

降水粒子自動判別小型IoTデバイスの開発

東京都市大学 建築都市デザイン学部 小野村 史穂
東京理科大学 総域理工学部 仲吉 信人

研究の視点

降水観測

気象の物理過程や水循環の把握

顕著な降水現象に対する防災

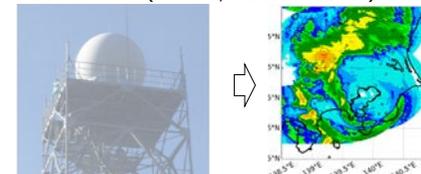
転倒マス型雨量計



- 国土交通省
- 気象庁
- 都道府県
- 交通系企業
- 民間気象会社 etc.

数十 km 間隔に点在

気象レーダー (XRAIN, 気象庁Cバンド)



- 局地的大雨の観測が困難
- レーダー雨量と地上雨量の差
- 固体降水粒子の計測精度低下

研究の視点

雨量 & 雨滴粒径分布の観測装置

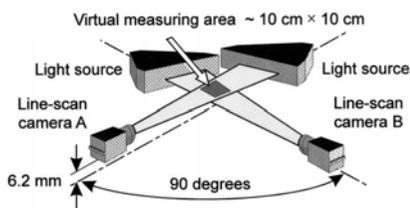
Laser disdrometer (レーザー式雨滴粒径観測装置)



(Theis)

高価で地上観測への多点展開性が低い。

Two-dimensional video disdrometer



(Kruger and Krujewski 2001)

雪やみぞれ等を含めた降水粒子を測定する
小型かつ安価で低消費電力なIoTデバイスを作成する

Image disdrometerの仕組み



小野村ほか (2019)

① 平板に落ちてくる降水粒子を連続撮影



② 連続した画像の差分を取る



差分

③ 撮影時に付着した雨滴のみを抽出

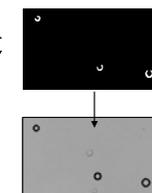
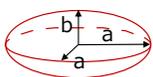


Image disdrometerの仕組み

5

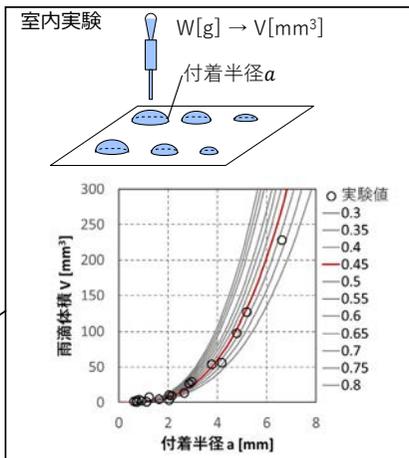
④各雨滴の体積 $V[\text{mm}^3]$ を推定



回転楕円体の半分と仮定

$$V = \frac{4}{3} \pi a^2 b \times \frac{1}{2}$$

$$= \frac{2}{3} \pi a^3 \times \frac{b}{a}$$

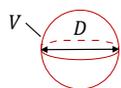


⑤降雨強度 $R[\text{mm}]$ の算出

$$R[\text{mm}] = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n V_i$$

A: 検査領域面積 $[\text{mm}^2]$
n: 1フレームで捉えた雨滴総数

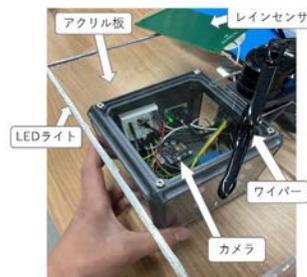
⑥粒径分布の算出



球等価直径として算出

Image disdrometerの改良点

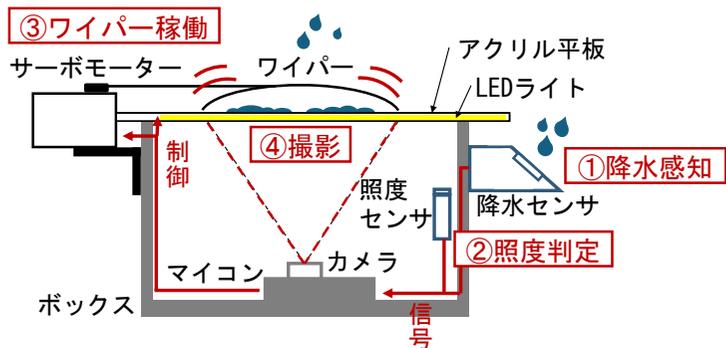
2



- 小型化 (外寸: 240mm×170mm×110mm)
- マイコンによるシステム制御
- 高解像度カメラモジュールの組み込み
- レインセンサによる観測の効率化
- 感光センサとLEDテープによる夜間の観測
- 画像処理における誤検出の改善

Image disdrometerの改良

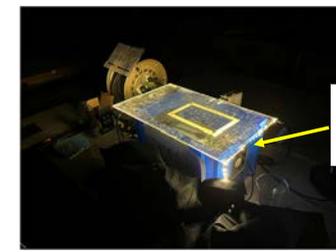
2



30秒ごとに①~④を繰り返し, 10秒撮影

夜間観測の照明方法による改善

2



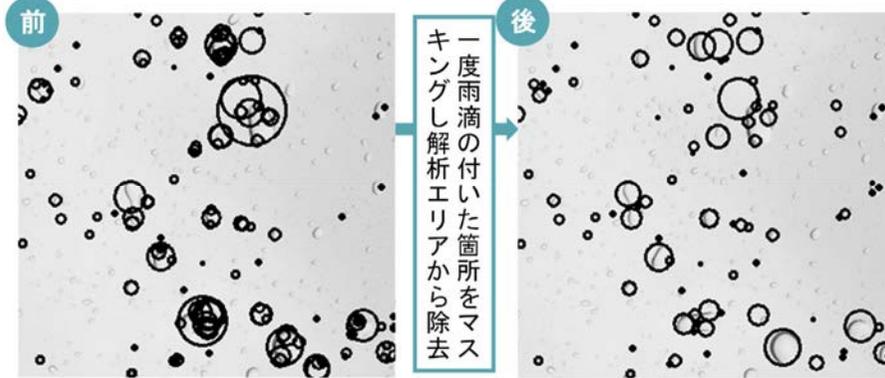
LEDテープによるアクリル板側面からの照明



降水粒子の縁が鮮明になる

雨滴誤検出の改良

2



画像処理の過程において、雨滴の変形による誤検出が多発する事例が見られる

重複するような検出が減少

観測の様子

2



@東京理科大学



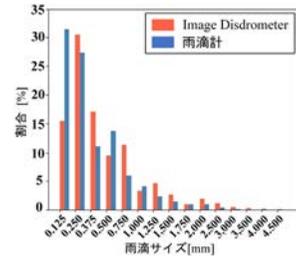
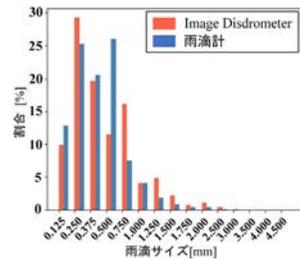
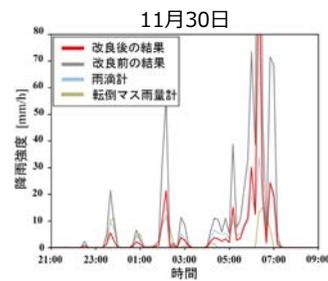
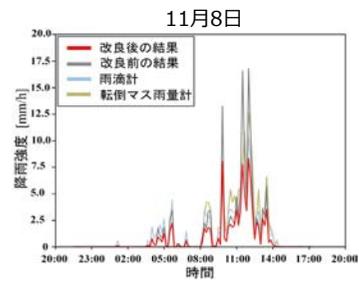
@東京都市大学



@北海道大学

降雨観測結果

2



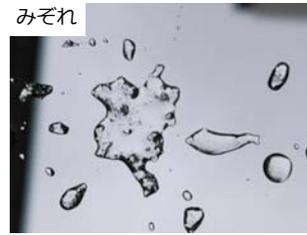
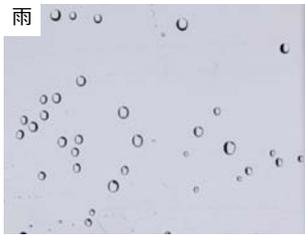
観測で撮影された降水の様子

2

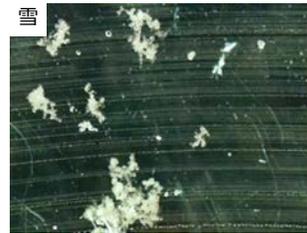
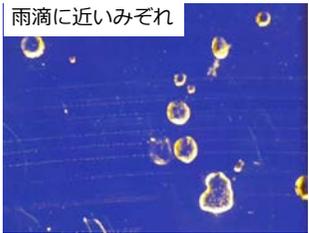


観測で撮影された降水粒子の種類

2



雨滴, みぞれ, 雪など
降水粒子の種類を判別でき
る画像の取得



まとめ

2

- マイコンやMEMSセンサを使用し、小型の降水粒子観測装置を開発・改良した。
- 降雨観測の精度を向上するとともに、固体降水粒子の観測も可能であることが確かめられた。
- 今後は従来の推定手法に加え、鮮明な画像を用いた自動判別モデルの構築、測器への組み込みが見込まれる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、助成を賜りました
一般財団法人 大成学術財団に深く感謝いたします。

2022年度から開始した研究課題ですが、産休育休による中断を
経て再開する形となりました。多大なるご配慮をいただきましたこと、
心より感謝申し上げます。

広域的視点からみた持続可能なコンパクトシティ計画に関する研究

Research on sustainable compact city planning from a broad regional perspective

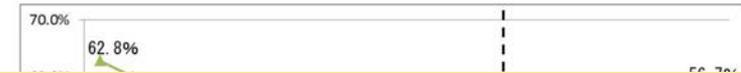
2025年 10月17日
東京電機大学 理工学部 建築・都市環境学系 助教
吉田 雪乃 Yukino YOSHIDA

研究背景

▶ 都市化と人口減少・少子高齢化

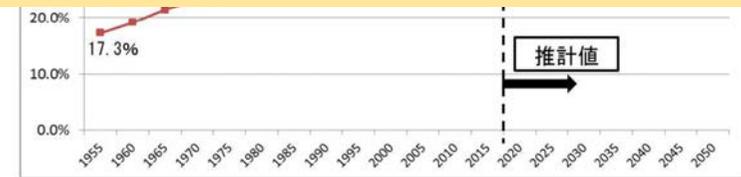
2050年までに、全人口の3分の2になるといわれている。日本においても、都市化が進行と並行する形で、都市部以外の地方都市で人口は減少しており2050年の人口は半減する。

「三大都市圏および東京圏の人口が総人口に占める割合」



SDGsの目標11「住み続けられるまちづくりを」

→ 農産部を含めた持続的な開発を行い、計画とデザインが行き届いた都市を発展させていくことが必要



(出典：総務省『都市部への人口集中、大都市等の増加について』)

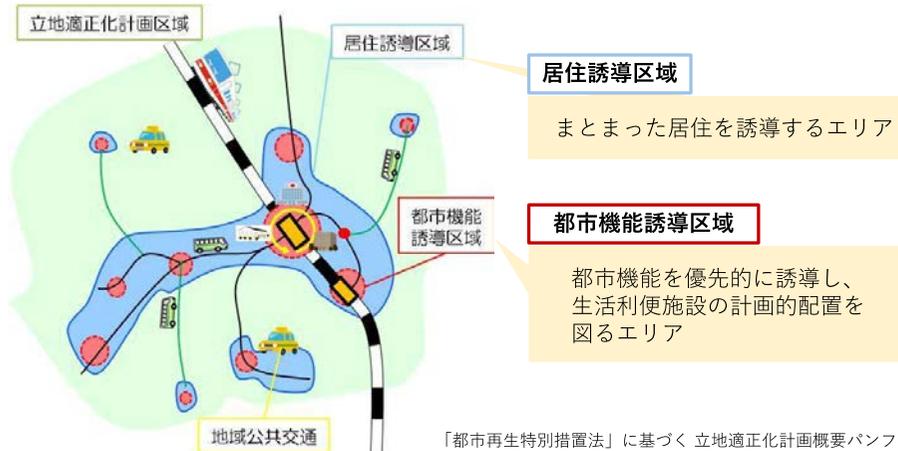
研究背景

▶ 立地適正化計画の概要

コンパクトシティ形成を目的として、2014年都市再生特別措置法等が改正された。

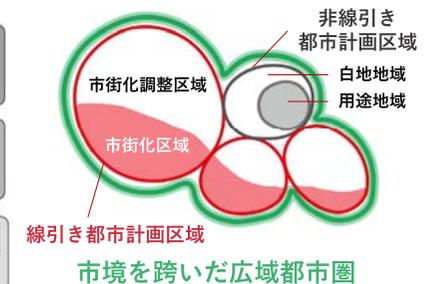
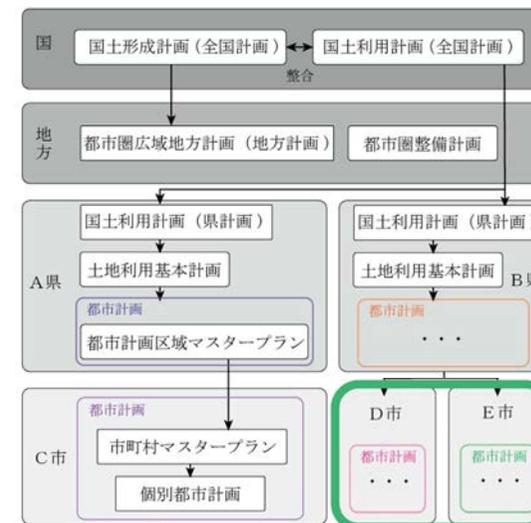
立地適正化計画：都市全体の観点から、居住機能や福祉・医療・商業等の都市機能の立地、公共交通の充実に関する包括的なマスタープランを作成

→ 枠組みは明確になっておらず、適切に対応できる計画技術が蓄積されていない



研究背景

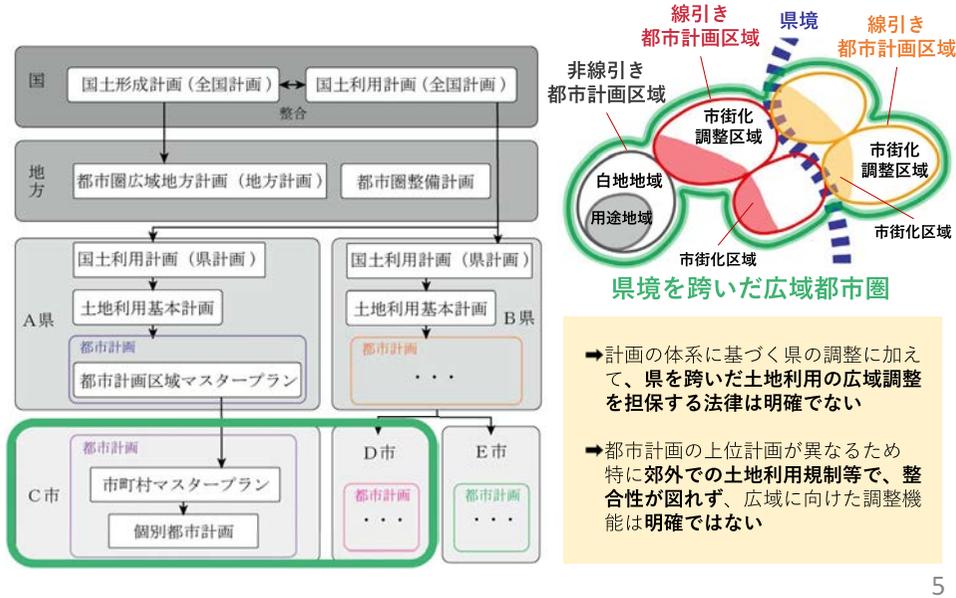
▶ 市境を跨いだ広域都市圏の土地利用計画の概要



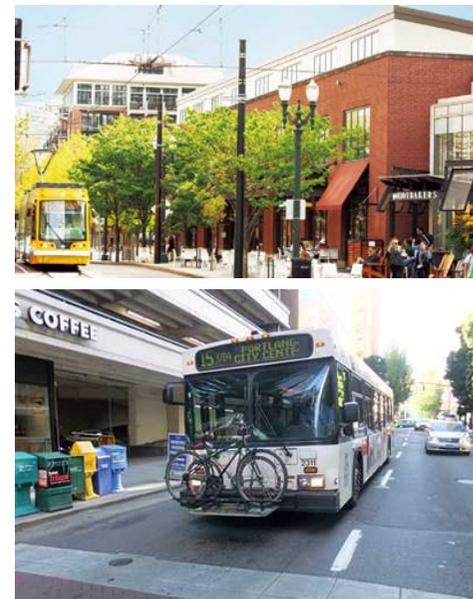
都市計画区域：市域に関わらず設定
立地適正化計画：市町村で立案

→ 本来、広域調整の役割を担うべき、県による上位計画の役割や、立案にあたっての広域での土地利用調整の視点は希薄

▶ 県境を跨いだ広域都市圏の土地利用計画の概要

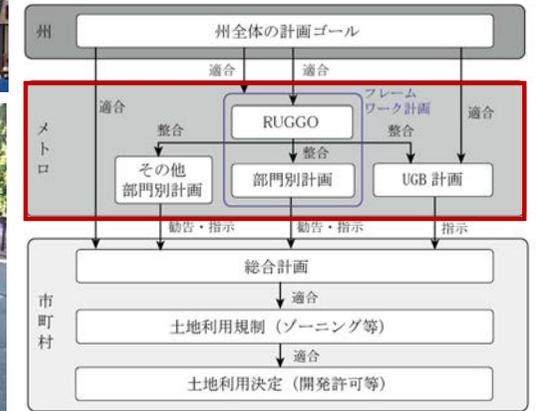


▶ アメリカ・ポートランド市の概要



かつては日本と同じように、郊外スプロールが問題であったが、約40年前からコンパクトシティ政策に取り組んでいる。

車に依存せず、歩いて暮らせるまちづくりとして、先進的な取り組みが行われており、コンパクトシティの実現を目指している。



▶ 既往研究

広域都市圏のコンパクトシティに関する既往研究：

□山口防府広域都市圏を対象とし、将来集約型都市構造モデルを構築し、評価したもの※¹ etc.
 ポートランド市に関連した既往研究：

□非線引き区域である山口県宇部市を対象とし、集約型都市構造モデルを構築したうえで、計画策定手法について考察したもの※² etc.

郊外部の土地利用制度に着目した研究：

- 開発動向をメッシュデータ化し、数量化Ⅰ類分析を用いて、様々な都市の郊外における開発動向の問題点を指摘したもの※³、
- 郊外部における農地転用動向をシミュレーションしているもの※⁴、
- 線引き制度廃止都市の人口流動特性を整理し郊外部の土地利用誘導方策を提示しているもの※⁵ etc.

※¹ 坪井志朗, 鶴心治, 小林剛士, 西村祥 : エキスパートシステムによる集約型都市構造の可視化と評価手法に関する研究、日本建築学会計画系論文集, Vol.82, No.731(2017) pp.105-114

※² 杉原礼子, 鶴心治, 小林剛士, 宋俊煥, 趙世晨, 坪井志朗, 西村祥 : ポートランド市の計画方針を組み込んだコンパクトシティ計画策定支援手法の提案、日本建築学会計画系論文集, Vol.83, No.749(2018) pp.1251-1261

※³ 小林剛士, 鶴心治, 中園真人: 線引き制度運用からみた地方都市郊外部の開発ポテンシャルに関する研究、日本建築学会計画系論文集, Vol.70, No.596, pp.101-108, 2005.10

※⁴ 坪井志朗, 鶴心治, 小林剛士, 宋俊煥: 線引き制度廃止都市の郊外部における開発ポテンシャルに関する研究、日本建築学会計画系論文集, Vol.82, No.740, pp.2619-2628, 2017.10

※⁵ 石村壽浩, 鶴心治, 中園真人: 線引き制度廃止都市の人口流動特性と郊外部の土地利用誘導方策に関する研究、日本建築学会計画系論文集, Vol.75, No.647, pp.157-164, 2010.01

▶ 研究の目的

本研究では、県境を超えた広域都市圏を対象として、エキスパートシステムを用いて県境を跨ぐ広域都市圏に適応した人口集約ツールを用いて、ポートランド型コンパクトシティモデルを構築する。スプロールが進行している地域を考慮したうえで、広域連携が行われているポートランド市の行政計画を用いた集約型都市構造を構築することで、県境を跨いだ広域都市圏が目標としている現実的な集約型都市構造モデルを提示、検討し、評価することを目的とする。



宍道湖・中海圏域の位置

対象5都市の概要

	H27人口(人)	面積(ha)	都市計画区域	区域区分
松江市	206,230	57,293	松江圏都市計画区域	あり
出雲市	171,938	62,436	宍道都市計画区域	なし
安来市	39,528	42,093	出雲都市計画区域	なし
米子市	149,313	13,242	松江圏都市計画区域	あり
境港市	34,174	2,911	米子境港都市計画区域	あり
			淀江都市計画区域	なし

対象圏域は大山周辺を含めて宍道湖・中海・大山圏域と定義される場合も多いが、本研究の対象は都市計画区域を持たない町村部は研究対象領域に含めない。

▶ 研究の目的

本研究の位置づけは、スプロールが進行している地域を考慮したうえで、広域連携が行われているポートランド市の行政計画を用いた集約型都市構造を構築することで、行政計画に対して客観的な検討に基づく都市構造に現実的なスプロールの影響を考慮しながら、現実的な広域連携型集約都市構造モデルを提示できる点にある。



対象5都市の概要

	H27人口(人)	面積 (ha)	都市計画区域	区域区分
松江市	206,230	57,299	松江圏都市計画区域	あり
出雲市	171,938	62,436	出雲都市計画区域	なし
安来市	39,528	42,093	松江圏都市計画区域 広瀬都市計画区域	あり なし
米子市	149,313	13,242	米子境港都市計画区域	あり
境港市	34,174	2,911	米子境港都市計画区域	あり

対象圏域は大山周辺を含めて宍道湖・中海・大山圏域と定義される場合も多いが、本研究の対象は都市計画区域を持たない町村部は研究対象地域に含まない。

1

シミュレーション対象都市 宍道湖・中海圏域の都市構造分析

・ポートランド市の指標に基づいて、日本の地方都市 宍道湖・中海圏域の住環境評価を行う。

2

ポートランド型コンパクトシティモデルの構築

・既往研究より、人口集約ルールを設定し、エキスパートシステムを援用することで市別および広域都市圏のポートランド型コンパクトシティモデルを構築する。

3

広域連携型将来都市構造モデルの評価

・宍道湖・中海圏域とより広域な都市圏を形成している北関東広域圏のポートランド型コンパクトシティモデルのシミュレーション結果と農地転用を考慮した集約型都市構造モデルのシミュレーション結果の比較を行い、その違いと計画根拠、課題と政策的対応を考察、検討する。

4

広域連携型集約都市構造のコンパクトシティ計画策定へ向けた提案

・2つの広域モデルの分布特性について考察し、広域都市圏連携型将来都市構造を目標とする立地適正化計画策定に向けた支援策を検討する。

5

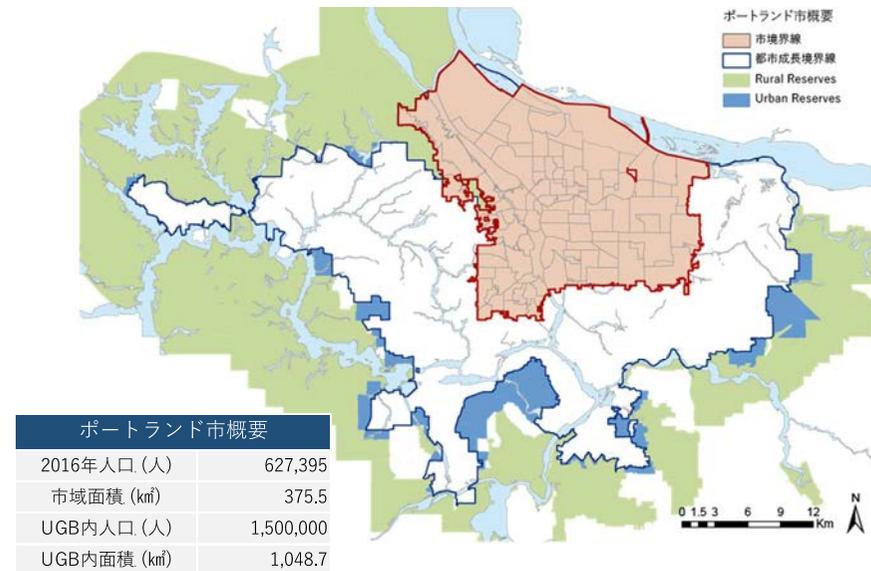
小括

・得られた知見を整理する

01. ポートランド市の土地利用計画

▼ ポートランド市の概要

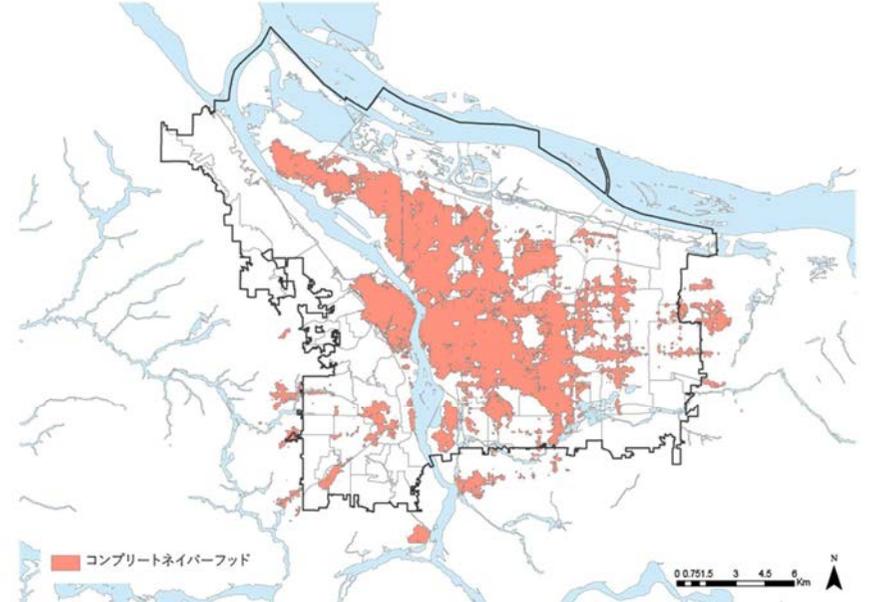
ポートランド市は、広域に都市成長境界線(UGB)を設定しており、郊外の都市開発を禁止し、農村地域と自然地域の保全を行っている。一方、市内の都市部においては、住環境を都市施設への近接性を基に評価する指標「ウォークスコア」を用いて開発状況の把握を行っており、100点満点で示される。



01. ポートランド市の土地利用計画

▼ コンプリートネイバーフッド

評価指標→自転車道路、歩道、公共交通機関、食料品店、公園や自然地域、小学校、商業サービス施設
ウォークスコアの得点について、合計得点が70%以上を満たす地域：「コンプリートネイバーフッド」



01. 穴道湖・中海圏域の都市構造分析

STEP 1 穴道湖・中海圏域におけるウォークスコアの基準を設定

ポートランド市の指標に基づいて、穴道湖・中海圏域におけるウォークスコアの指標を設定する。
本研究では、**公立小学校、食料品店、交通機関、公園・自然地域、商業サービスの5カテゴリー**を使用した。

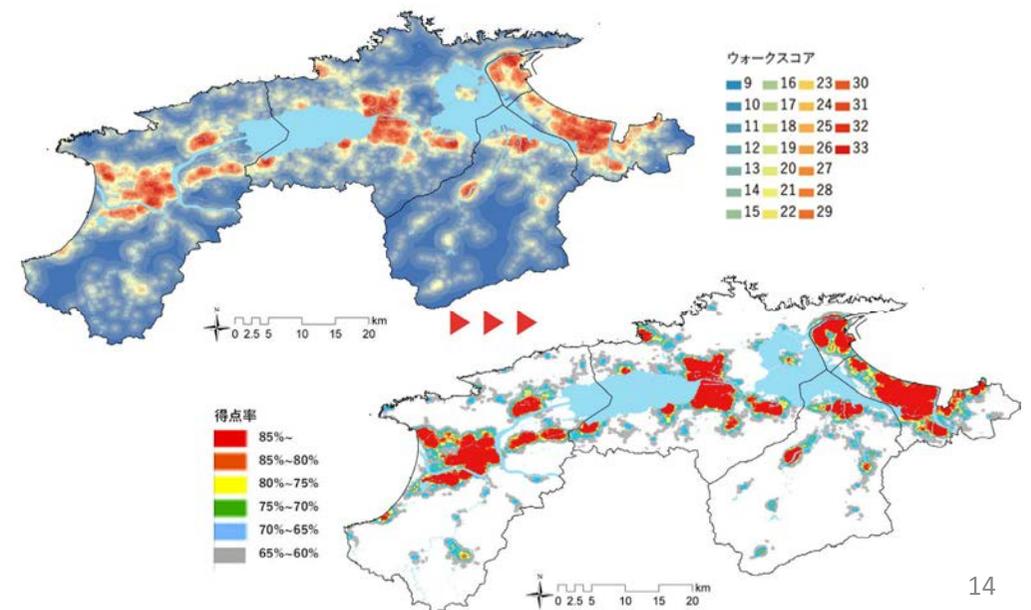
宇部市指標	カテゴリー	カテゴリースコア	距離(m)	距離スコア		
公立小学校	-	-	1600-	1		
			800 - 1600	2		
			400 - 800	3		
			-400	4		
食料品店	-	-	1600-	1		
			800 - 1600	2		
			400 - 800	3		
			-400	4		
交通機関	-	-	1600-	1		
			800 - 1600	2		
			400 - 800	3		
			200 - 400	4		
			-200	5		
公園 自然地域	-	-	1600-	1		
			800 - 1600	2		
			400 - 800	3		
			-400	4		
商業サービス	-	-	1600-	1		
			800 - 1600	2		
			400 - 800	3		
			-400	4		
			レ스토랑2つ以上 + 商業サービス3つ	1	1600-	1
			// + // 4つ	2	800 - 1600	2
// + // 5つ	3	400 - 800	3			
// + // 6つ	4	-400	4			
// + // 7つ	5	-	-			
// + // 8つ	6	-	-			

この指標を基に、100mメッシュデータを用いて**合計得点を算出**する。¹³

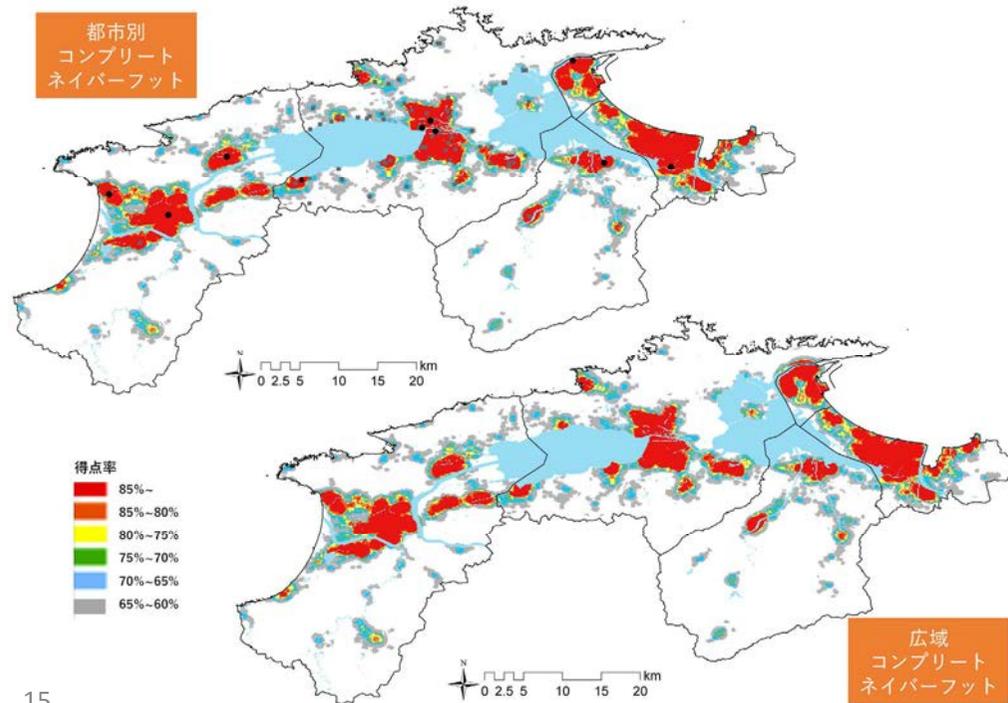
01. 穴道湖・中海圏域の都市構造分析

STEP 2 コンプリートネイバーフッドを判定

穴道湖・中海圏域ウォークスコア指標の最大得点×0.7(得点率70%以上)
⇒**得点率70%を満たす地域：「コンプリートネイバーフッド」**



01. 「市別」と「広域都市圏」のコンプリートネイバーフット



02. ポートランド型コンパクトシティモデル(PCM)の構築

STEP 1 既往研究の知識ベースに基づく人口集約ルールを設定

【非可住地設定ルール】

該当する地域は非可住地とする

ルール1 環境保護

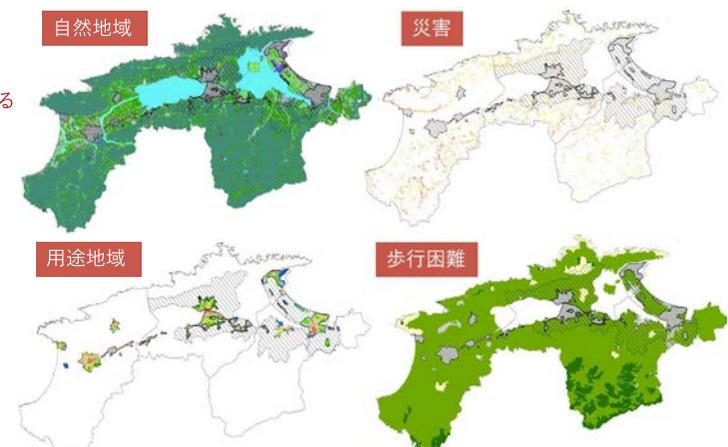
- ①「自然地域」
→ 自然系土地利用
- ②「災害警戒地域」
→ 土砂災害危険箇所
→ 浸水想定区域

ルール2 用途地域

20分圏ネイバーフッド分析において、対象地域外とされているIndustrial Areas(工業地域)
→ 用途地域：工業専用地域

ルール3 歩行困難区域

20分圏ネイバーフッドに適さない場所、及び歩行や自転車による移動を妨げる要素を持つ地域
→ 「空港」「港湾」
「傾斜角20度以上を超える急傾斜地」¹⁶



02. ポートランド型コンパクトシティモデル(PCM)の構築

STEP 1 既往研究の知識ベースに基づく人口集約ルールの設定

【居住誘導地域判定ルール】

本研究では…

65%以上70%未満該当地域：

コンプリートネイバーフッド候補地域

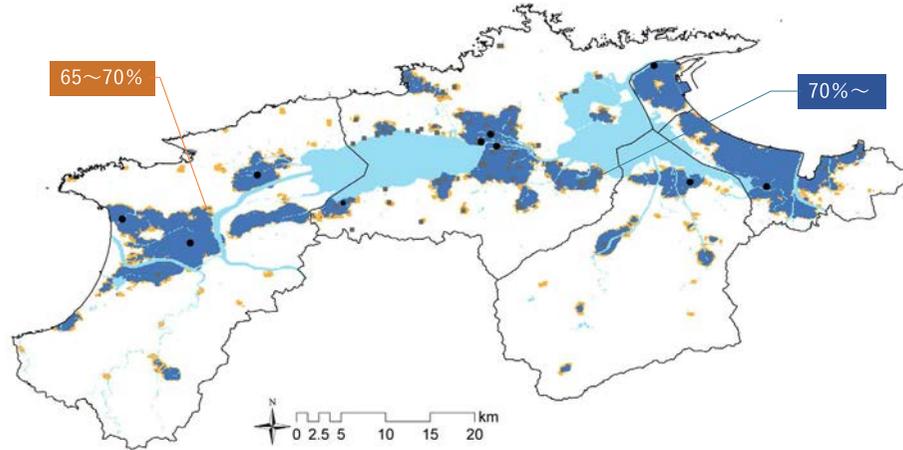
→ 人口の移動は行わない

70%以上該当地域：コンプリートネイバーフッド

→ 目標人口密度を設定し、人口を集約する

ルール4 住環境評価

住環境評価を行うことで、ウォークスコアの得点率により、居住を誘導すべき地域を判定する。



17

02. ポートランド型コンパクトシティモデル(PCM)の構築

STEP 1 既往研究の知識ベースに基づく人口集約ルールの設定

【人口集約ルール】 目標人口密度を設定し、人口を集約する

ルール5 都市拠点

セントラルシティに該当する地域

→ 松江駅・県庁・市役所を中心とした

800m圏域 目標人口密度：85人/ha

ルール6 地域拠点

地域コミュニティ核

タウンセンターに該当する地域

→ 宍道・広瀬・伯太・境港・出雲

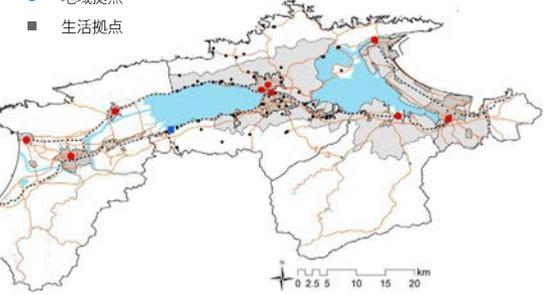
etc.から500m圏域

目標人口密度：76人/ha

ネイバーフッドセンターに該当する地域

→ 生活拠点(20ヶ所)を中心とした300m圏域

目標人口密度：38人/ha



ルール7 集約軸

シヴィックコリドーに該当する地域

→ 主要幹線道路軸

目標人口密度：38人/ha

18

02. ポートランド型コンパクトシティモデル(PCM)の構築

STEP 2 人口集約ルールに基づく人口集約フローの構築

【人口集約フロー】

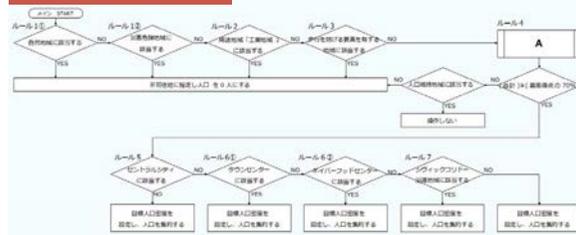
以上の人口集約ルールに基づき、コンパクトシティモデルを構築するための人口集約フローを構築する。

