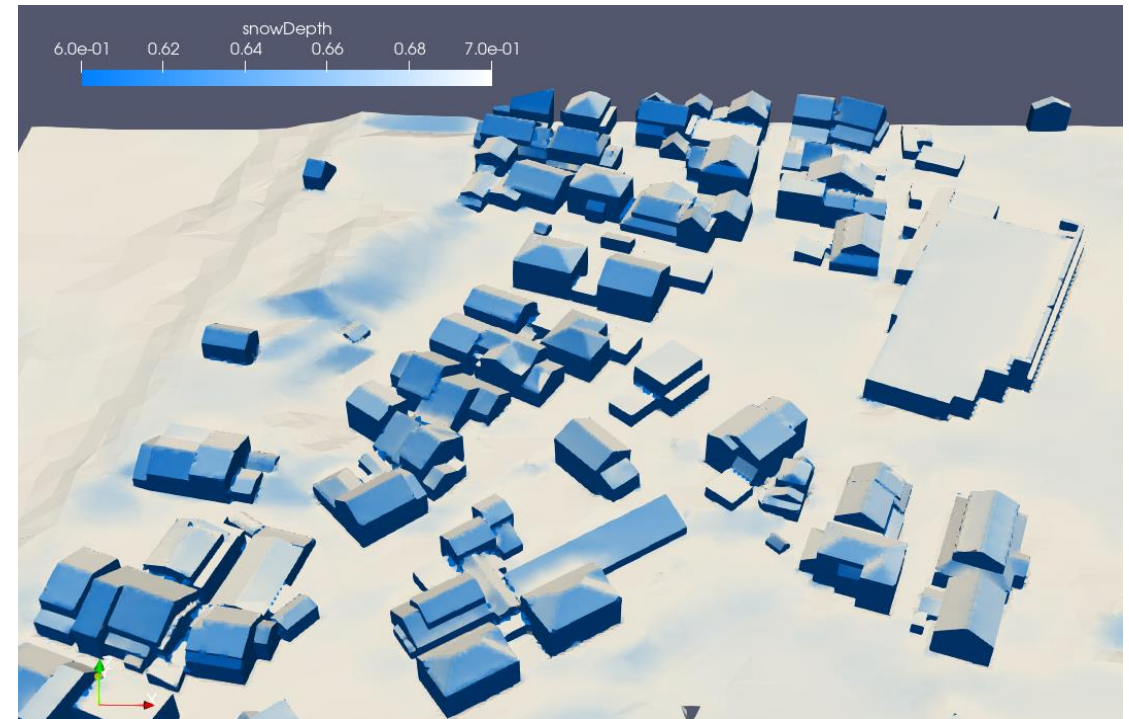


図 1日間の融雪後の積雪の偏在
南側屋根(下側)の融雪量が大きく、日陰となる北側屋根と差が生じた

Ⅲ. 実証システム > 6.データ > ③出力データ 建屋倒壊リスク指標

- 3D都市モデルの建屋に対して行った評価結果に基づき、建屋ごとに倒壊/損壊リスクを以下の表の通り出力・分類した。
- 建屋倒壊リスク指標は「Case2の垂木の被害確率」を採用した。

出力データとその分類

出力データ	リスク分類	出力形式	雪下ろし優先度評価における活用
Case1の垂木の被害確率	高い (40%以上)	—	(よりシビアなケースであるCase2の被害確率を、 建屋リスク評価結果とする方針とした)
	やや高い (30%以上)		
	やや低い (20%以上)		
	低い (20%未満)		
	評価対象外(※)		
Case2の垂木の被害確率 【建屋倒壊リスク指標として採用】	高い (40%以上)	SHP	○
	やや高い (30%以上)		
	やや低い (20%以上)		
	低い (20%未満)		
	評価対象外(※)		
詳細評価結果	目標性能を満たしている	—	(非木造の公共施設が詳細評価の対象であるため、 雪下ろし優先度の評価対象外とした)
	目標性能を満たしていない		

※1 3D都市モデルの建屋属性情報 (用途) をもとに、評価対象外とした建物カテゴリ:

居宅、兼用住宅 以外の建屋 (診療所、物置、別荘、旅館、寄宿舍 etc の対象となり得るカテゴリ100件程度を含む)

※2 ただし、詳細評価にて選定した某公共施設については、本実証の評価対象とした

Ⅲ. 実証システム > 6.データ > ③出力データ

建屋倒壊リスク指標

- 「建屋倒壊リスク指標」の算出にあたっては、建屋リスク評価シートを用いた。
- 「建屋リスク評価シート」とは、「建屋1棟ごとに紐づけられた積雪重量データ」「建築物LODの属性データ」を建屋ごとに紐づけたものである。

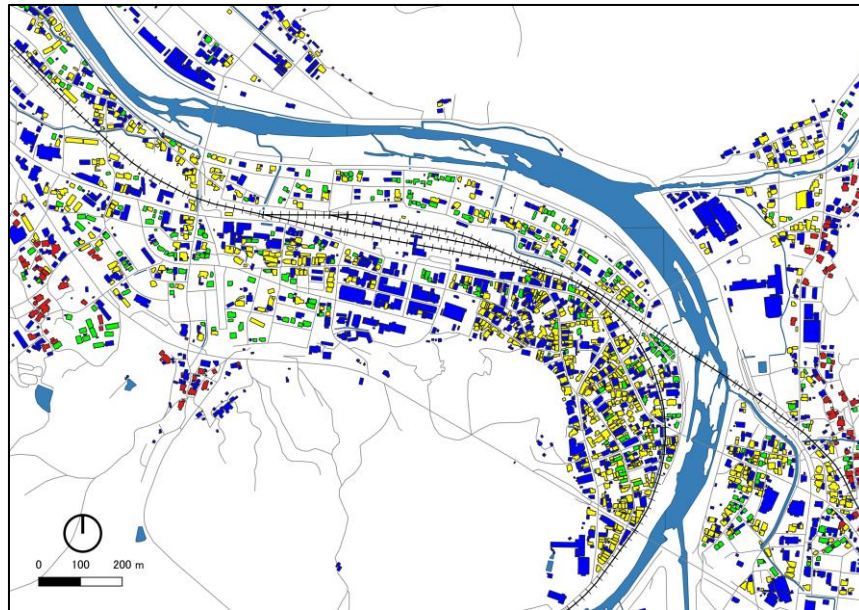
建屋情報						積雪深・積雪荷重				評価結果		
建築年代	構造種別	木造/ 非木造	用途	屋根材	建物ID	Case1 積雪深	Case1 積雪荷重	Case2 積雪深	Case2 積雪荷重	小屋梁の 損傷確率	垂木の 損傷確率	建屋リスク 指標
kenchikune	kouzou	mokuzou	shurui	yane	ID	DepC1	DepC1_calc	DepC2	DepC2_ca	Koya_Dep	Taru_Dep	建屋リスク
1980	木造	木造	店舗	瓦	1	0.7	0.233333333	1.042257	1.042257	0.11176	0.446004	4
1980	木造	木造	居宅	瓦	15	0.7	0.233333333	1.036297	1.036297	0.109594	0.443172	4
1991	木造	木造	附属家・離	瓦	46	0.7	0.233333333	1.010648	1.010648	0.100481	0.43083	4
1909	木造	木造	附属家・離	瓦	58	0.7	0.233333333	1.013508	1.013508	0.10148	0.432219	4
1974	木造	木造	居宅	瓦	59	0.7	0.233333333	1.01097	1.01097	0.100593	0.430987	4
1974	木造	木造	附属家・離	瓦	60	0.7	0.233333333	1.01087	1.01087	0.100558	0.430938	4
1989	木造	木造	居宅	瓦	64	0.7	0.233333333	1.016233	1.016233	0.102436	0.433539	4
1937	木造	木造	居宅	瓦	66	0.7	0.233333333	1.014262	1.014262	0.101744	0.432584	4
1977	木造	木造	居宅	瓦	68	0.7	0.233333333	1.020388	1.020388	0.103901	0.435546	4
1988	木造	木造	居宅	瓦	70	0.7	0.233333333	1.041123	1.041123	0.111346	0.445466	4
1930	木造	木造	居宅	瓦	73	0.7	0.233333333	1.01589	1.01589	0.102315	0.433373	4
1985	木造	木造	居宅	瓦	76	0.7	0.233333333	1.016293	1.016293	0.102457	0.433568	4
1969	木造	木造	居宅	瓦	80	0.7	0.233333333	1.020209	1.020209	0.103837	0.43546	4

図 「建屋リスク評価シート」

Ⅲ. 実証システム > 6.データ > ③出力データ 建屋倒壊リスク指標

- 建屋倒壊リスク指標として採用した、「Case2の垂木の被害確率」の評価結果をQGIS上で表示しSHP形式で出力した。

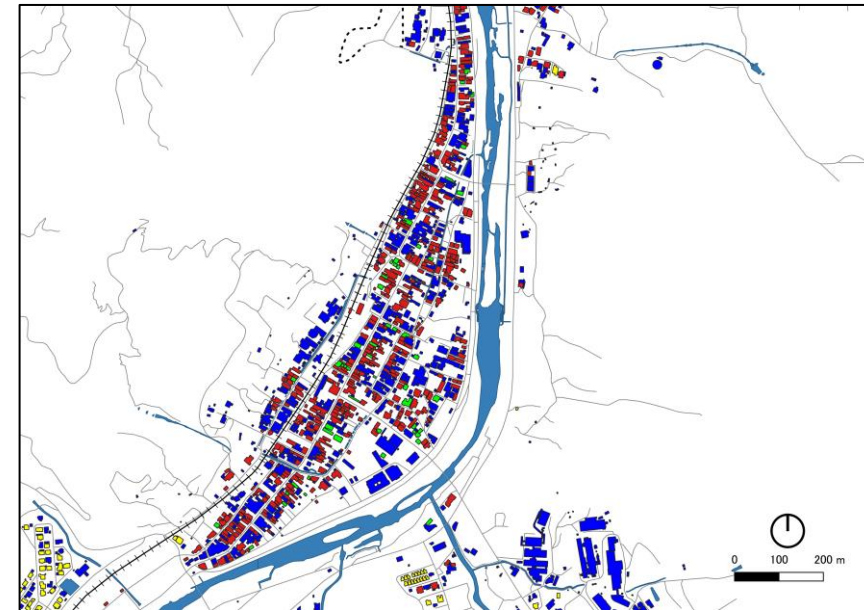
建屋倒壊リスク【和田山駅周辺】



「Case2の垂木の被害確率」の評価イメージ

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	—

建屋倒壊リスク【竹田駅周辺】



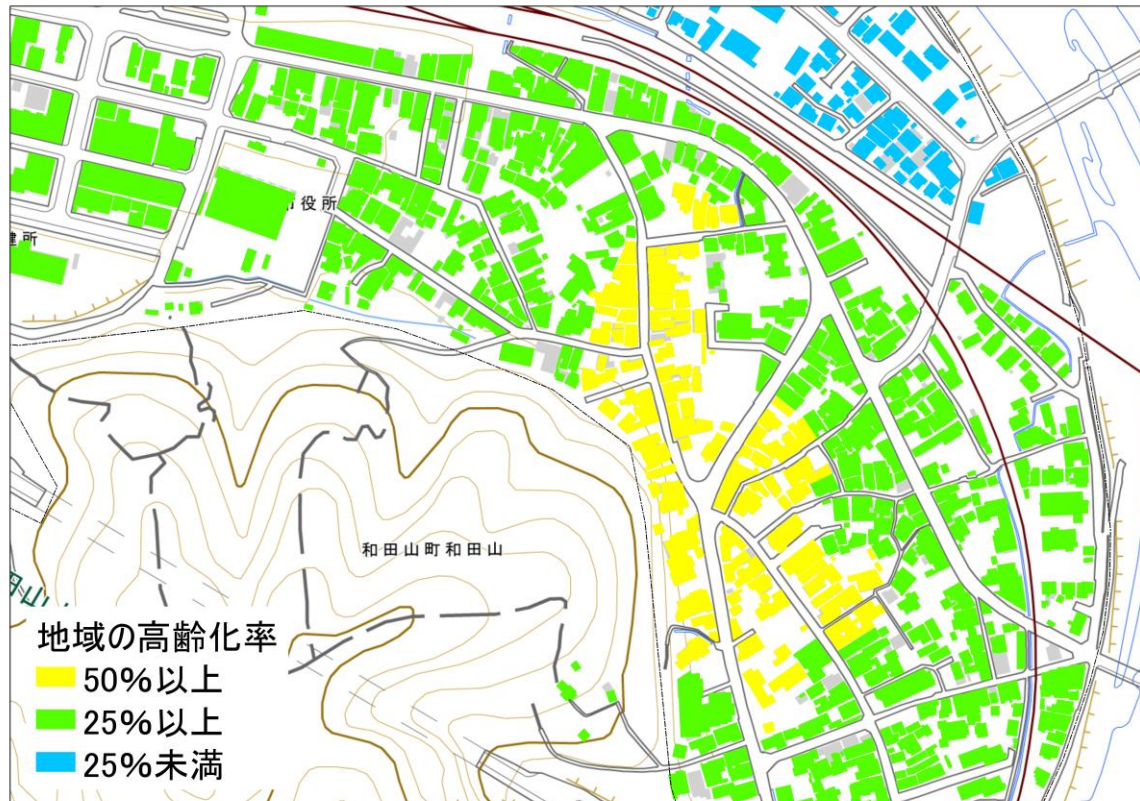
「Case2の垂木の被害確率」の評価イメージ

※建屋への着色はイメージであり、実際の建屋の評価を示すものではない

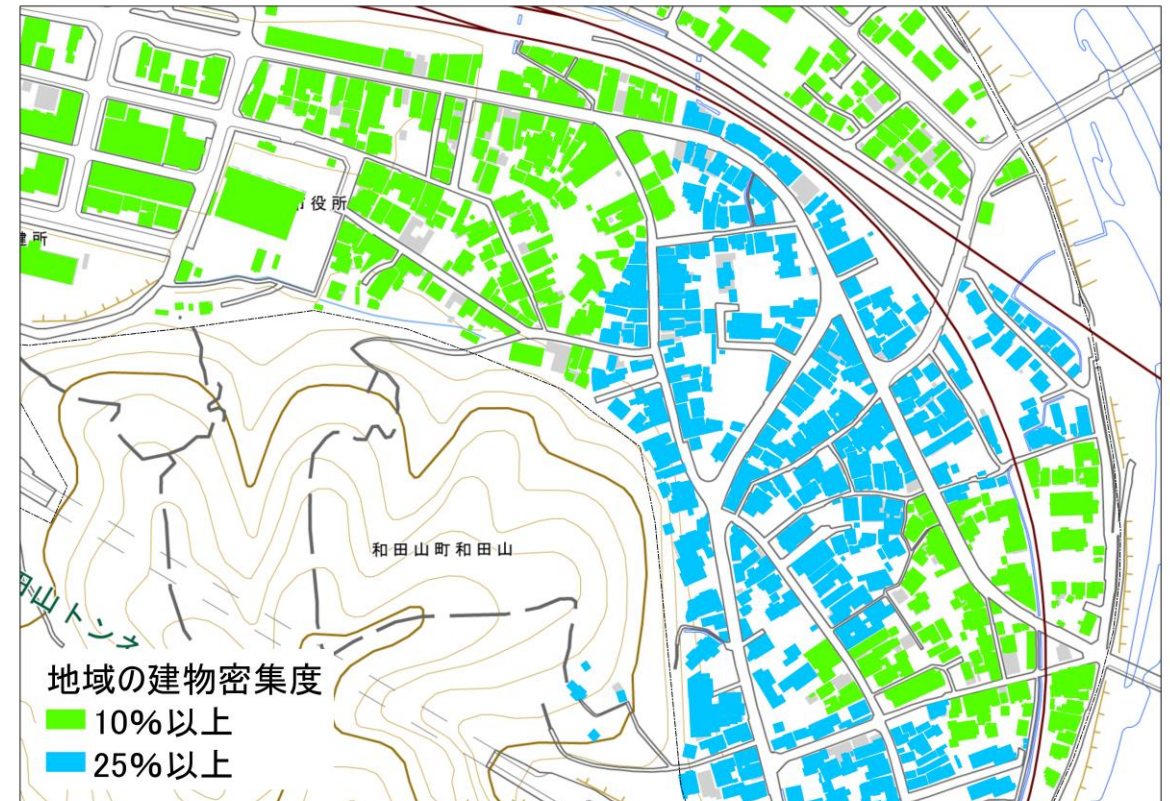
Ⅲ. 実証システム > 6.データ > ③出力データ (建物毎) 地域の高齢化率/地域の建物密集度

- 小地域集計の高齢化率/建物密集度を建物ごとに付与した結果をQGIS上で表示しSHP形式で出力した。

地域の高齢化率



地域の建物密集度



出典：電子地形図25000（国土地理院）を加工して作成

Ⅲ. 実証システム > 6.データ > ③出力データ (建物毎) 大雪援助隊の必要性評価結果

- 建物ごと大雪援助隊の必要性をQGIS上で表示しSHP形式で出力した。

大雪援助隊の必要性評価



出典：電子地形図25000（国土地理院）を加工して作成

Ⅲ. 実証システム > 6.データ > ③出力データ 道路閉塞リスク箇所

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



積雪深の目安 (24時間)
CASE1 : 70.8cm
CASE2 : 75.1cm

■ : 道路閉塞リスク箇所
■ : 除雪対象路線 (朝来市R3年度)

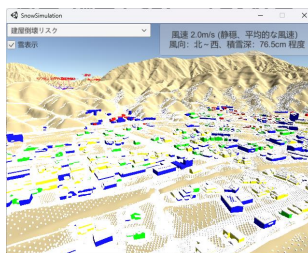
**道路閉塞リスク箇所を
排雪するのに要する時間**
CASE1 : 84時間/台
CASE2 : 90時間/台
 ※排雪幅員 : 2m
 作業効率 : 40m³/hで試算