※人口集約ルールには含まれない基本条件

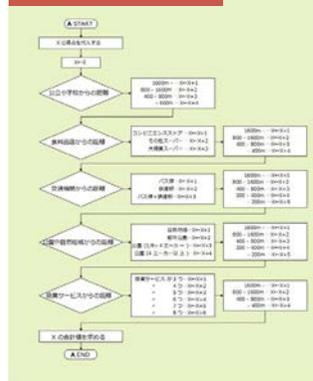
- 人口が0人のメッシュには人口を按分しない。
- 計画目標年の将来推計人口分布より、メッシュ内人口が1人未満になった場合、人口を按分しない。

これらのコンパクトシティモデル構築手順STEP 1、STEP 2-1、STEP 2-2を踏まえて、将来人口推計分布に人口集約フローを適応させ、STEP3：コンパクトシティモデルを構築する。

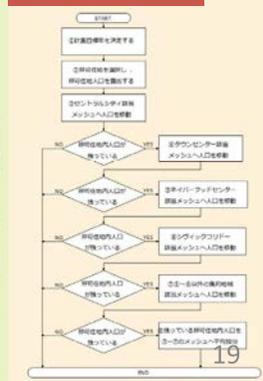
集約メッシュフローチャート



住環境評価フローチャート

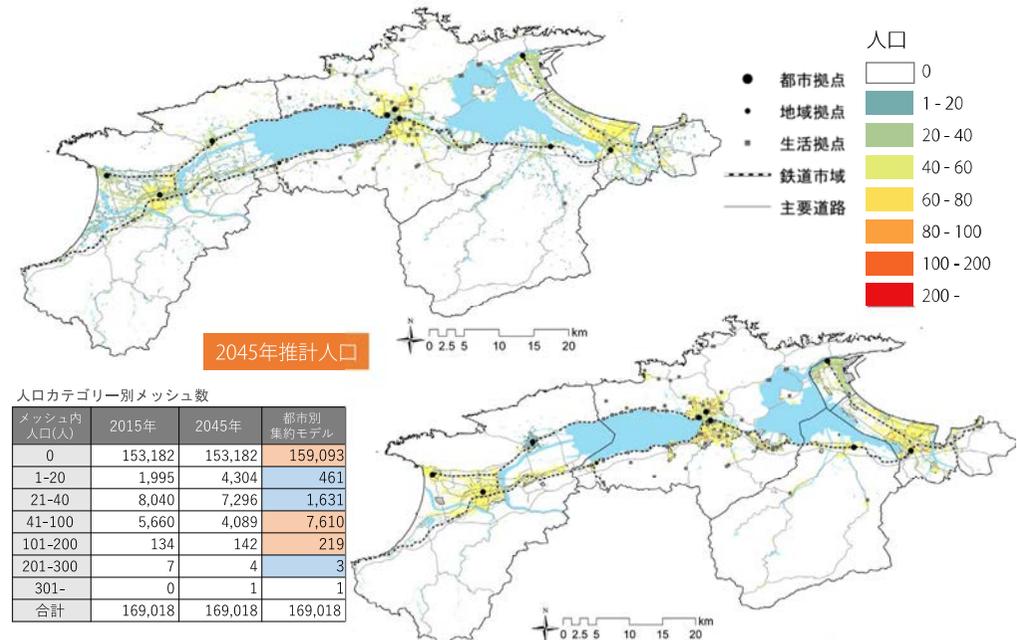


人口集約フローチャート



19

02. 【都市別】 ポートランド型コンパクトシティモデル



人口カテゴリ別メッシュ数

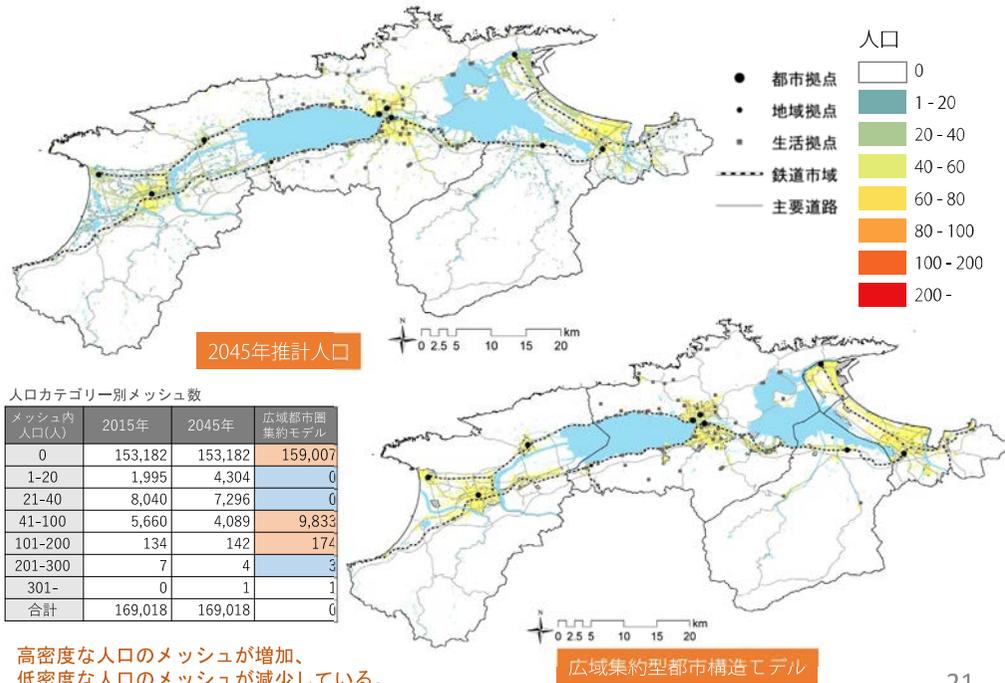
メッシュ内人口(人)	2015年	2045年	都市別集約モデル
0	153,182	153,182	159,093
1-20	1,995	4,304	461
21-40	8,040	7,296	1,631
41-100	5,660	4,089	7,610
101-200	134	142	219
201-300	7	4	3
301-	0	1	1
合計	169,018	169,018	169,018

高密度な人口のメッシュが増加、低密度な人口のメッシュが減少している。

市別の集約型都市構造モデル

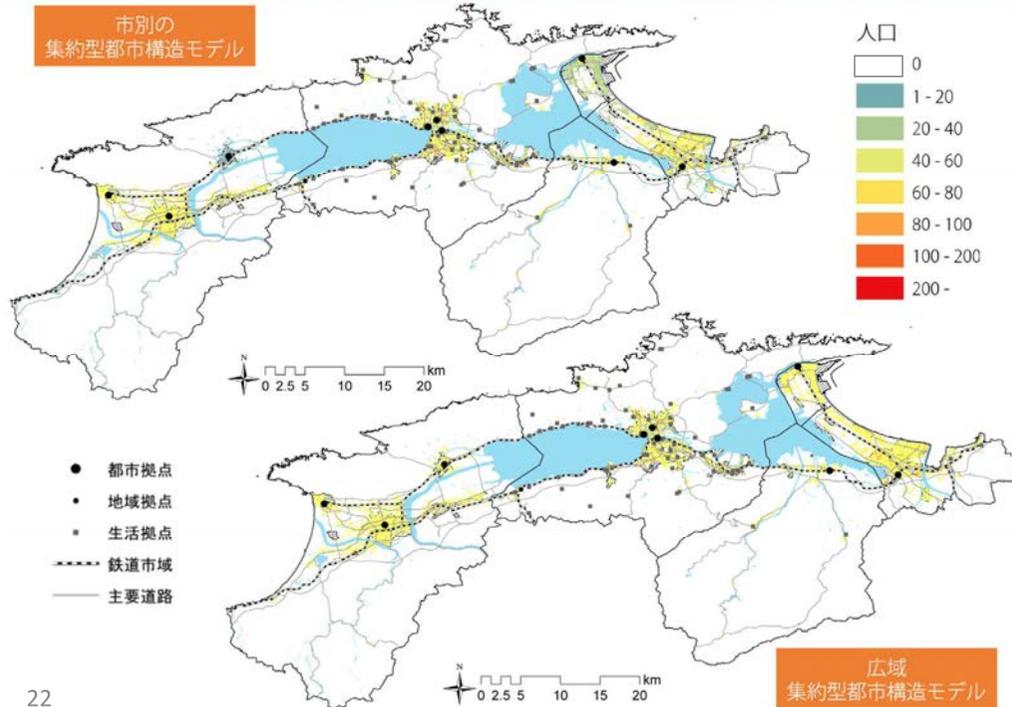
20

02.【広域】ポートランド型コンパクトシティモデル



21

02.都市別・広域のポートランド型コンパクトシティモデル(PCM)



22

02. ポートランド型コンパクトシティモデル(PCM)の評価

人口分布による評価・比較

【都市別】ポートランド型コンパクトシティモデル

メッシュ内人口(人)	2015年		2045年		2045年PCM	
	メッシュ数	構成比(%)	メッシュ数	構成比(%)	メッシュ数	構成比(%)
0	153,182	90.63	153,182	90.63	159,093	94.13
1-20	1,995	1.18	4,304	2.55	461	0.27
20-40	8,040	4.76	7,296	4.32	1,631	0.96
40-100	5,660	3.35	4,089	2.42	7,610	4.50
100-200	134	0.08	142	0.08	219	0.13
200-300	7	0.00	4	0.00	3	0.00
300-400	0	0.00	1	0.00	1	0.00
400-	0	0.00	0	0.00	0	0.00
合計	169,018	100.00	169,018	100.00	169,018	100.00

ルール適用後、両モデルとも

- ・低密度メッシュは大幅に減少
- ・高密度メッシュが大幅に増加

全体的にみても、高密度なメッシュが増加しており、人口が集約して分布している。

【広域】ポートランド型コンパクトシティモデル

メッシュ内人口(人)	2015年		2045年		2045年PCM	
	メッシュ数	構成比(%)	メッシュ数	構成比(%)	メッシュ数	構成比(%)
0	153,182	90.63	153,182	90.63	159,007	94.08
1-20	1,995	1.18	4,304	2.55	0	0.00
20-40	8,040	4.76	7,296	4.32	0	0.00
40-100	5,660	3.35	4,089	2.42	9,833	5.82
100-200	134	0.08	142	0.08	174	0.10
200-300	7	0.00	4	0.00	3	0.00
300-400	0	0.00	1	0.00	1	0.00
400-	0	0.00	0	0.00	0	0.00
合計	169,018	100.00	169,018	100.00	169,018	100.00

PCM(都市別CN)
→約110300人集約
PCM(広域CN)
→約109800人集約

広域都市圏で集約型都市を志向する方が、CN内の人口が増加すると共に、人口集約の数が少なくて済む

23

02. ポートランド型コンパクトシティモデル(PCM)の評価

都市施設・商業サービス施設の人口カバー率による評価・比較

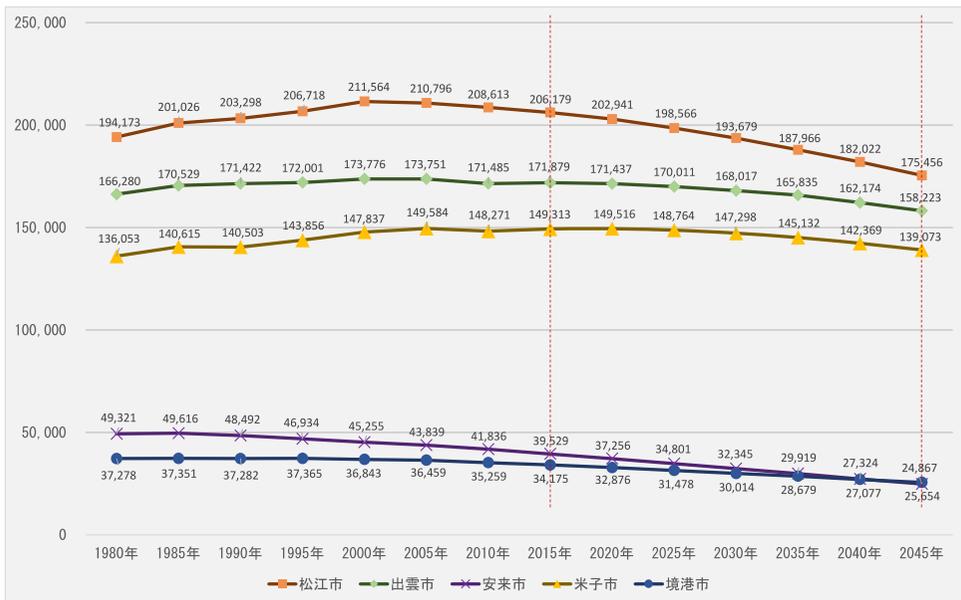
小学校	2045		PCM(都市別CN)		PCM(広域CN)	
	人口	(%)	人口	(%)	人口	(%)
0-200	39501.14	7.55	46266.18	8.84	48445.31	9.26
200-400	78661.97	15.03	90791.47	17.35	96355.38	18.41
400-800	187968.63	35.92	214930.32	41.07	218426.83	41.74
800-1600	170146.41	32.52	160098.65	30.60	149267.21	28.53
1600-	46994.06	8.98	11185.59	2.14	10777.47	2.06
合計	523272.21	100.00	523272.21	100.00	523272.21	100.00
公共交通	2045		PCM(都市別CN)		PCM(広域CN)	
	人口	(%)	人口	(%)	人口	(%)
0-200	345786.94	66.08	364052.51	69.57	377128.31	72.07
200-400	106596.39	20.37	109055.89	20.84	102800.95	19.65
400-800	50116.54	9.58	43863.75	8.38	37813.70	7.23
800-1600	19760.17	3.78	6300.06	1.20	5529.25	1.06
1600-	1012.17	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00
合計	523272.21	100.00	523272.21	100.00	523272.21	100.00
商業施設	2045		PCM(都市別CN)		PCM(広域CN)	
	人口	(%)	人口	(%)	人口	(%)
0-200	368894.79	70.50	449047.55	85.82	456109.91	87.16
200-400	25315.33	4.84	30400.34	5.81	26126.37	4.99
400-800	34090.22	6.51	27002.61	5.16	24344.15	4.65
800-1600	38411.40	7.34	12394.43	2.37	12575.87	2.40
1600-	56560.47	10.81	4427.28	0.85	4115.91	0.79
合計	523272.21	100.00	523272.21	100.00	523272.21	100.00

ルール適用後、全体的にどの施設においても、徒歩圏内の人口分布が増加している。また、遠距離のメッシュに分布する人口が減少していることから、各施設の周辺にまとまって分布していた。

鉄道駅、バス停、小学校、公園、食料品店、商業サービス施設のすべてにおいて、PCM(都市別CN)よりPCM(広域CN)の徒歩800m圏内の人口カバー率が高いことがわかった。

24

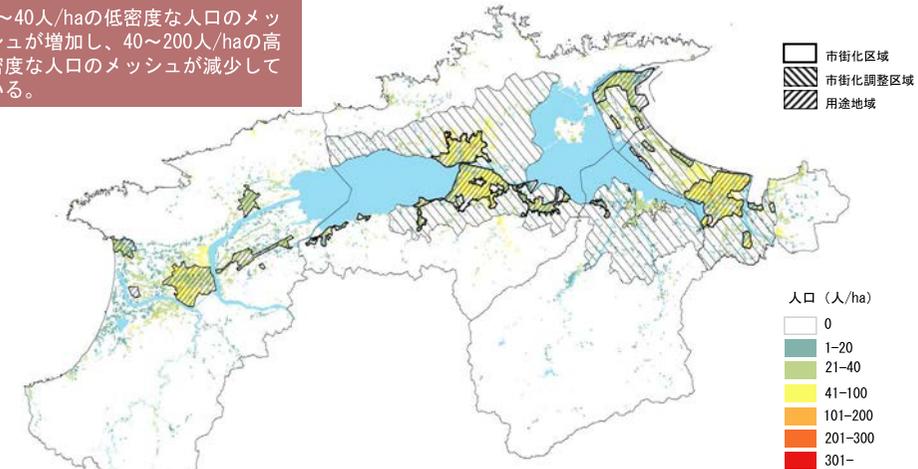
03.対象地域の特徴 将来人口推計



対象地域の5歳階級別人口構成を基にコーホート要因法を用いて、2015年～2045年の将来推計人口を算出した。2015年人口と比較して2045年推計人口はいずれの都市も減少している。

03.対象地域の特徴 将来人口推計

1~40人/haの低密度な人口のメッシュが増加し、40~200人/haの高密度な人口のメッシュが減少している。



人口カテゴリー別メッシュ数

メッシュ内人口 (人)	松江市		出雲市		安来市		米子市		境港市	
	2015年	2045年	2015年	2045年	2015年	2045年	2015年	2045年	2015年	2045年
0	50,052	50,052	53,455	53,455	38,773	38,773	9,132	9,132	1,770	1,770
1-20	451	886	1,023	1,994	215	814	306	517	0	93
21-40	1,634	1,634	1,756	3,671	855	454	1,272	1,366	608	692
41-100	2,377	1,831	1,031	699	216	22	1,767	1,445	269	92
101-200	53	42	15	19	4	1	62	80	0	0
201-300	3	3	2	1	1	0	1	0	0	0
301-	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
合計	54,570	54,570	59,197	59,197	40,064	40,064	12,540	12,540	2,647	2,647

対象都市人口構成

用途地域内人口	2015年		2045年	
	全人口に対する割合	全人口	全人口に対する割合	全人口
松江市	133,623	64.8%	206,179	67.8%
出雲市	65,241	38.0%	171,879	40.1%
安来市	15,101	38.2%	39,529	40.6%
米子市	93,949	62.9%	149,313	65.2%
境港市	22,987	67.3%	34,175	67.4%

03.計画方針知識ベースの作成

将来人口推計の結果、低密度の人口分布が予測される。次に、対象地域のマスタープランを反映させた集約型都市構造モデルのシミュレーションを行う。

人口集約シミュレーションの流れ

行政計画から将来都市構造に関する計画方針を抽出し、計画方針知識ベースとしてまとめる

作成した計画方針知識ベースを基に人口集約ルールを作成する

人口集約ルールを反映させたフローチャートとインターフェイスからなる人口集約ツールを作成する

人口集約ツールを用いて、集約型都市構造モデルをシミュレーションする

計画方針知識ベース

本研究では以下の12計画から計画方針を抽出する

策定自治体	計画
島根県	広瀬都市計画区域マスタープラン
	宍道都市計画区域マスタープラン
	出雲都市計画区域マスタープラン
安来市	松江圏都市計画区域マスタープラン
	安来市都市計画マスタープラン
出雲市	出雲市都市計画マスタープラン
	松江市都市マスタープラン
松江市	松江市立地適正化計画
	米子境港都市計画区域マスタープラン
鳥取県	淀江都市計画区域マスタープラン
	旧米子市都市計画マスタープラン
米子市	旧淀江町都市計画マスタープラン

03.計画方針知識ベースの作成

カテゴリー	本文抜粋		
将来都市像 (拠点・軸)	都市の中核 都市の中核周辺 生活維持の中核	JR松江駅、県庁や市役所などの行政機関、大規模商業施設、高度医療機関、コンベンション施設等の高次都市機能が集積し、市民や観光客などが来訪する市の中心地的な地域とします。 都市の中核を取り巻く商業地や住宅地を中心としたエリアで、地域ごとに商業施設や医療施設などの生活サービス機能が配置され、利便性が高い生活が営める地域とします。 中小学校及び鉄道駅の周辺 500m圏や、バス路線及び鉄道といった公共交通の幹線をもとに居住や生活サービス機能の確保を図る地域とします。 地方都市での暮らしを変えるうえで、必要となる雇用を生む場として、中心業務地や既存の工業団地、インターチェンジ周辺など働く場としての確保を図る地域とします。なお、特徴的な地域資源を生かして、雇用創出に寄与している森林水産業や観光産業については、中核として場所を示すとは行わず、市内全域を対象として雇用創出を図ります。	
	広域連携軸	隣接する都市間の移動軸であるとともに、物流のネットワークとなっている高規格幹線道路及び鉄道を広域連携軸として位置づけ、都市圏間での広域交流を促進します。 ・山陰道、境港出雲道路 (整備予定) ・JR山陰本線	
	交通ネットワーク軸	地域連携軸 外循環線 内循環線	市中心部から放射状に延び、各地域の生活の中心となるエリアと接続する幹線道路を位置付け、生活圏・地域間の連携の円滑化を推進します。 ・国道9号、国道54号、国道431号、国道432号、(主)松江島根美保線、(主)松江島根線、(主)松江水次線、(一)本庄福富松江線、一畑電車北松江線 市街地の周辺を走る地域高規格道路を配置し、渋滞の解消や災害への対応の円滑化を推進します。 ・山陰道、松江ならびに東海線、松江北陸線 (整備中) 市中心部の主要道路を位置付け、人と物の円滑な移動を促進し、経済活動の活性化を図ります。 ・(副)城山北公園線、(主)松江島根線、国道9号、(主)松江島根美保線
		住居系土地利用	既成市街地においては、利便性の高い住宅地の形成を図るとともに、既存ストックの有効活用のため、空き家や空き店、遊休化した公有地などの低コストでの活用を促します。 市街地内の農地は、民間開発による住宅地への転用を促進する一方、農地と住宅地の調和した土地利用を推進します。 土砂災害警戒区域など、災害の危険性がある地域においては、ハード・ソフト両面からの対策を進めるとともに、災害の危険のある地域以外への居住を促進します。 中心市街地は、商業機能の集積や高度利用を推進するとともに、市街地内に点在する駐車場の再配置を図ります。また、松江駅周辺や境港周辺の再整備の検討を進めます。
土地利用 (五地域区分)	商業系土地利用	駅前や周辺などの幹線道路沿線における事業所の集積を確保し、雇用の創出を図ります。 大規模集積施設については、特別用途地区の活用により、中心部への立地を誘導します。 企業立地奨励制度や電源立地市の特性を生かした優遇措置を活用し、市内内外から積極的な企業立地・集積を推進するとともに、周辺の住環境等と調和した適切な土地利用を図ります。	
	市街地周辺ゾーン	市街地の土地利用形態に当たっては、周辺の工場・商業環境を確保するとともに、開発許可基準を適用するとともに、条例による開発基準の緩和や地区計画ガイドラインに沿った適正な土地利用を誘導します。 新たな住居の立地の際には、既存客用を基本とし、鉄道駅や中学校周辺の居住促進の中核への誘導を図るため、開発許可基準等の見直しを検討します。 インターチェンジ周辺の農田創出の中核への確保を図るため、開発許可基準等の見直しを検討します。 既存ストックの有効活用や地域活性化、コミュニティ機能の維持の観点から、既存集落や住民の高齢化が進行している住宅団地では、中古住宅の流通促進等により、多様な世帯の居住を促進します。このため、空き家となっている旧民家等の建築物については、賃貸住宅や店舗、宿泊施設等への用途変更が可能となるよう運用基準の見直しを進めます。 土砂災害警戒区域や治産部の準浸水想定される地域以外の災害リスクの低い地域への居住を促進します。 都市計画区域外の農山村集落における居住環境の保全と豊かな自然環境と景観保全を図ります。	
	自然環境保全ゾーン	生活維持の中核においては、生活に必要な機能を集積させ、日常生活における利便性を向上を図るとともに、歴史・文化遺産や自然環境など地域の特色を生かした交際の促進を図ります。 既存ストックの有効活用を促す観点から、空き家となった建築物については、中古住宅の流通促進等により若い世代やUターン者などの新たな住民の居住を促進し、文化・伝統が継承できるよう地域活性化やコミュニティの維持を図ります。 開発については、景観や住環境の保全などに配慮しつつ、農業振興地域の整備に関する法律や農地法、森林法などの関係法令や、民間開発に係る指導要綱に基づき、適正な土地利用を誘導します。 土砂災害警戒区域など、災害の危険性がある地域においては、土地利用と連携し、ハード・ソフト両面からの対策を進めるとともに、災害リスクの低い地域への居住を促進します。	
災害 (土砂災害警戒区域等)	自然環境の保全	ラムサール条約登録地である宍道湖・中海の水辺景観や、日本海などの海辺景観、及び高山・枕山といった宍道湖北山系などの山並みは、松江の骨格となる自然景観として保全を図ります。	
	環境保全 (緑地保全等)	宍道湖を起点とし、大橋川を経て中海に至る宍道の水辺及び北山系から南陸地に至る緑の骨格については、水郷緑地の水と緑に必要な機能を確保しつつ、魅力ある景観形成とあわせて、適正に保全します。 自然環境の保全に、公園の緑地帯など身近な水辺や緑とともに、農地や湖沼など、豊かな水や緑、土のふれあいの場として、関係機関などとの連携を図りながら安全性にも配慮し、適正に活用します。 市街地及びその周辺部の貴重な緑を生かす樹林地や社寺林は、条例に基づく緑地保全区域の指定により、その保全を図ります。	

03.人口集約ルールと人口集約ツールの構築

非可住地を設定する

ルール1：環境保全



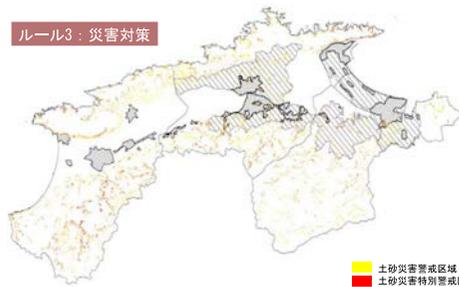
ルール2：五地域区分



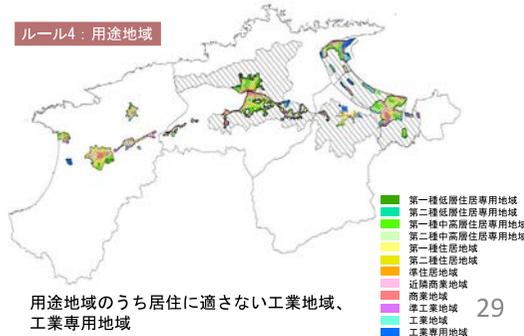
土地利用から、環境保全を図るべき自然的土地利用がなされている地域

五地域区分から居住に適さない森林地域・自然公園地域

ルール3：災害対策



ルール4：用途地域



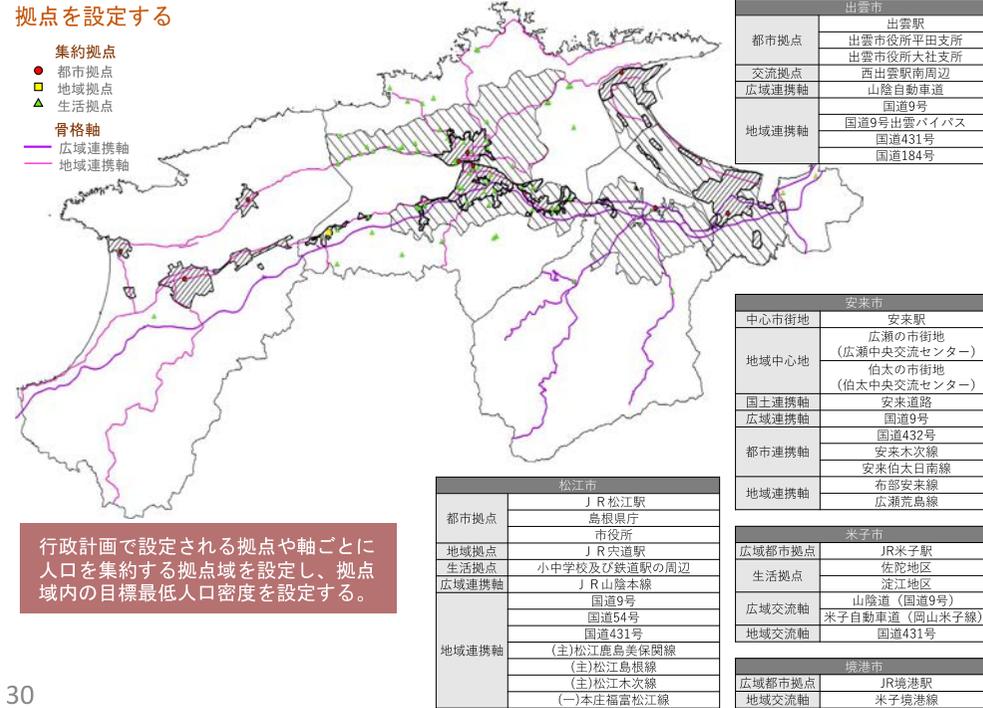
土砂災害特別警戒区域と土砂災害警戒区域の地域

用途地域のうち居住に適さない工業地域、工業専用地域

03.人口集約ルールと人口集約ツールの構築

拠点を設定する

- 都市拠点
 - 地域拠点
 - ▲ 生活拠点
- 骨格軸
 広域連携軸
 地域連携軸



行政計画で設定される拠点や軸ごとに人口を集約する拠点域を設定し、拠点域内の目標最低人口密度を設定する。

03.人口集約ルールと人口集約ツールの構築(拠点域・目標最低人口密度)

31	拠点域	目標最低人口密度				
		都市計画区域				都市計画区域外
		市街化区域	市街化調整区域	用途地域	用途白地地域	
松江市	都市拠点	半径800m	60人/ha	×	×	×
	地域拠点	半径500m	×	×	40人/ha	×
	生活拠点	半径500m	2015年人口を維持	2015年人口を維持	2015年人口を維持	2015年人口を維持
	広域連携軸	軸線上	60人/ha	人口移動は行わない	40人/ha	人口移動は行わない
出雲市	都市拠点	半径800m	60人/ha	×	×	×
	交流拠点	半径500m	2015年人口を維持	×	×	×
	広域連携軸	軸線上	40人/ha	人口移動は行わない	人口移動は行わない	人口移動は行わない
安来市	中心市街地	半径800m	40人/ha	×	×	×
	地域中心地	半径500m	×	×	2015年人口を維持	×
	国土連携軸	軸線上	40人/ha	人口移動は行わない	人口移動は行わない	人口移動は行わない
	広域連携軸	軸線上	40人/ha	人口移動は行わない	人口移動は行わない	人口移動は行わない
	都市連携軸	軸線上	40人/ha	人口移動は行わない	人口移動は行わない	人口移動は行わない
米子市	広域都市拠点	半径800m	60人/ha	×	×	×
	生活拠点	半径800m	×	×	2015年人口を維持	×
	広域交流軸	軸線上	60人/ha	人口移動は行わない	人口移動は行わない	人口移動は行わない
	地域交流軸	軸線上	40人/ha	人口移動は行わない	人口移動は行わない	人口移動は行わない
境港市	広域都市拠点	半径800m	16人/ha	×	×	×
	地域交流軸	軸線上	2015年人口を維持	人口移動は行わない	人口移動は行わない	人口移動は行わない

03.人口集約ルールと人口集約ツールの構築(拠点域・目標最低人口密度)

32	拠点域	目標最低人口密度				
		都市計画区域				都市計画区域外
		市街化区域	市街化調整区域	用途地域	用途白地地域	
松江市	都市拠点	半径800m	60人/ha	×	×	×
	地域拠点	半径500m	×	×	40人/ha	×
	生活拠点	半径500m	2015年人口を維持	2015年人口を維持	2015年人口を維持	2015年人口を維持
	広域連携軸	軸線上	60人/ha	人口移動は行わない	40人/ha	人口移動は行わない
出雲市	都市拠点	半径800m	60人/ha	×	×	×
	交流拠点	半径500m	2015年人口を維持	×	×	×
	広域連携軸	軸線上	40人/ha	人口移動は行わない	人口移動は行わない	人口移動は行わない
安来市	中心市街地	半径800m	40人/ha	×	×	×
	地域中心地	半径500m	×	×	2015年人口を維持	×
	国土連携軸	軸線上	40人/ha	人口移動は行わない	人口移動は行わない	人口移動は行わない
	広域連携軸	軸線上	40人/ha	人口移動は行わない	人口移動は行わない	人口移動は行わない
	都市連携軸	軸線上	40人/ha	人口移動は行わない	人口移動は行わない	人口移動は行わない
米子市	広域都市拠点	半径800m	60人/ha	×	×	×
	生活拠点	半径800m	×	×	2015年人口を維持	×
	広域交流軸	軸線上	60人/ha	人口移動は行わない	人口移動は行わない	人口移動は行わない
	地域交流軸	軸線上	40人/ha	人口移動は行わない	人口移動は行わない	人口移動は行わない
境港市	広域都市拠点	半径800m	16人/ha	×	×	×
	地域交流軸	軸線上	2015年人口を維持	人口移動は行わない	人口移動は行わない	人口移動は行わない

土地利用密度の低い地域での住宅用地の下限人口密度 **60人/ha**

市街化区域の住宅用地の規模 (都市計画運用指針)

DID基準となる人口密度 **40人/ha**

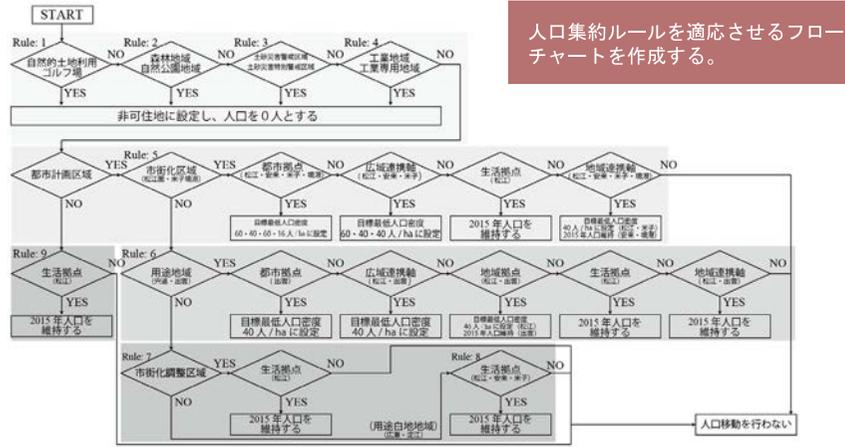
地方都市圏での公共交通沿線地域の人口密度 **16人/ha**

都市構造の評価に関するハンドブック

拠点域 徒歩圏を基に設定 都市計画運用指針

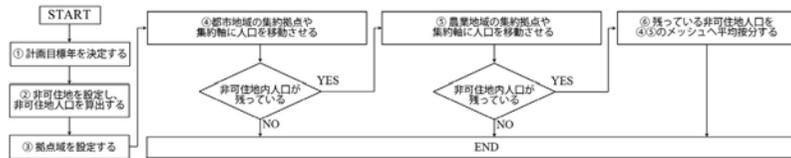
03.人口集約ルールと人口集約ツールの構築

■人口集約メッシュ判定フローチャート

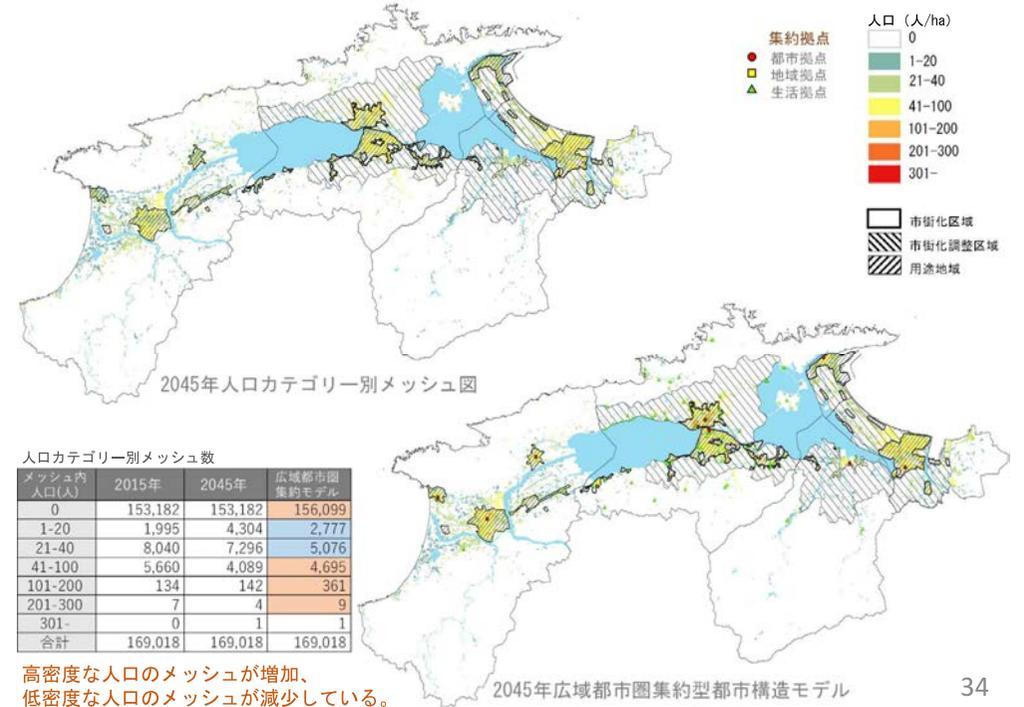


人口集約ルールを適応させるフローチャートを作成する。

■人口集約フローチャート



03.地方自治体の行政計画による集約型都市構造の構築



高密度な人口のメッシュが増加、低密度な人口のメッシュが減少している。

03.地方自治体の行政計画による集約型都市構造の評価

松江市

人口カテゴリー別メッシュ数	2045年	市ごと	広域都市圏
0	50,052	51,087	51,087
1-20	886	418	415
21-40	1,756	928	924
41-100	1,831	2,002	1,920
101-200	42	127	216
201-300	3	8	8
301-	0	0	0
合計	54,570	54,570	54,570

米子市

人口カテゴリー別メッシュ数	2045年	市ごと	広域都市圏
0	9,132	9,489	9,489
1-20	517	353	414
21-40	1,366	777	1,108
41-100	1,445	1,825	1,426
101-200	80	96	102
201-300	0	0	1
301-	0	0	0
合計	12,540	12,540	12,540

出雲市

人口カテゴリー別メッシュ数	2045年	市ごと	広域都市圏
0	53,455	54,580	54,580
1-20	1,994	1,383	1,381
21-40	3,028	2,121	2,137
41-100	699	1,064	1,055
101-200	19	48	43
201-300	1	0	0
301-	1	1	1
合計	59,197	59,197	59,197

境港市

人口カテゴリー別メッシュ数	2045年	市ごと	広域都市圏
0	1,770	1,786	1,786
1-20	93	91	81
21-40	692	670	623
41-100	92	100	157
101-200	0	0	0
201-300	0	0	0
301-	0	0	0
合計	2,647	2,647	2,647

安来市

人口カテゴリー別メッシュ数	2045年	市ごと	広域都市圏
0	38,773	39,157	39,157
1-20	814	530	486
21-40	454	245	284
41-100	22	61	137
101-200	1	71	0
201-300	0	0	0
301-	0	0	0
合計	40,064	40,064	40,064

広域都市圏で集約することにより、県境を越えた人口の移動が行われ、松江市や境港市に多くの人口が流れて、出雲市や米子市の人口が減少する。人口の集約は市ごとに策定された行政計画を基に行っており、現行の行政計画を進めると人口の偏りが進むことが分かる。

03.開発影響要因

農地転用について資料の入手できた松江市、出雲市、安来市、米子市を対象として、農地転用に影響を与える要因を明らかにするため数量化I類分析を行い、それぞれの開発影響要因を抽出する。

目的変数：農地転用件数

外的基準：人口データ

土地利用データ（用途地域、農業振興地域）

地形（平均標高、平均傾斜角度）

都市施設までの距離データ（小学校、公共施設、病院、鉄道駅、市役所、大型店舗、幹線道路、インターチェンジ）

アイテム	ランク	レンジ
用途地域	1	8.0649
人口(人)	2	5.0772
大型店舗までの距離(m)	3	2.5547
都心(市役所)までの距離(m)	4	2.4386
インターチェンジまでの距離(m)	5	1.6588
公共施設までの距離(m)	6	0.9938
病院までの距離(m)	7	0.8353
鉄道駅までの距離(m)	8	0.4394
農業振興地域	9	0.4377
傾斜角度(°)	10	0.357
幹線道路までの距離(m)	11	0.1994
標高(m)	12	0.1456
小学校までの距離(m)	13	0.1339
重相関係数		0.468
カテゴリー数		93
サンプル数		26691

レンジのランクを比較すると、用途地域と人口のレンジが高く、強い相関を示した。その他に大型店舗までの距離と都心(市役所)までの距離で強い相関を示した。

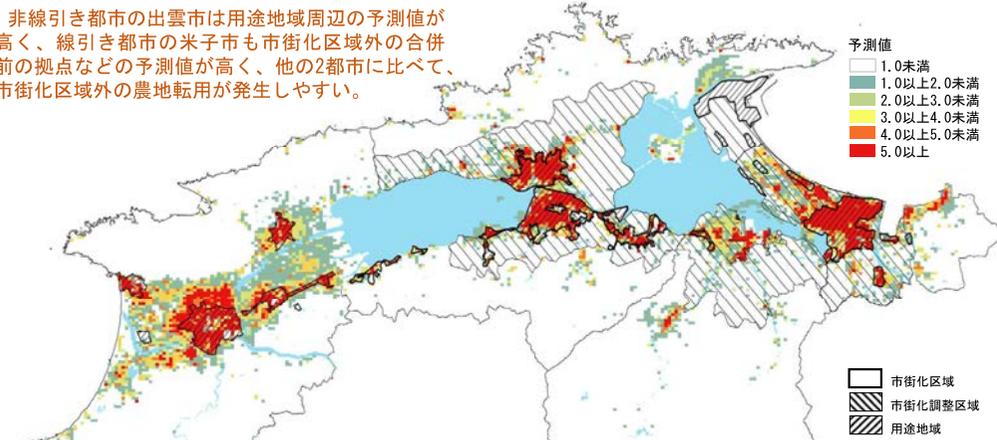
数量化I類分析の結果を用いて、広域都市圏の農地転用件数の予測値を次式から算出する

$$y_i = m + \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{c_j} a_{jk} \delta_i(jk)$$

i : サンプル i=1,2,...,n
j : アイテム j=1,2,...,R
k : カテゴリー k=1,2,...,c_j
m : スコアの平均値
a_{jk} : アイテムjのカテゴリーkのスコア
δ_{i(jk)} : ダミー変数 δ_{i(jk)}=0,1

03.開発ポテンシャルマップ

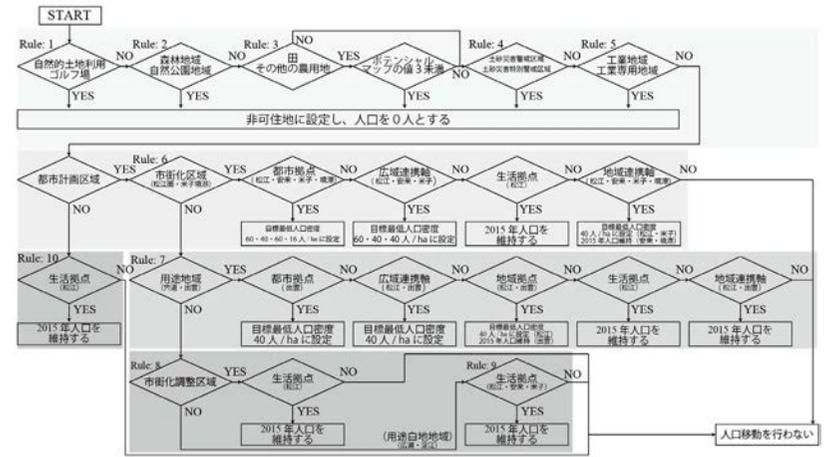
非線引き都市の出雲市は用途地域周辺の予測値が高く、線引き都市の米子市も市街化区域外の合併前の拠点などの予測値が高く、他の2都市に比べて、市街化区域外の農地転用が発生しやすい。



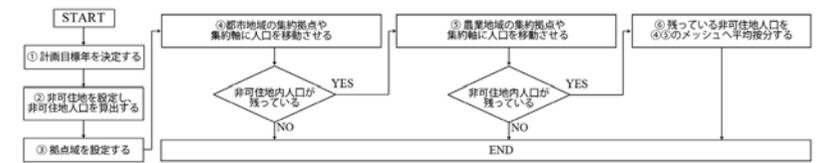
松江市 予測値	用途地域		用途地域外		出雲市 予測値	用途地域		用途地域外		安来市 予測値	用途地域		用途地域外		米子市 予測値	用途地域		用途地域外	
	メッシュ 数	構成 比	メッシュ 数	構成 比		メッシュ 数	構成 比	メッシュ 数	構成 比		メッシュ 数	構成 比	メッシュ 数	構成 比		メッシュ 数	構成 比	メッシュ 数	構成 比
~1.0	314	9.5%	44514	96.9%	~1.0	184	7.9%	45210	79.5%	~1.0	120	18.9%	36184	91.8%	~1.0	146	6.2%	5913	58.1%
1.0~2.0	195	5.9%	3329	6.5%	1.0~2.0	103	4.4%	5183	9.1%	1.0~2.0	47	7.4%	1927	4.9%	1.0~2.0	176	7.5%	1585	15.6%
2.0~3.0	169	5.1%	1456	2.8%	2.0~3.0	65	2.8%	2457	4.3%	2.0~3.0	70	11.0%	676	1.7%	2.0~3.0	91	3.9%	845	8.3%
3.0~4.0	267	8.0%	915	1.8%	3.0~4.0	133	5.7%	1667	2.9%	3.0~4.0	49	7.7%	224	0.6%	3.0~4.0	158	6.7%	578	5.7%
4.0~5.0	310	9.3%	361	0.7%	4.0~5.0	168	7.2%	916	1.6%	4.0~5.0	63	9.9%	197	0.5%	4.0~5.0	152	6.4%	558	5.5%
5.0~	2064	62.2%	676	1.3%	5.0~	1688	72.1%	1423	2.5%	5.0~	285	45.0%	222	0.6%	5.0~	1636	69.4%	702	6.9%
合計	3319	100%	51251	100%	合計	2341	100%	56856	100%	合計	634	100%	39430	100%	合計	2359	100%	10181	100%

03.開発ポテンシャルを考慮した人口移動フローチャート

■人口集約メッシュ判定フローチャート

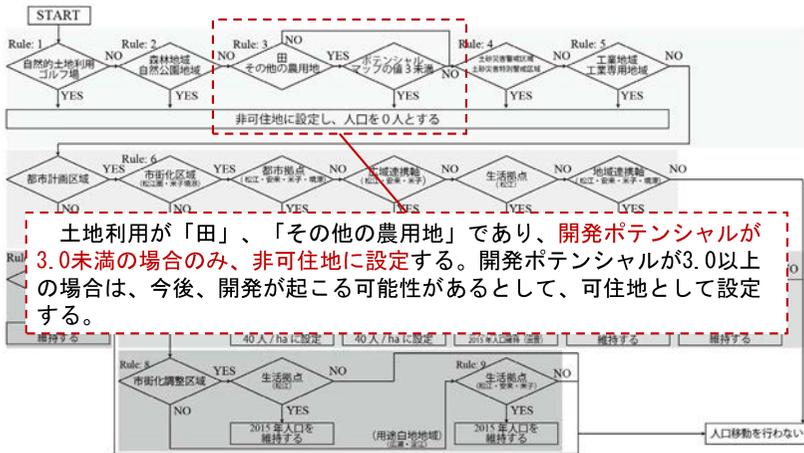


■人口集約フローチャート

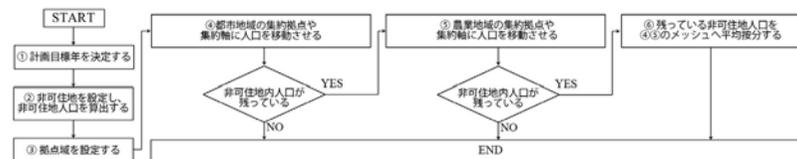


03.開発ポテンシャルを考慮した人口移動フローチャート

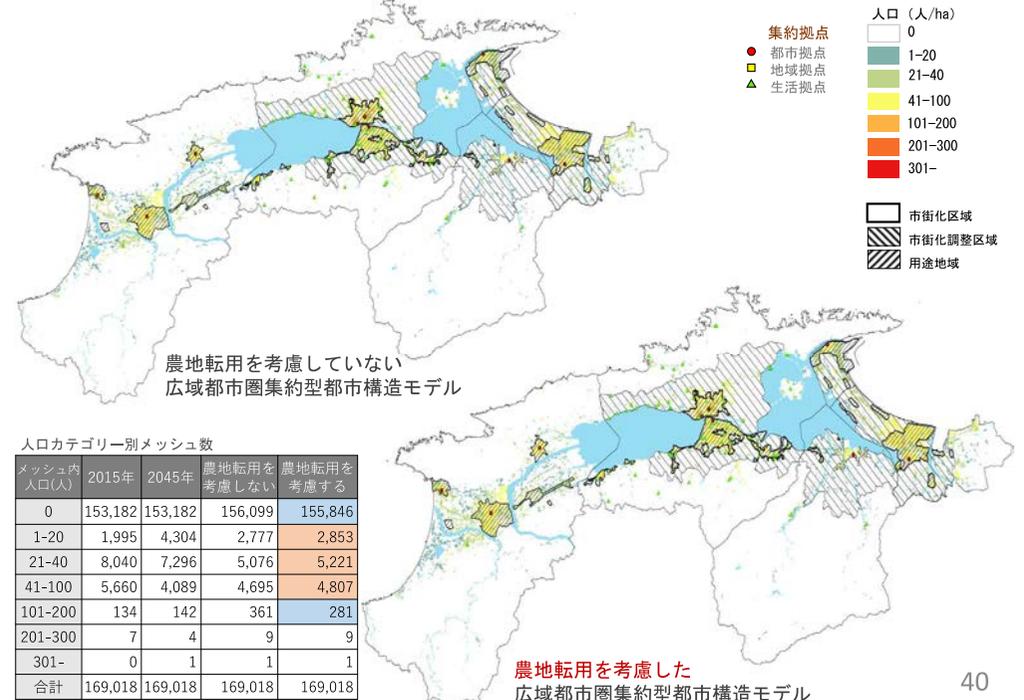
■人口集約メッシュ判定フローチャート



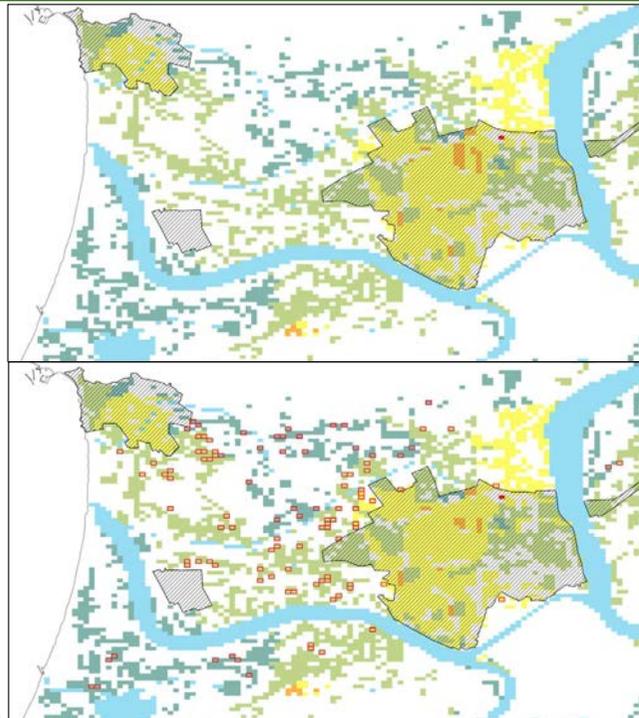
■人口集約フローチャート



03.農地転用を考慮した集約型都市構造モデルの構築



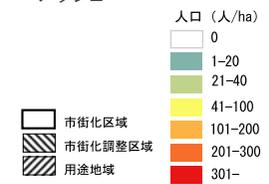
03.農地転用を考慮した集約型都市構造モデルの構築



農地転用を考慮していない
広域都市圏集約型都市構造モデル
出雲市用途地域周辺拡大図

農地転用を考慮した
広域都市圏集約型都市構造モデル
出雲市用途地域周辺拡大図

□：用途地域外の市街化が進行する
農用地として可住地となった
メッシュ



03.広域都市圏連携型将来都市構造モデルの評価 人口カテゴリー別メッシュ数

松江市 -1774.7人

人口カテゴリー別メッシュ数	2045年	農地転用を考慮しない	農地転用を考慮する
0	50,052	51,087	51,066
1-20	886	415	418
21-40	1,756	924	936
41-100	1,831	1,920	1,993
101-200	42	216	149
201-300	3	8	8
301-	0	0	0
合計	54,570	54,570	54,570

米子市 +161.1人

人口カテゴリー別メッシュ数	2045年	農地転用を考慮しない	農地転用を考慮する
0	9,132	9,489	9,463
1-20	517	414	420
21-40	1,366	1,108	1,117
41-100	1,445	1,426	1,437
101-200	80	102	102
201-300	0	1	1
301-	0	0	0
合計	12,540	12,540	12,540

出雲市 +2375.1人

人口カテゴリー別メッシュ数	2045年	農地転用を考慮しない	農地転用を考慮する
0	53,455	54,580	54,388
1-20	1,994	1,381	1,439
21-40	3,028	2,137	2,256
41-100	699	1,055	1,083
101-200	19	43	30
201-300	1	0	0
301-	1	1	1
合計	59,197	59,197	59,197

境港市 -601.1人

人口カテゴリー別メッシュ数	2045年	農地転用を考慮しない	農地転用を考慮する
0	1,770	1,786	1,786
1-20	93	81	81
21-40	692	623	623
41-100	92	157	157
101-200	0	0	0
201-300	0	0	0
301-	0	0	0
合計	2,647	2,647	2,647

安来市 -160.3人

人口カテゴリー別メッシュ数	2045年	農地転用を考慮しない	農地転用を考慮する
0	38,773	39,157	39,143
1-20	814	486	495
21-40	454	284	289
41-100	22	137	137
101-200	1	0	0
201-300	0	0	0
301-	0	0	0
合計	40,064	40,064	40,064

農地転用を考慮する前は非可住地として人口0人としていたメッシュが開発が起こる可能性が高いメッシュとして可住地となり、人口0人のメッシュが減少、人口密度の低いメッシュが増加している。一方で人口密度の高いメッシュも減少している。

03.広域都市圏連携型将来都市構造モデルの評価 人口密度

市名	都市計画区域	2015年	2045年	地転用を考慮		
松江市	松江圏	市街化区域	人口(人) 133200.0	113394.1	130755.3	
		密度(人/ha)	40.7	34.7	40.0	
	市街化調整区域	人口(人)	34000	34417.1	28608.1	
		密度(人/ha)	2.3	2.4	2.0	
	宍道	用途地域	人口(人)	4336.6	3346.7	4778.4
		密度(人/ha)	18.3	14.2	20.2	
用途白地地域	人口(人)	3063.4	1980.7	1454.1		
	密度(人/ha)	1.7	1.1	0.8		
出雲市	出雲	用途地域	人口(人) 65240.7	63519.9	81024.0	
用途白地地域	密度(人/ha)	25.9	25.2	32.1		
人口(人)	94659.3	85637.3	73919.1			
密度(人/ha)	3.3	3.0	2.6			
安来市	松江圏	市街化区域	人口(人) 17700.0	9905.1	13283.7	
		密度(人/ha)	26.8	15.0	20.1	
	市街化調整区域	人口(人)	11100.0	7732.1	6367.4	
		密度(人/ha)	1.7	1.2	1.0	
広瀬	都市計画区域	人口(人) 3708.9	2300.7	2396.8		
	密度(人/ha)	2.6	1.6	1.7		
米子市	米子境港	市街化区域	人口(人) 101600.0	87125.9	84946.7	
		密度(人/ha)	41.4	35.5	34.6	
	市街化調整区域	人口(人)	33900.0	36615.0	34121.6	
		密度(人/ha)	5.2	5.6	5.2	
淀江	都市計画区域	人口(人) 9515.1	8247.2	8387.6		
	密度(人/ha)	3.7	3.2	3.2		
境港市	米子境港	市街化区域	人口(人) 25500.0	17362.5	20304.8	
		密度(人/ha)	23.1	15.7	18.4	
	市街化調整区域	人口(人)	10800.0	8290.7	8192.6	
		密度(人/ha)	6.0	4.6	4.6	

松江市人口 +3186.0人

出雲市人口 -596.1人

安来市人口 -567.5人

米子市人口 -4865.9人

境港市人口 +2843.6人

線引き都市の松江市は高い人口密度をもち、大きく人口が増加した。
非線引き都市の出雲市は、用途地域の人口密度は高くなっていますが、人口は減少している。

03.広域都市圏連携型将来都市構造モデルの評価 用途地域別人口

松江市 +3186.0人

用途地域別人口	2045年	農地転用を考慮しない	農地転用を考慮する
住居系用途地域	96840.3	105312.1	104307.1
商業系用途地域	11576.9	24069.6	22903.8
準工業地域	7254.2	10268.9	10147.4
工業系用途地域	3307.4	0.0	0.0
用途地域内	118978.9	139650.6	137358.3
用途地域外	56477.1	40766.2	41283.7
合計	175456.0	180416.7	178642.0

米子市 -4865.9人

用途地域別人口	2045年	農地転用を考慮しない	農地転用を考慮する
住居系用途地域	65858.0	66461.5	66262.4
商業系用途地域	13363.5	16236.9	15799.7
準工業地域	6022.5	6116.7	6025.6
工業系用途地域	5490.9	0.0	0.0
用途地域内	90734.9	88815.0	88087.7
用途地域外	48337.8	45230.7	46119.1
合計	139072.7	134045.7	134206.8

出雲市 -596.1人

用途地域別人口	2045年	農地転用を考慮しない	農地転用を考慮する
住居系用途地域	43933.9	53985.6	53052.5
商業系用途地域	12755.7	22800.3	21598.3
準工業地域	5398.9	6329.6	6373.2
工業系用途地域	1431.3	0.0	0.0
用途地域内	63519.9	83115.5	81024.0
用途地域外	94702.8	72135.9	76602.5
合計	158222.6	155251.4	157626.5

境港市 +2843.6人

用途地域別人口	2045年	農地転用を考慮しない	農地転用を考慮する
住居系用途地域	13592.6	15684.0	15362.2
商業系用途地域	1442.4	2639.6	2457.4
準工業地域	1834.7	2473.2	2376.1
工業系用途地域	412.5	0.0	0.0
用途地域内	17282.2	20796.9	20195.7
用途地域外	8371.6	8301.7	8301.7
合計	25653.8	29098.5	28497.4

安来市 -567.5人

用途地域別人口	2045年	農地転用を考慮しない	農地転用を考慮する
住居系用途地域	6626.8	9239.4	8978.3
商業系用途地域	990.1	2514.2	2368.5
準工業地域	1227.5	2050.8	2026.5
工業系用途地域	1251.8	0.0	0.0
用途地域内	10096.2	13804.4	13373.3
用途地域外	14770.9	10655.5	10926.2
合計	24867.1	24459.9	24299.5

線引き都市の松江市、境港市は人口が増加しているが、市街化区域外について開発ポテンシャルが高く、集約拠点の位置づけのある米子市は人口が減少している。
また、米子市について、工業系用途地域内の人口が多く、それらを非可住地とすることで、大きな人口減少に繋がった。

03.広域都市圏連携型将来都市構造モデルの評価 用途地域別人口

松江市 **-1774.7人**

用途地域別人口	2045年	農地転用を考慮しない	農地転用を考慮する
住居系用途地域	96840.3	105312.1	104307.1
商業系用途地域	11576.9	24069.6	22903.8
準工業地域	7254.2	10268.9	10147.4
工業系用途地域	3307.4	0.0	0.0
用途地域内	118978.9	139650.6	137358.3
用途地域外	56477.1	40766.2	41283.7
合計	175456.0	180416.7	178642.0

米子市 **+161.1人**

用途地域別人口	2045年	農地転用を考慮しない	農地転用を考慮する
住居系用途地域	65858.0	66461.5	66262.4
商業系用途地域	13363.5	16236.9	15799.7
準工業地域	6022.5	6116.7	6025.6
工業系用途地域	5490.9	0.0	0.0
用途地域内	90734.9	88815.0	88087.7
用途地域外	48337.8	45230.7	46119.1
合計	139072.7	134045.7	134206.8

出雲市 **+2375.1人**

用途地域別人口	2045年	農地転用を考慮しない	農地転用を考慮する
住居系用途地域	43933.9	53985.6	53052.5
商業系用途地域	12755.7	22800.3	21598.3
準工業地域	5398.9	6329.6	6373.2
工業系用途地域	1431.3	0.0	0.0
用途地域内	63519.9	83115.5	81024.0
用途地域外	94702.8	72135.9	76602.5
合計	158222.6	155215.4	157626.5

境港市 **-601.1人**

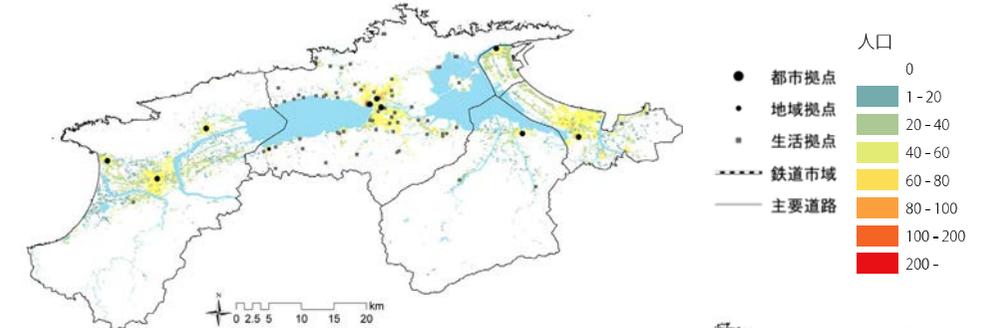
用途地域別人口	2045年	農地転用を考慮しない	農地転用を考慮する
住居系用途地域	13592.6	15684.0	15362.2
商業系用途地域	1442.4	2639.6	2457.4
準工業地域	1834.7	2473.2	2376.1
工業系用途地域	412.5	0.0	0.0
用途地域内	17282.2	20796.9	20195.7
用途地域外	8371.6	8301.7	8301.7
合計	25653.8	29098.5	28497.4

安来市 **-160.3人**

用途地域別人口	2045年	農地転用を考慮しない	農地転用を考慮する
住居系用途地域	6626.8	9239.4	8978.3
商業系用途地域	990.1	2514.2	2368.5
準工業地域	1227.5	2050.8	2026.5
工業系用途地域	1251.8	0.0	0.0
用途地域内	10096.2	13804.4	13373.3
用途地域外	14770.9	10655.5	10926.2
合計	24867.1	24459.9	24299.5

非線引き都市である出雲市は、用途地域外について、人口が多く、開発ポテンシャルの高いメッシュが多いため、多くのメッシュが可住地となることで、人口が大きく増加しており、人口の集約化が緩くなったことが分かる。

03.広域都市圏連携型将来都市構造モデルの評価



農地転用を考慮した広域都市圏集約型都市構造モデル

人口カテゴリー別メッシュ数

メッシュ内人口(人)	2015年	2045年	農地転用モデル	PCM(広域CN)
0	153,182	153,182	155,846	159,007
1-20	1,995	4,304	2,853	0
21-40	8,040	7,296	5,221	0
41-100	5,660	4,089	4,807	9,833
101-200	134	142	281	174
201-300	7	4	9	3
301-	0	1	1	1
合計	169,018	169,018	169,018	169,018

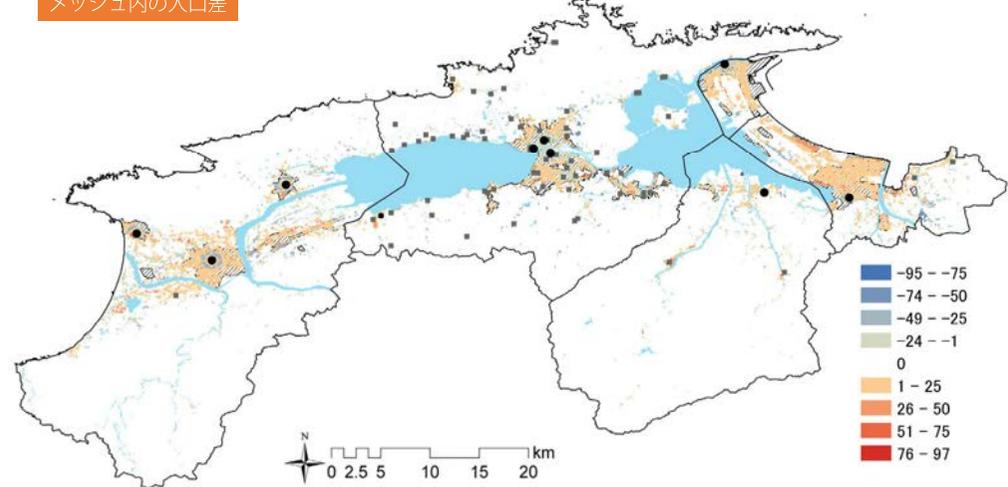


2045年PCM(広域CN)

03.広域都市圏連携型将来都市構造モデルの評価

▲ 広域都市圏連携型将来都市構造モデルの人口分布の特徴

広域モデルの人口分布におけるメッシュ内の人口差
PCM(広域CN)のメッシュ内人口から広域開発モデルのメッシュ内人口を引いた人口分布



- ✓ 市街化区域周辺にPCM(広域CN)の集約人口の方が大きいメッシュ、郊外部には農地転用を考慮したモデルによる集約人口の方が大きいメッシュが分布している。
- ✓ 拠点周辺では農地転用を考慮したモデルの集約人口の方が大きいメッシュが広がっている。
- ✓ 鉄道や道路付近には集約人口の差がより大きなメッシュが多い。

04.まとめ 広域都市圏連携型立地適正化計画に向けた提案

本研究では、県境を跨いだ広域都市圏が目標としている現実的な集約型都市構造について知見を得ることを目的として、スプロールが進行している地域を考慮したうえで、広域連携が行われているポートランド市の行政計画を用いた集約型都市構造を構築した。

- 【1】 広域都市圏の松江市、出雲市、安来市、米子市、境港市の市ごとのPCMと、宍道湖・中海圏域全体で市域を超えた人口移動を行うPCMを構築したところ、広域モデルの方が都市別モデルより高密度なメッシュの増加数が多く、全体の人口も増加した。
- 【2】 広域開発モデルと2045年PCM(広域CN)を比較すると、2045年PCM(広域CN)では居住性の高いCN内に、ポートランド市の行政計画にある目標人口密度に近いメッシュ数が、農地転用モデルでは農地転用を開発ポテンシャルに従って可住地と設定する事で、郊外に分布した低密度なメッシュ数が一番多い結果となった。
- 【3】 線引き都市の米子市は、市街化調整区域に、行政計画で人口を維持するエリアが位置付けられており、拠点周辺にPCM(広域CN)の集約人口の方が大きいメッシュが分布している。開発ポテンシャルの設定がない境港市は市街化区域にPCM(広域CN)の集約人口の方が大きいメッシュ分布している。非線引き都市である出雲市は、用途地域外にも居住性が高い地域としてCNが設定されていることにより、PCM(広域CN)の集約人口の方が大きいメッシュ、各拠点周辺と郊外には、広域開発モデルの集約人口の方が大きいメッシュが広がっている。
- 【4】 宍道湖・中海圏域とより広域な都市圏を形成している北関東広域圏について、集約された人口分布に違いができた要因を各地方自治体の行政計画とポートランド市の行政計画の内容の違いから考察する。

04.まとめ 広域都市圏連携型立地適正化計画へ向けた提案

本研究では、県境を跨いだ広域都市圏が目標としている現実的な集約型都市構造について知見を得ることを目的として、スプロールが進行している地域を考慮したうえで、広域連携が行われているポートランド市の行政計画を用いた集約型都市構造を構築した。

- 【5】広域都市圏でコンパクトシティを志向する際、市を跨いだ場合には県の上位計画があるが、県を跨いだ広域都市圏においては上位計画が異なり、**県レベルの拠点設定の考え方や、都市間ネットワークの考え方が、県でクローズドされているため、拠点設定、交通計画の点で隣接県とのネットワークが考慮されておらず、主に境界部において整合性に欠ける。**今後、開発動向や現状の集落等を含めたネイバーフット計画を、都市を超えて検討する必要がある。
- 【6】ポートランド市の行政計画に基づいて構築したPCM(広域CN)では、生活利便性を評価し集約型都市構造を構築しているため、境界部にある拠点への配慮がされており、**行政界に依らない実際の生活に近い集約モデルとなっている。**法定の都市計画区域は行政界に拘束されず設定され、市街地もまた行政界を意識して形成はされない。**従って、県市を跨いだ計画策定では「20分圏ネイバーフット」を計画単位で考えることで、整合性が図れることを示唆している。**
- 【7】以上を踏まえ、コンパクトプラスネットワークを実現する際に上位計画に関して広域調整を行うトップダウン的な計画体系ではなく、**生活利便性を考慮したボトムアップ的なネイバーフット計画でコンパクトシティを考える方が効果的であり、そこには市境や県境という行政界とは無縁であるという有益な知見が得られたと考える。**ヨーロッパのようなRegionの概念を持って、市街地の形成やコンパクトシティを検討することが重要である。

49

最後に

▶ 結論・成果の意義

- ・本助成研究により、県境を跨ぐ広域都市圏に適した現実的な集約型都市構造モデルを提示。
- ・SDGs目標11「住み続けられるまちづくり」に資する、生活利便性を担保した都市計画手法を提案。

▶ 学術的・国際的成果

- ・本研究成果はポートランド市にて国際発表済みで、海外の研究者からも注目を得ている。
- ・日本建築学会計画系論文集に投稿済（査読中）であり、学術的知見として蓄積を進めている。
- ・国際学会ISAIAに投稿予定

▶ 今後の展望

- ・他地域や異なる制度環境への適用を進め、モデルの汎用性と政策的有効性を検証する。
- ・広域都市圏における「行政界を超えた生活利便性の確保」を支える計画手法として、制度設計や実務への応用を目指す。
- ・さらなる国際発表・論文化を通じて、持続可能な都市づくりの知見を世界に共有していく。

大成学術財団の研究助成により、**実証的かつ国際的に発表可能な水準に研究を深化させることができました。**この支援を通じて、**学術界と実務界の双方に発信できる成果を得られたことに、深く感謝申し上げます。**

50

ご清聴ありがとうございました

東京電機大学 理工学部 建築・都市環境学系 助教
吉田 雪乃 Yukino YOSHIDA

51

マルチタスク学習に基づく都市基盤施設の 知識共有型群監視技術の構築

八百山 太郎 ^{*1}

^{*1} 東京大学 レジリエンス工学研究センター

2025年10月17日

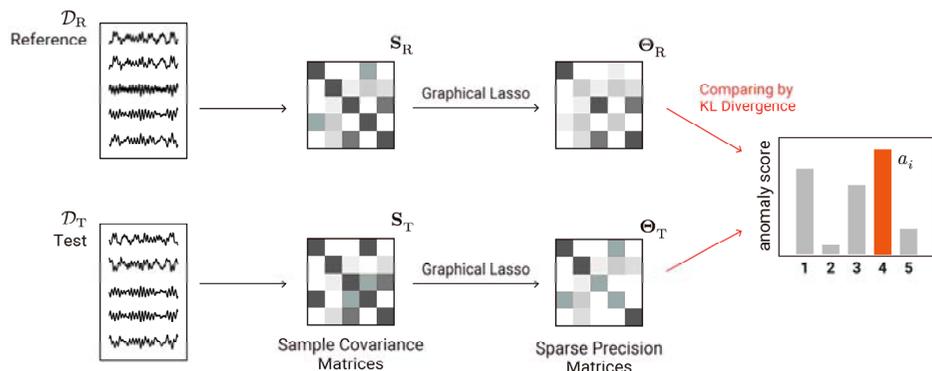


研究背景・目的

- ▶ 震災時の意思決定において、被災状況のリアルタイムな把握・集約が重要。
- ▶ 様々な基盤施設群（建築物・土木構造物・ライフライン...）の包括的監視技術が有効。
 - 建築物に限っても、躯体・非構造部材・設備機器など、多様なサブシステムの監視が重要。
- ▶ 本研究の最終目標：マルチタスク学習に基づく都市基盤施設群監視技術の構築。
 - 相関異常検知を基盤 → 互いに監視し合う（サブ）システム群。
 - マルチタスク学習 = 似通ったシステム間で知識を共有。
- ▶ 主な成果：
 - 単一の建築構造物のスケールを対象に、よりロバストな損傷検知手法を構築。
 - 躯体・設備機器の同時監視への適用。
 - マルチタスク学習を用いた手法の効率化 → 国際会議 ISSS-PSSC2025 にて発表予定。