出典 : 電子地形図25000 (国土地理院) を加工して作成

Ⅲ. 実証システム > 6.データ > ③出力データ

Unityによる3D可視化

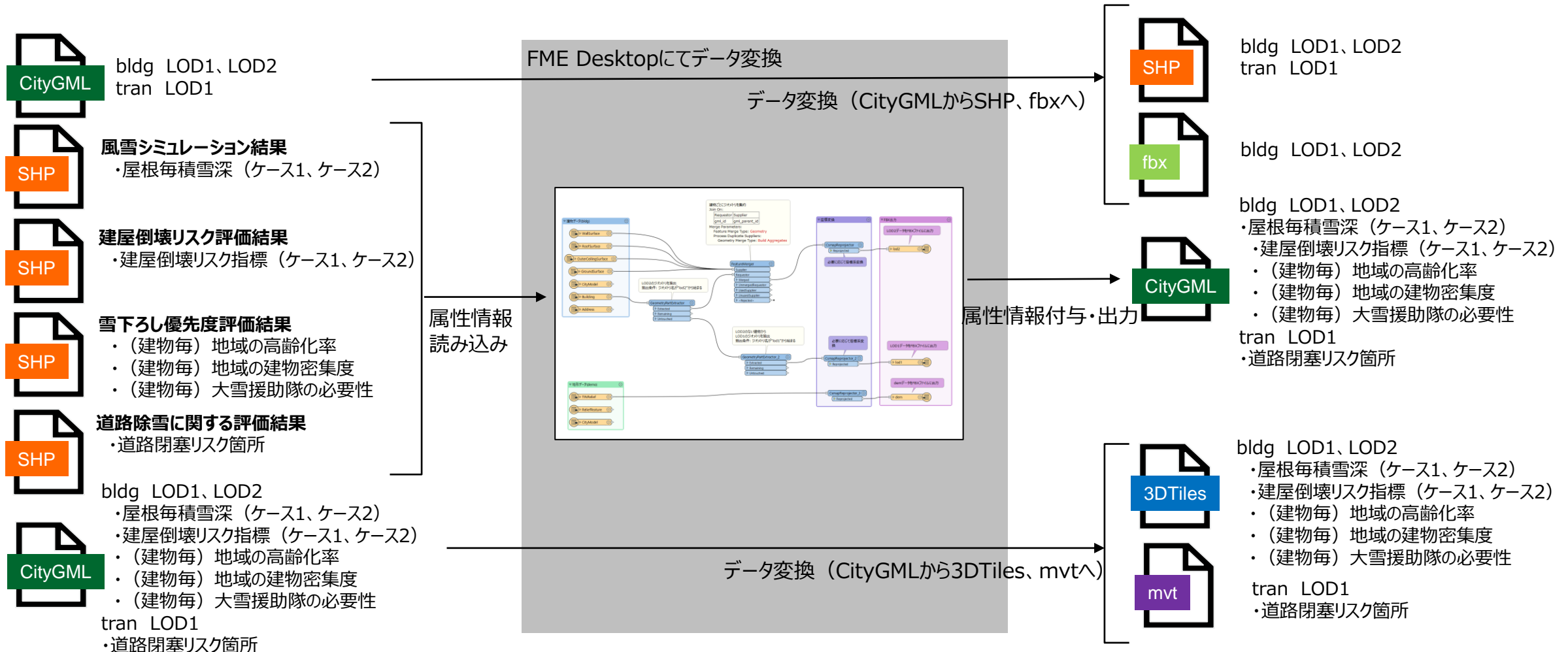
- Unityにて可視化方法を検討した結果を以下に示す。

出力データ	内容(Unity上での可視化方針)	データ形式														
雪面の積雪深の3D可視化		—														
建屋倒壊リスク指標の3D可視化	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ブルダウンで選択可能な評価結果</th> <th>建屋の色</th> <th>カラーリングの定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">建屋倒壊リスク (Case2の垂木の被害確率)</td> <td>4</td> <td>高い (40%以上)</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>やや高い (30%以上)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>やや低い (20%以上)</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>低い (20%未満)</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>対象外</td> </tr> </tbody> </table>	ブルダウンで選択可能な評価結果	建屋の色	カラーリングの定義	建屋倒壊リスク (Case2の垂木の被害確率)	4	高い (40%以上)	3	やや高い (30%以上)	2	やや低い (20%以上)	1	低い (20%未満)	0	対象外	—
ブルダウンで選択可能な評価結果	建屋の色	カラーリングの定義														
建屋倒壊リスク (Case2の垂木の被害確率)	4	高い (40%以上)														
	3	やや高い (30%以上)														
	2	やや低い (20%以上)														
	1	低い (20%未満)														
	0	対象外														
地域の高齢化率の3D可視化	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ブルダウンで選択可能な評価結果</th> <th>建屋の色</th> <th>カラーリングの定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">地域の高齢化率</td> <td>3</td> <td>高 (50%以上)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>中 (25%以上)</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>低 (25%未満)</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>対象外</td> </tr> </tbody> </table>	ブルダウンで選択可能な評価結果	建屋の色	カラーリングの定義	地域の高齢化率	3	高 (50%以上)	2	中 (25%以上)	1	低 (25%未満)	0	対象外	—		
ブルダウンで選択可能な評価結果	建屋の色	カラーリングの定義														
地域の高齢化率	3	高 (50%以上)														
	2	中 (25%以上)														
	1	低 (25%未満)														
	0	対象外														
地域の建物密集度の3D可視化	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ブルダウンで選択可能な評価結果</th> <th>建屋の色</th> <th>カラーリングの定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">地域の建物密集度 (地域建蔽率)</td> <td>3</td> <td>低 (10%未満)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>中 (10%以上)</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>高 (25%以上)</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>対象外</td> </tr> </tbody> </table>	ブルダウンで選択可能な評価結果	建屋の色	カラーリングの定義	地域の建物密集度 (地域建蔽率)	3	低 (10%未満)	2	中 (10%以上)	1	高 (25%以上)	0	対象外	—		
ブルダウンで選択可能な評価結果	建屋の色	カラーリングの定義														
地域の建物密集度 (地域建蔽率)	3	低 (10%未満)														
	2	中 (10%以上)														
	1	高 (25%以上)														
	0	対象外														
大雪援助隊の必要性の3D可視化	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ブルダウンで選択可能な評価結果</th> <th>建屋の色</th> <th>カラーリングの定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">大雪援助隊の必要性</td> <td>高い</td> <td rowspan="5">-</td> </tr> <tr> <td>やや高い</td> </tr> <tr> <td>やや低い</td> </tr> <tr> <td>低い</td> </tr> <tr> <td>対象外</td> </tr> </tbody> </table>	ブルダウンで選択可能な評価結果	建屋の色	カラーリングの定義	大雪援助隊の必要性	高い	-	やや高い	やや低い	低い	対象外	—				
ブルダウンで選択可能な評価結果	建屋の色	カラーリングの定義														
大雪援助隊の必要性	高い	-														
	やや高い															
	やや低い															
	低い															
	対象外															

Ⅲ. 実証システム > 7.ユーザーインターフェース

FME Desktop

- FME Desktopを用いて、CityGML形式の道路LOD1ポリゴンをSHP形式に変換した。また、本UC結果（SHP形式）は、CityGML形式、3DTiles形式、mvt形式へ変換し、PLATEAU VIEWで可視化を行った。



Ⅲ. 実証システム > 7.ユーザーインターフェース ParaView

- 画面の上部には、他のプログラムと同じように、「メニュー」と各種「ツール・バー」が表示されている。

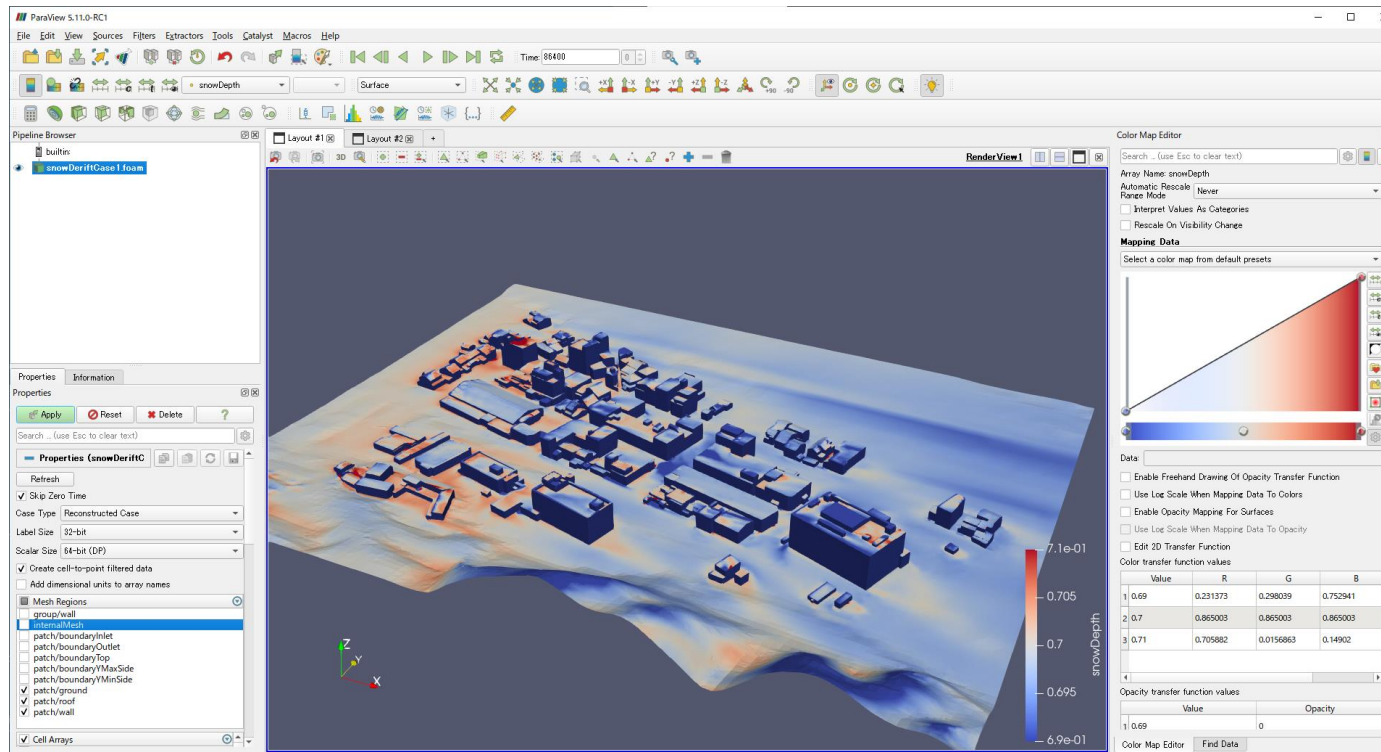


図 データを読み込んだ画面

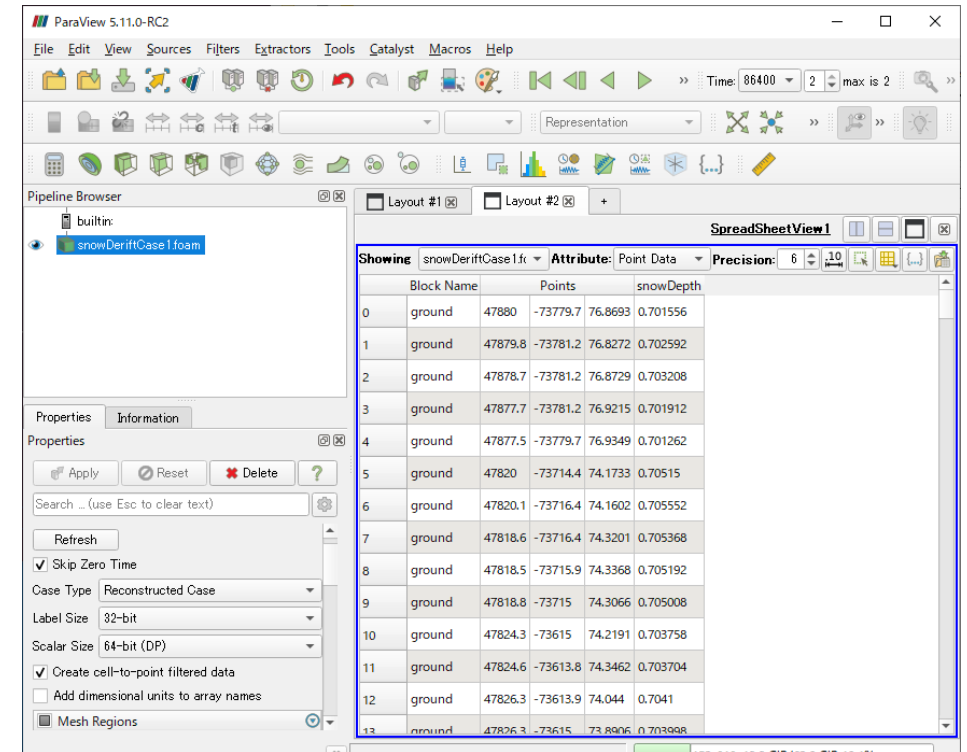


図 データ抽出画面

Ⅲ. 実証システム > 7.ユーザーインターフェース QGIS

- QGISを用いて、形状・属性等の加工編集、属性付与を行い、SHP形式にて出力した。

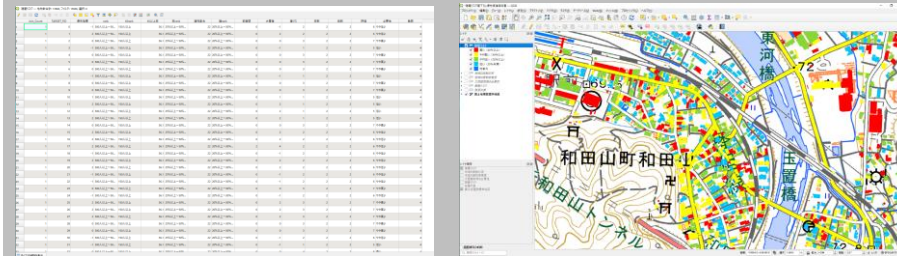
建屋倒壊リスク評価



・積雪重量データ

情報読み込み

QGISでのデータ処理



情報付与・出力



建屋倒壊リスク評価
・建屋倒壊リスク指標
(ケース1、ケース2)