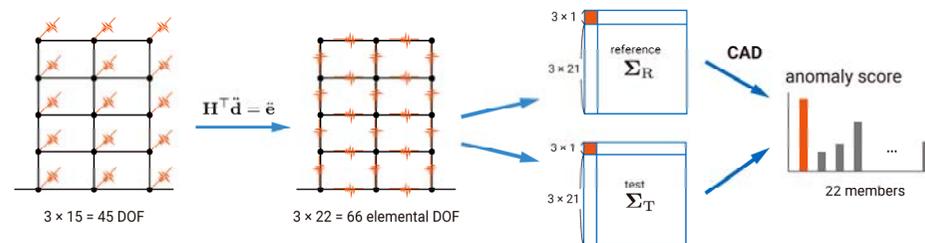
先行研究：相関異常検知 / Correlation Anomaly Detection (CAD)

- ▶ データ系列間の相関性を利用した異常検知 (Ide et al., 2009).
 - システム群が互いを監視する（相互監視）。
 - 八百山・他 (2020, 構造系論文集) による振動系への拡張。



先行研究：相関異常検知に基づく局所損傷検知

- ▶ 構造物内相互監視 (八百山・他 (2021, AIJ)).
 - 節点加速度 → 部材変形加速度への変換により、局所損傷への感度を向上。
 - 課題：
 - 共分散行列の入力波依存性。
 - 全自由度の観測が必要（コスト大）。



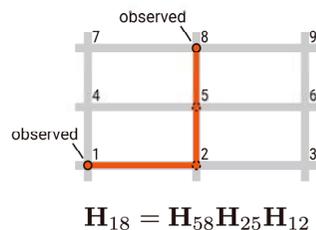
相関異常検知の高度化

- ▶ 入力波依存性への対処：白色化共分散行列 (Whitened covariance matrix)
 - 白色雑音入力時の共分散行列を推定。

$$\Sigma_{WN} = \int_{-\infty}^{+\infty} \underbrace{\mathbf{G}(\omega)}_{\text{FRF matrix}} \mathbf{G}^*(\omega) d\omega$$

- ▶ 観測条件の一般化：直列連鎖材の平衡行列 (青山・上村, 1998) を導入。

- 平衡行列：二点間の剛体変位を除去し要素変形を抽出。
- 全節点を観測する必要を回避。

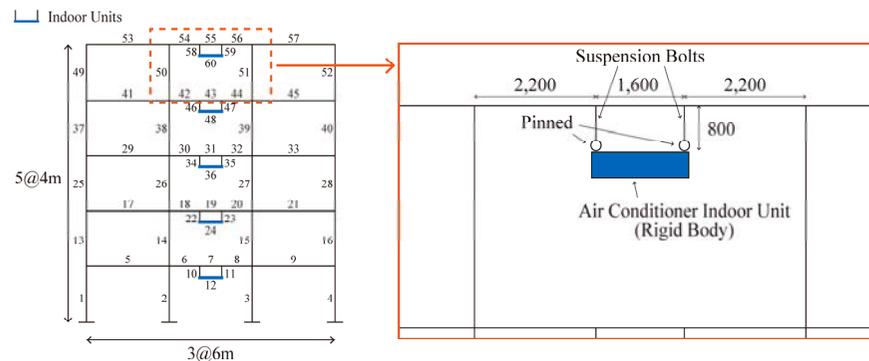


$$\mathbf{H}_{18} = \mathbf{H}_{58} \mathbf{H}_{25} \mathbf{H}_{12}$$

5 / 11

数値実験 (1)：躯体&二次部材の一括監視

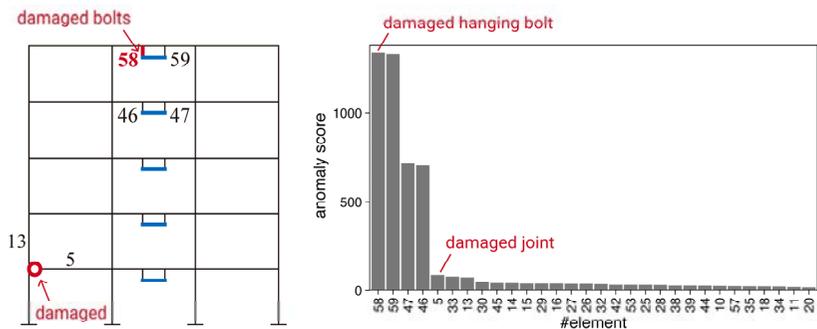
- ▶ 対象：5層3スパン平面フレーム。
 - 吊りボルト+室内機を含む計 60 部材を一括監視。
- ▶ 時刻歴応答解析 → 基準データ&検査対象データを作成。



6 / 11

数値実験 (1)：躯体&二次部材の一括監視

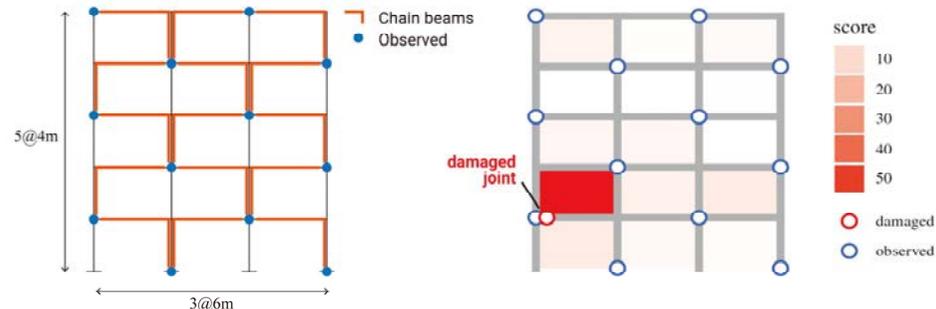
- ▶ 損傷ケース：吊りボルト&梁端の損傷を仮定。
- ▶ 結果：損傷部材+周辺で異常度が卓越。



7 / 11

数値実験 (2)：限定的な観測の場合

- ▶ 対象：5層3スパン平面フレーム（躯体のみ）。
- ▶ 限定的な観測条件を仮定 → 直列連鎖材ごと（構面ごと）に異常度を評価。
- ▶ 損傷ケース：梁端の回転剛性を低減。
- ▶ 結果：損傷部材を含む構面において異常度が卓越！

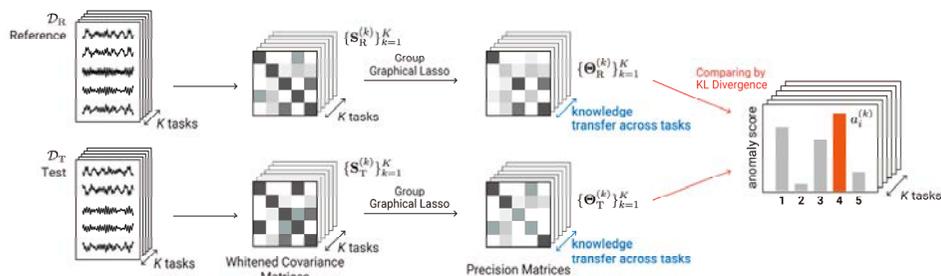


8 / 11

マルチタスク学習に基づく部材間相互監視

Yaoyama et al.: Multitask learning-based anomaly detection for damage localization in steel structures, ISSS-PSSC 2025 (Korea), To appear.

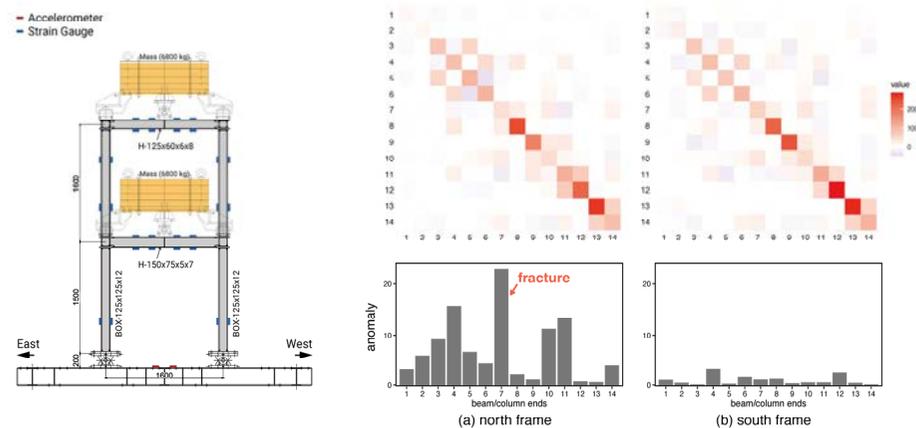
- ▶ 構造物を構面ごとに分解 → マルチタスク学習.
 - 共分散行列のサイズを縮約可能!
- ▶ 提案手法: MTL-CAD
 - タスク間で共分散構造は大きく変化しないことを仮定し, 拘束条件として付与.



9 / 11

マルチタスク学習に基づく部材間相互監視

- ▶ 実験データへの適用: 2層 1×1 スパン S 造フレーム (動ひずみ計測)
 - 北面&南面フレームを考慮 → 2 タスク問題.



10 / 11

結論と今後の課題

- ▶ 都市基盤施設群監視技術の構築に向けて, 相関異常検知 & マルチタスク学習に基づく損傷検知手法を定式化.
 - 白色化共分散行列による入力波依存性の解消.
 - マルチタスク学習に基づき, 構造物を複数の構面に分解 → 効率的な局所損傷検知.
 - 数値実験・実験データ双方にて有効性を検証.
- ▶ 今後の課題:
 - 施設群監視への展開.
 - より多様かつ複雑な二次部材 (例: 天井・設備機器の相互作用) への適用可能性.
 - 実測データ (例: 原子炉建屋) に基づく適用性の検証.

11 / 11

実大免震試験施設を活用した 免震部材におけるスケール効果の解明

きしき

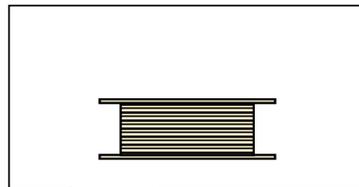
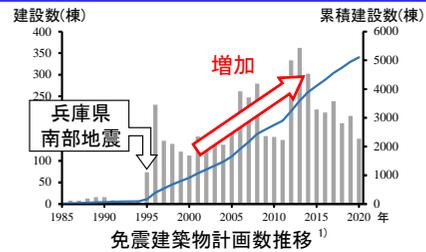
吉敷 祥一 (東京科学大学・教授)

黒澤 未来 (東京科学大学・助教)

小林 真帆 (東京科学大学・博士後期課程)

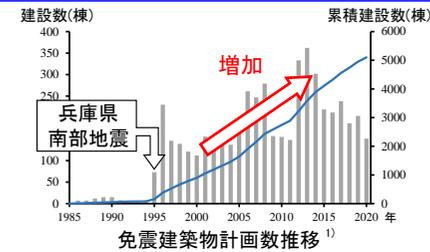
研究背景・目的

研究背景・目的

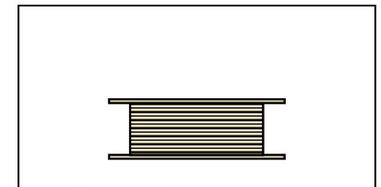
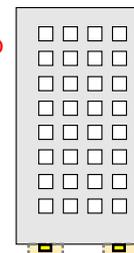


【参考文献】一般社団法人日本免震構造協会:免震建築物等の計画推移, 2022.6.8

研究背景・目的



免震建物の
高層化

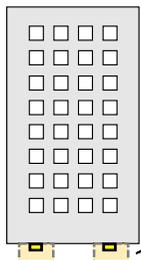


【参考文献】一般社団法人日本免震構造協会:免震建築物等の計画推移, 2022.6.8

研究背景・目的



免震建物の高層化



免震部材の大型化



【参考文献】一般社団法人日本免震構造協会：免震建築物等の計画推移，2022.6.8

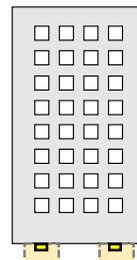
研究背景・目的

積層ゴムの大型化による課題

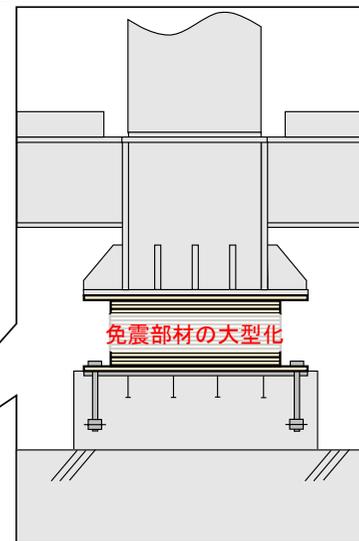
<問>スケール効果はどの程度あるのか！？

- ・力学的な影響
(板厚方向の拘束、き裂の影響)
- ・製作上の影響
(均一に造ることの難しさ、熱の伝達)

免震建物の高層化



免震部材の大型化

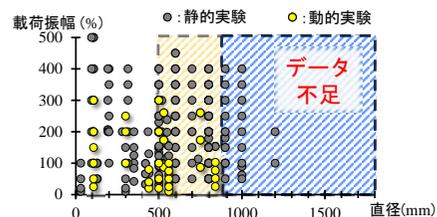


研究背景・目的

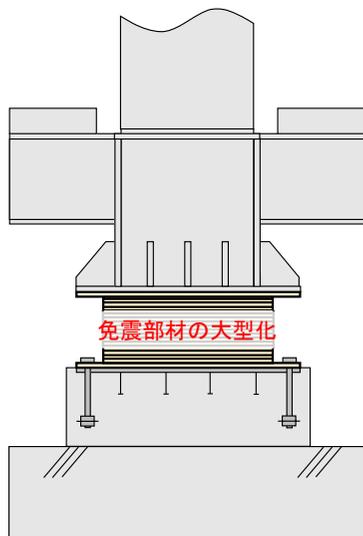
積層ゴムの大型化による課題

<問>スケール効果はどの程度あるのか！？

- ・力学的な影響
(板厚方向の拘束、き裂の影響)
- ・製作上の影響
(均一に造ることの難しさ、熱の伝達)



公表されている実験におけるゴム直径 - 载荷振幅関係

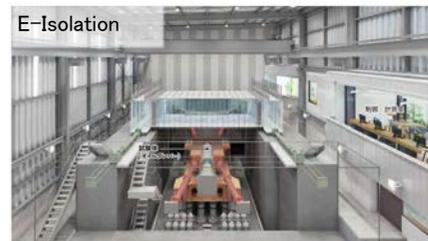


研究背景・目的

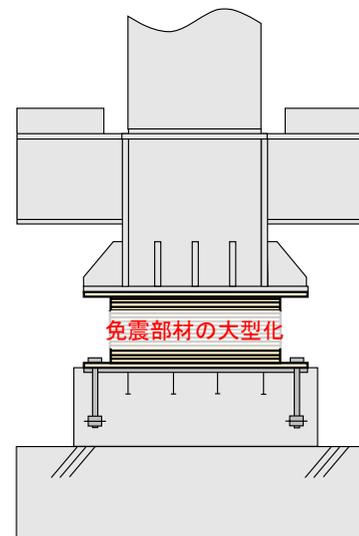
積層ゴムの大型化による課題

<問>スケール効果はどの程度あるのか！？

- ・力学的な影響
(板厚方向の拘束、き裂の影響)
- ・製作上の影響
(均一に造ることの難しさ、熱の伝達)

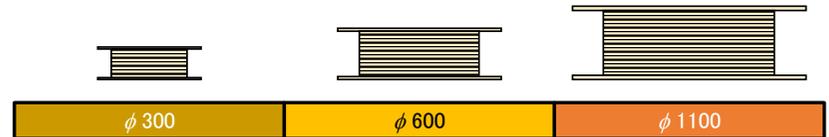
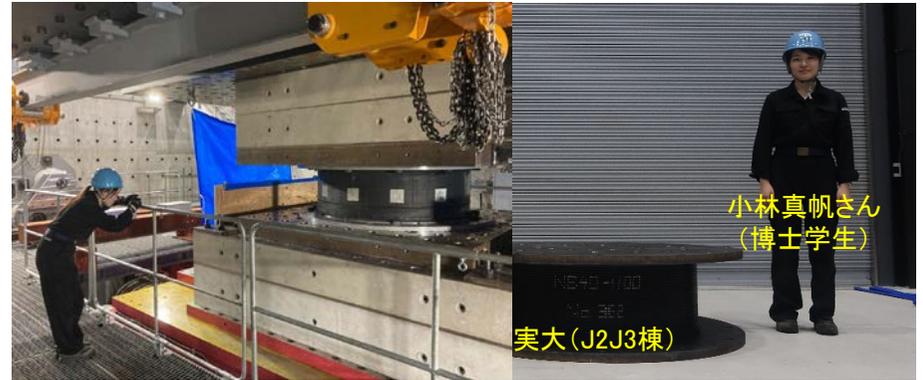


実大免震試験機を活用した研究の推進



実験計画

試験体 (3水準の天然ゴム系積層ゴムアイソレータ)

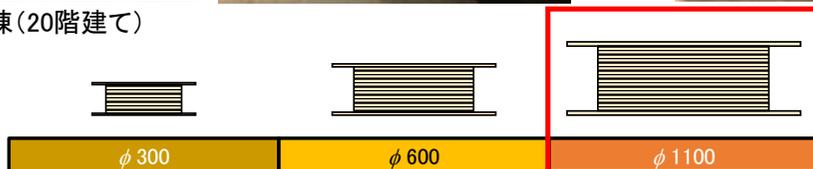


試験体 (3水準の天然ゴム系積層ゴムアイソレータ)

オープンキャンパス (5月)
見学会を実施しています
(SSHにも説明しています)



J2J3棟 (20階建て)

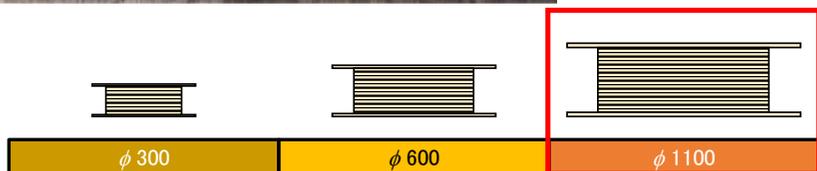


実験結果の一例

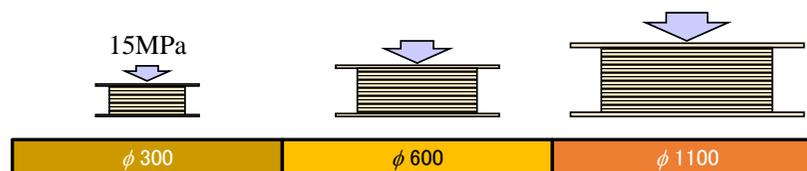
実験動画



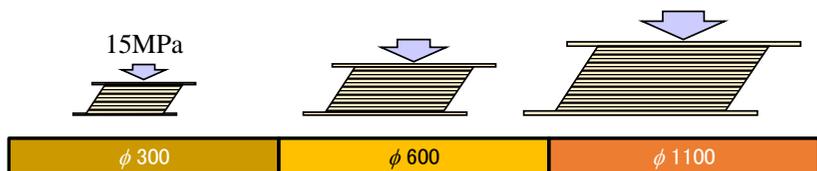
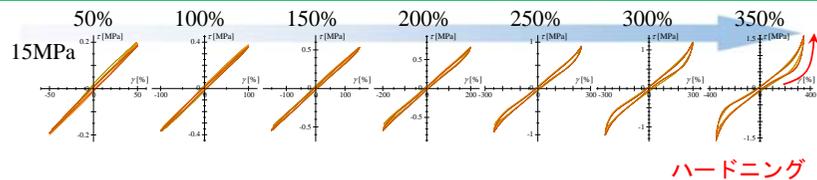
鉛直荷重: 14,000kN
 周期 : 4秒
 (初の実大動の実験)



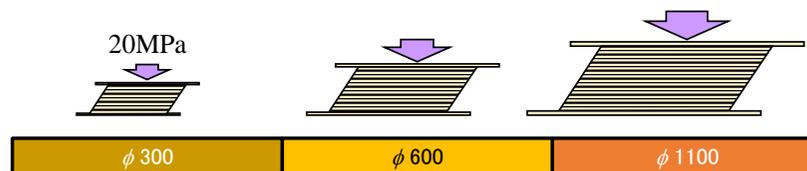
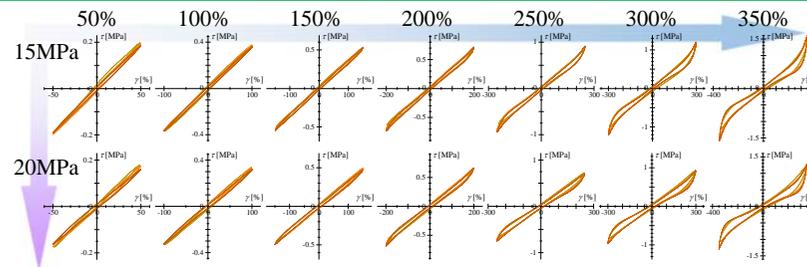
実験結果-荷重変形関係



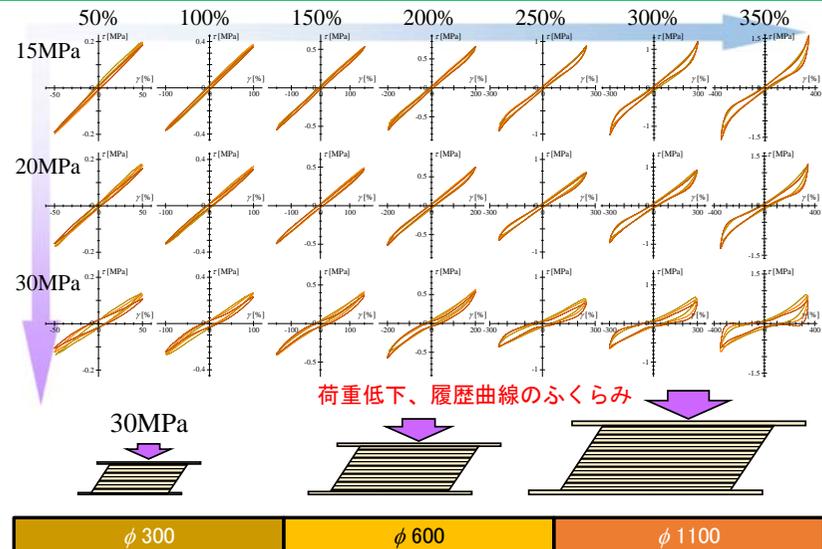
実験結果-荷重変形関係



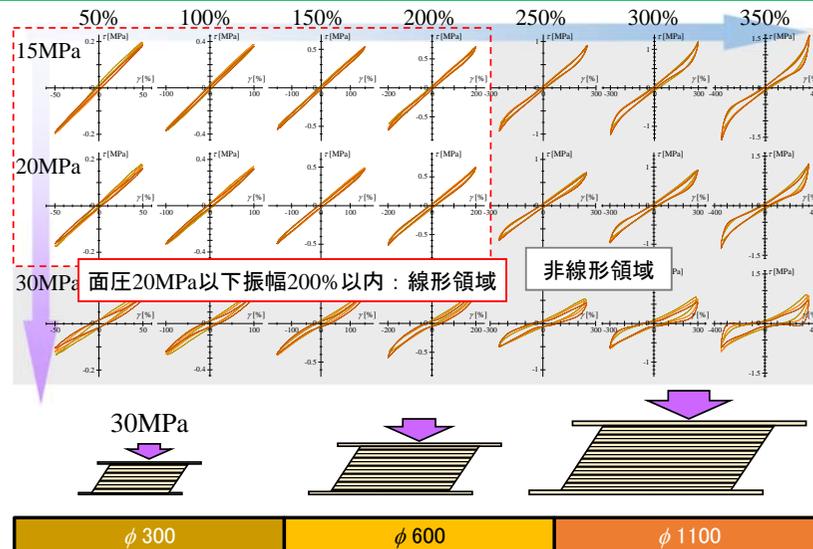
実験結果-荷重変形関係



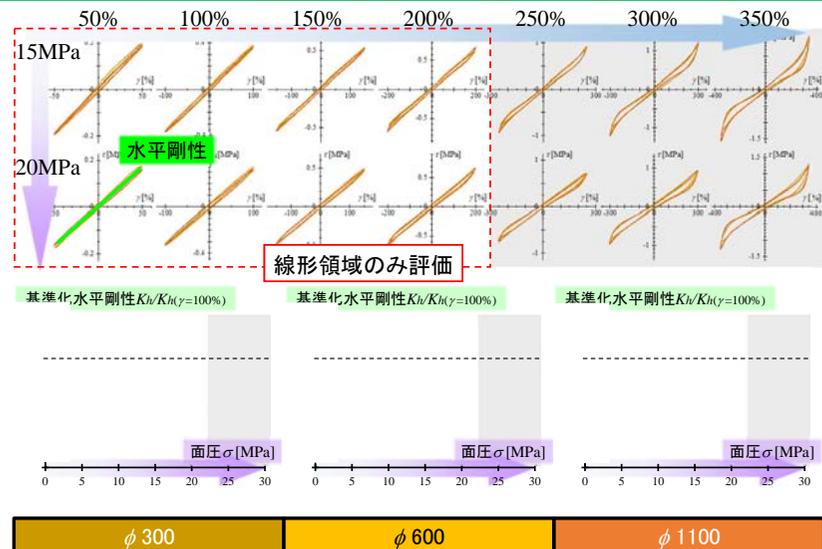
実験結果-荷重変形関係



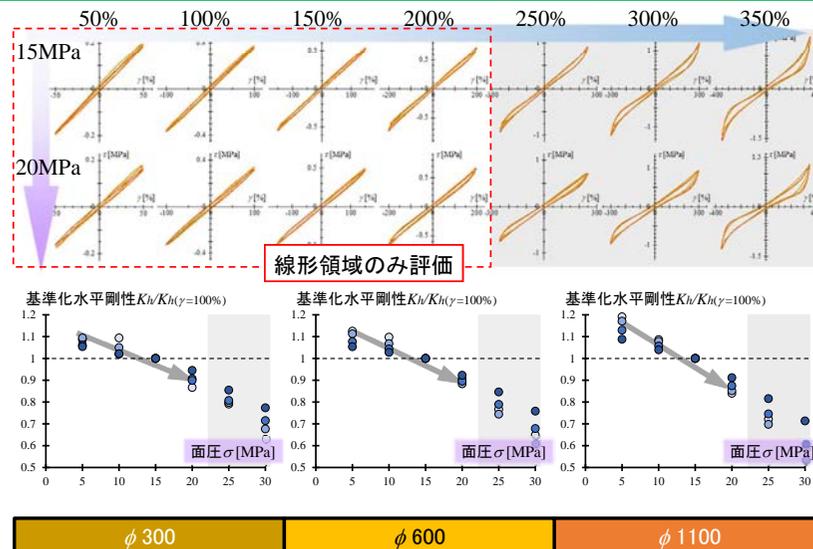
実験結果-荷重変形関係



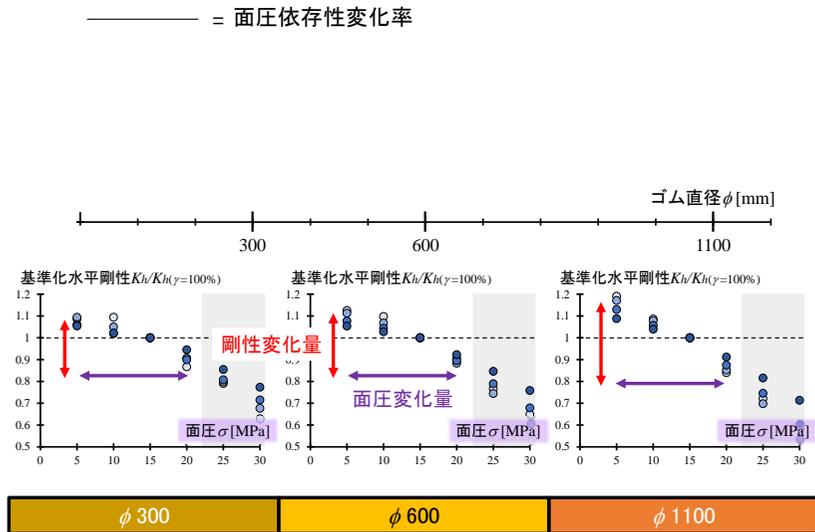
各種依存性(面圧依存性)



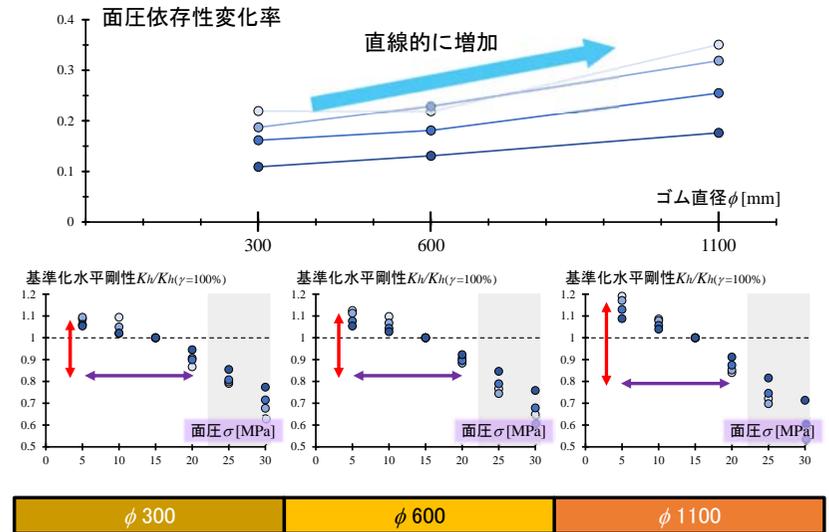
各種依存性(面圧依存性)



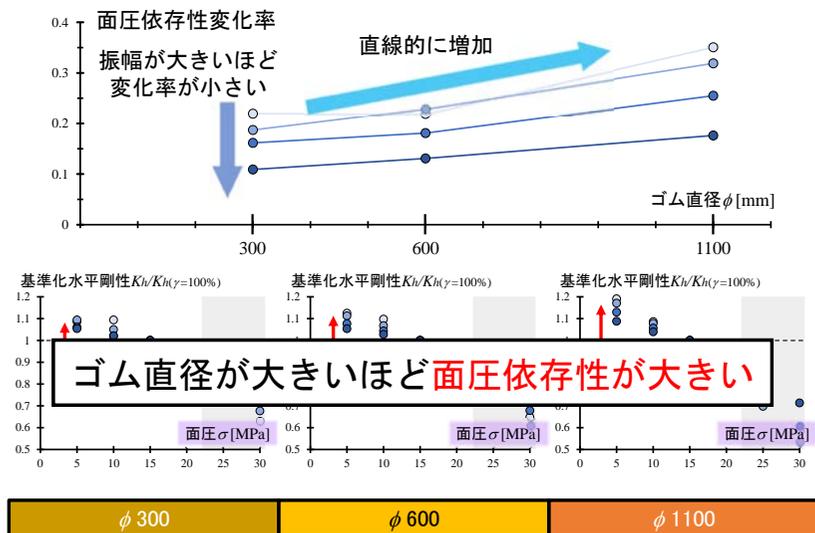
各種依存性(面圧依存性)



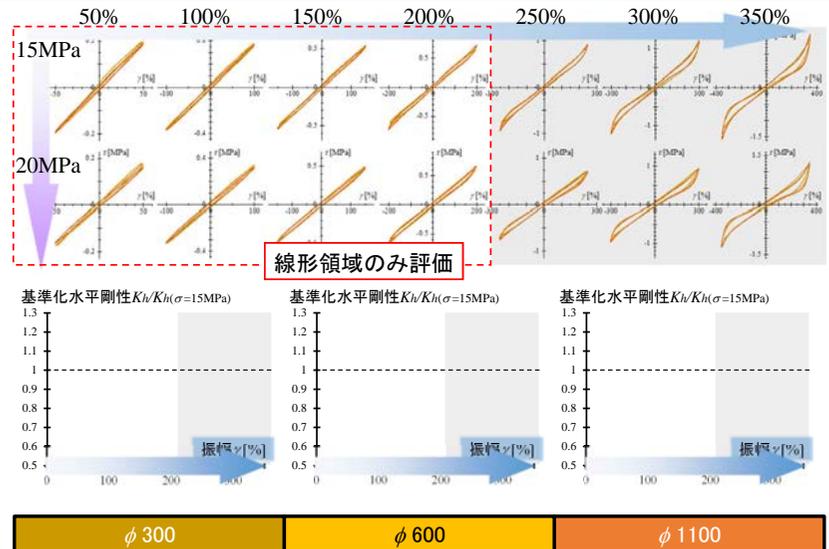
各種依存性(面圧依存性)



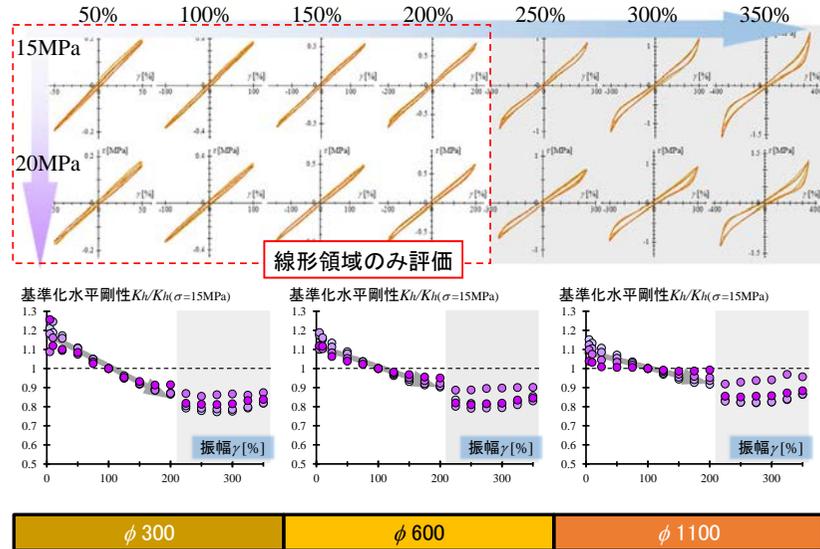
各種依存性(面圧依存性)



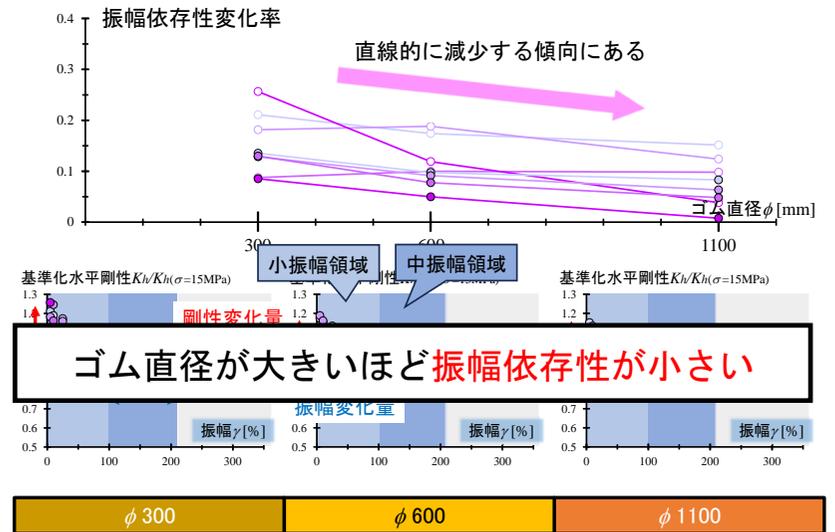
各種依存性(振幅依存性)



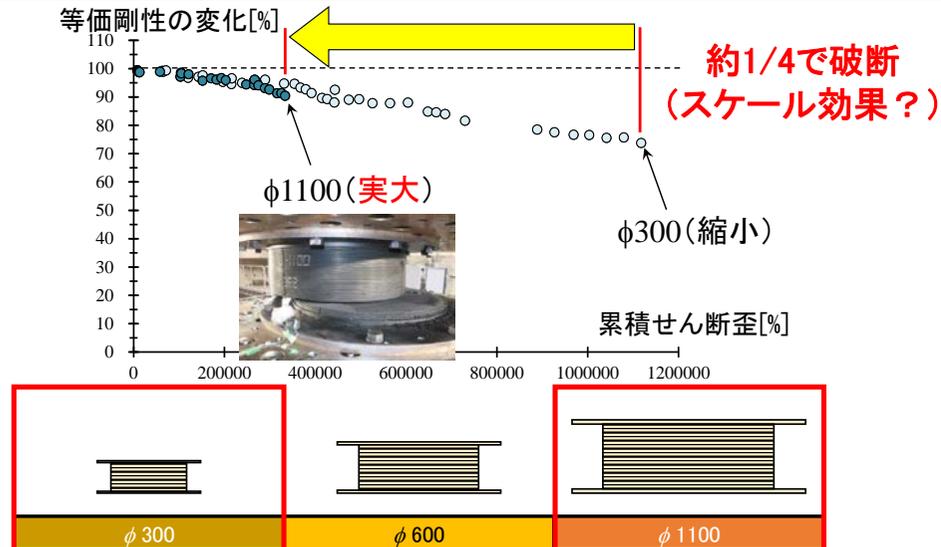
各種依存性(振幅依存性)



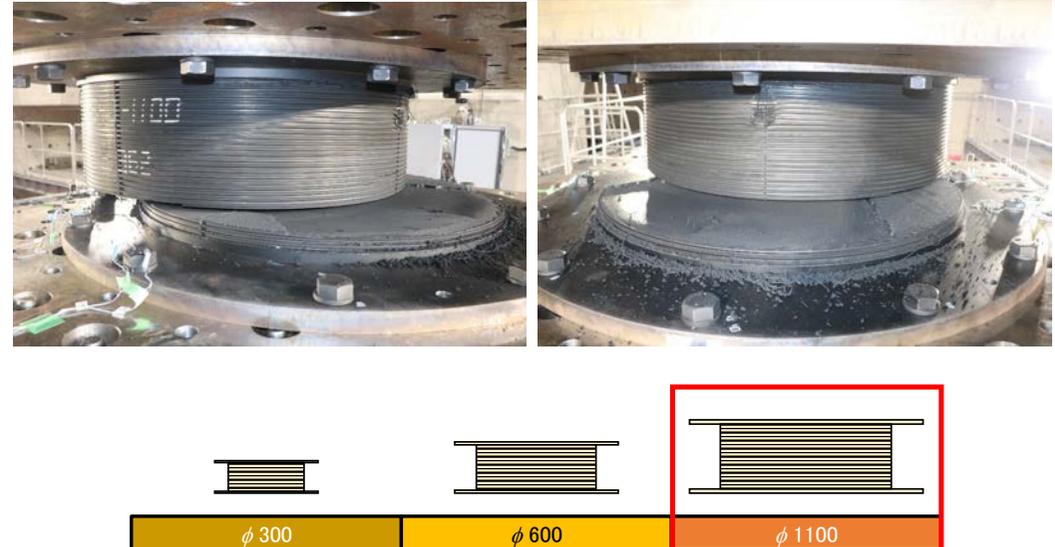
各種依存性(振幅依存性)



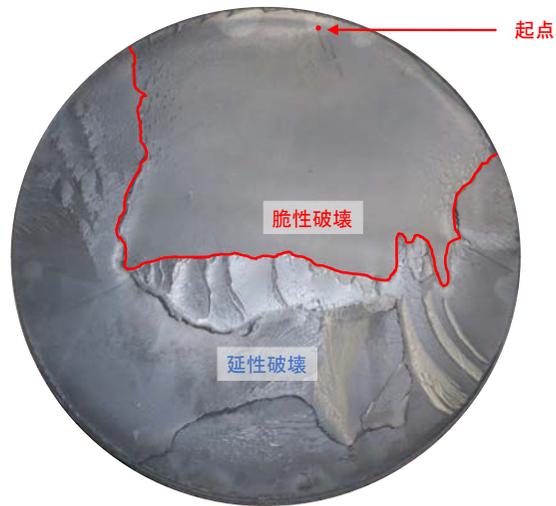
終局特性(破断までの繰り返し数)



終局特性(破断までの繰り返し数)



終局特性(破断までの繰り返し数)



まとめ

まとめ

本研究では、天然ゴム系積層ゴムアイソレータを対象とした実大動の実験により、ゴム直径に対する部材寸法比の違いによる力学特性への影響を把握した。以下に得られた結果を示す。

- “弾性領域”における各種依存性をゴム直径の違いで整理すると、**面圧依存性・速度依存性**の影響はゴム直径が大きくなるほど強くなり、**振幅依存性**の影響は弱くなる。このことから部材寸法の影響による**スケール効果**が見られた。
- 面圧20MPa超または大振幅領域の“非弾性領域”では、履歴曲線のふくらみやハードニングによる**荷重上昇**が見られた。また、ハードニングを伴う**大振幅領域の挙動**および**損傷蓄積の評価**においても**ゴム直径の違いによる差異**が見られた。
- 破断まで繰り返し変形を続けた結果、実大のΦ1000の積層ゴムは、**模型試験体であるΦ300の積層ゴムの約1/4の累積変形**で破断に至った。

ご静聴、ありがとうございました。

意匠性・生産性・耐震性に優れた
木材と鉄骨の合成接合工法の開発と実用化研究

東京理科大学 工学部 建築学科
伊藤拓海

広島工業大学 森健士郎
呉建築設計事務所 呉東航

✓これまでの基礎・応用研究の成果
vs.
今回の実用化研究の対象と目的

～木+鋼の合成構造システム～

鉄骨+合板 (市松模様)



鉄骨+合板 (面材)



鉄骨+製材



✓これまでの木+鋼の研究開発の対象と成果

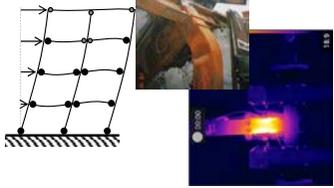
✓これまでの基礎・応用研究の成果
vs.
今回の実用化研究の対象と目的

～IoTとDXによる建物モニタリング～

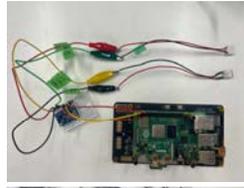
IoTモニタリング

= 圧電・熱電によるセンサーの製品化と実用化

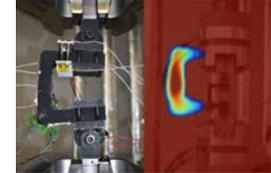
鋼材の塑性化と発熱



IoTセンサー試作品



実建物実装



損傷vs発熱の理論体系化



実用化、製品化



実装、運用、サービス

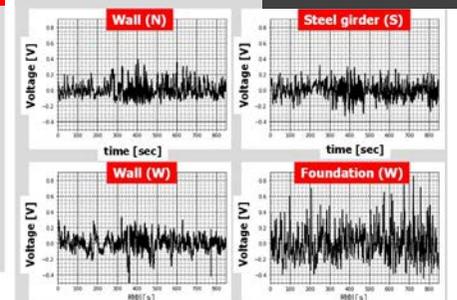
✓ 被害の情報化と社会実装を進行中

2017-18の助成による成果

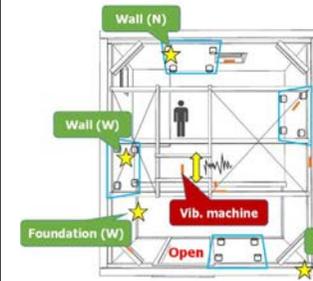
大分県国東市・試験建屋のIoTモニタリング



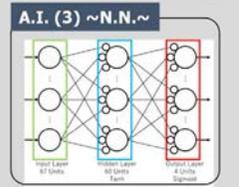
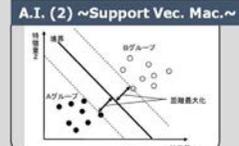
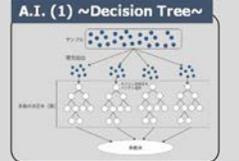
振動実験、2017~2019年



振動時の圧電フィルムによる起電



圧電フィルムの設置



AIによる解析

実用化研究の展開

- ①フィルムタイプ** 大分県国東市 2017年度設置
- ③方杖タイプ** 北海道網走市 2025年8月設置
- ③方杖タイプ** 大分県別府市 2024年9月設置
- ④水電池タイプ** 秋田県内 2022年冬ゲージ設置, 2025年冬IoT設置予定
- ①フィルムタイプ** 東京都葛飾区 2019年度設置
- ②ダンパータイプ** 東京都墨田区 2020年度設置, 2021年10月地震観測
- ③方杖タイプ** 大分県鉄輪 方杖設置済
- ①フィルムタイプ** 東京都葛飾区 2025年度設置

設置の様子 = 収まりや見た目への配慮

設置の様子 = 収まりや見た目への配慮

軸力材方式

スライダー方式

方杖方式の提案

歪み ϵ
傾き R

発電量 W と 層間変形 R の関係

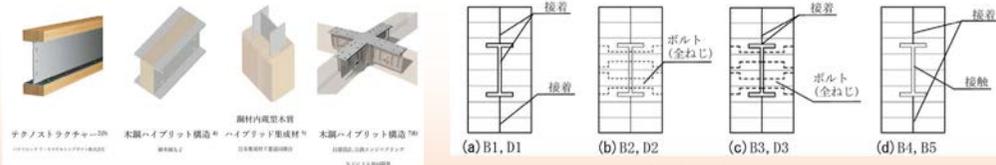
$$W = C \Delta T^2 R^2$$

これまでの基礎・応用研究の成果
 VS.
 ✓ 今回の実用化研究の対象と目的

～鋼に木を後付けする接合工法～



✓ 木+鋼のハイブリット構造



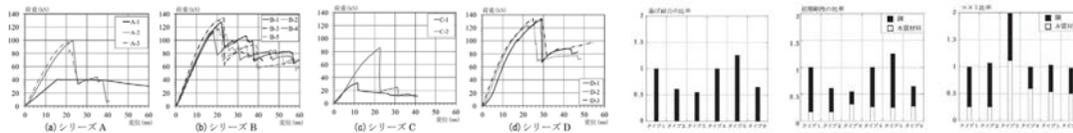
部分的な取り付け

全体を被覆

タイプ1	タイプ2	タイプ3	タイプ4	タイプ5	タイプ6
角形鋼管	十字H形鋼	十字鋼	H形鋼	並列平鋼	平鋼

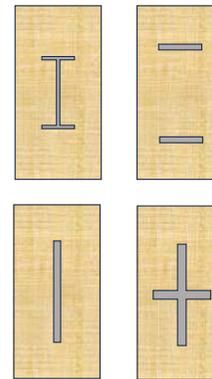
荷重変形関係 = 不安定挙動

木材の構造性能への寄与



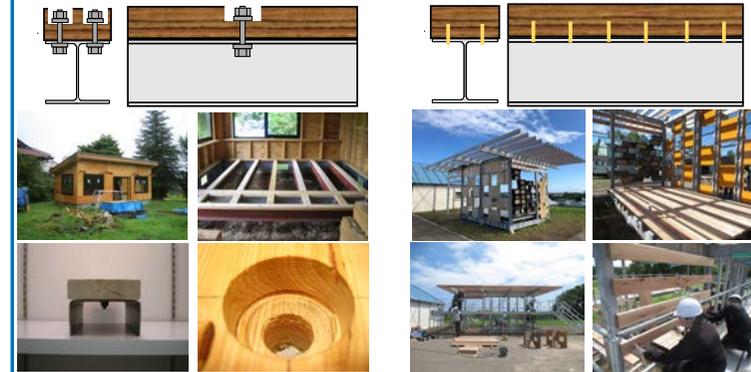
✓ 木+鋼のハイブリット構造

✓ 全被覆タイプ



構造性・耐久性：○
 施工性・加工性：△

✓ 部分被覆タイプ



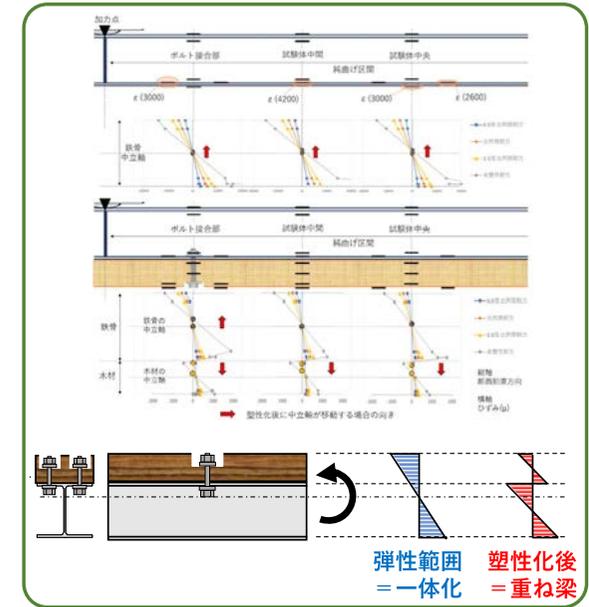
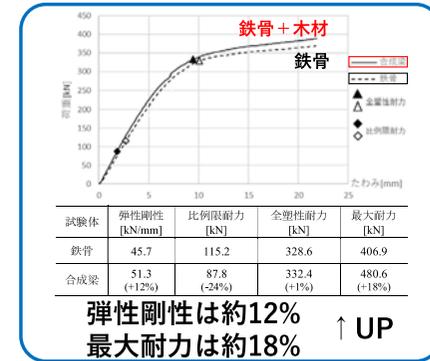
構造性・耐久性：△
 施工性・加工性：○

✓ 施工性、耐震性、耐久性の違い

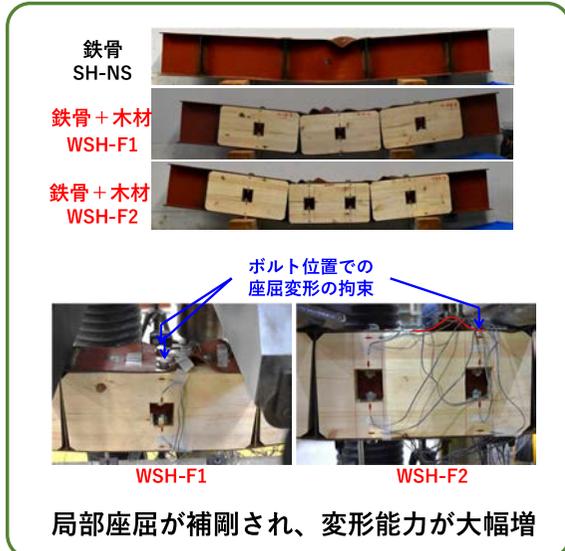
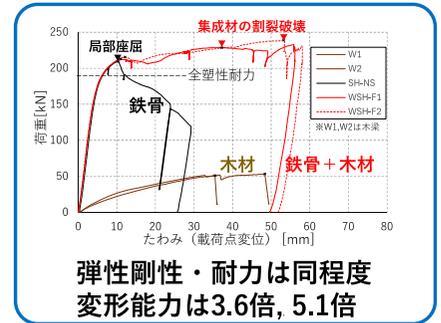
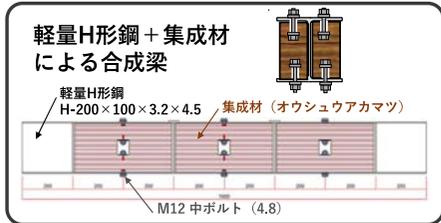
これまでの基礎・応用研究の成果
 VS.
 ✓ 今回の実用化研究の対象と目的

～基礎研究@実験室～

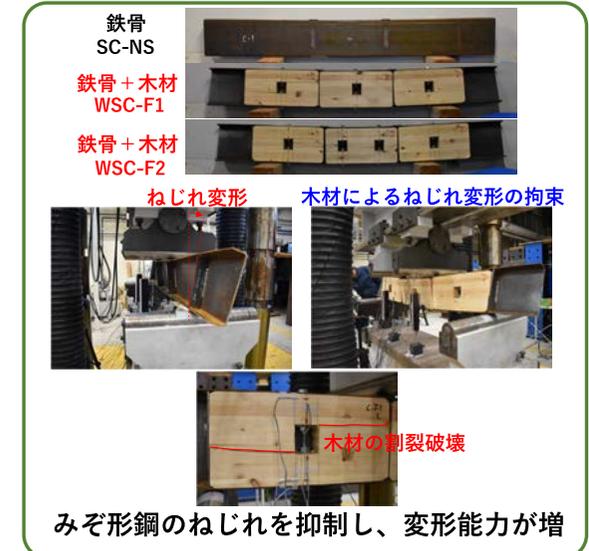
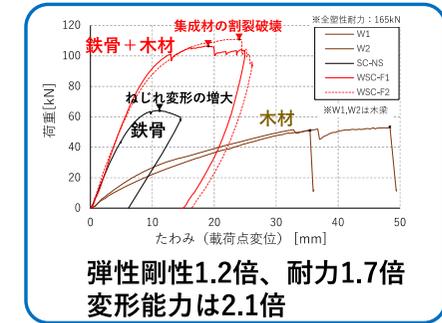
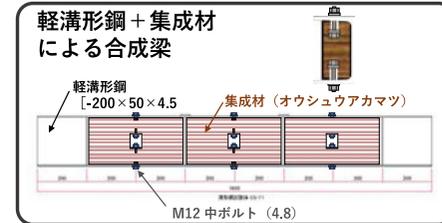
① H形鋼の補剛効果の検証



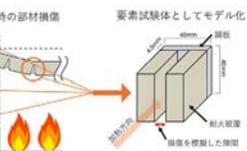
② 軽量H形鋼の板座屈の補剛効果の検証



③ 軽量みぞ形鋼の板座屈の補剛効果の検証



鉄骨構造の火害と木補剛の耐火の効果



木補剛材の震災時の耐火性

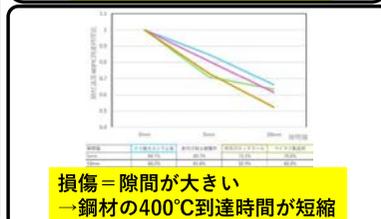
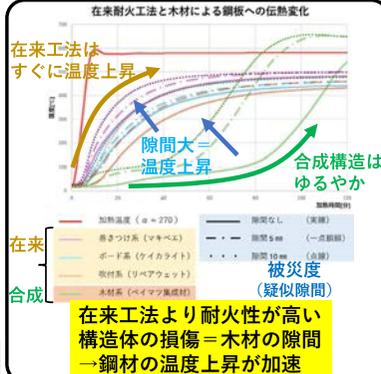
木補剛材の耐火試験



加熱試験結果



損傷 = 隙間が大きい
→ 熱分解促進により燃残り量が減



これまでの基礎・応用研究の成果
VS.
✓ 今回の実用化研究の対象と目的

～実地研究@テストフィールド～

2020～
施工試験・振動実験で使用



2023～
木材の後取り (ボルトとビス)



2023～
軽鋼構造の設計・施工



2022
振動実験研究終了→地域利用



✓ 鉄骨骨組への製材の実装@大分県別府市内

✓ 軽鋼構造への製材の実装@北海道網走市内

✓ 鉄骨に後付けする木補剛工法

- ・被覆範囲＝全面・部分、ボルト接合とビス止め

✓ 力学特性に関する構造実験

- ・耐力・剛性、座屈補剛

✓ 震災後の耐火性に関する加熱実験

- ・在来工法と比較
- ・被災度（木補剛材の隙間）と熱特性の関係

✓ テストフィールドでの施工試験

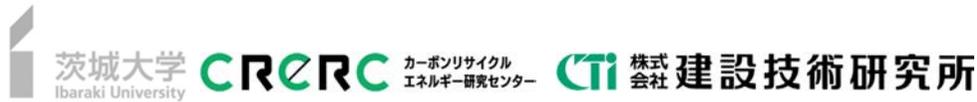
- ・鉄骨骨組に木材を後付け完了

バイオフィリックデザイン空間における疑似自然風の「積極的快適域」と省エネルギー技術に関する研究

吉田友紀子

博士（工学）一級建築士

建設技術研究所 主任
茨城大学カーボンリサイクルエネルギー研究センター 特命研究員



2. 研究目的

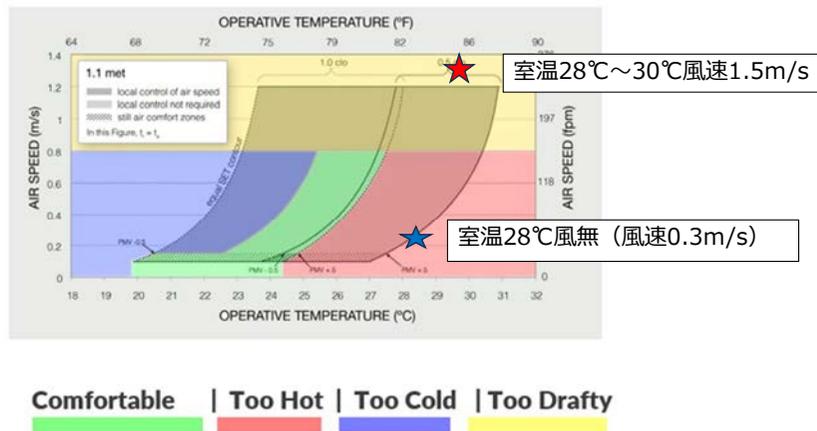


図1 ASHRAE55-2023 快適性範囲

- ★条件1 : 室温28°C以上, 平均風速1.5m/s (2024年5月27日~6月10日)
- ★条件2 : 室温28°C以上, 風無* 平均風速0.3m/s (2024年5月27日~6月10日)

1. 序論 研究背景

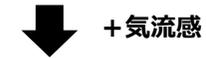
バイオフィリアとは、人間が本能的に自然を好む修正にあるということ

バイオフィリックデザイン (BD) 空間に関する研究 視覚的要素+α (五感)

- 田崎・田辺ら²⁾ : 窓の開閉が視覚的な自然要素および非視覚的な自然要素が心理的なつながりや快適性にどう寄与するかを評価
- 宗・山中ら³⁾ : 休憩中の室内環境 (照明, 気流, におい) の変化が心理的・生理的なリラックス効果やリフレッシュ効果にどのように影響するかの調査
- 吉田ら^{4・5)} : 「鳥のさえずり」がバイオフィリックデザイン空間における心理的な快適性や積極的快適性に与える影響を評価

温熱環境に関する研究 BD無

- 山本・伊藤ら⁶⁾ : 室温27°C以上において気流により快適性向上の可能性を示唆
室温29°Cでは気流により快適性範囲が拡大する傾向を発見



本研究は,

室内緑化の調和感からBD手法

+ 疑似自然通風(一方向からくる人体全面に受ける風, 以下, 疑似自然風と呼ぶ)

➔ 積極的快適性向上の可能性の検討

3. 実験概要 長期室内環境計測(実空間)の概要

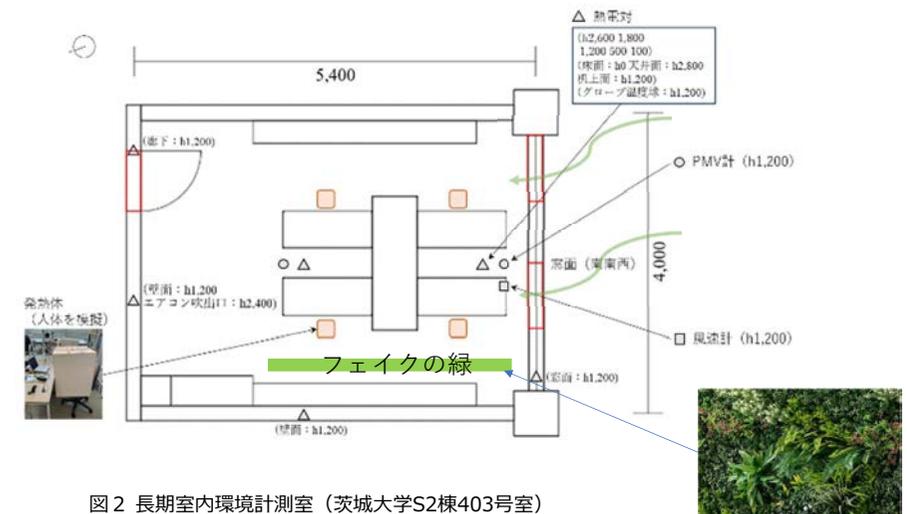


図2 長期室内環境計測室 (茨城大学S2棟403号室)

3. HMD型VRを用いた空間心理量評価実験の概要

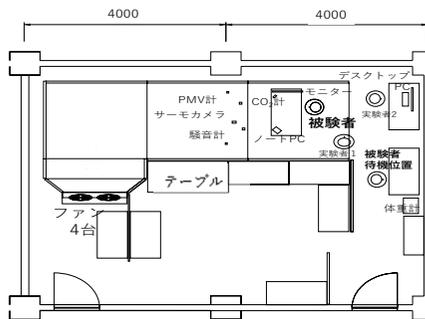


表1 計測項目一覧

計測項目	計測方法	計測機器
室内温度	PMV計	KYOTO ELECTRONICS AM-101
相対湿度	PMV計	KYOTO ELECTRONICS AM-101
物風速	PMV計	KYOTO ELECTRONICS AM-101
PMV	PMV計	KYOTO ELECTRONICS AM-101
CO ₂ 濃度	NDIR方式	SB環境株式会社 MB-530
机上面照度	照度計	YOKOGAWA 51003 ILLUMINANCE METER
騒音レベル	騒音計	RION SOUND LEVEL METER NL-42
生脳波計	イヤホン型脳波計	株式会社CyberneX XHOLOS
皮膚温度	熱電対	Type-T、データロガー
発汗量	精密体重計	㈱エー・アンド・デイ 検定付き電子台 SE-K



ファン1



ファン2



図3 VR簡易風洞実験室写真
(左：設営時，中央・右：被験者実験)

室温28℃～30℃，平均風速0.8、1.0m/s (PMV+0.5) ～1.56m/s 温熱快適性上限を検討

3. HMD型VRを用いた空間心理量評価実験の概要

VIVE Pro Eye



Table 2 HMD specifications (HTC社製VIVE Pro eye)

ディスプレイ	解像度	片目あたり1440×1600ピクセル (合計2880×1600ピクセル)
リフレッシュレート	90Hz	
スクリーン	デュアルOLED 3.5インチ (対角線)	
インターフェース	HTC Sranipal SDK	
視野角	最大110°	
最大輝度	130 cd/m ²	
最小輝度	0.04 cd/m ²	
色空間	Adobe RGB	
センサー	Steam VR Tracking 2.0	
コントラスト比	3250 : 1	
最大dE	2.3	
最小dE	0.5	
PC性能	OS	Windows10
CPU	Core i9-11900K(3.5GHz)	
メモリ	32GB	
グラフィックボード	GeForce RTX3080	

3. HMD型VRを用いた空間心理量評価実験の概要

プラネット株式会社



座席正面手元緑有無 + 大木

Case②動1-2 緑率20.1%



パーティション有

Case⑤静2-5 緑率3.5%

3. 被験者実験概要

動画は植物が風で揺れ，緑無は静止画

室内緑化に関する視覚情報 緑量が異なる5種類 (図4)



Case①動1-1 緑率30.5%



Case②動1-2 緑率20.1%



Case③動1-3 緑率21%



Case④動1-4 緑率15.5%



Case⑤静2-5 緑率3.5%

魚眼レンズの等距離射影画像
(FC-8, NIKON製
COOLPIX P5100,
4000×3000pixel,
解像度300dpi, f/4.8,
露出時間1/190秒, ISO-64)
を用いて撮影
※全て机上面照度500lx

図4 評価座席 (緑量の多い順にCase①～Case⑤)

3. 被験者実験概要

動画は植物が風で揺れ、緑無は静止画

表2 被験者実験に用いた評価座席 (大空間, 小空間)

	Case1-1	Case1-2	Case1-3	Case1-4	Case2-5
大空間 株式会社プラネット (地下空間)					
空間構成	手元+壁面緑化	遠景緑	手元緑	手元緑なし	パーティション
緑率 (%)	30.5%	20.1%	21.0%	15.5%	3.9%
小空間 茨城大学工学部 S2棟 403号室					
空間構成			室内側壁面緑化	室内側緑無	
緑率 (%)			19.4%	0%	

建設技術研究所×茨城大学カーボンリサイクルエネルギー研究センター

3. 被験者実験の概要

表1 被験者実験概要 実験I~III

被験者実験名称	室内環境設定	被験者数	評価座席	茨城大学工学部生命倫理委員会承認
実験I ファン1 2023年10月13日~24日 (平均外気温18.3℃)	室内温度 26℃ 湿度なりゆき 平均風速 1.0m/s 風有・騒音レベル 約58dB (L _{eq,1min}) 暗騒音約45dB (L _{eq,1min})	19歳から24歳の 実験内容を知らない大学生 合計12名 男子6名, 女子6名	大空間 5種 Case1-1~2-5	許可番号 23T0800
実験II ファン1 2024年5月27日~6月10日 (平均外気温19.6℃)	室内温度 30℃ 湿度なりゆき 平均風速 1.56m/s 風有・騒音レベル 約58dB (L _{eq,1min}) 暗騒音約45dB (L _{eq,1min})	19歳から24歳の 実験内容を知らない大学生 合計14名 男子7名, 女子7名	大空間 3種 Case1-1,1-2,2-5 小空間 2種 Case1-3,1-4	許可番号 24T0400
実験III ファン2 2024年10月21日~24日 (平均外気温22.5℃)	室内温度 30℃ 湿度なりゆき 平均風速 0.8m/s 風有・騒音レベル 約55dB (L _{eq,1min}), 暗騒音45dB (L _{eq,1min})	19歳から22歳の 実験内容を知らない大学生 男子8名	大空間 3種 Case1-1,1-2,2-5 小空間 2種 Case1-3,1-4	

建設技術研究所×茨城大学カーボンリサイクルエネルギー研究センター

3. 被験者実験概要

● 被験者

日時：2024年5月27日~6月10日
午前 10:30~12:30
午後1 13:30~15:30
午後2 15:30~17:30
被験者：14人 (男性：7名 女性：7名)



写真1 被験者の服装

着衣量：0.5clo
代謝量：1.0met

表2 被験者概要

実験日	スケジュール	被験者	性別
2024/5/27	午後1	a	男
2024/5/28	午後1	b	男
2024/5/29	午後1	c	女
2024/5/29	午後2	d	男
2024/5/30	午後1	e	男
2024/6/3	午後1	f	男
2024/6/4	午後1	g	女
2024/6/5	午後1	h	女
2024/6/6	午後1	i	男
2024/6/7	午後1	j	女
2024/6/7	午後2	k	女
2024/6/10	午前	l	男
2024/6/10	午後1	m	女
2024/6/10	午後2	n	女

140分

30分	約15分	5分	約10分	5分	約15分	5分	約10分	約5分
	1 2 3		4 5		6 7 8		9 10	
安静状態 ・実験開始前 ・温熱感	HMD装着 ・印象評価 ・作業性評価 ・温熱評価	休憩	HMD装着 ・印象評価 ・作業性評価 ・温熱評価	休憩	HMD装着 ・印象評価 ・作業性評価 ・温熱評価	休憩	HMD装着 ・印象評価 ・作業性評価 ・温熱評価	実験終了後 温熱感

図3 実験スケジュール
前半疑似自然風有 (1.56m/s), 後半風無 (0.3m/s)

3. 被験者実験概要

■心理アンケート票

1. 室内の暑熱感として感じている程度を記入してください。(0:非常に冷たい) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

暑熱感
不快 不快
不快である 不快である
少し不快 不快
不快を感じる 不快
暑い 暑い
暑さを感じる 暑さを感じる
暑い 暑い
暑い 暑い
暑すぎる 暑すぎる
マツル マツル

2. 室内の暑熱感として感じている程度を記入してください。(0:非常に冷たい) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

暑熱感
不快 不快
不快である 不快である
少し不快 不快
不快を感じる 不快
暑い 暑い
暑さを感じる 暑さを感じる
暑い 暑い
暑い 暑い
暑すぎる 暑すぎる
マツル マツル

3. 室内の暑熱感として感じている程度を記入してください。(0:非常に冷たい) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

暑熱感
不快 不快
不快である 不快である
少し不快 不快
不快を感じる 不快
暑い 暑い
暑さを感じる 暑さを感じる
暑い 暑い
暑い 暑い
暑すぎる 暑すぎる
マツル マツル

SD尺度7段階

(1. 非常に, 2, 3, やや, 4. どちらでもない, 5. やや, 6, 7. 非常に) の印象及び作業性評価, 緑量の主観及び客観評価, 温熱感から構成

4. ノートパソコンでの作業効率として感じている程度を記入してください。(0:非常に冷たい) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

作業効率
不快 不快
不快である 不快である
少し不快 不快
不快を感じる 不快
暑い 暑い
暑さを感じる 暑さを感じる
暑い 暑い
暑い 暑い
暑すぎる 暑すぎる
マツル マツル

5. 暑熱感の印象として感じている程度を記入してください。(0:非常に冷たい) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

暑熱感
不快 不快
不快である 不快である
少し不快 不快
不快を感じる 不快
暑い 暑い
暑さを感じる 暑さを感じる
暑い 暑い
暑い 暑い
暑すぎる 暑すぎる
マツル マツル

6. 暑熱感の印象として感じている程度を記入してください。(0:非常に冷たい) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

暑熱感
不快 不快
不快である 不快である
少し不快 不快
不快を感じる 不快
暑い 暑い
暑さを感じる 暑さを感じる
暑い 暑い
暑い 暑い
暑すぎる 暑すぎる
マツル マツル

図6 心理量アンケート票 (左から, 1~3印象評価, 4作業性評価, 5緑量, 6温熱感, 設定温度)

4. 実験結果

1) 実験Ⅰ: 「快適」及び「開放的である」の印象評価が有意差に高いCase 1-1では、擬似自然風有の条件が擬似自然風無よりポジティブ側の回答をえている。

「自然を感じる」では擬似自然風有の影響がいずれも見られ、温熱評価における「気流を感じる」は同様の回答であるため、視覚的影響によるものと考えられた。

音環境評価は「静か-うるさい」、「気になる-気にならない」、「煩わしい-煩わしくない」に有意差が認められたものの、ネガティブ側回答となっておらず、被験者実験は有効と判断した。

4. 実験結果

■緑量の多い評価座席Case①動1-1プロフィール図

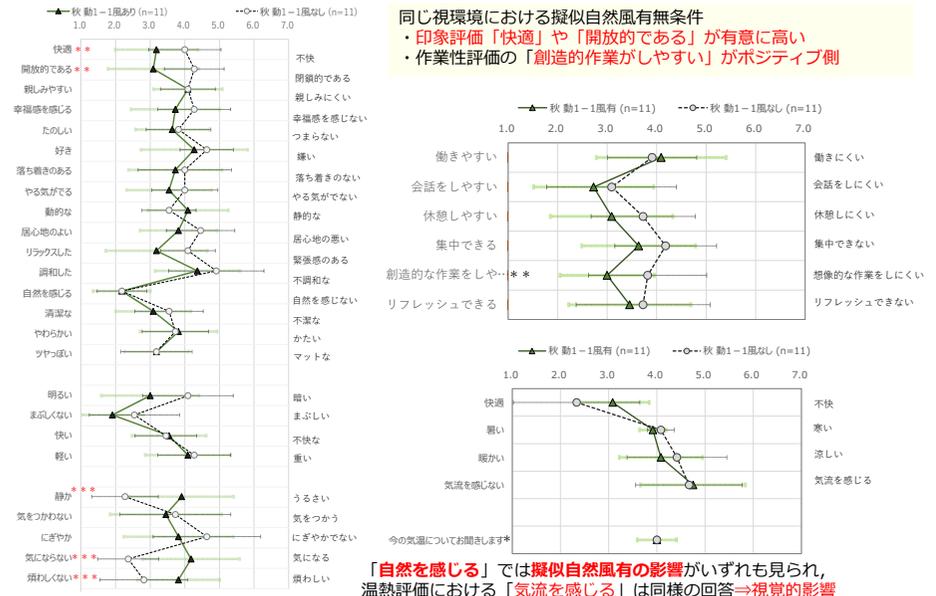


図8 緑量の多い評価座席Case①動1-1プロフィール図 (左: 印象評価, 右上: 作業性評価, 右下: 温熱感)