雪下ろし優先度評価



・令和2年国勢調査境界データ
(小地域集計)
・建屋リスク評価結果データ

情報読み込み



・年齢(5歳階級、4区分)別、
男女別人口(小地域集計)

情報付与・出力



雪下ろし優先度評価結果
・(建物毎) 地域の高齢化率
・(建物毎) 地域の建物密集度
・(建物毎) 大雪援助隊の必要性

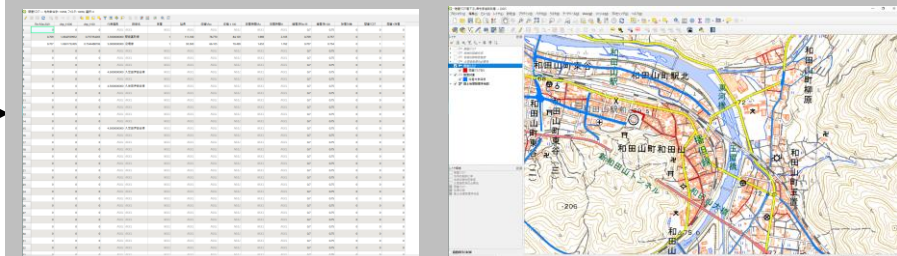
道路除雪に関する評価



・朝来市道データ
・積雪深データ

情報読み込み

QGISでのデータ処理



情報付与
・出力



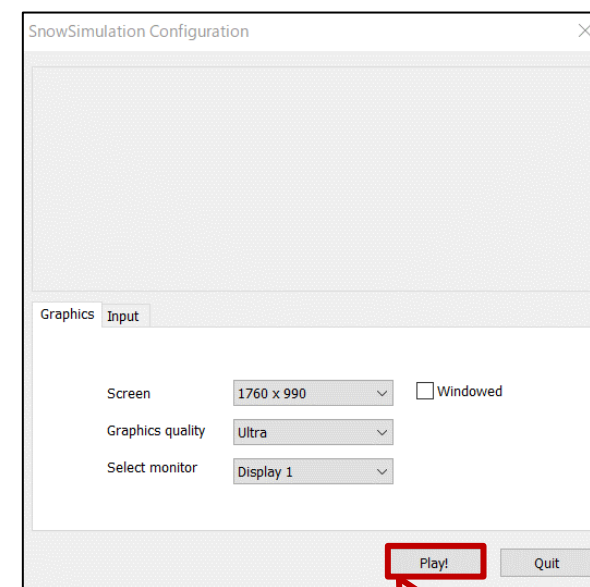
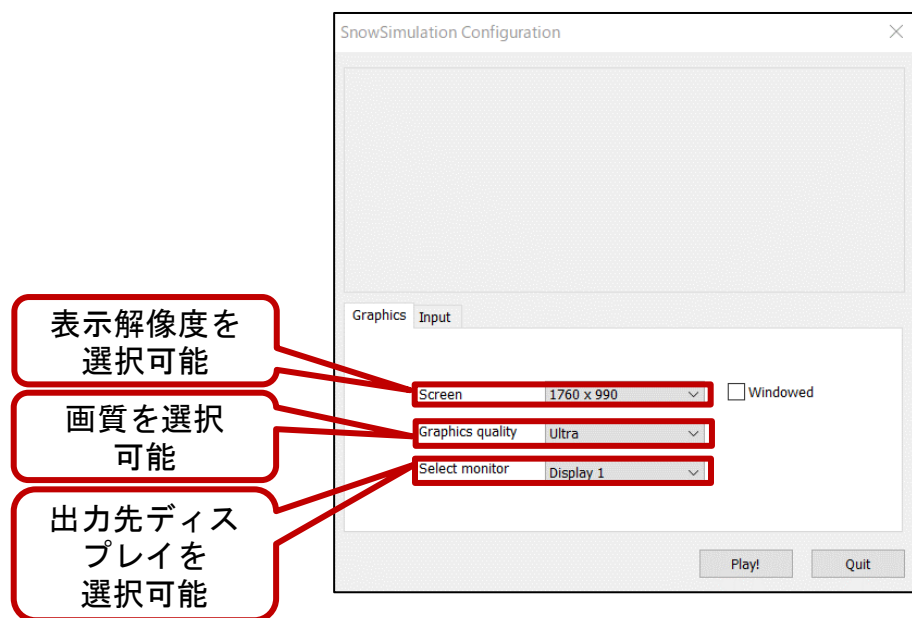
道路除雪に関する評価結果
・道路閉塞リスク箇所

Ⅲ. 実証システム > 7.ユーザーインターフェース Unityビルドアプリ (1/3)

- Unityビルドアプリのユーザーインターフェースを以下に示す。

① アプリ起動画面

「SnowSimulation Configuration」



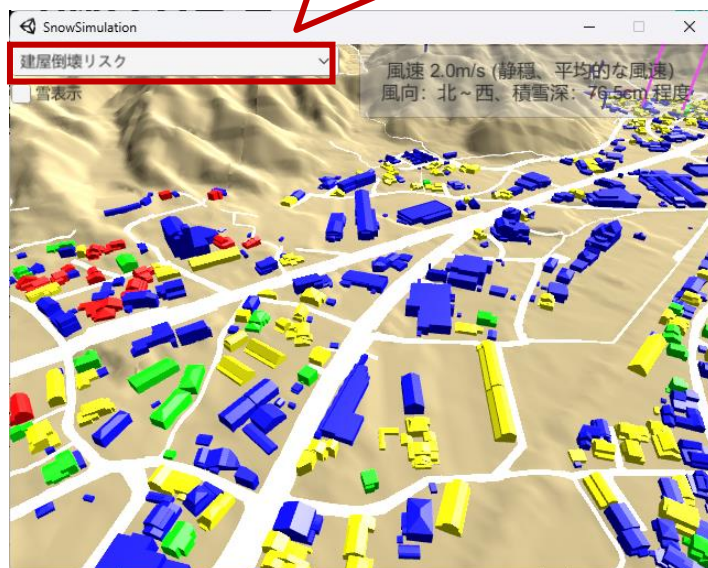
Ⅲ. 実証システム > 7.ユーザーインターフェース Unityビルドアプリ (2/3)

- Unityビルドアプリのユーザーインターフェースを以下に示す。

②3D都市モデルおよび評価結果の3次元可視化画面

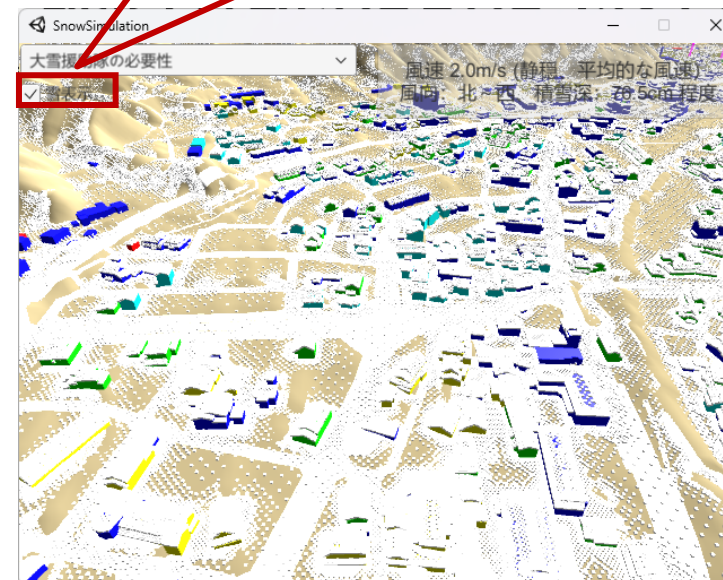
- 評価結果選択プルダウン

- 確認したい評価結果をプルダウンで選択



- 「雪表示」チェックボックス

- チェックあり：積雪状態の表示ON
- チェックなし：積雪状態の表示OFF



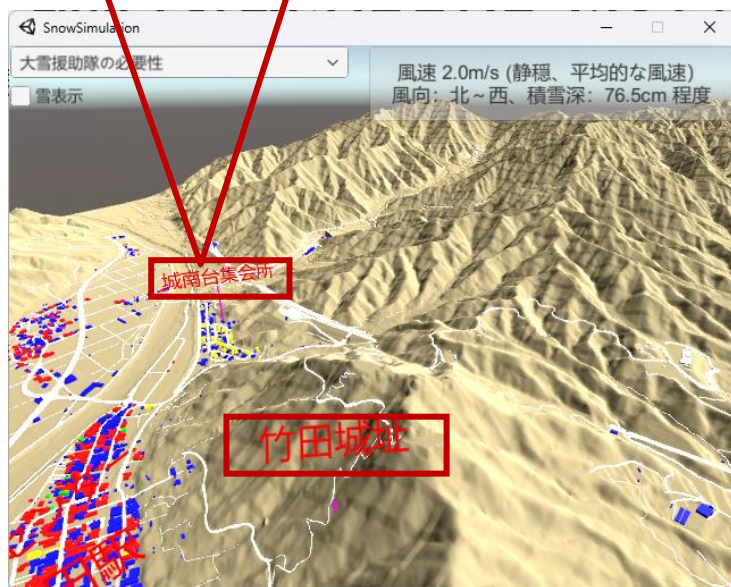
Ⅲ. 実証システム > 7.ユーザーインターフェース Unityビルドアプリ (3/3)