4. 実験結果

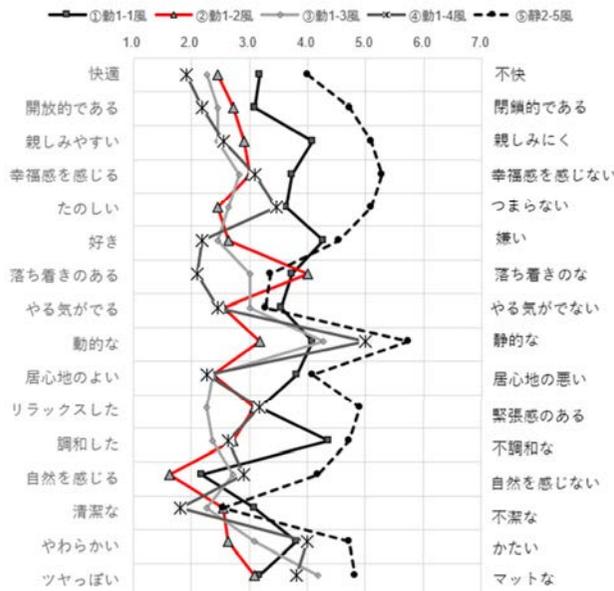


図7 自然通風時における各座席印象評価 平均値

2) 実験Ⅱ: 緑量が同等大空間 Case1-2と小空間1-3の比較

「快適」「開放的である」「親しみやすい」「幸福感を感じる」「たのしい」「やる気がでる」「リラックスした」の項目で大空間1-2の評価が有意ポジティブ側を示した。

緑有(緑率:20%) + 大空間(178.3㎡) + 擬似自然風有(平均風速1.6m/s)条件下にて、積極的快適性が向上する可能性が示された。

4. 実験結果

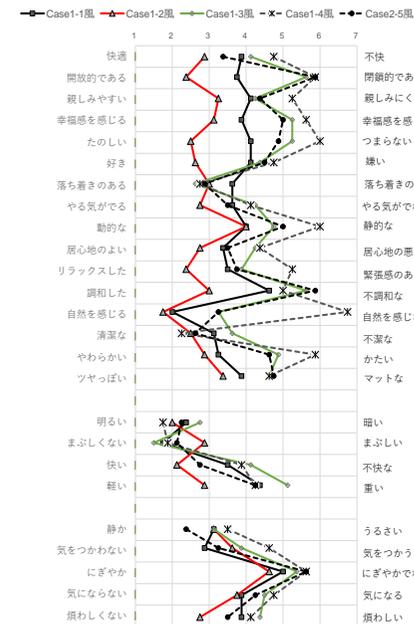


図4 実験Ⅲ疑似自然通風時の各座席印象評価 平均値

3) 実験Ⅲ:

ポジティブ側: 最も自然を感じる大空間 Case1-2 (赤線)

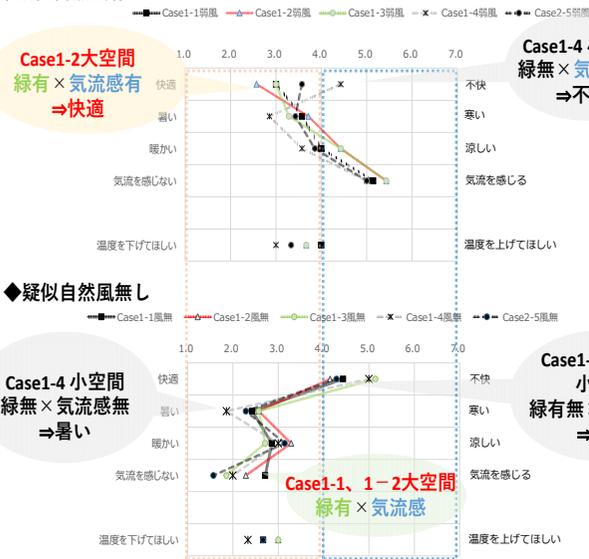
ネガティブ側: 最も自然を感じない小空間Case1-4

緑量が同等である **大空間1-2印象評価大 > 小空間1-3** ⇒ 実験Ⅱと同様の傾向を示し、**BD空間特有の「開放感」の定義△**

主観的快適性を向上させ、吉田が提唱した総合的快適性モデル(吉田, 2025年2月日本建築学会環境系論文集)を裏付ける結果を示した。

4. 実験結果

◆疑似自然風有り



ASHRAE55快適域上限を
超えてもなお「快適」の申告
→発汗による気流感
→緑量の視覚刺激
→積極的快適性向上へ

図5 実験III 疑似自然通風時の各座席温熱感 平均値

4. 実験結果 t検定：緑率比較

緑率比較

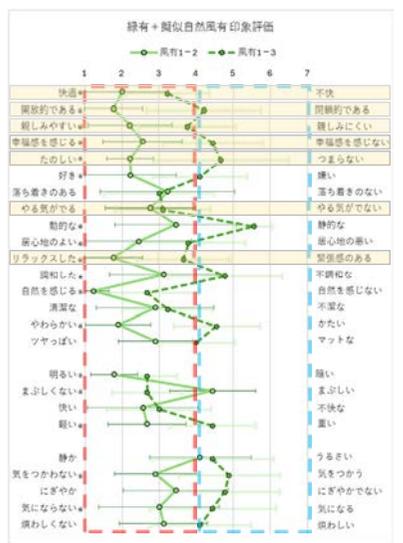
表4 評価座席における心理量のt検定結果

赤字：p<0.01(有意差水準1%) □：p<0.05(有意差水準5%)

項目	有		無		有		無		有		無	
	有/無	有/無	有/無	有/無	有/無	有/無	有/無	有/無	有/無	有/無	有/無	
開放的であるー閉鎖的である	0.002	0.002	0.000	0.000	0.003	0.027						
幸福感を感じるー幸福感を感じない	0.023	0.005	0.006	0.000	0.007	0.003						
たのしいーつまらない	0.020	0.008	0.007	0.000	0.020	0.008						
自然を感じるー自然を感じない	0.008	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000						
やわらかいーかたい	0.003	0.024	0.001	0.000	0.017	0.012						
リフレッシュできるーリフレッシュしにくい	0.047	0.030	0.017	0.000	0.010	0.016						
多いー少ない	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000						
多すぎるー少なすぎる	0.011	0.000	0.040	0.001	0.000	0.000						

4. 実験結果 プロフィール図：空間大小比較・印象（緑有風有）

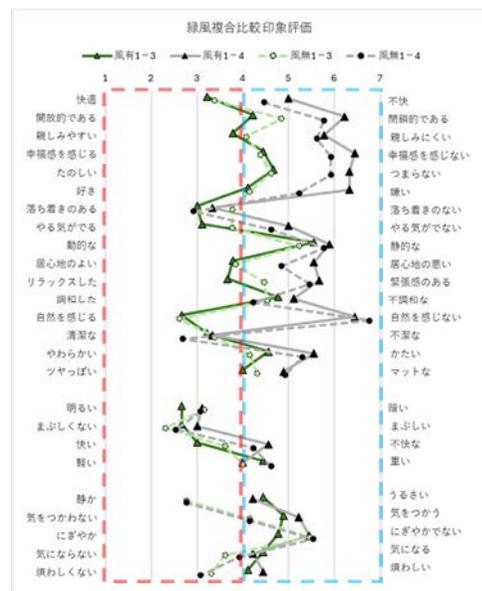
大空間－小空間比較



大空間で有意にポジティブ側評価となった項目

「快適」「開放的である」「親しみやすい」
「幸福感を感じる」「たのしい」
「やる気が出る」「リラックスした」
⇒視覚的・心理的な「開放感」
⇒積極的快適性の向上

4. 実験結果 プロフィール図：緑風複合比較（小空間）



緑有＋風有＞緑有＋風無＞緑無＋風無＞緑無＋風有

緑有＋疑似自然風有
⇒BD効果＋温熱環境の不快感の軽減
＝心理的快適性

緑無＋疑似自然風有
⇒BD効果＋物理的刺激＝不快感，閉塞感

図 大空間－小空間比較 印象評価（緑有＋疑似自然風有）

図8 1-3緑風複合比較プロフィール図

4. 実験結果 t検定

表8 実験III 評価座席における心理量t検定結果

評価項目	疑似自然風		有/無		有/無		有/無		有/無		有/無		
	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	
座席評価	大空間(室容積178.3m³) 小空間(室容積51.8m³) 大空間(バイオフィリックデザイン)												
座席評価	Case 1-1 手元緑+壁面緑化			Case 1-2 透景緑			Case 1-3 室内側壁面緑化			Case 1-4 緑無		Case 2-5 緑無	
印象評価	快適-不快	0.689	0.658	0.569	1.000	0.267	0.139	0.788	0.062	0.139	0.281	0.493	
	開放的である-閉鎖的である	0.413	0.013	0.003	0.231	0.000	0.000	1.000	0.573	0.000	0.604	0.457	
	親しみやすい-親しみにくい	0.631	0.466	0.283	0.604	0.072	0.091	0.818	0.015	0.091	0.356	0.703	
	幸福を感じる-幸福を感じない	0.766	0.005	0.411	0.078	0.009	0.004	0.736	0.407	0.004	0.829	0.182	
	たのしい-つまらない	0.047	0.018	0.049	0.604	0.000	0.018	0.736	0.172	0.018	0.457	0.289	
	好き-嫌い	0.172	0.439	0.478	0.604	0.089	0.106	0.172	0.200	0.106	1.000	0.111	
	落ち着きのある-落ち着きのない	0.078	0.253	0.022	1.000	1.000	0.589	0.111	0.604	0.589	0.280	0.407	
	やる気がある-やる気がない	0.200	1.000	0.356	0.788	0.197	0.335	0.094	0.569	0.335	0.604	0.654	
	動的な-静的な	0.253	0.370	0.001	0.308	0.325	0.002	0.078	0.049	0.002	1.000	0.172	
	居心地のよい-居心地の悪い	0.289	0.510	0.629	0.654	0.334	0.188	0.689	0.736	0.188	1.000	1.000	
	リラックスした-緊張感のある	0.555	0.569	0.386	0.715	0.148	0.025	0.788	0.025	0.025	0.356	0.407	
	緩和した-不緩和な	0.736	0.081	0.772	0.283	0.002	0.162	0.289	0.172	0.162	0.818	0.103	
	自然を感じる-自然を感じない	0.231	0.139	0.005	0.200	0.135	0.010	0.457	0.001	0.010	0.356	0.413	
	清潔な-不潔な	0.631	0.457	0.234	0.604	0.829	0.689	0.736	0.103	0.689	0.111	0.788	
	やわらかい-かたい	0.448	0.111	0.022	0.200	0.039	0.007	0.172	0.004	0.007	0.289	1.000	
	ツヤっぽい-マットな	0.143	0.078	0.016	1.000	0.070	0.084	0.604	0.689	0.084	0.689	0.172	
	明るい-暗い	0.356	0.788	1.000	0.788	0.604	1.000	1.000	0.270	1.000	1.000	1.000	
	まぶしくない-まぶしい	0.200	0.200	0.025	0.744	0.454	0.482	0.457	0.231	0.482	0.877	0.047	
	快い-不快な	0.448	0.078	0.555	0.106	0.078	0.884	0.231	0.788	0.884	0.094	0.407	
	軽い-重い	0.818	0.829	0.482	0.065	0.070	0.182	0.407	0.225	0.182	0.604	0.200	
	静か-うるさい	0.689	0.308	0.788	1.000	0.325	0.604	0.673	0.321	0.604	1.000	0.526	
	気をつかわない-気をつかう	0.085	0.604	0.689	0.448	0.407	0.309	0.489	0.143	0.309	0.407	0.296	
	にぎやかでない-にぎやか	0.216	0.310	0.203	0.673	0.188	0.760	0.654	0.457	0.760	0.172	0.231	
	気にならぬ-気になる	0.476	0.569	0.673	0.441	0.593	1.000	0.441	0.356	1.000	0.589	0.094	
	煩わしくない-煩わしい	0.846	0.726	0.217	0.436	0.296	0.457	0.334	0.853	0.457	0.736	0.094	
	働きやすい-働きにくい	0.066	0.654	0.211	0.689	0.752	0.788	0.015	0.589	0.788	0.407	0.805	
	会話をしやすい-会話をしにくい	0.649	0.000	0.020	0.654	0.000	0.002	0.289	0.038	0.002	0.407	0.094	
	休憩しやすい-休憩しにくい	0.604	0.482	0.682	1.000	0.589	0.526	0.203	0.407	0.526	0.200	0.103	
	集中できる-集中できない	0.172	0.175	0.019	0.386	0.052	0.216	0.736	0.441	0.216	1.000	1.000	
	創造的な作業をしやすい-創造的な作業をしにくい	0.573	0.078	0.853	1.000	0.027	0.134	1.000	0.231	0.134	0.805	0.015	
	リフレッシュできる-リフレッシュしにくい	0.631	0.045	0.049	0.766	0.034	0.023	0.555	0.025	0.023	0.356	0.604	
緑量	多い-少ない	0.356	0.001	0.000	0.289	0.006	0.005	0.289	0.000	0.005	1.000	0.094	
	多すぎ-少なすぎる	0.689	0.001	0.004	0.140	0.023	0.012	0.407	0.001	0.012	0.356	0.172	
温熱環境	快適-不快	0.118	0.321	0.869	0.017	0.111	0.829	0.002	0.035	0.829	0.413	0.356	
	暑い-寒い	0.015	0.604	0.604	0.047	0.356	0.457	0.140	0.289	0.457	0.062	0.015	
	暖かい-涼しい	0.203	0.788	0.356	0.121	0.321	0.689	0.007	0.045	0.689	0.436	0.182	
	気流を感じない-気流を感じる	0.136	0.766	0.084	0.033	0.078	0.140	0.005	0.407	0.140	0.056	0.009	
湿度	今の気温についてお聞きします (設定温度変更必要有無)	0.030	0.172	1.000	0.172	0.356	0.356	0.172	0.172	0.356	0.172	0.172	

建設技術研究所×茨城大学カーボンリサイクルエネルギー研究センター

21

4. 実験結果

主成分分析結果(AIJ2024大会)

SPSSv29

バイオフィリックデザイン
空間特有の因子

評価項目	成分行列*		
	1	2	3
親しみにくい-親しみやすい	0.973	-0.035	0.146
幸福を感じない-幸福を感じる	0.969	0.172	0.091
不調和な-調和した	0.958	-0.167	-0.010
リフレッシュできない-リフレッシュできる	0.954	0.283	0.078
居心地の悪い-居心地のよい	0.933	-0.291	-0.119
閉鎖的である-開放的である	0.925	-0.026	0.062
嫌い-好き	0.915	-0.360	-0.005
創造的な作業をしにくい-創造的な作業をしやすい	0.908	0.170	0.053
緊張感のある-リラックスした	0.900	0.323	-0.001
つまらない-たのしい	0.887	0.425	0.067
視覚的不快-視覚的快適	0.881	-0.369	-0.043
会話しにくい-会話をしやすい	0.804	0.490	0.149
不快な-快い	0.789	-0.431	-0.215
重い-軽い	0.778	-0.396	-0.033
休憩しにくい-休憩しやすい	0.751	0.244	-0.340
かたい-やわらかい	0.739	0.621	-0.012
温熱寒い-暑い	0.732	-0.574	0.007
やる気がでない-やる気がある	0.697	-0.491	-0.298
温熱涼しい-暖かい	0.623	-0.117	0.212
暗い-明るい	0.583	-0.412	-0.480
まぶしい-まぶしくない	-0.398	-0.287	-0.077
温熱不快-快適	-0.159	-0.153	0.041
緑量が少ない-多い	0.168	0.960	0.198
緑量が少なすぎる-多すぎる	-0.010	0.930	0.308
落ち着きのない-落ち着きのある	0.104	-0.919	0.046
集中できない-集中できる	0.097	-0.894	-0.268
不潔な-清潔な	0.317	-0.846	-0.330
働きにくい-働きやすい	0.495	-0.831	0.106
マットな-ツヤっぽい	0.429	0.828	0.162
静的な-動的な	0.519	0.805	0.198
自然を感じない-自然を感じる	0.553	0.787	0.160
にぎやかでない-にぎやか	0.482	0.675	-0.484
今の気温操作下げてほしい-上げてほしい	-0.541	0.630	-0.359
気をつかう-気をつかわない	0.202	0.601	-0.561
うるさい-静か	-0.120	-0.193	0.950
気になる-気にならない	-0.070	-0.322	0.857
煩わしい-煩わしくない	0.264	-0.288	0.796
気流を感じない-気流を感じる	0.382	-0.368	0.675
抽出後の負荷量平方和の分散割合	43.007	29.096	11.696
因子抽出法: 主成分分析			
a. 3 個の成分が抽出されました			

建設技術研究所×茨城大学カーボンリサイクルエネルギー研究センター

22

バイオフィリックデザイン空間特有の因子項目

→「自然らしさ」→視環境の影響大→音・温熱環境の影響低下

共通性: 主因子法 因子分析
SPSS v29

視環境	視覚的不快-視覚的快適	0.992
	緑量が少ない-多い	0.991
	落ち着きのない-落ち着きのある	0.990
	不潔な-清潔な	0.980
音環境	静的な-動的な	0.979
	自然を感じない-自然を感じる	0.993
温熱環境	にぎやかでない-にぎやか	0.950
	気をつかう-気をつかわない	0.943
	今の気温操作下げてほしい-上げてほしい	0.891

建設技術研究所×茨城大学カーボンリサイクルエネルギー研究センター

23

5. まとめ

バイオフィリックデザイン空間における
疑似自然通風利用効果に関するVR技術を活用した空間評価

◎緑率比較 (緑率)

大空間 Case1-2 (20.1%) > Case1-1 (30.5%) > Case2-5 (緑無 * 3.9%)

小空間 Case1-3 (19.4%) > Case1-4 (緑無)

→緑有が有意にポジティブ評価

◎大空間—小空間比較

大空間 (室容積: 178.3m³) > 小空間 (室容積: 51.8m³)

→大空間による視覚的・心理的「開放感」が積極的快適性の向上に寄与した可能性

◎緑風複合比較

緑有 + 疑似自然風有 > 緑有 + 疑似自然風無 > 緑無 + 疑似自然風無 > 緑無 + 疑似自然風有

→緑有 + 疑似自然風有: 緑があることで風が自然現象として肯定的
緑無 + 疑似自然風有: 風が人工的な刺激として、不快感や違和感

緑有 (緑率: 20%) + 大空間 (178.3m³) + 疑似自然風有 (平均風速15.6m/s)
条件下において、積極的快適性が向上する可能性が示された。

建設技術研究所×茨城大学カーボンリサイクルエネルギー研究センター

14

5. まとめ

- 緑率約20%のBD空間において、ASHRAE55快適域上限を超えてもなお「快適」の申告が確認され、発汗による気流感が、緑量の視覚刺激に伴い積極的快適性を向上させる。
- 作業性：擬似自然風ありの方が擬似自然風なしより、全体的にポジティブ側
- バイオフィリックデザイン空間特有の共通性「自然らしさ」：視環境の影響大
「視覚的快適」「緑量が多い」「落ち着きのない」「不潔な」「動的な」 ⇨ 「自然を感じる」
次いで、音環境、温熱環境が影響することがわかった。

⇒屋外にいるかのような「開放感」を開発することで、
自然通風利用促進による「積極的快適域」が創出される。

⇒建築家や意匠デザイナーが感覚的・主観的にデザインしてきた光、熱、風を用いた心地よい空間を、緑化率や快適性指標などの定量的な空間づくりによりよい客観的空間を構築する目安として開発を進めることで、Well-beingでスマートな社会構築に向けた貢献が期待できる。

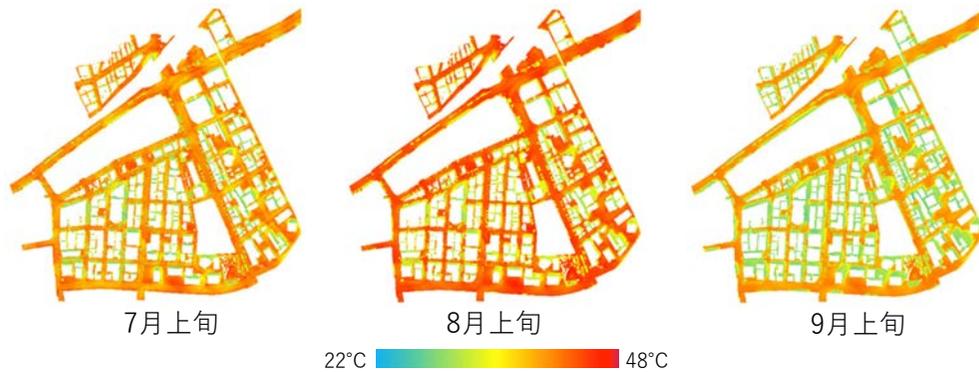
街区レベルでの効果的な 温熱環境情報提供システムの開発

神戸大学大学院工学研究科建築学専攻
准教授 竹林英樹

研究概要

温熱環境指標の時空間分布の予測システムの開発，ミスト，日除け，散水，水盤などの種々の暑さ対策技術を導入した場合の温熱環境分布のシミュレーション方法の整備，利用者に温熱環境情報を提供するシステムの構築を課題とし，これらの情報提供を受けた場合と受けない場合の行動実態を分析して情報提供の有効性を考察した。

1. 温熱環境指標の時空間分布の予測システムの開発



神戸都心部 (1km × 1km) のSET*分布 (夏期晴天日13時)

倉田知佳, 竹林英樹, 暑さ対策実践のための温熱環境指標分布の特徴に関する研究, 日本ヒートアイランド学会第19回全国大会, 2024

神戸市内での暑さ対策技術導入の実践例



道路散水



フラクタル日除けとミスト噴霧



バス停の日除けとミスト噴霧



再帰反射フィルム貼付窓



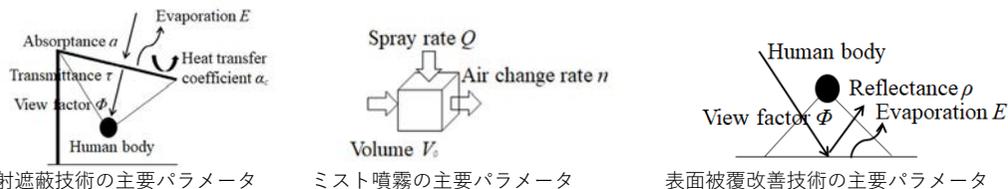
公園内の水盤



室外機前の水噴霧

H. Takebayashi, H. Danno, U. Tozawa, Study on appropriate heat mitigation technologies for urban block redevelopment based on demonstration experiments in Kobe city, Energy and Buildings, 250, 2021

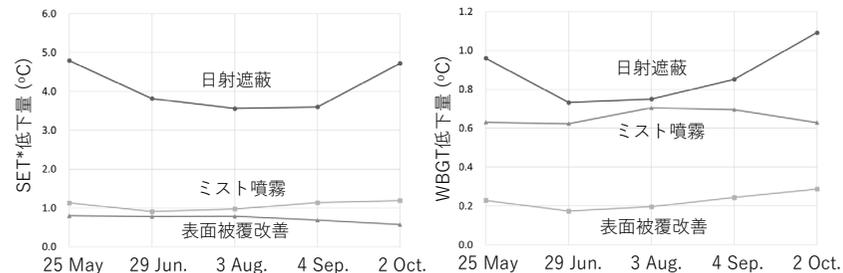
2. 種々の暑さ対策技術を導入した場合の温熱環境分布のシミュレーション方法の整備



日射遮蔽技術の主要パラメータ

ミスト噴霧の主要パラメータ

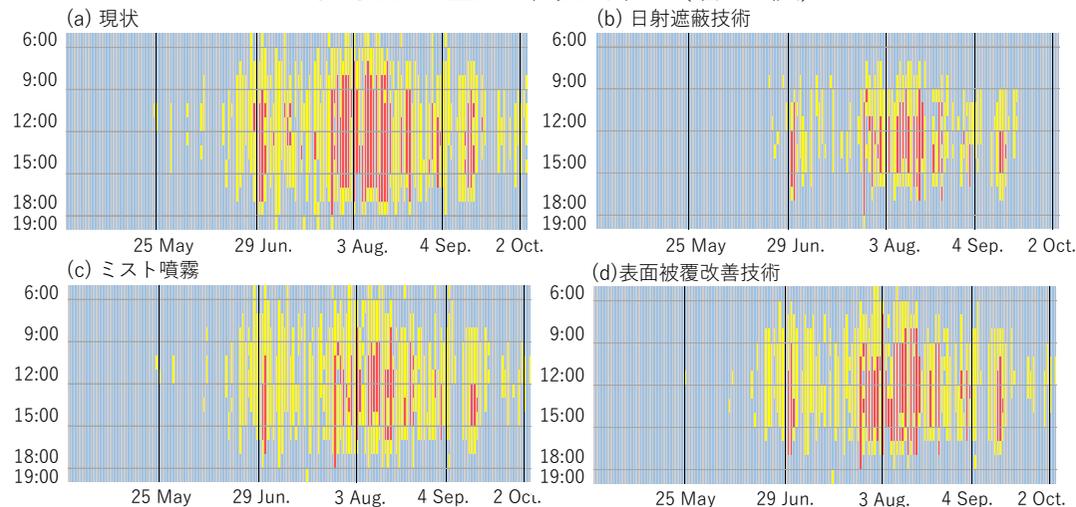
表面被覆改善技術の主要パラメータ



5

H. Takebayashi, N. Maeda, Effects of adaptation measures to extreme heat throughout medium and high temperature periods, case study at the Osaka expo site, Scientific Reports, 14, 2024

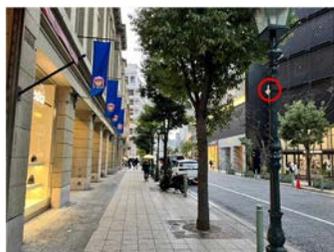
日・時刻別の温熱環境評価 (春～秋)



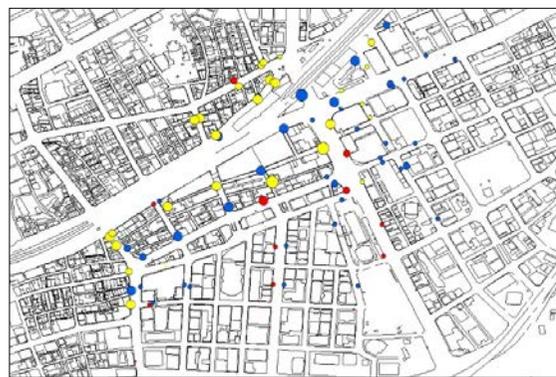
危険 SET* ≧ 30.8 C and WBGT ≧ 28 C 危険でないが不快 SET* ≧ 30.8 C and WBGT < 28 C 不快でない SET* < 30.8 C and WBGT < 28 C

H. Takebayashi, N. Maeda, Effects of adaptation measures to extreme heat throughout medium and high temperature periods, case study at the Osaka expo site, Scientific Reports, 14, 2024

3. 温熱環境情報を提供するシステムの検討



赤外線センサーの設置状況 (神戸市と関西電力による)

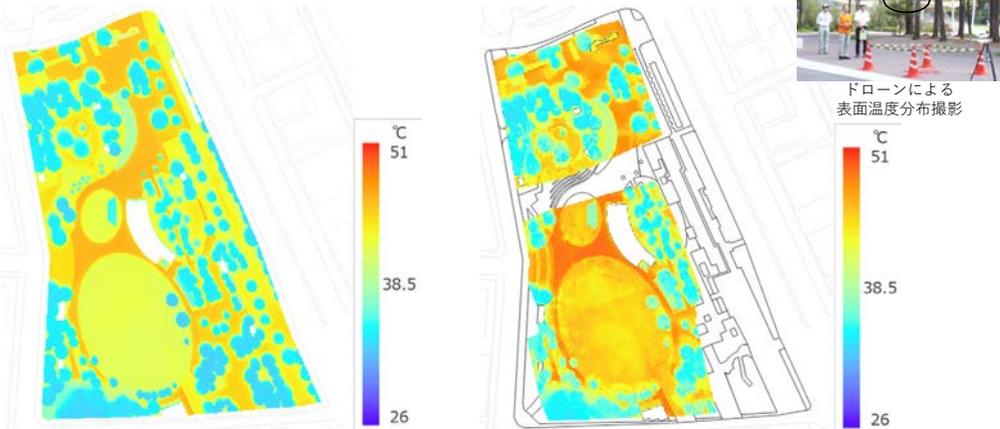


● : 分類なし
● : 平日, 休日
● : 平日, 休日, 混合
全116地点
クラスター分類結果と日平均通過人数

7

H. Takebayashi, T. Hayakawa, Temporal and Spatial Analysis of Pedestrian Count Data for Thermal Environmental Planning in Street Canyons, Atmosphere, 16, 504, 2025

4. 温熱環境予測システムの検証



ドローンによる表面温度分布撮影

地表面熱収支モデルによる地表面温度分布より算出 赤外線画像に基づく地表面温度分布より算出
2024年8月6日12時の東遊園地内のSET*分布

竹林英樹, 異常高温対策としての社会実証実験結果の分析, その7都心部公園における異常高温対策効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1997-1998, 2024

8

5. 暑さ対策効果のシミュレーションと実証



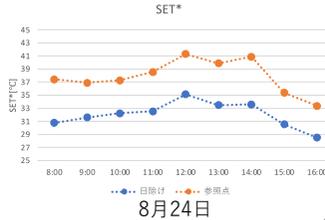
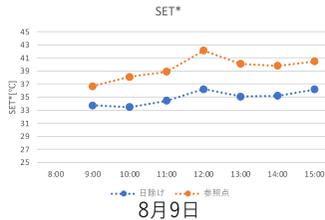
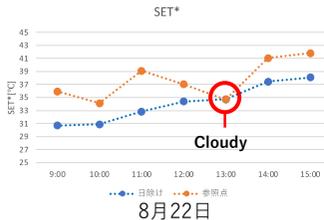
1.3m × 1.3m × 2.2m



1.7m × 1.7m × 3.3m



5.8m × 5.8m × 9.5m

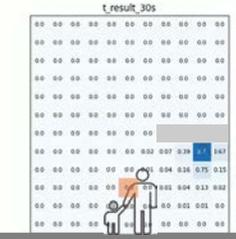


H. Takebayashi, A. Takasaki, Strategies for implementing sunshades and street trees for pedestrian heat avoidance in street canyons, Energy and Buildings, 348, 2025

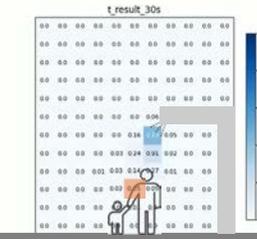
ミスト噴霧効果の評価例 (LESモデルによる風速分布を用いて計算した気温分布)



0 1.0
上空風速に対する地上1.5m高さの風速比分布の計算結果



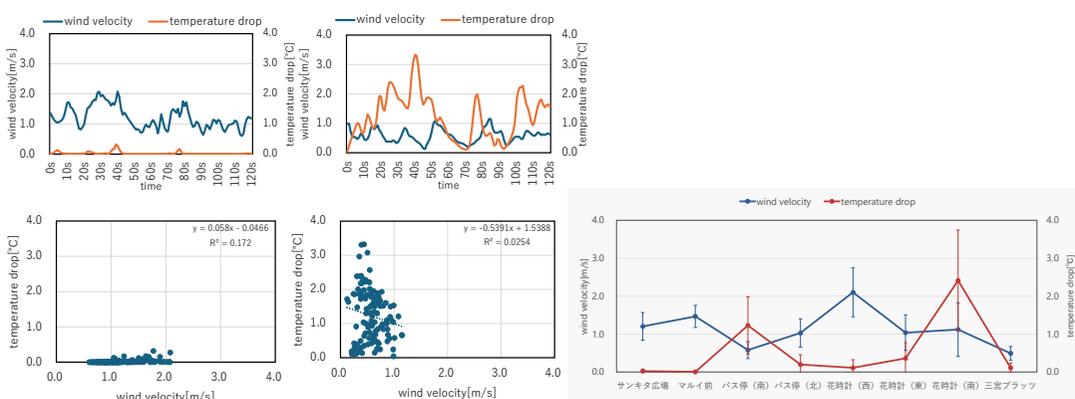
サンキタ広場
(噴霧口から1.0m)
気温分布の計算結果



三宮センター街東口バス停(南)
(噴霧口から1.5m)
気温分布の計算結果

水田百香, 竹林英樹, 暑さ対策としてのミスト噴霧条件と温熱環境改善効果の関係に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1961-1962, 2025

代表点の風速と温度低下量

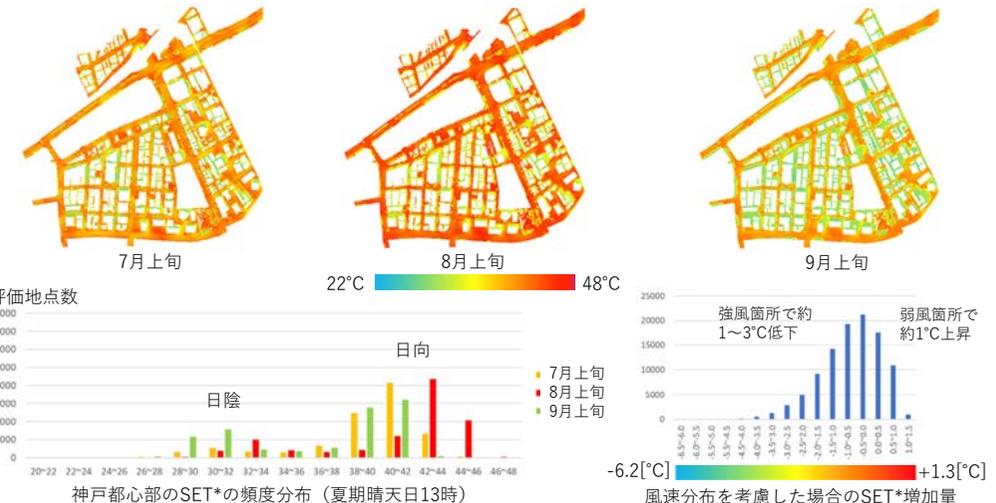


サンキタ広場
(噴霧口から1.0m)

三宮センター街東口バス停(南)
(噴霧口から1.5m)

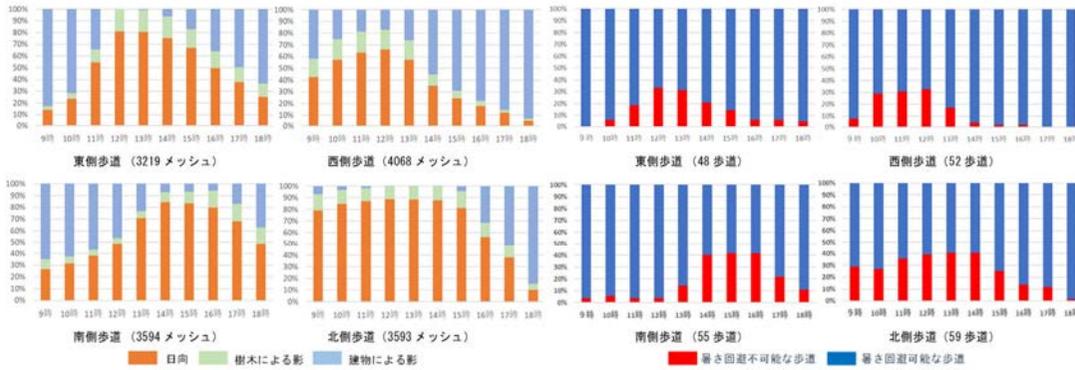
水田百香, 竹林英樹, 暑さ対策としてのミスト噴霧条件と温熱環境改善効果の関係に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1961-1962, 2025

6. クールロード選定方法の検討



H. Takebayashi, K. Kittaka, M. Moriyama, Research and Implementation of Heat Countermeasure Strategies in Downtown Area of Kobe City, Proc. 12th International Conference on Urban Climate, 2025

歩道方位別の日影面積割合（左） と暑さ回避可能歩道の割合（右）

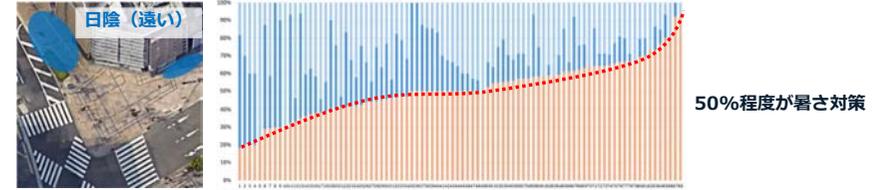


竹林英樹, 高橋莞市, 街区内の暑さ回避可能な歩道の分布特性に関する研究, 日本ヒートアイランド学会第19回全国大会, 2024

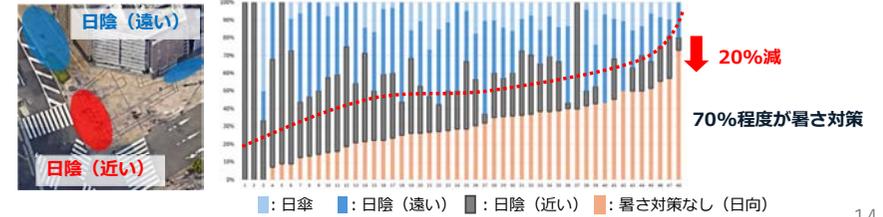
13

7. 温熱環境情報提供システムの運用に向けた暑さ回避行動に関する実態調査

A. 横断歩道から離れて日陰がある場合（データ数:88件）



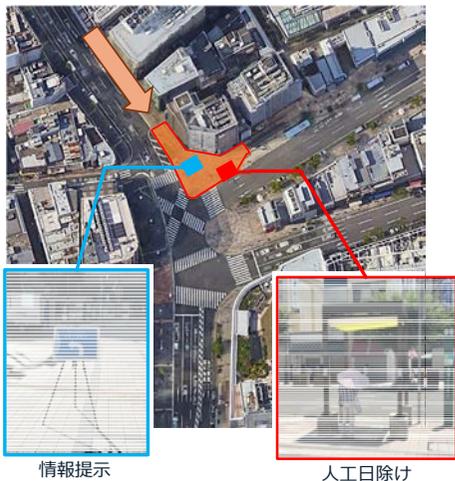
B. 横断歩道から離れて+近くに日陰がある場合（データ数:49件）



高橋莞市, 竹林英樹, 夏季の交差点における歩行者の暑さ回避行動の実態調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1963-1964, 2025

14

情報提示の有無による人工日除け利用者数の比較



	8:45-9:15		11:45-12:15	
	無	有	無	有
人工日除けの利用者数	0	3	3	14
情報提示経由		2		7
情報提示経由なし	0	1	3	7
人工日除け稼働率 (信号待ちで利用された回数 ÷ 30分間の信号待ちの数)	0%	30%	27%	73%

情報提示より歩行者の移動ルートに配慮した日除けの設置計画が優先されると考察された。

※寸法
幅×奥行き×高さ
= 1820×1820×3320(mm)
(定員: 1名または2人1組)

15

高橋莞市, 竹林英樹, 夏季の交差点における歩行者の暑さ回避行動の実態調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1963-1964, 2025

まとめ

- 街区レベルの温熱環境指標の時空間分布の予測システムが開発された。
- 日除け, ミスト, 散水などの暑さ対策技術が導入された場合の温熱環境改善効果がシミュレーションにより算出され, 実測結果と比較して検証された。
- 温熱環境指標の時空間分布の算出結果に基づき, 歩行者が暑さを回避することができる歩道が特定された。
- 交差点近傍における歩行者の行動実態の現地調査に基づき, 暑さ回避場所の情報提供の有効性が考察された。歩行者の行動変容による暑さ回避の可能性が示唆された。
- 神戸市は, 市民は暑さ自ら回避行動を実践する状況のため, 行政サービスとしての情報提供システムの必要性は認識しない。

16

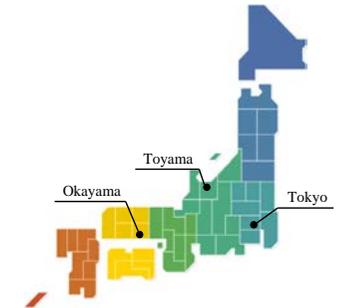
二酸化バナジウム含有マイクロカプセルによる放射冷却の機能的制御

岡山大学 学術研究院 環境生命自然科学学域
伝熱工学研究室
磯部 和真

自己紹介

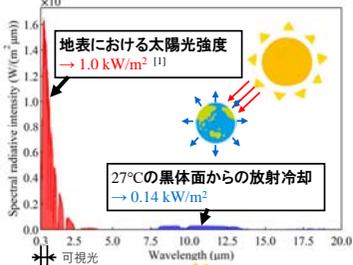


- 1992年5月: 富山県にて産まれる
- 2011年4月: 東京工業大学 工学部(4類)入学
- 2020年3月: 東京工業大学 工学院 機械系 機械コース修了, 博士(工学)の学位を取得
- 2020年4月: 岡山大学 大学院自然科学研究科(現 学術研究院環境生命自然科学学域), 伝熱工学研究室 助教に就任, 現在に至る

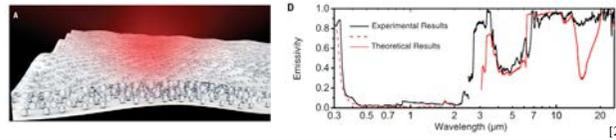


研究背景

放射冷却を利用した無動力空調



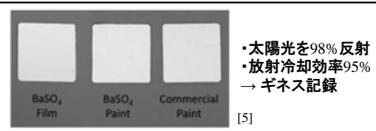
シリカ粒子による放射冷却



多層膜構造による放射冷却



硫酸バリウムを用いた超白色塗料による放射冷却



放射冷却材料の難点

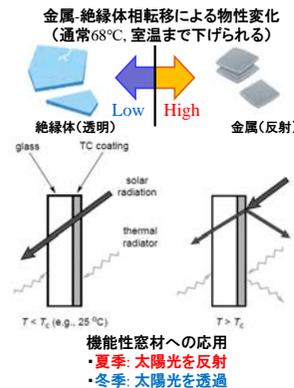
夏季:
冷却を促進, 空調負荷低減
冬季:
冷却を促進, 空調負荷増大

2

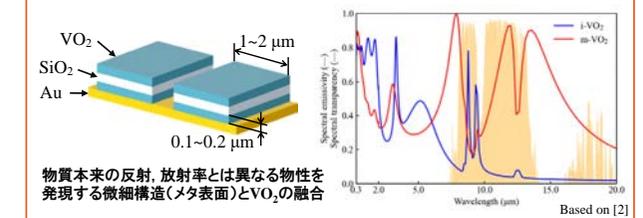
研究背景

VO₂を用いた放射率制御

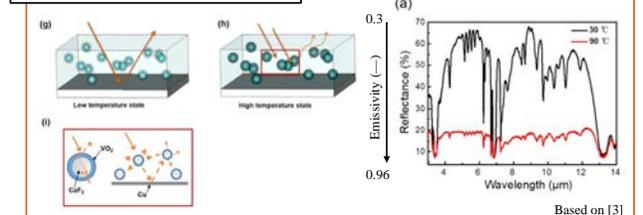
二酸化バナジウム (VO₂)



メタ表面による放射率制御



マイクロ粒子による放射率制御

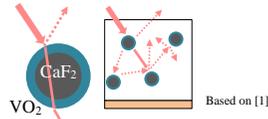


[1] U.S. Department of Energy, the American Society for Testing and Materials G-173 spectra, 1976. [2] Zhai et al., Science, 355, 1062 (2017). [3] SPACECOOL株式会社 <https://spacecool.jp/technology/> [4] TECTURE MAG <https://mag.lecture.jp/culture/20250709-131559/> [5] Li et al., ACS Appl. Mat. Interfaces, 13(18), 21733 (2021).

[1] Parkin and Manning, J. Chemical Education, 83 (3), 393 (2006). [2] Isoe et al., Int. J. Thermophys., 43, 44 (2022). [3] Wu et al., Nano Letters, 21 (9), 3908 (2021).

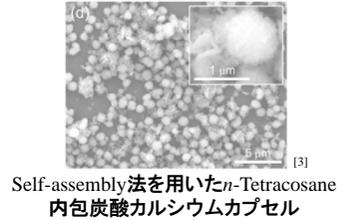
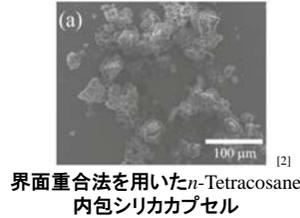
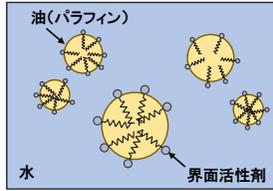
マイクロカプセルの合成手法

コア-シェル粒子の化学合成手法の確立



・高温高圧下で長時間の合成(水熱合成)
→ 特殊な装置が必要, 難しい

無機材料によるパラフィンのカプセル化の先行事例

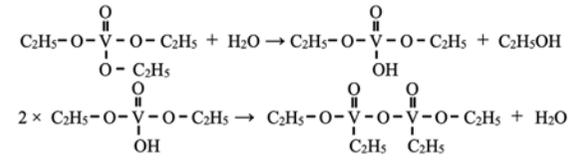


研究目的

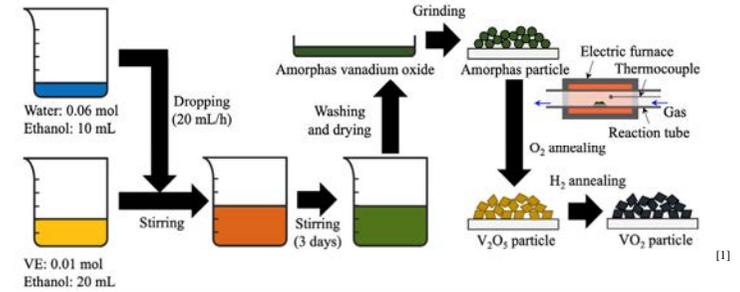
パラフィンを内包したVO₂マイクロカプセルの合成手法を確立する

[1] Wu et al., *Nano Lett.*, **21** (9), 3908 (2021). [2] Okuno et al., *Int. J. Thermophys.*, **44** (5), 69 (2023). [3] Yamada et al., *Energy & Fuels*, **37** (4), 3152 (2023)

VO₂ナノ粒子の化学合成



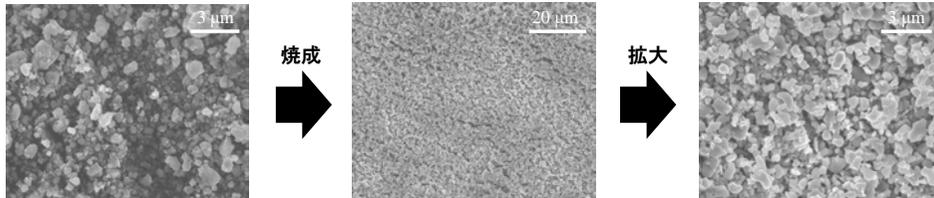
ゾルゲル法:
金属アルコキシドから金属酸化物の高分子を合成



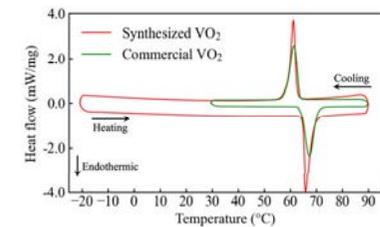
[1] Isobe et al., *ACS Appl. Energy Mater.*, **8** (13), 9595 (2025).

分析結果(VO₂粒子)

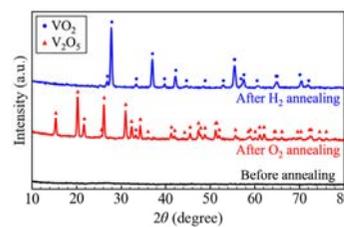
SEM観察



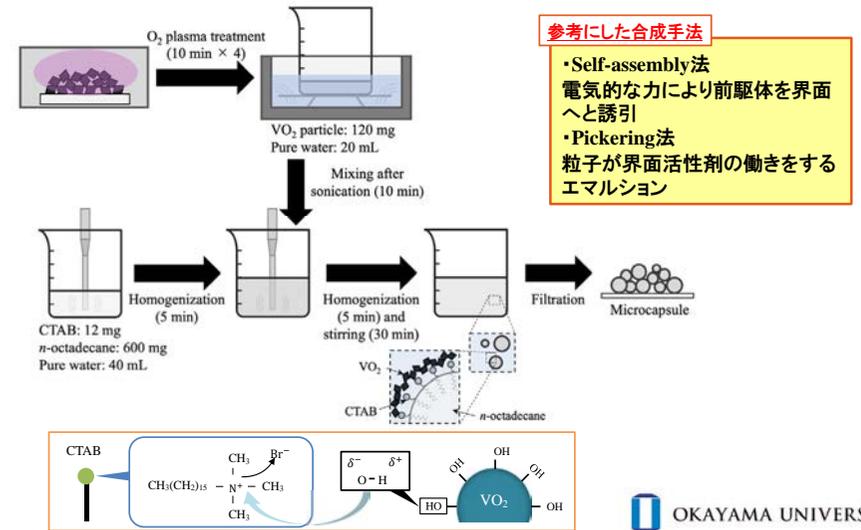
DSC分析



XRD分析

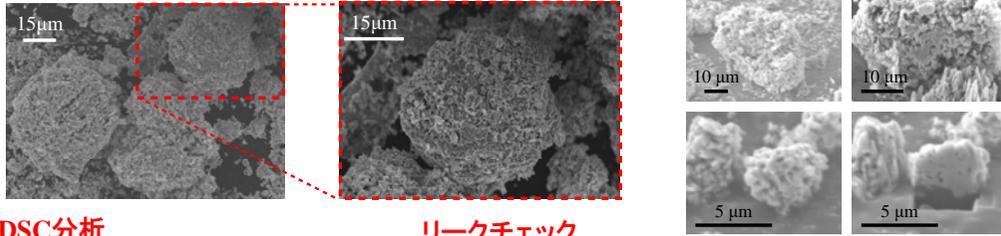


VO₂マイクロカプセルの化学合成

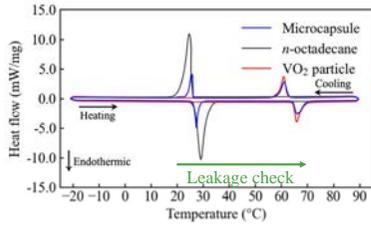


分析結果(VO₂マイクロカプセル)

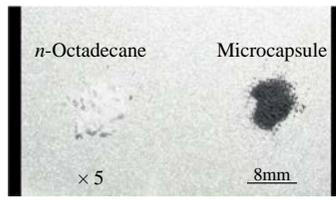
SEM観察



DSC分析



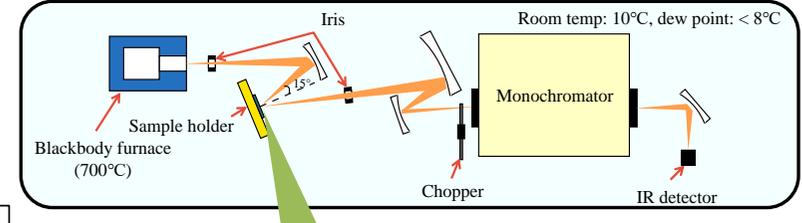
リークチェック



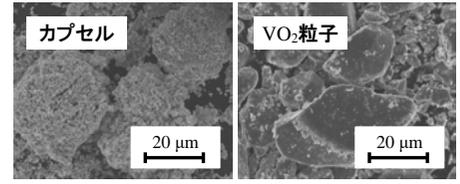
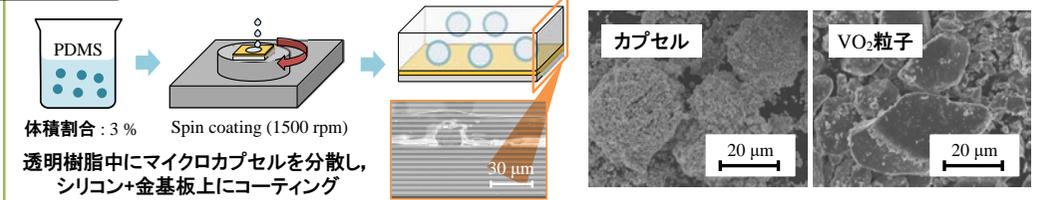
OKAYAMA UNIVERSITY

反射率スペクトル測定

正反射率測定

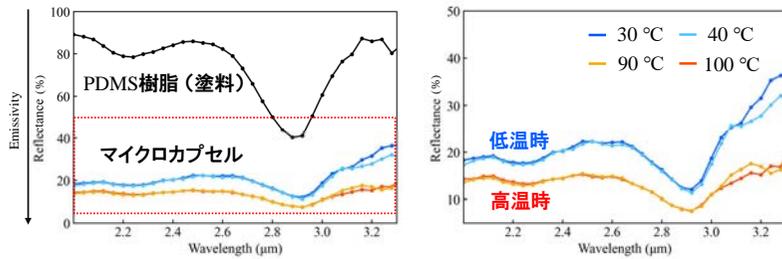


試験体作製



OKAYAMA UNIVERSITY

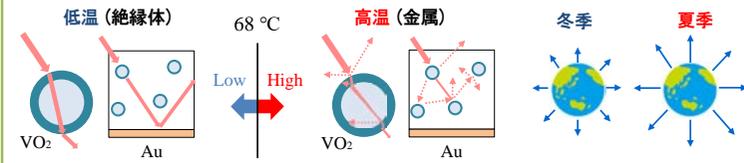
反射率スペクトル測定結果(マイクロ凝集体)



測定結果

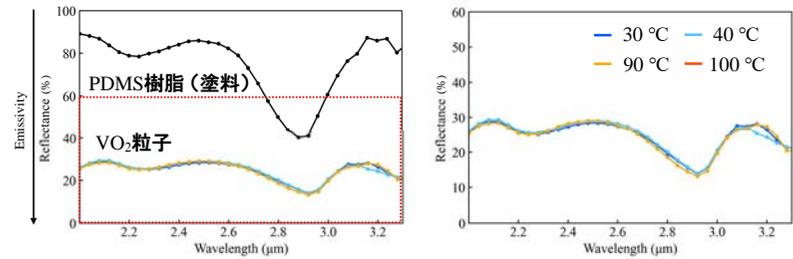
反射率の差: 7.05 %
 (放射率) = 1 - (反射率)
 低温時: 放射率低
 高温時: 放射率高

考察



OKAYAMA UNIVERSITY

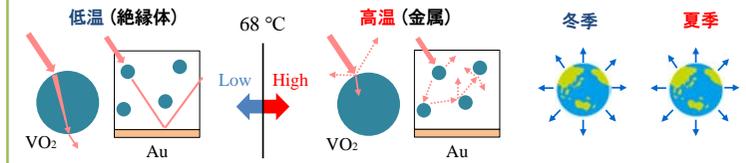
反射率スペクトル測定結果(VO₂粒子)



測定結果

反射率の差: 0.26 %
 (放射率) = 1 - (反射率)
 低温時: 放射率高
 高温時: 放射率高

考察



OKAYAMA UNIVERSITY

おわりに

まとめと今後の展望

- ・パラフィンとVO₂粒子からなるマイクロ凝集体の合成方法を確立した。
- ・マイクロ凝集体の高い熱的安定性を確認した。
- ・マイクロ凝集体を分散させた薄膜は高/低温環境下にて高/低放射率を示した。
- ・高/低温環境下における放射率の変化幅を大きくするため、粒径や分散濃度などに関する最適化を進める必要がある。
- ・タングステンなどのドーピングによりVO₂粒子の相転移温度を制御することで、機能性建材としての応用可能性を検証していく必要がある。

謝辞

本研究の遂行に当たり、岡山大学大学院環境生命自然科学研究科の山内翔斗君、河野聡真君に実験協力を頂きました。また、堀部教授、山田講師に助言を頂きました。

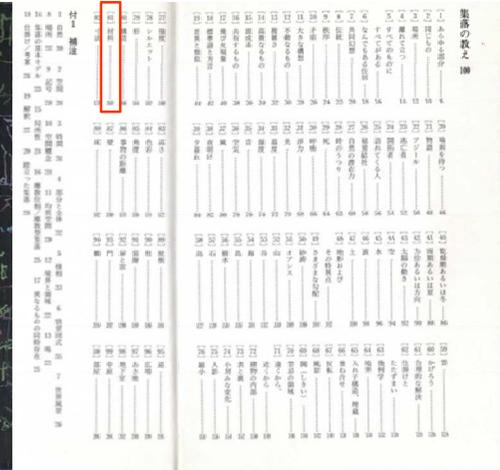
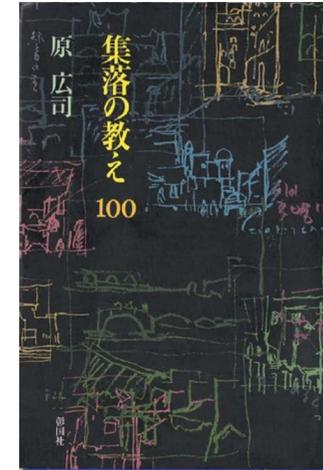
地域性を有する産業副産物及び無機粉体を用いた 高機能塗料の開発

2025年10月17日

友寄 篤 (ともよせ あつし)

京都大学 成長戦略本部 特定講師

• 集落の教え



- 集落の教え [81] 材料
- 材料が同じなら、形を変えよ
形が同じなら、材料を変えよ

建築の素材は、一つの集落にあっては限られているが、グローバルにみれば実に多くの材料からつくられている。



• 石州瓦の風景 (一つの集落)



- 石州瓦の風景
規格外瓦の発生量年間生産量の8% (約9705t) 2016年
→リサイクル：路盤材・粗骨材・瓦原料→粒度管理



- 石州瓦の風景
規格外瓦の発生量年間生産量の8% (約9705t) 2016年
→リサイクル：路盤材・粗骨材・瓦原料→粒度管理

左：公共建築床（洗い出し）

右：アスファルト骨材

骨材は地産地消が原則
→高付加価値化と多用途化



- 石州瓦の風景
規格外瓦の発生量年間生産量の8% (約9705t) 2016年
→リサイクル：路盤材・粗骨材・瓦原料→粒度管理

左：公共建築床（洗い出し）

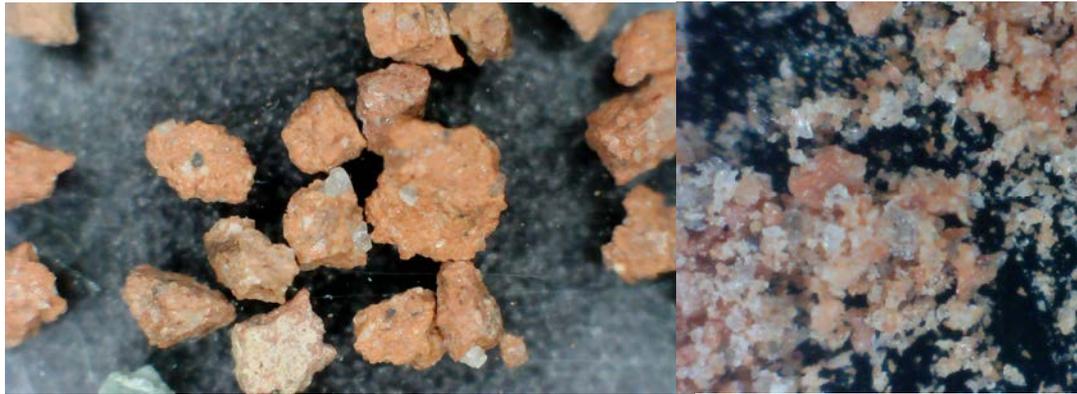
右：アスファルト骨材

骨材は地産地消が原則
→高付加価値と多用途化

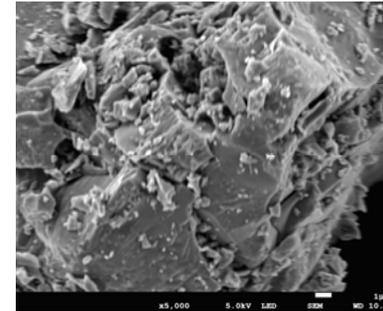


- グローバルにみれば実に多くの材料からつくられている？
- 水性無機塗料
バインダ20%、無機粉体50~60%、顔料20%
- 石州瓦、三州瓦、淡路瓦、越前瓦・・・
集落よりは大きな地域

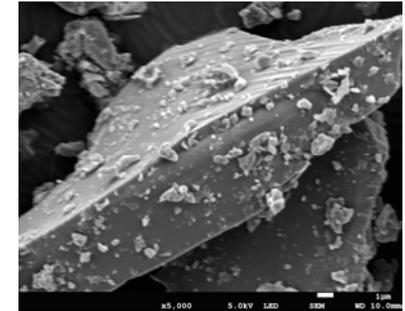
- 各地の規格外瓦微粉末
- 高吸水率・多孔質（原料粘土由来？）



- 各地の規格外瓦微粉末
- 高吸水率、多孔質（原料粘土由来？）

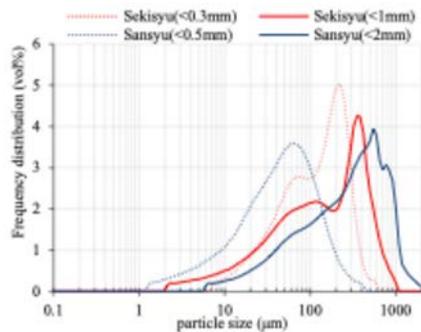


三州瓦

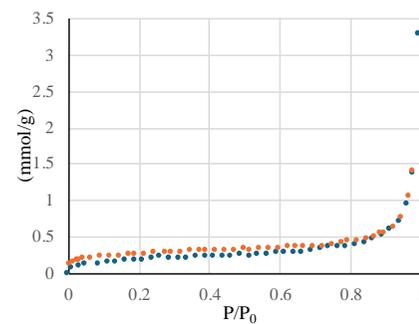


越前瓦

- 各地の規格外瓦微粉末
- 高吸水率、多孔質（原料粘土由来？）



石州と三州の粒度分布



三州の窒素吸着等温線 (0.73m²/g)

- 瓦や粒度による違い



石州瓦0.5mm塗料

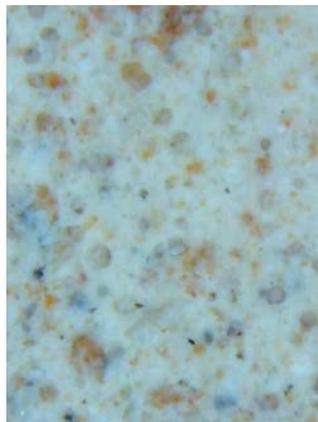


三州瓦2mm塗料

- 瓦や粒度による違い

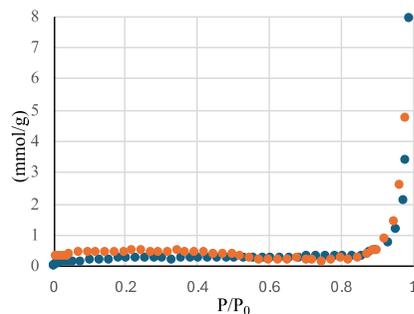


2mm微粉末+バインダ

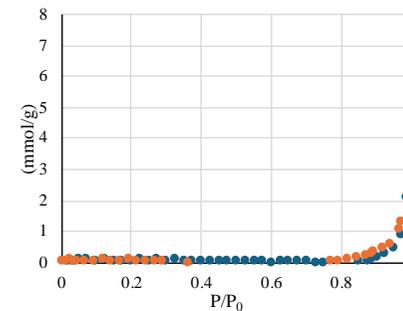


0.5mm微粉末+フィラー+バインダ

- アルミナ塗料やビニルクロスと比べ消臭性能上がらず

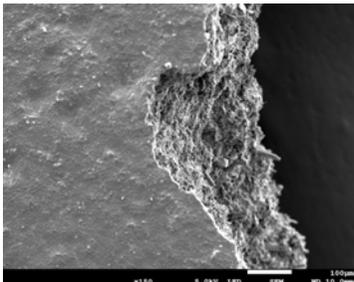


アルミナ塗膜の吸着等温線

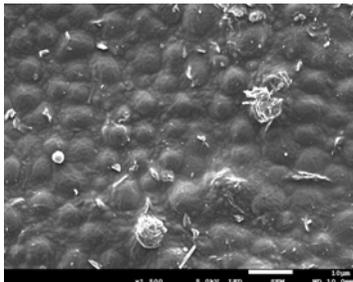


三州瓦微粉末塗膜の吸着等温線

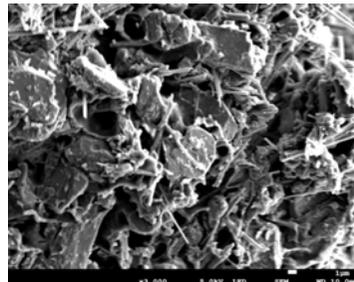
- アルミナ塗料やビニルクロスと比べ消臭性能上がらず



塗膜SEM像 (150倍)



塗膜SEM像 (1500倍)



塗膜SEM像 (3000倍)

- 高付加価値化<多用途化



三州瓦微粉末塗料を使った暴露試験と試験施工@三河安城市

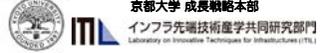


越前瓦微粉末塗料を使った公共建築@福井県

ご清聴ありがとうございました



<https://iti-labo.kuciv.kyoto-u.ac.jp>



<https://citi.kuciv.kyoto-u.ac.jp>



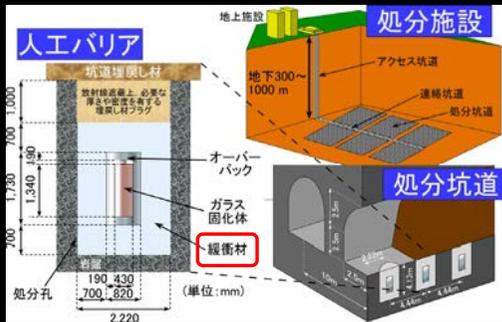
各種ベントナイト系材料の透水特性 データベース構築および 理論的評価方法の高度化

茨城大学（前早稲田大学）講師 伊藤大知

本日の発表内容

- 研究の背景と目的
- 研究の方法
- 主な成果
 - ーベントナイト6種の透水係数データベース
 - ー理論的評価の試み（XRDに基づくモンモリロナイト層間外間隙比）
 - ー高透水圧環境下での透水特性
- 本研究成果のまとめおよび今後の予定

研究背景（地層処分におけるベントナイト系緩衝材）



高レベル放射性廃棄物に対する緩衝材の設計要件 (NUMO(2018), 包括的技術報告:わが国における安全な地層処分の実現, p.4-37)

設計要件	内容
低透水性	緩衝材中の地下水の流れを抑制し、放射性物質の移行を遅延すること
コロイドろ過能	放射性物質がコロイドとして移行することを防止すること
自己シール性	オーバーバックや岩盤との隙間など、施工時にできる隙間を充填可能な弾塑性を有すること
自己修復性	ガス発生による亀裂が生じたとしても閉塞できること
製作施工性	既存の技術もしくは近い将来実現可能と考えられる技術に基づき製作施工が可能であること
微生物影響の防止	オーバーバックの腐食に影響を与える緩衝材中の微生物活動を抑制すること
物理的緩衝性	オーバーバックの腐食影響による力学的影響を緩和して、オーバーバックを保護するように物理的な緩衝性を有すること

➢ 廃棄体周囲に、膨潤性・遮水性に優れた**ベントナイト系材料**を緩衝材として用いることが有力である。地下深部のため、高水圧の地下水が流入する。

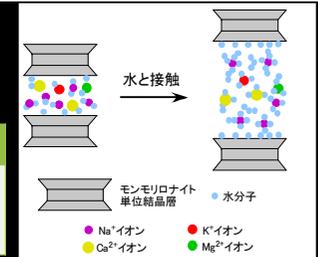
➢ 地層処分事業は**数十年以上**継続して実施され、事業全体で**300万トン程度**の大量のベントナイトが必要であり、使用に適した候補材料のオプションを複数確保しておくことが重要である (NUMO, 2022)。

原子力発電環境整備機構(NUMO)：国内産ベントナイトおよびベントナイト混合土の基本特性データ, NUMO-TR-21-02, 2022.

研究背景と目的

ベントナイトの膨潤・透水特性における影響因子

材料特性	施工条件	環境条件
<ul style="list-style-type: none"> ・モンモリロナイト含有率 ・交換性陽イオン組成 	<ul style="list-style-type: none"> ・乾燥密度 ・砂・ベントナイト配合率 	<ul style="list-style-type: none"> ・地下水質 ・温度



➢ 従来の透水試験法では、数か月の長期間+バラつきが見られることが課題。

➢ Ito et al., 2022：ベントナイト単体試料を対象として、**数日~2週間程度の短期間**で、精度よく透水係数を測定可能な実験装置を開発。

本研究の目的

➢ モンモリロナイト含有率・交換性陽イオン組成の異なる6種のベントナイトの透水係数データベースを構築し、様々なベントナイト系材料の透水係数予測可能性を調査。

➢ 様々なベントナイトの透水係数を統一的に評価可能な指標の模索。

➢ 高水圧下で透水係数を測定し、実処分環境で想定される境界条件の影響を評価。

Ito, D., Wang, H. and Komine, H.: Hydraulic conductivity test system for compacted, 2-mm-thick bentonite specimens, Soils and Foundations, Vol.62, 101210, 2022.

使用した試料の基本的性質

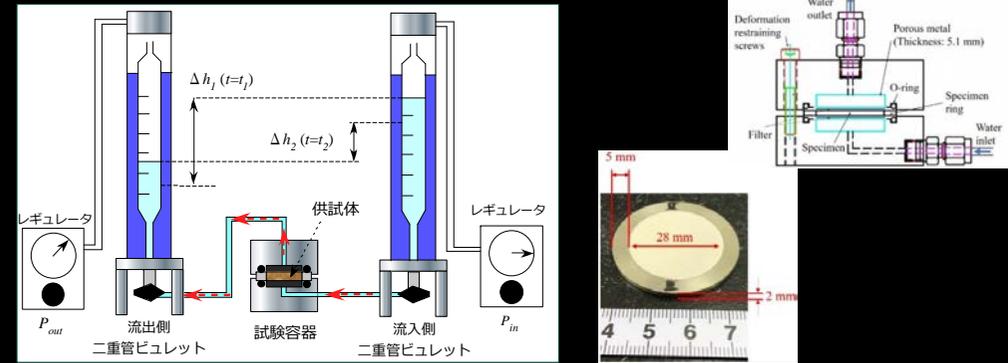
クニゲルV1 (粉体, 国産 Na型) MX-80 (顆粒, 米国 Na型) ボルクレイ (粉体, 米国 Na型) クニピアF (粉体, 国産 Na型純モンモリロナイト) クニボンド (粉体, 国産 Ca型) 三川原鉱 (粉体, 国産 Ca-Mg型)



試料名	土粒子密度 (Mg/m ³)	モンモリロナイト含有率 (%)	浸出 Na ⁺ イオン (cmol/kg)	浸出 Ca ²⁺ イオン (cmol/kg)	浸出 Mg ²⁺ イオン (cmol/kg)
クニゲルV1(KV1)	2.76	52.8	53.8	35.5	4.1
MX-80(MX)	2.77	60.0	69.3	41.1	9.2
ボルクレイ(VOL)	2.82	72	58.9	22.5	1.8
クニピアF(KP-F)	2.90	100	104.7	28.2	7.6
クニボンド(KB)	2.53	71.1	8.3	61.8	15.3
三川原鉱(MG)	2.53	48.7	8.1	22.7	21.2

厚さ2mm供試体を用いる透水試験装置の概要

- 加圧型変水位透水試験 (Ito et al., 2022.)
- 極薄供試体(t=2 mm)を用いることで、試験期間を大幅に短縮
→寸法：1 μm, 質量：0.1 mgの精度で計測。

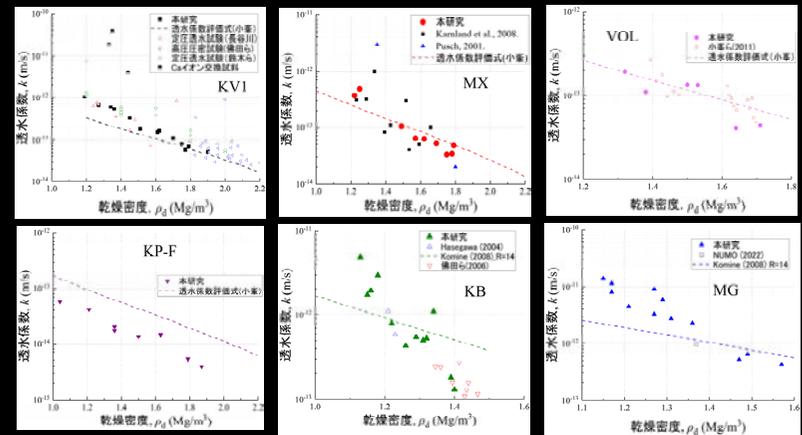


試験ケース(乾燥密度, 動水勾配)

試料名	乾燥密度 (Mg/m ³)	測定数	動水勾配(透水時の差圧)
KV1(Na型粉体)	1.19~1.90	13	2,000~25,000 (40~500)
MX(Na型顆粒)	1.22~1.79	9	10,000・20,000 (200・400)
VOL(Na型粉体)	1.32~1.71	6	10,000・20,000 (200・400)
KP-F(Na型純モンモリロナイト)	1.03~1.87	8	10,000~36,000 (200~720)
KB(Ca型粉体)	1.09~1.40	13	1,000~4,000 (20~80)
MG(Ca-Mg型粉体)	1.17~1.57	12	1,000~5,000 (20~100)

- 約60ケースの供試体 (乾燥密度：実務想定よりも広範囲) で透水係数を取得。
- 動水勾配を試験中に変更しても、透水係数が変わらない⇒ダルシー則の成立を確認。

試験結果 (透水係数—乾燥密度関係)



- 透水係数と乾燥密度の間に、バラつきの小さい(2倍以内)関係がみられる。
- 本研究で得られた結果は、既往研究と同様のオーダーにある。

透水係数 - 有効モンモリロナイト密度関係

・有効モンモリロナイト密度

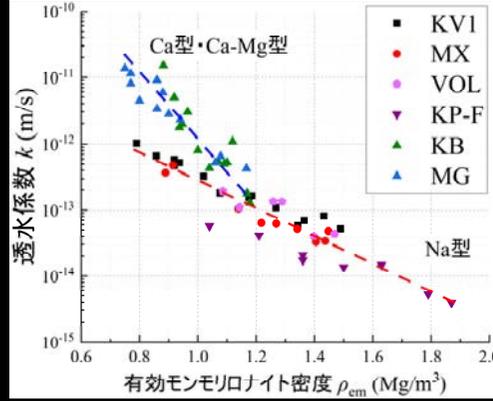
$$\rho_{em} = C_m \rho_d / \{100 - (100 - C_m) \rho_d / \rho_{nm}\} \quad (3)$$

$$\rho_{solid} = 100 \rho_m / \{C_m + (100 - C_m) \rho_m / \rho_{nm}\} \quad (4)$$

ρ_{em} : 有効モンモリロナイト密度, C_m : モンモリロナイト含有率, ρ_d : 乾燥密度, ρ_{solid} : ベントナイト土粒子密度, ρ_{nm} : 随伴鉱物の土粒子密度, ρ_m : モンモリロナイトの土粒子密度 (= 2.77 Mg/m³) (Lambe & Whitman, 1969).