- Unityビルドアプリのユーザーインターフェースを以下に示す。

②3D都市モデルおよび評価結果の3次元可視化画面

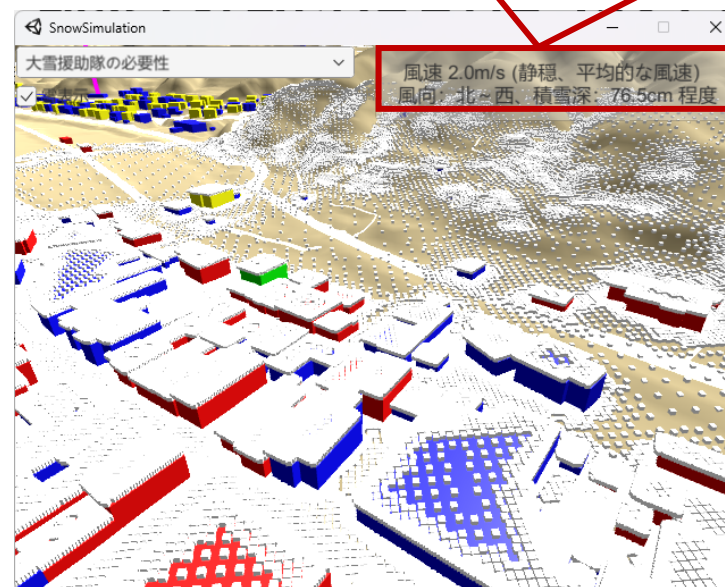
- Point of Interest(POI : 下図赤枠)

- 市役所及び公的集会施設・竹田城・駅を表示
- POIダブルクリックでズームイン



- 風雪シミュレーションシナリオ(Case2)の前提条件表示 (下図赤枠)

- 風雪シミュレーションの前提条件 (風速・風向・想定される積雪深) を常時表示



Ⅲ. 実証システム > 8 システムテスト結果 風雪・融雪シミュレーション

- OpenFOAM上で扱うデータについて、ParaView上でデータの読込確認を行った。

試験項目	確認内容	結果
地形空間情報のデータ変換	FME DesktopでCityGML形式からSTL形式に変換し、ParaViewで地形形状が正しく変換できているかを確認	合格
計算メッシュの作成	OpenFOAMの機能でメッシュを作成し、地形形状が正しく反映されているか、メッシュの品質が低下していないかを確認	合格
シミュレーション設定	シミュレーションの計算条件が正しく設定でき、その条件のもとで各シミュレーションが行えているかの確認	合格
シミュレーション結果表示	出力した結果をParaViewで読み込み、その結果が正しく計算され、結果が出力されているかの確認	合格
計算結果の出力	ParaViewでCSV形式で計算結果を出力し、QGISでの評価や可視化で正しく反映されているかを確認	合格

Ⅲ. 実証システム > 8 システムテスト結果 > 風雪・融雪シミュレーション 計算メッシュの作成結果

地形空間情報のデータ変換、計算メッシュの作成

- FME DesktopでCityGML形式からSTL形式に変換した地形データは、ParaViewで目視により抜けや歪み等がないかを確認
- 計算メッシュ作成時にもSTLの抜けや歪み等の確認をし、さらに、OpenFOAMのメッシュ品質チェック機能「CheckMesh」を使用し、全メッシュ形状の歪みの有無を確認

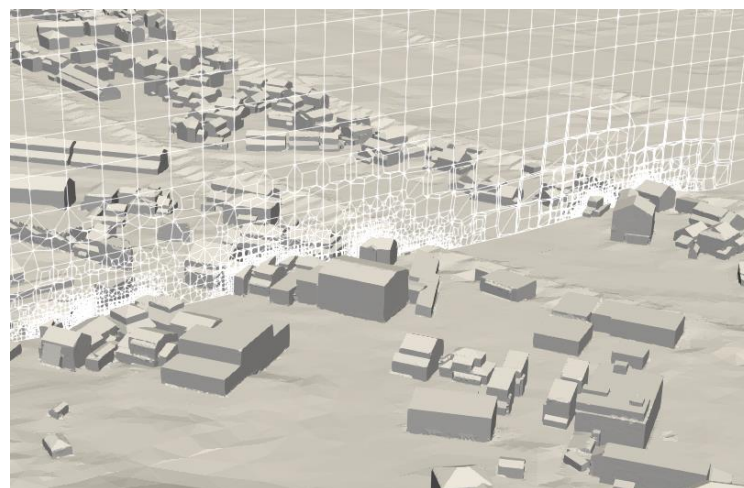
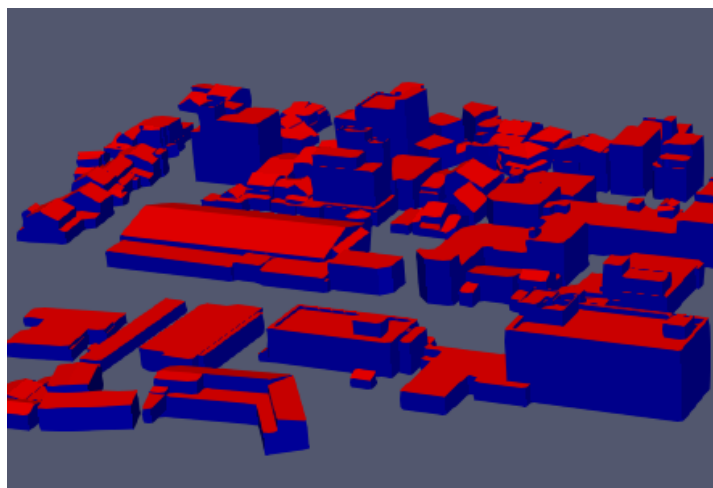


図 ParaViewでSTLやメッシュの確認
屋根や壁面に歪みや抜け等がないかを確認

■「CheckMesh」で問題がない場合

```
Coupled point location match (average 0) OK.  
Mesh OK.
```

```
End
```

■「CheckMesh」で問題がでる場合（一例）

```
Mesh non-orthogonality Max: 78.345 average: 15.53  
*Number of severely non-orthogonal faces: 2321.  
Non-orthogonality check OK.  
<<Writing 2184 non-orthogonal faces to set nonOrthoFaces
```

図 CheckMeshによるメッシュの歪み確認
「Mesh OK.」となるまで、メッシュ作成条件を調整

Ⅲ. 実証システム > 8 システムテスト結果 > 風雪・融雪シミュレーション 気流解析の計算結果

(シミュレーション設定、結果、出力)

- 地形に沿った3次元の風速分布(風速・風向)をParaViewで表示し、道路などのひらけた場所に集中する流れや建物背後の微小な渦動の有無などを確認

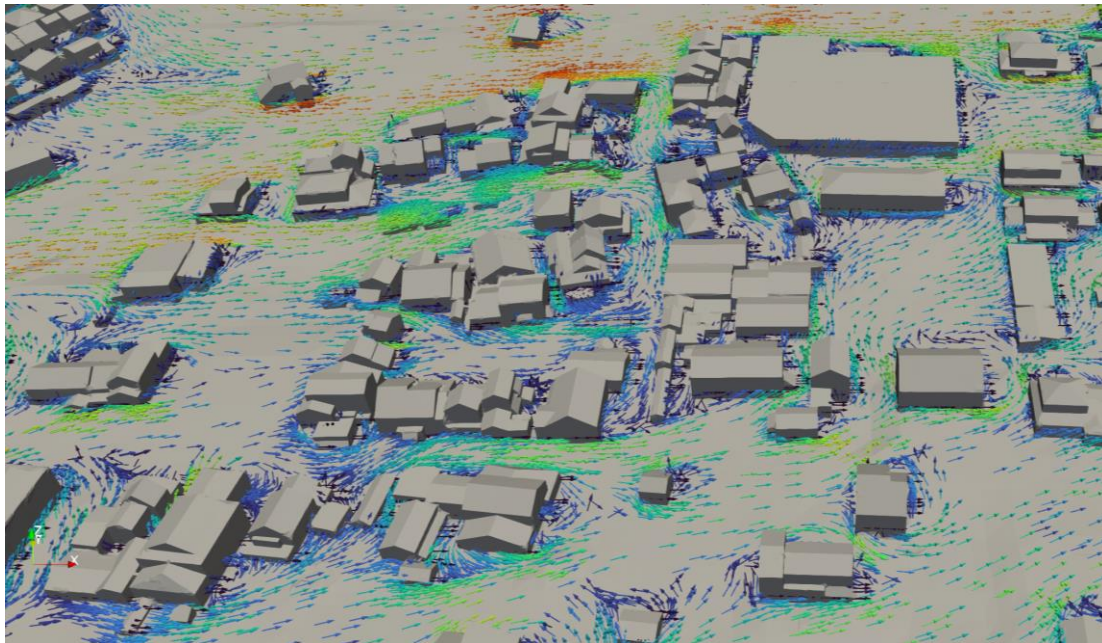


図 建物群の風速分布
道路などのひらけた場所で風速が速くなり、
密集した場所では遅く渦巻く様子

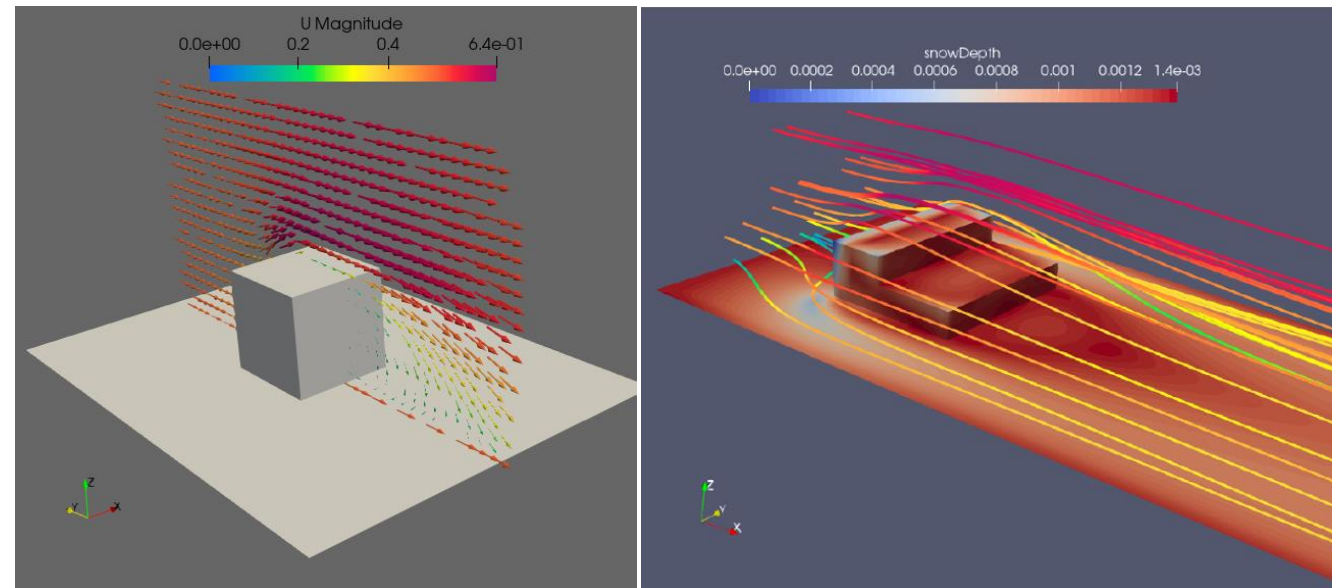


図 単一建物での検証
一般的な流れが再現できているかを確認
(メッシュサイズで再現可能な範囲)

Ⅲ. 実証システム > 8 システムテスト結果 > 風雪・融雪シミュレーション 飛雪空間密度の設定

(シミュレーション設定、結果、出力)

- 飛雪空間密度をParaViewで表示し、飛雪が流れに沿って下流に輸送される様子を確認

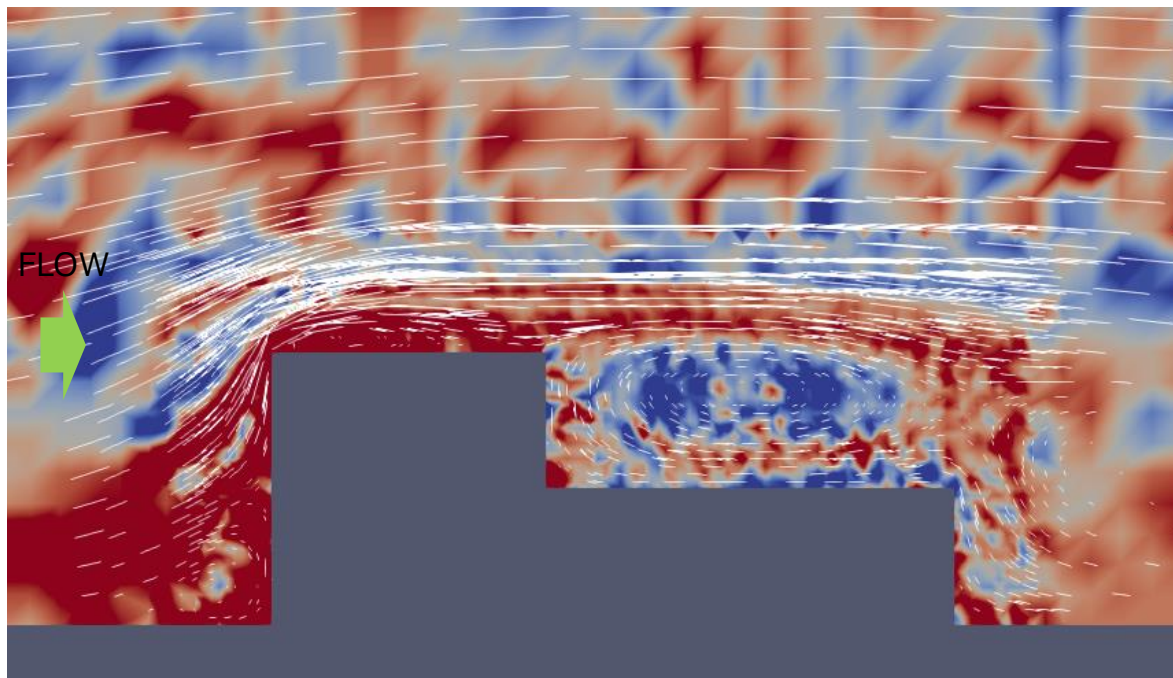


図 建物周辺の飛雪空間密度の確認
例えば、飛雪は建物等の前面で上昇し、屋根に沿って下流に輸送される
地形によっては建物背後の渦動にも影響される

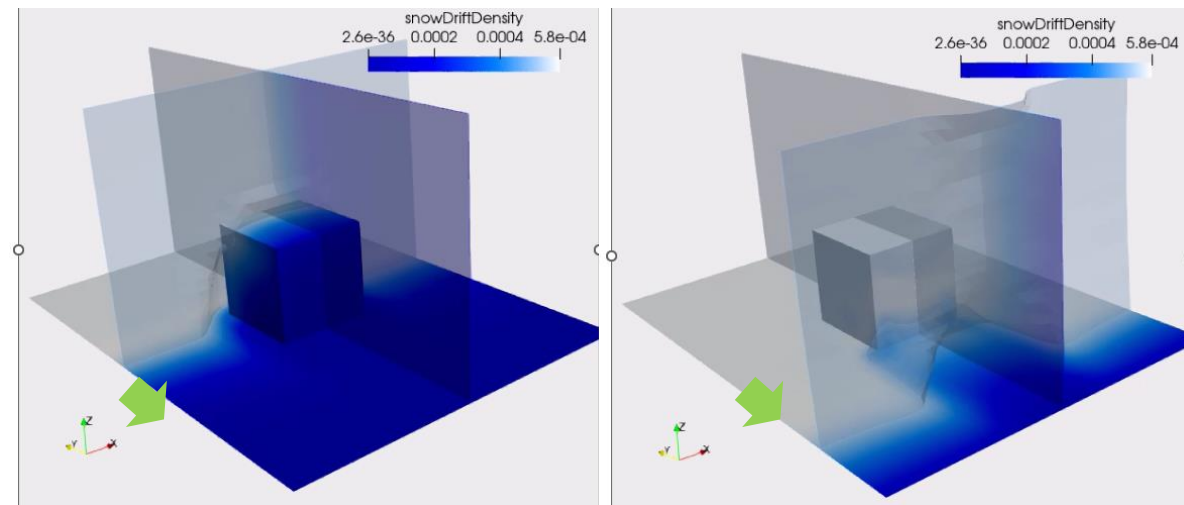


図 流入境界から流入する飛雪
気流に沿って飛雪が輸送される様子を確認

Ⅲ. 実証システム > 8 システムテスト結果 > 風雪・融雪シミュレーション 雪面の堆積・浸食結果

(シミュレーション設定、結果、出力)

- 既往研究(村山ら,2019 ; 2段屋根建物上の積雪分布の再現性の検討)との比較を行い、積雪の浸食量が過小傾向であったものの、堆積・浸食分布を概ね再現した
- 24時間で70cm程度となるように空間飛雪密度 $\phi = 0.00164$ としたところ、屋根の平均積雪深が $\text{snowDepthave} = 0.702\text{m}$ となり、飛雪空間密度による積雪深の計算は概ね妥当

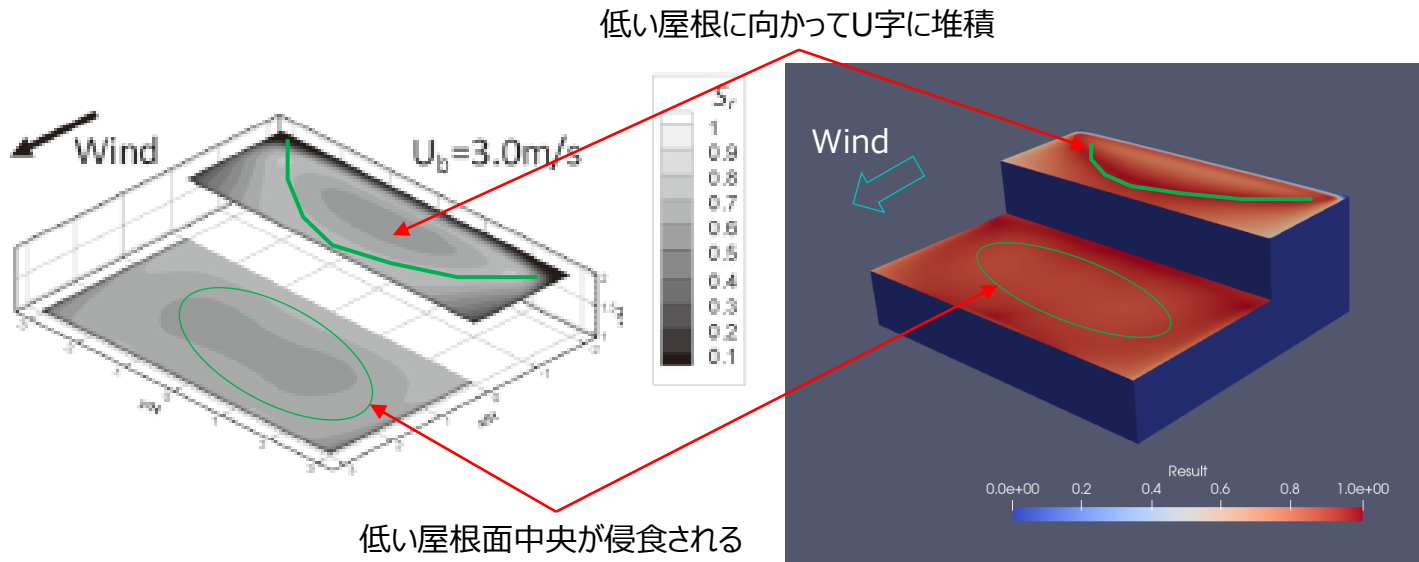


図 モデル地形による積雪深比 (風速3.0m/s) (左：既往研究、右：再現計算)

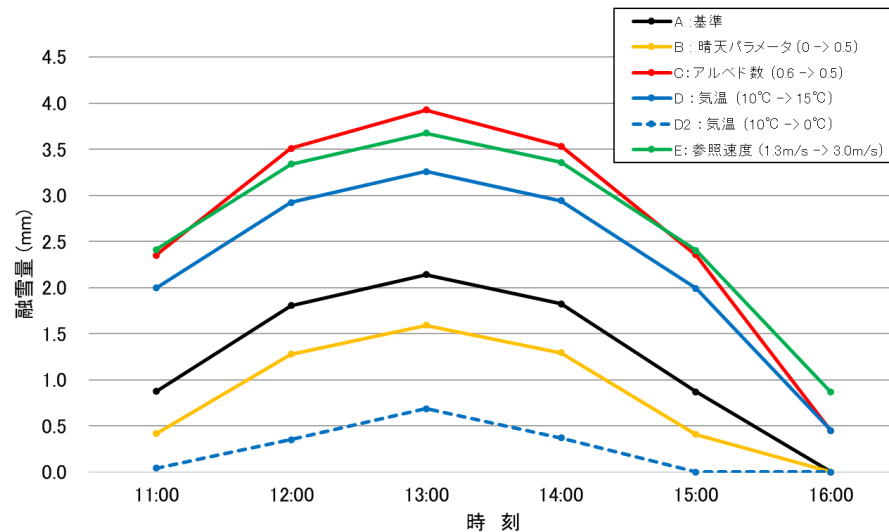


図 積雪深分布(屋根面の平均値)を確認
想定した積雪深が算出されたことを確認
また、地形による積雪深の偏在も再現

Ⅲ. 実証システム > 8 システムテスト結果 > 風雪・融雪シミュレーション 雪面熱収支に基づく融雪計算結果

(シミュレーション設定、結果、出力)

- 雪面熱収支に影響するパラメータを変更することで、融雪量が変化することを確認
- 日射量が大きくなる12:00～14:00に比べて、日が昇り切っていない朝や夕方の融雪量が小さい



Time	A: 基準	B: 晴天パラメータ (0 → 0.5)	C: アルベド数 (0.6 → 0.5)	D ₁ : 気温 [°C] (10 → 15)	D ₂ : 気温 [°C] (10 → 0.0)	E: 1m 高さ速度 [m/s] (1.3 → 3.0)
11:00	0.88	0.42	2.35	2.00	0.04	2.41
12:00	1.80	1.28	3.51	2.92	0.35	3.34
13:00	2.14	1.59	3.93	3.26	0.69	3.67
14:00	1.82	1.30	3.53	2.94	0.37	3.36
15:00	0.87	0.41	2.35	1.99	0.00	2.41
16:00	0.00	0.00	0.45	0.45	0.00	0.87

図 各時刻における融雪量の変化
例えば、基準条件に対して、気温や風速が上昇すれば融雪量が増加する

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

1.1 風雪・融雪シミュレーションの結果検証

(1) 実験結果との比較

① 検証内容

- 本ユースケースで開発した風雪・融雪シミュレーションモデルにより、令和3年12月の豪雪の再現を試みた。

② 検証結果

- 和田山駅前を対象に、観測された積雪量（70cm/24h）となるように飛雪空間密度を調整した。
- 街区レベルでの観測値はないため、詳細な妥当性の評価は困難であるが、高い屋根、低い屋根、路地の中、外などで、風速の強弱によって積雪量が変化している状況が確認できた。

※出典：村山ら「二段屋根建物上の積雪分布の再現性の検討」(2019)

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証（令和3年12月の豪雪再現）

1.2 建屋のリスク評価及び雪下ろし優先度評価の結果検証

① 検証内容

- 令和3年12月の豪雪時の建屋倒壊等の被害状況が、リスク評価結果と一致するか、雪下ろし等の実施状況が優先度評価（大雪援助隊派遣の必要性の評価）結果と一致するかについて、朝来市市民協働課及び和田山地域自治協議会にヒアリングを行い、評価結果とヒアリング結果との比較を行った。

② 検証結果

- 令和3年12月の豪雪再現による建屋リスク評価結果及び雪下ろし優先度評価結果では、概ね家屋倒壊のリスクはなく、大雪援助隊派遣も必要ないとみられた。
- ヒアリング結果では、令和3年12月の豪雪時には、屋根からの落雪等による家屋の破損等の被害事例はあるが、垂木等の屋根の損壊はなかったとみられ、住民による雪下ろしの実施も行われていないとみられることが分かった。
- 建屋のリスク評価及び雪下ろし優先度評価（大雪援助隊派遣の必要性の評価）とヒアリング結果は矛盾しないため、各評価は妥当であるといえる。

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証（令和3年12月の豪雪再現）

1.3 道路除雪に関する評価の結果検証

①検証内容

- 評価によって抽出された道路閉塞リスク箇所の妥当性について、令和3年12月豪雪時の地域住民からの除雪、排雪の要望・問い合わせの有無を朝来市建設課へのヒアリングにより確認し、評価結果の検証を行う。

②検証結果

- 評価によって抽出された道路閉塞リスク箇所が集中する地域では、令和3年12月豪雪時に要望や問い合わせの実績があり、道路閉塞リスク評価結果は妥当であるとの意見をいただいた。



IV. 実証技術の検証 > 2. 政策活用に向けた検証（最悪のシナリオ）

2.1 朝来市報告会による検証

① 検証概要

- 朝来市役所にて本実証結果を報告し、3D都市モデルによるシミュレーション・雪害リスク評価及び可視化が雪害対策の施策検討等にどのように活用可能であるかについて意見を聴取した。

朝来市報告会の概要

目的	3D都市モデルによるシミュレーション・雪害リスク評価及び可視化が雪害対策の施策検討等に有効かどうか評価いただくため	
実施期間	2023年1月30日	
実施場所	朝来市役所 本庁舎本館 4F 401、402会議室（web併用）	
参加者	国土交通省都市局1名、MRI1名、朝来市11名、ウエスコ・構造計画研究所7名 ※他web参加（4名） ※朝来市関係課（防災安全課1名、市民協働課1名、デジタル戦略課2名、都市政策課1名、税務課2名、建設課4名）	
実施内容	<ol style="list-style-type: none"> 挨拶、事業概要説明 実証結果の報告 3D都市モデルの操作体験 意見交換 アンケート（KPI） その他（今後の予定など） 	 

IV. 実証技術の検証 > 2. 政策活用に向けた検証（最悪のシナリオ）

2.1 朝来市報告会による検証

②検証内容

- 朝来市報告会では、実証結果を報告した後に、参加いただいた関係各課に、Unityで3D可視化したデータを実際にノートパソコンにて操作いただき、可視化及びデータの操作性を体験いただいた。
- 朝来市報告会の最後に、関係各課を対象にアンケート調査を実施し、雪害対策支援ツールの分析結果や図面などの活用可能性、住民等とコミュニケーションをとる際の雪害対策支援ツールの活用可能性等について、意見を収集した。



IV. 実証技術の検証 > 2. 政策活用に向けた検証（最悪のシナリオ）

2.1 朝来市報告会による検証

③検証による評価と課題

- 朝来市報告会にて関係各課より聴取した意見を以下に整理した。

朝来市報告会による検証

	評価	課題
①3D都市モデルの可視化表現・操作体験について	<ul style="list-style-type: none"> ・建屋一棟ごとのリスク表示はわかりやすいが、実際にどの程度の深さの積雪になるかがわかりにくい。 ・パソコンでのマウス操作は、非常にスムーズでストレスを感じない。 ・見たい地域を探すときに、見たい地域まで視点が移動できるとコマンドがあると良い。 ・見ている場所が、どの辺りかわかるように、川などの地形地物も表現できると良い。 ・大雪が予測される際に、リアルタイムでシナリオを設定して、シミュレーションできれば、災害のリスクの高い地域がわかることから、対策の優先順位が付けやすい。 ・風速・風向が矢印などで表現できれば視覚的によりわかりやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・通学路などの情報を重ねることで、地域の安全を守るための雪害対策の検討に活用できる。 ・リアルタイムでのシミュレーション実施はシミュレーション実施にかかる時間の問題から困難であることから、様々なシナリオを事前に想定して、シミュレーションを実施しておくなどの対策が重要。
②コミュニケーションツールとしての活用について	<ul style="list-style-type: none"> ・大雪が降る場所が事前にわかれば、市民とのリスクコミュニケーションのツールとして活用できる。 ・独居老人などの情報は地域にヒアリングするとわかるので、そういった情報も属性として付与することができれば事前の雪害対策も立てやすい。 ・色々なデータがまとめられて、庁舎内でも誰もが見られて活用できるようなプラットフォームがあると良い。 ・全市域でのシミュレーションができれば汎用性が広がる。建屋の倒壊は空き家等、老朽化が進んだ古い家屋に多く、都市計画区域外も注目する必要がある。（農業用倉庫等含） ・現状の建物への評価とする場合は、3D都市モデルのデータ更新も重要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・建屋に詳細な地域や住民の情報を付与することで緻密な評価が可能となる。（個人情報保護の観点への配慮が必要） ・都市計画区域外への活用も必要。 ・3D都市モデルや属性情報の定期的な更新が重要。

IV. 実証技術の検証 > 2. 政策活用に向けた検証（最悪のシナリオ）

2.1 朝来市報告会による検証

④検証の結果

- 朝来市報告会において関係各課を対象にアンケート調査を実施した。今回の実証の成果やツールについて、今後の施策関連資料作成等への活用可能性や、地域住民等とのコミュニケーション充実への活用可能性について質問し、いずれも活用意向があることが確認できた。

朝来市報告会アンケート結果

KPI	KPIの評価方法	達成度・結果
①今後、都市計画や交通、防災などの様々な分野で資料等を作成する際に、雪害対策支援ツールの分析結果や図面などを活用すると前向きな反応を得た関係各課職員の活用希望度。	朝来市報告会に参加した関係各課にアンケート調査を実施し、実証結果の評価を頂いた。	72%（8／11） 回答者のうち「ぜひ活用したい」「少しは活用したい」と回答された人数。
②今後、地域自治協議会や自治会、地域住民と協働しながら、雪害対策を推進する場合、住民等とコミュニケーションをとる際に雪害対策支援ツールを活用できると前向きな反応を得た関係各課職員の活用希望度。	朝来市報告会に参加した関係各課にアンケート調査を実施し、実証結果の評価を頂いた。	72%（8／11） 回答者のうち「活用できると思う」「多少は活用できると思う」と回答された人数。

IV. 実証技術の検証 > 2. 政策活用に向けた検証（最悪のシナリオ）

2.2 風雪・融雪シミュレーションの結果検証

① 検証内容

- 最も被害が大きくなる最悪のケースとして100年に1度程度の年最大積雪深に対し、100年に1度の年最大24時間降雪量が重なる状態を想定したシミュレーションを実施した。
- 100年に1度程度の年最大積雪深は、回帰式より再現期間100年に対する年最大積雪深を標高別に与えた。この場合の積雪重量は、一定程度圧密されたを考慮し、単位体積重量：3kN/m³とした。
- 一方、100年に1度の年最大24時間積雪量を算定した風雪シミュレーションでは新雪であることから、積雪重量は1kN/m³とした。降雪後に1日程度の融雪シミュレーションを実施した。

② 検証結果

- 街区レベルのモデルの予測精度の評価は困難であるが、数値解析的に求めた最悪のシナリオとしては、一定の説得力のある結果と考える。

成果と課題（風雪・融雪シミュレーション）

項目	成果	課題
街区レベルの風雪・融雪シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> 街区レベルでのシミュレーションによる雪面の積雪深の推定はあまり例がなく、今後の活用が期待される。 	<ul style="list-style-type: none"> 風速や風向は本来様々に変化するため、今回、過去データに基づきシナリオを設定した。 今後は計算資源の制約も踏まえ、降雪予測情報を反映した街区レベルでの雪面の積雪深の予測を行うことを検討していく必要がある。

IV. 実証技術の検証 > 2. 政策活用に向けた検証（最悪のシナリオ）

2.3 建屋のリスク評価及び雪下ろし優先度評価の結果検証

① 検証内容

- 最悪のシナリオにおける建屋倒壊のリスク評価結果や雪下ろし優先度（大雪援助隊派遣の必要性）の評価結果について、地域環境などの実情を考慮して違和感がないか、朝来市報告会参加者の意見を聴取した。また、除雪や防災等に係る施策検討への今回の結果の活用可能性についても同様に意見を聴取した。
- 朝来市報告会の中でシミュレーション結果を3Dで可視化したアプリを参加者に操作体験をしていただき、建屋倒壊リスクの把握のしやすさや、こうした可視化ツールの関係者や住民との意思疎通への活用可能性について意見を聴取した。

② 検証結果

- 評価結果は概ね妥当であり、関連施策検討に活用できる可能性があるとの意見いただいた。
- 建屋倒壊リスク等に加え、個人情報等を付与することで住民ぐるみの地域づくりに活用できる可能性があるとの意見をいただいた。

成果と課題（建屋リスク評価及び雪下ろし優先度評価）

項目	成果	課題
結果の妥当性	<ul style="list-style-type: none"> 建屋倒壊のリスク分布を表示、雪下ろし優先度（大雪援助隊派遣の必要性）分布の表示 評価内容は概ね妥当であると確認が取れた。 空き家は老朽化が進み強度低下が顕著（倒壊もあり）との指摘を頂く 	<ul style="list-style-type: none"> 建築年代の違いによる設計強度の差は少ないが、空き家等による老朽化の進展による強度低下が著しいことから、これらをモデル化し、建屋倒壊リスク評価へ反映することが重要
結果の施策活用性	<ul style="list-style-type: none"> リスク分布等の表示及び想定される施策の提示 提示内容を踏まえ除雪活動支援等の施策検討への活用可能性があるとの意見を得た 	<ul style="list-style-type: none"> 詳細な住民属性、空き家等の情報の追加
可視化による効果性	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルでの可視化、操作プログラムの作成 操作体験を通し、住民等との効果的な意思疎通が可能であると意見を得た 	<ul style="list-style-type: none"> 積雪量等の情報の可視化による建屋倒壊リスク評価への理解促進

IV. 実証技術の検証 > 2. 政策活用に向けた検証（最悪のシナリオ）

2.4 道路除雪に関する評価の結果検証

① 検証内容

- 今回のシミュレーションと道路除雪に関する評価の結果抽出された道路閉塞リスク箇所について、シミュレーションの前提条件とした令和3年12月豪雪時における実際の地域住民からの除雪、排雪の要望や問い合わせの状況を朝来市建設課へのヒアリングを通じて把握し、評価結果の妥当性を検証した。
- 令和3年12月豪雪以上の最悪のシナリオの場合の、道路閉塞リスク箇所の排雪作業時間の評価について朝来市建設課へヒアリングを行い、結果の検証を行った。

② 検証結果

- 評価によって抽出された道路閉塞リスク箇所が集中する地域では、令和3年12月豪雪時に要望や問い合わせの実績があり、最悪のシナリオでも同様に評価結果は妥当であるとの意見をいただいた。
- 最悪のシナリオの場合の排雪作業時間について、今後の除雪体制の参考になると意見をいただいた。

成果と課題（道路除雪に関する評価）

項目	成果	課題
道路閉塞リスク箇所	大雪時に道路閉塞リスクのある箇所を抽出	除雪対象路線が変更されると、道路閉塞リスク箇所も変更されるため、除雪対象路線の見直しごとに道路閉塞リスク箇所も見直しが必要となる。
排雪作業時間	最悪のシナリオ時に道路閉塞リスク箇所を排雪するのに要する時間の算出	排雪作業効率はヒアリングによる代表値であり、除雪業者の保有機材、地形等によっても異なる。

IV. 実証技術の検証 > 3. 検証ポイントと検証結果の整合

3.1 検証ポイントと検証結果の整合

- I. 実証概要の全体概要に記載している「検証ポイント」と本実証で得られた結果については整合が図れた。

検証結果のまとめ

検証ポイント	検証結果のまとめ
<ul style="list-style-type: none"> • 個別建屋の基礎情報（建屋構造、築年代等）を用いた建屋リスク評価の妥当性について、過年度の既往最大降雪時の被害の有無との比較により検証できないか。 	<ul style="list-style-type: none"> • 令和3年12月の豪雪再現による建屋リスク評価結果及び雪下ろし優先度評価結果では、概ね家屋倒壊のリスクはなく、大雪援助隊派遣も必要ないとみられた。 • ヒアリング結果では、令和3年12月の豪雪時には、屋根からの落雪等による家屋の破損等の被害事例はあるが、垂木等の屋根の損壊はなかったとみられ、住民による雪下ろしの実施も行われていないとみられることが分かった。 • 建屋のリスク評価及び雪下ろし優先度評価（大雪援助隊派遣の必要性の評価）とヒアリング結果は矛盾しないため、各評価は妥当であるといえる。
<ul style="list-style-type: none"> • 除雪困難な路線について、3D都市モデルを用いた道路閉塞リスク評価結果の妥当性が検証できるか。 	<ul style="list-style-type: none"> • 評価によって抽出された道路閉塞リスク箇所が集中する地域では、令和3年12月豪雪時に要望や問い合わせの実績があり、道路閉塞リスク評価結果は妥当であるとの意見をいただいた。 • 評価によって抽出された道路閉塞リスク箇所が集中する地域では、令和3年12月豪雪時に要望や問い合わせの実績があり、最悪のシナリオでも同様に評価結果は妥当であるとの意見をいただいた。 • 最悪のシナリオの場合の排雪作業時間について、今後の除雪体制の参考になると意見をいただいた。
<ul style="list-style-type: none"> • 雪下ろし支援の優先度評価（提案）等、3D都市モデルを用いることで、地域において人的・物的資源の制約がある中での効率的・効果的な施策検討のための有益なツールになり得るか。また改善点などはあるか。 	<ul style="list-style-type: none"> • 評価結果は概ね妥当であり、関連施策検討に活用できる可能性があるとの意見いただいた。 • 建屋倒壊リスク等に加え、個人情報等を付与することで住民ぐるみの地域づくりに活用できる可能性があるとの意見をいただいた。

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

V. 成果と課題 > 1. 今年度の実証で得られた成果

① 3D都市モデルによる技術面での優位性 | サマリ

- 3D都市モデルの技術面での優位性を、項目ごとに以下に示す。

項目	技術面での優位性
風雪・融雪シミュレーション	・LOD2の建物形状を活用することで、気流解析の高精度化や、屋根面における積雪の偏在の再現計算などが可能。
建屋のリスク評価及び雪下ろし優先度評価	・3D都市モデルを活用した風雪・融雪シミュレーション結果を採用することで、建屋リスク評価及びそれに基づく雪下ろし優先度評価の精緻化が可能。
道路除雪に関する評価	・3D都市モデルの道路データを活用することで、細かな区間での積雪量や道路閉塞リスク箇所の評価が可能。

V. 成果と課題 > 1. 今年度の実証で得られた成果

② 3D都市モデルによる政策面での優位性 | サマリ

- 3D都市モデルの政策面での優位性を、項目ごとに以下に示す。

項目	政策面での優位性
風雪・融雪シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーション結果が3次元で可視化されることで、吹き溜まりなど積雪の偏在が容易に確認できる。
建屋のリスク評価及び雪下ろし優先度評価	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーション結果や建屋倒壊リスク等が3次元で可視化されることで、大雪時に庁内関係課や消防、自治会、地域住民等の多様な関係者との意思疎通を円滑化できる。 自治会等による雪下ろし等の除雪活動がない地域でも、3次元で可視化されることで住民の注目を集め、効率的なリスクの啓発周知や事前の対策に繋がる可能性がある。
道路除雪に関する評価	<ul style="list-style-type: none"> 道路閉塞リスク箇所、除雪の対象路線が3次元で可視化されることで、大雪時のリスクコミュニケーションに活用できる。 道路閉塞リスク箇所を事前に把握しておくことで、大雪時に対応した除雪計画を具体的に作成することができる。

V. 成果と課題 > 2. 今後の取り組みに向けた課題

2. 今後の取り組みに向けた課題

- 今後の取り組みに向けた課題は以下に示す通り。

項目	活用にあたっての課題
風雪・融雪シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> • 対象となる外力設定(風速、風向、降雪量)により、積雪分布が変化することから、検討するシナリオごとに風雪・融雪シミュレーションの見直しが必要となる。
建屋のリスク評価及び雪下ろし優先度評価	<ul style="list-style-type: none"> • 地域や住民の詳細な情報、空家等の建物情報の反映による評価の精緻化が可能となるが、個人情報保護の観点から、課税情報に該当する恐れがあるものや住宅地図等と照らし合わせることで個人の特定につながる恐れがあるものは留意が必要となる。 • 大雪援助隊派遣以外のソフト施策に関する分析の実施と施策への活用
道路除雪に関する評価	<ul style="list-style-type: none"> • 除雪対象路線が変更されると、道路閉塞リスク箇所も変更されるため、除雪対象路線の見直しごとに道路閉塞リスク箇所も見直しが必要となる。 • 除雪計画は市全体で予算や除雪リソースを検討する必要があるため、朝来市全域で評価を行い、大雪時の除雪計画を作成するのが望ましい。
全体	<ul style="list-style-type: none"> • 可視化ツールのUI/UXの向上

雪害対策支援ツール 技術検証レポート

令和5年3月 発行

委託者：国土交通省 都市局 都市政策課

受託者：株式会社 ウエスコ・株式会社 構造計画研究所

本報告書は、株式会社ウエスコ・株式会社構造計画研究所が国土交通省との間で締結した業務委託契約書に基づき作成したものです。受託者の作業は、本報告書に記載された特定の手続や分析に限定されており、令和5年3月までに入手した情報にのみ基づいて実施しております。従って、令和5年4月以降に環境や状況の変化があったとしても、本報告書に記載されている内容には反映されておりません。