➢ Na型ベントナイトと, Ca型・Ca-Mg型ベントナイトとでそれぞれ良好な相関性が見られた.

→ **主要な交換性陽イオン種およびモンモリロナイト含有率を予め把握しておくことで, 有効モンモリロナイト密度を代替指標として透水係数を予測できることが示唆された.**



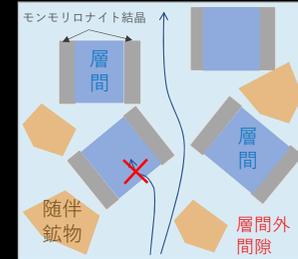
XRDに基づくモンモリロナイト層間外間隙比

・モンモリロナイト結晶層間水は交換性陽イオンや結晶表面の電荷からの影響を強く受けている.

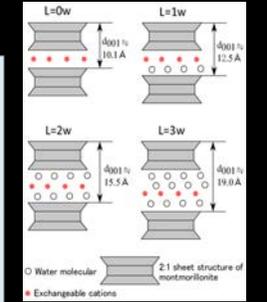
仮説: モンモリロナイト層間部を不透水と考え, 層間外の体積とモンモリロナイト結晶体積による間隙比 (**モンモリロナイト層間外間隙比 e'_m**) を用いれば, 鉱物組成や交換性陽イオン種によらない統一評価ができるのではないかと?

⇒ X線回折(XRD)により, Na型, Ca型, Ca・Mg型ベントナイト中のモンモリロナイト結晶層間距離を測定し, e'_m による評価を試みた.

$$e'_m = \frac{V_{out}}{V_m} = \frac{V_v - V_{int}}{V_m} = \frac{V_v - \frac{d_{001} - t}{t} V_m}{V_m} = \frac{100 \rho_m (\rho_s - 1) - \frac{d_{001} - t}{t} C_m}{C_m}$$

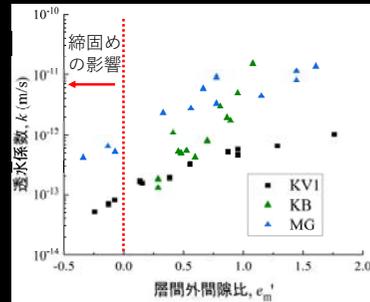
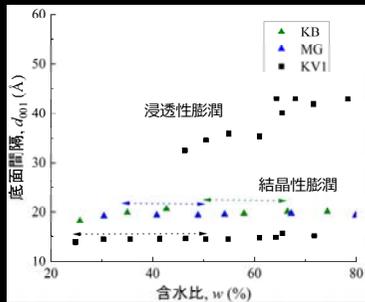


X線回折 (XRD) 装置 (RINT-Ultima III)



モンモリロナイトの吸水による層間距離増加

XRDに基づくモンモリロナイト層間外間隙比



・XRD測定結果 (対象: 粉体状試料)

KV1: 結晶性膨潤 ($w > 50\%$, 底面間隔 d_{001} : 約 15 Å) と浸透性膨潤 (約 30 Å 以上) が混在.

KB・MG: 含水比によらず約 20 Å でほぼ一定.

⇒ 透水試験後の供試体含水比 (図中の破線矢印の範囲) における d_{001} を用いて e'_m を算出.

・ e'_m と透水係数の関係

低間隙比でKV1とKBが比較的近傍したが, MGは近傍しなかった.

⇒ Ca型およびCa・Mg型ベントナイトの結晶層全体を不透水としている仮定に誤りがある?

今後, 層間水について固定層 (Stern層), 拡散層の厚さを考慮し, 実際の透水現象における通水可能な間隙に即した間隙比を提案したい.

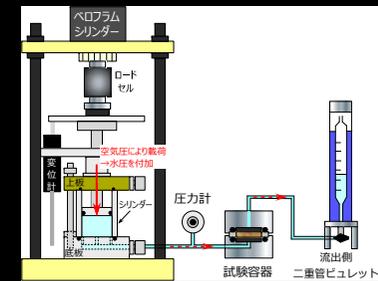
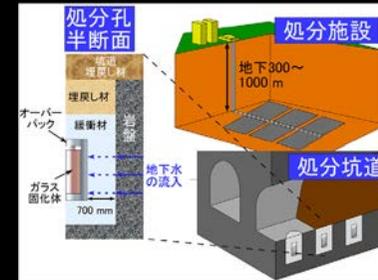
高透水圧環境下での透水特性

・ 地層処分施設: 地下300~1000 mの深地層に建設
→ 地下水圧は静水圧相当で3~10 MPa.

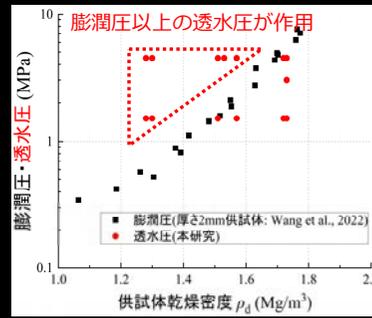
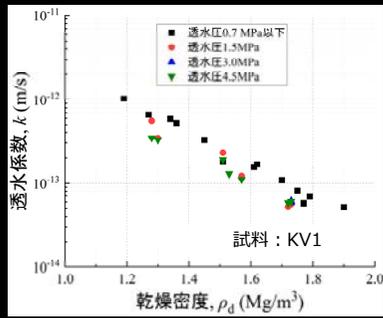
・ 透水試験基準において, 現場で想定される動水勾配・水圧に基づく試験が推奨されているが, このような高透水圧, 高動水勾配環境がベントナイトの透水特性に及ぼす影響は評価されていない.

→ 水供給システムの剛性を高めることで高水圧・高動水勾配を作用できる実験系を開発し, 透水圧1.5・3.0・4.5 MPa (動水勾配75,000~230,000) の下で透水特性に及ぼす影響を確認した.

・ 供給シリンダー: ステンレス製圧力容器 (シリンダー内径28 mm, 肉厚5 mm), ピストンに鉛直荷重を載荷し透水圧を付加.



高透水圧環境下での透水特性



- 透水圧1.5~4.5 MPaの場合、0.7 MPa以下に比べてやや透水係数が小さい。
- 差異は概ね2倍以内であることから、今回作用させた透水圧が透水係数に及ぼす影響は小さいと考えられる。(透水係数の計測時間：1日以内)
- 本研究の透水圧と供試体の最大膨潤圧の大小関係。
- 最大膨潤圧以上の透水圧を作用させても、流入・流出量の収支が取れていた・供試体の変形や破壊が見られなかった。
- ⇒今回与えた環境(最大4.5MPa)においても、KV1はダルシーの法則に則った安定的な透水挙動を示すことが示された。

本研究成果のまとめと今後の検討事項

本研究の成果：

1. 交換性陽イオン組成の異なる国産・海外産ベントナイト6種について、バラつきの小さい透水係数データベースを取得した。
2. 異なる産地のベントナイト試料であっても、交換性陽イオンおよびモンモリロナイト含有率を把握すれば有効モンモリロナイト密度を代替指標として透水係数を予測可能である。
3. 高透水圧4.5 MPa(動水勾配約23万)においても、KV1の透水特性はダルシーの法則に則っていることが実験的に確認された。
4. Na型ベントナイトを高乾燥密度で締固めることで、10³年オーダーのトラベルタイムを確保できることが試算できた。

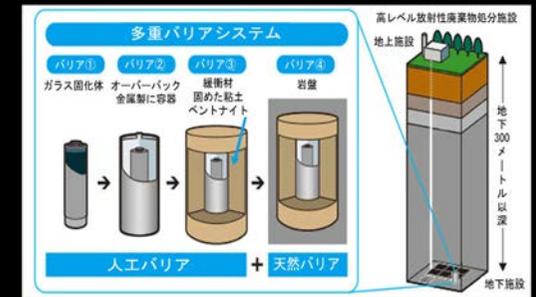
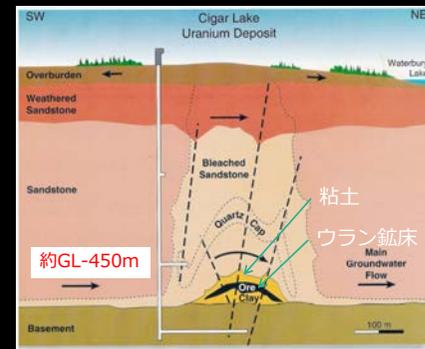
今後の検討事項：

1. 透水係数取得を1日以内で可能にする透水試験法を確立できたため、対象試料や水質環境、動水勾配環境を広げ、実処分事業に資することのできる網羅的なデータベースを構築する。
2. 理論評価手法の高度化および交換性陽イオンの違いを統一的に評価できる代替指標の獲得に向け、屈曲度など粒子・骨格構造を表すパラメータの導入や、骨格内の通水部の解明および間隙比を現象に即した形で発展させる。

参考文献

- 1) 動力炉・核燃料開発事業団：緩衝材の飽和透水特性, PNC TN8410 97-296, 1997.
- 2) 棚井善治, 菊池広人, 中村邦彦, 田中寛久, 廣永道彦: ベントナイト系材料の標準的室内試験法構築に向けての試験法の現状調査と試験による検討—日本原子力研究開発機構/電力中央研究所共同研究成果報告—, JAEA-Research2010-025, 2010.
- 3) 原子力発電環境整備機構(NUMO)：国内産ベントナイトおよびベントナイト混合土の基本特性データ, NUMO-TR-21-02, 2022.
- 4) Ito, D., Wang, H. and Komine, H.: Hydraulic conductivity test system for compacted, 2-mm-thick bentonite specimens, Soils and Foundations, Vol.62, 101210, 2022.
- 5) Wang, H., Komine, H., and Gotoh, T.: A swelling pressure cell for X-ray diffraction test. Géotechnique 72(8): 675-686, 2022.
- 6) 日本工業規格 (JIS) : ベントナイトなどのメチレンブルー吸着量の測定方法, JIS Z 2451, 2019.
- 7) 白河部匠, 王海龍, 諸留章二, 小峯秀雄: ベントナイトに適用した陽イオン交換容量および浸出陽イオン量の各種測定方法の検討, 地盤工学ジャーナル, 17(1), 2022.
- 8) 地盤工学会 (JGS) 基準・同解説: 低透水性材料の透水試験方法, JGS 0312-2018, 2019.
- 9) Komine, H.: Theoretical equations on hydraulic conductivities of bentonite based buffer and backfill for underground disposal of radioactive wastes, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 134, No. 4, pp.497-508, 2008.
- 10) 長谷川琢磨: ベントナイトの透水・浸潤特性への海水影響, 電力中央研究所報告, N04005, 2004.
- 11) 佛出理恵, 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲: 高圧圧密試験装置を用いたベントナイトの透水係数算出における試験方法の高度化, 土木学会論文集C, Vol.62, No.3, pp.573-578, 2006.
- 12) 動力炉・核燃料開発事業団：緩衝材の飽和透水特性, PNC TN8410 97-296, 1997.
- 13) Karnland, O., Nilsson, U., Weber, H., and Weprin, P.: Sealing ability of Wyoming bentonite pellets foreseen as buffer material - Laboratory results, Physics and Chemistry of the Earth, Vol.33, pp. 3472-475.
- 14) Pusch, R.: The microstructure of MX-80 clay with respect to its bulk physical properties under different environmental conditions, SKB Technical Report, TR-01-08, 2001.
- 15) 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲: 人工海水環境下における各種ベントナイトの透水係数, 土木学会論文集C (地盤工学), Vol. 67, No. 2, pp. 276-287, 2011.
- 16) Lambe, T.W. and Whitman, R.V.: Soil Mechanics, John Wiley & Sons Inc., pp.29-31, 1969.
- 17) Mitchell, J. K. 1993. Fundamentals of soil behavior, 2nd Ed., Wiley, New York, 236-271.
- 18) ASTM: Standards Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter. ASTM D5084, 2016.
- 19) Wang, H.: Pore water density in a saturated bentonite, Géotechnique, 74(12), pp.1254-1262, 2024.
- 20) Wang, H., Ruan, K., Harasaki, S., and Komine, H.: Effects of specimen thickness on apparent swelling pressure evolution of compacted bentonite, Soils and Foundations, 62(1), 101099, 2022.
- 21) 緒方信彦, 小嶋明郎, 植田浩義, 朝野英一, 高尾肇: 高レベル放射性廃棄物処分の事業化技術—その4 人工バリアの設計と製作—, 原子力バックエンド研究Vol.5, No.52, pp.103-121, 1999.

ご清聴ありがとうございました



出典：NAWG (加筆) <http://www.natural-analogues.com>

Cigar Lake ウラン鉱床

研究期間：1892~1993

地層処分システム (日本)

この度は、2023・2024年度の2か年にわたりご助成を賜りまして、誠に有難うございました。

階層ベイズ更新による既存橋梁の耐震性能評価モデルの構築

一般財団法人 大成学術財団
第7回 研究成果発表会
2025年10月17日

北海道大学大学院工学研究院
准教授 北原優

研究の背景

免震橋梁の普及

- ゴム支承による橋脚の長周期化・高減衰化
 - 橋脚に作用する地震荷重を低減
- 長期使用による経年劣化が顕在化
- 実橋から取得したゴム支承の載荷試験(林ら, 2015)
 - ゴムの硬化による水平剛性の増加
 - 鉛プラグが負担できるせん断力の低下



能登半島地震での北陸道の免震橋



東北地方太平洋沖地震でのゴム支承の破断(利府高架橋)

モデルベースの現有性能評価

- FEモデルと地震時の観測データの融合
 - FEモデル更新

FEモデル更新

- 観測データを再現するモデルパラメータを推定
- 計測誤差やモデル化誤差が推定に影響
 - 不確実性を確率的にモデル化

ベイズモデル更新

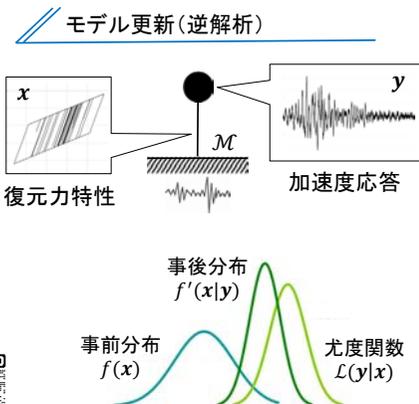
$$y = \mathcal{M}(x) + \varepsilon, \varepsilon \sim \mathcal{N}(\mathbf{0}, \sigma^2 \mathbf{I})$$

- ベイズの定理

$$f'(x|y) \propto \mathcal{L}(y|x)f(x)$$

→ モデルとデータの**バランス解**を与える

- 1径間免震橋で有効性を検証済み(北原ら, 2020)

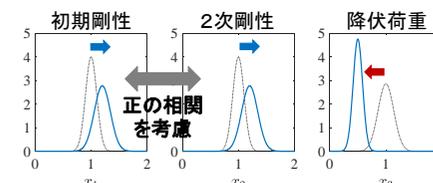


免震連続橋のモデル更新

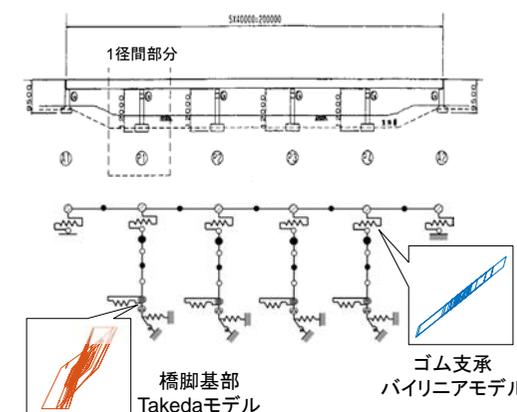
- 「橋の動的耐震設計」(JSCE, 2003)の5径間連続橋
- 梁要素・非線形ばね要素からなる2次元FEモデル

ゴム支承の不確実性

- 製造誤差(正規分布)+経年劣化



- 各径間の支承の値は乱数生成により決定



ベイズモデル更新



事前分布

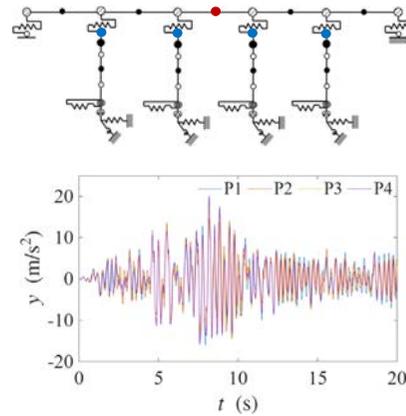
- [0, 2]の独立な一様分布(合計で12変数)

尤度関数

- 入力地震動: 道路橋示方書のレベル2地震動II-I-1
- 観測量: 各径間の支承の相対加速度

$$\mathcal{L}(y|x) = \prod_{i=1}^4 \prod_{t=1}^T \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{y_i}^2}} \exp\left[-\frac{(y_i^o(t) - y_i^p(x, t))^2}{2\sigma_{y_i}^2}\right]$$

- y_i : i 径間の相対加速度応答
- $\sigma_{y_i}^2$: 観測データ y_i^o の標本分散



ベイズモデル更新結果

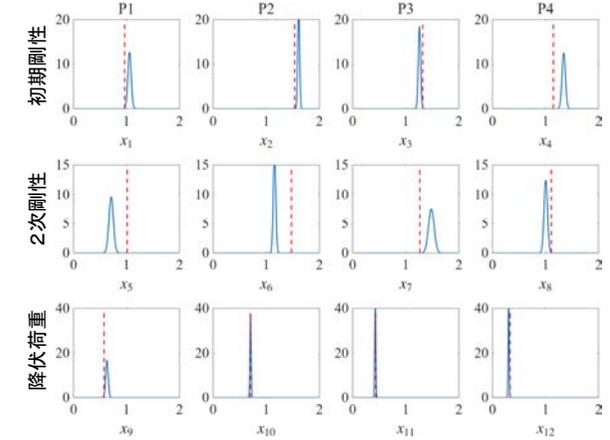


Ching, J., Chen, Y.-C., 2007. Transitional Markov Chain Monte Carlo Method for Bayesian Model Updating, Model Class Selection, and Model Averaging. Journal of Engineering Mechanics 133, 816-832.

事後分布

- TMCMCを用いて5000サンプル取得
- PDFはカーネル密度推定
- 初期・2次剛性の相関が捉えられない

	推定誤差(%)			
	P1	P2	P3	P4
初期剛性	9.46	4.81	4.71	17.0
2次剛性	29.8	21.6	17.5	9.34
降伏荷重	9.43	0.46	1.81	7.90



階層ベイズモデル更新



- パラメータ間の制約を階層的な事前分布で考慮

$$f'(x|y) \propto \mathcal{L}(y|x)f(x)$$

$$\rightarrow f'(x, \theta|y) \propto \mathcal{L}(y|x)f(x; \theta)f(\theta)$$

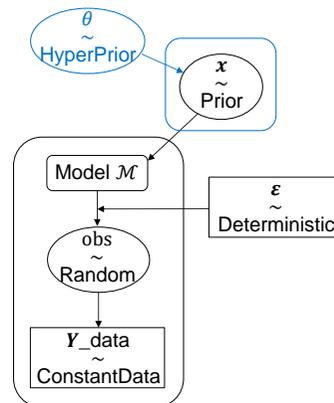
正規コピュラ階層事前分布

- 正規分布間の相関係数 ρ を任意の分布に拡張

$$f(x; \rho) = \prod_{i=1}^4 c(F(x_i), F(x_{i+4}); \rho) \underbrace{f(x_i)}_{\text{初期剛性}} \underbrace{f(x_{i+4})}_{\text{2次剛性}} \cdot \prod_{i=9}^{12} f(x_i) \underbrace{f(x_i)}_{\text{降伏荷重}}$$

- $c(\cdot, \cdot; \rho)$: コピュラPDF

- ρ の事前分布は[-1, 1]の一様分布

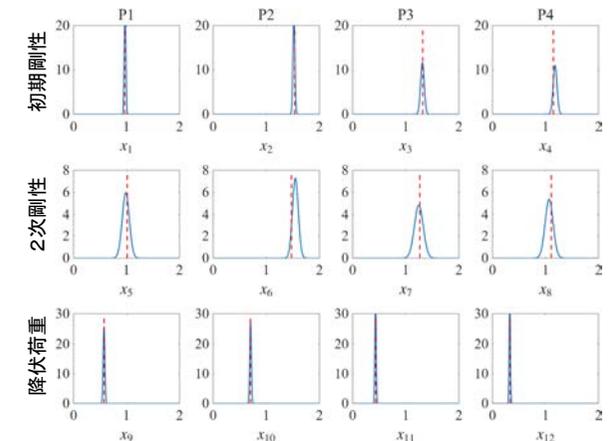


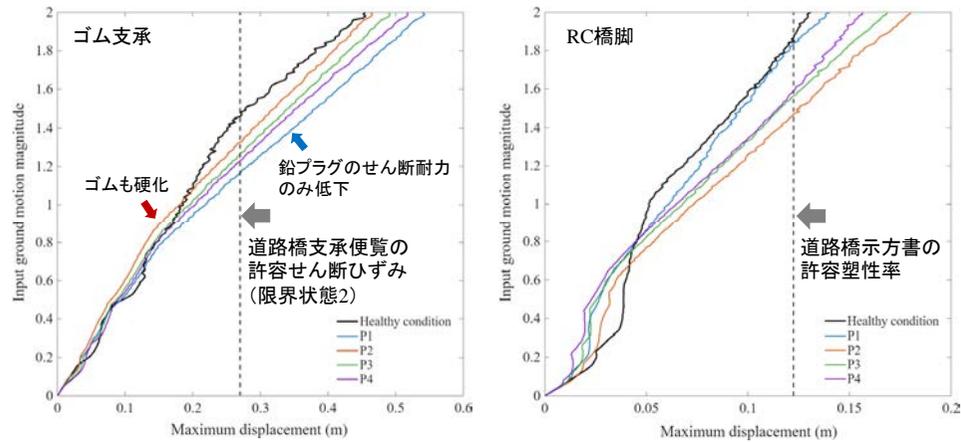
階層ベイズモデル更新結果



	推定誤差(%)			
	P1	P2	P3	P4
初期剛性	0.70	1.07	0.49	2.82
2次剛性	2.55	5.00	1.55	3.63
降伏荷重	0.11	0.44	0.74	1.56

- 初期・2次剛性の相関を適切に考慮
- 径間毎に異なる支承の劣化度を定量化





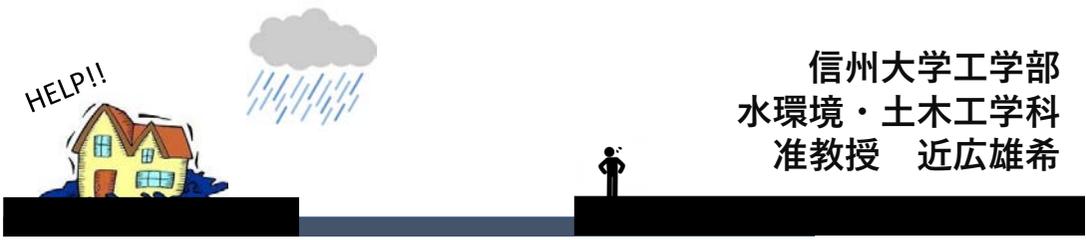
- ゴム支承の経年劣化を想定した連続免震橋のFEモデル更新を検討した
- 正規コピュラモデルによる階層ベイズモデル更新法を提案した
- 提案手法では、各径間の支承の相対加速度応答から、初期・2次剛性間の相関関係を適切にとらえた妥当な事後分布を推定した
- 更新したモデルで漸増動的解析を行い、ゴム支承の経年劣化により設計時の免震性能が発揮されず、橋脚の許容塑性率に対するキャパシティ低下を確認した

→ 階層ベイズ更新により径間毎に劣化状態の異なる既存橋梁の現有性能を定量化したFEモデルを構築することができた



シザーズ機構を用いた 災害用折畳みパネル橋の 最適パネル形態に関する研究

HELP!!



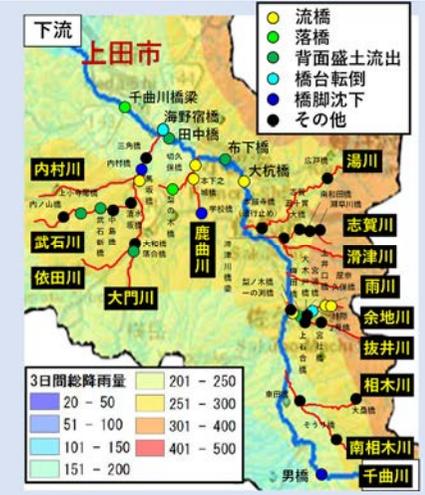
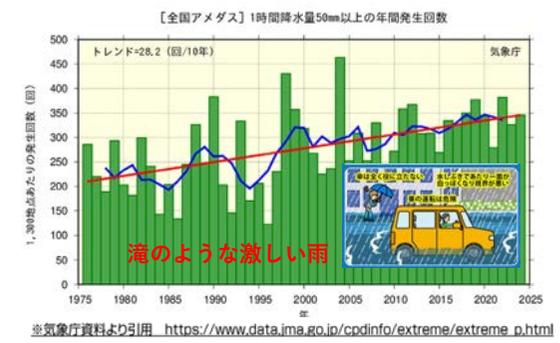
信州大学工学部
水環境・土木工学科
准教授 近広雄希

背景 1：自然災害による橋梁被害

1

□ 広域化する豪雨災害（激甚災害）

- 令和 2 年 7 月豪雨
- 令和元年東日本台風（台風第 19 号）
- 平成 30 年 7 月豪雨



□ 復旧・救援活動にはまず道が必要！

近広ら：令和元年台風19号における武石川と余地川の橋梁被害の要因分析とリスク評価，土木学会論文集，79(23)，2023.

背景 2：緊急仮設橋という新ジャンルの橋

2

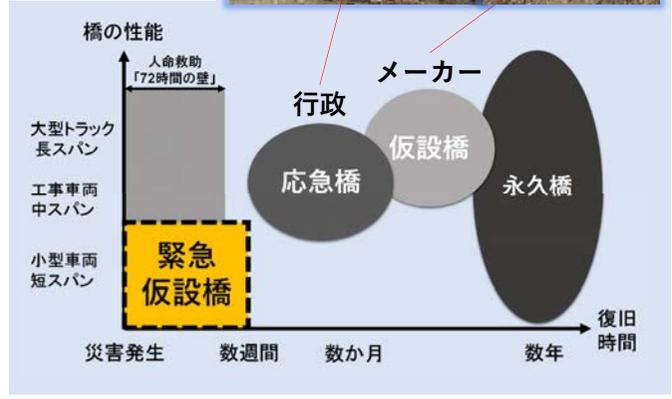
従来

- 仮設橋（約3か月）や応急組立橋（約1.5か月）
- 重機の利用やヤードの広さに依存するため



最近の取り組み

- 土木学会（2019年～継続中）
 - 緊急仮設橋に関する小委員会
 - 要求性能の整理，試設計
- 国交省
 - 既存の応急組立橋を改良した短期架橋（2車線→1車線）
 - 軽量材料を組み合わせた緊急仮設橋の検討



課題：本研究に関連するシザーズ橋

3

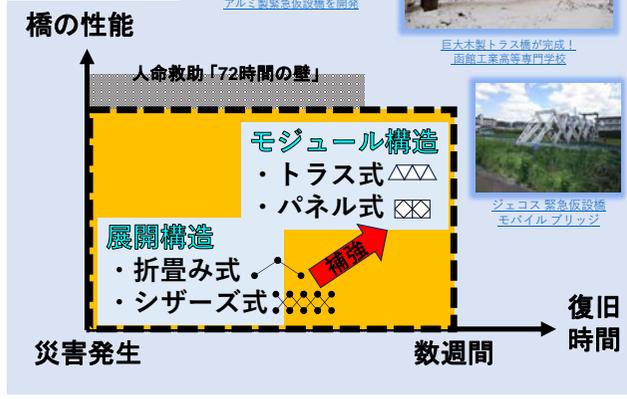
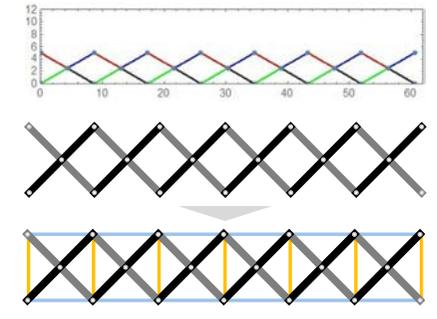
緊急仮設橋の技術

- モジュール構造や展開構造 + 軽量材料の応用



既往のシザーズ橋

- 折畳み可能，補剛すると強度UP



提案：折畳みパネル構造

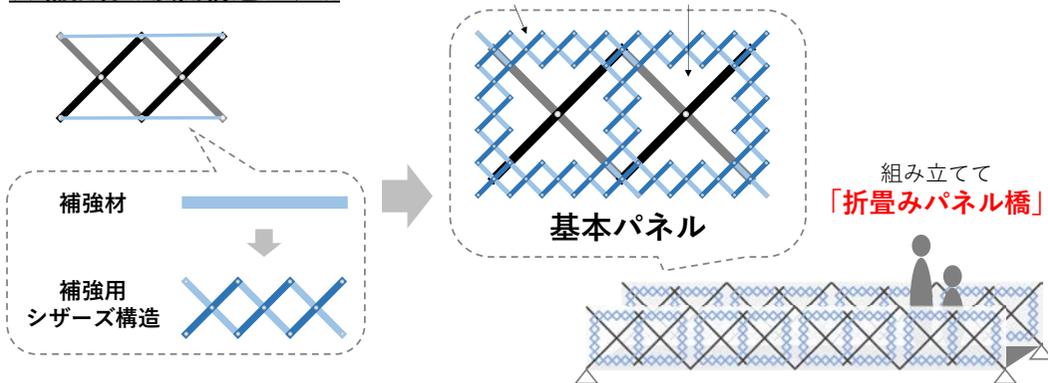
4

狙い

1. 補強材を入れても一気に展開したい
2. 様々な現場に対応できるように支間長を自由に変えたい

★ 補強材も展開構造にする

「小型シザーズ」「主シザーズ」



研究の目的と方法

5

将来

折畳みパネル構造の最適パネル形態を明らかとしたい

今回

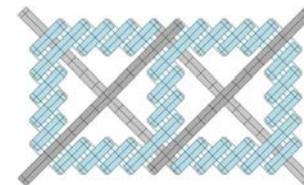
折畳みパネル構造の最適パネル形態を探る基礎知見を得たい

① FEM解析

1. 折畳みパネル構造の断面剛性
2. 小型シザーズ構造の配置

② 部分試作

1. 展開/収納動作確認
2. 载荷実験を通じたFEM解析との比較



開発目標

従来の展開構造と同じように早く架橋できる
強度の高い緊急仮設橋の開発につなげる

FEM解析：モデル概要①

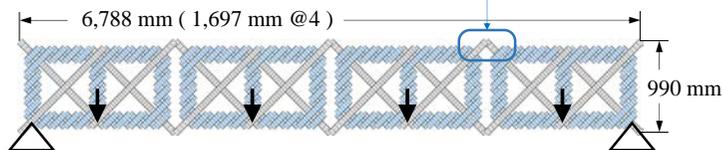
6

折畳みパネル橋の主構造（片側）のみ再現

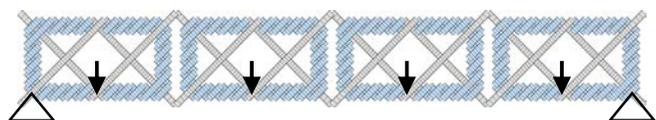
- すべてアルミニウム合金材を仮定
A6005C材（弾性係数62.5 GPa, 降伏応力180 MPa）
- モデル質量：23.1 kg @ 4 panel = 92.4 kg
- 部材寸法のパラメータは下記の8種類（次頁詳細）



Case 1



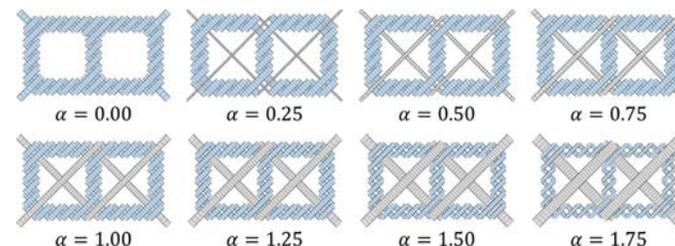
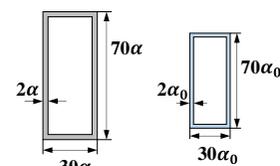
Case 2



FEM解析：モデル概要②

7

主シザーズ断面 小型シザーズ断面



Case 1
部材係数の関係

α	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75
α_0	1.07	1.13	1.10	1.06	1.00	0.91	0.80	0.63

Case 2
部材係数の関係

α	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75
α_0	1.12	1.20	1.17	1.13	1.06	0.97	0.85	0.67

配布版の資料では
詳細を割愛しています

要点

- 主シザーズ構造の断面が大きい → 剛性・最高荷重ともにUP
- Case 1, Case 2 の差は若干

配布版の資料では
詳細を割愛しています

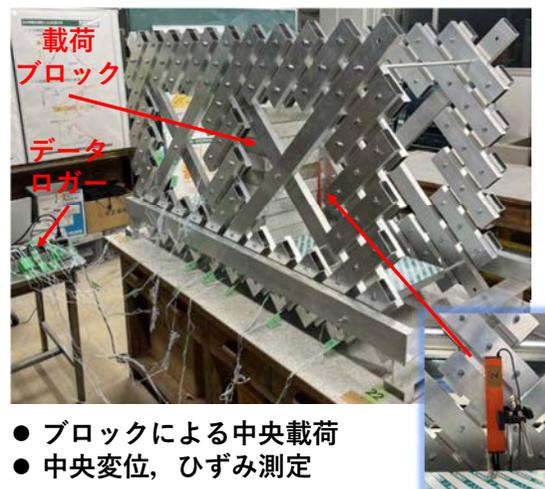
要点

- 補強効果が高いのは Case 2
- 主シザーズ構造の係数 α が 1.25~1.50
- このときの小型シザーズ構造の断面は 30~60%程度

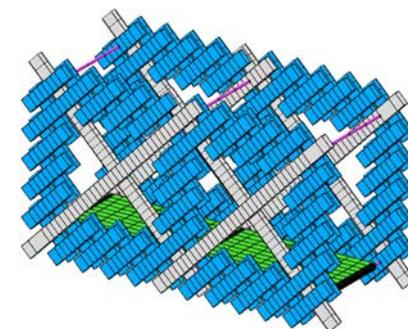
注) GIF画です



配布版の資料では
詳細を割愛しています



- ブロックによる中央荷重
- 中央変位, ひずみ測定



- 主構造, 横構は梁要素
- 床版はシェル要素

配布版の資料では
詳細を割愛しています

要点

- 実験とFEM間の差が大
- 主シザーズだけでも大

- ボルト孔とボルトの径差 (0.7 mm) の影響
- ボルトの締め付け力のばらつき



注) 動画です

改良中で、今年度に再実験を行う

目的 折畳みパネル構造の最適パネル形態を探る基礎知見を得たい

① FEM解析

1. 折畳みパネル構造の断面剛性
2. 小型シザーズ構造の配置

② 部分試作

1. 展開/収納動作確認
2. 载荷実験を通じたFEM解析との比較

配布版の資料では
詳細を割愛しています

今後

- 部分試作の改良, FEM解析との妥当性検証
- 部材寸法最適化による軽量化
- 基本パネル間の結合など

研究開発を
進めたい

論文

- 田中翔也, 近広雄希, 大野紅実: シザーズ構造を用いた折畳みパネル橋の提案とその基礎力学特性, 構造工学論文集 (査読中)

国際学会プロシーディングス

- Shoya Tanaka, Yuki Chikahiro, Kumi Ohno: Mechanical property on novel foldable panel bridge using scissors structure, Proceedings of IABSE Symposium Tokyo 2025, 8pages, 2025.

国内学会

- 田中翔也, 近広雄希, 坂部真央: 小型シザーズに着目した折畳みパネル橋の最適パネルレイアウトに関する一検討, 令和7年度土木学会全国大会, 2025.
- 大野紅実, 近広雄希: 折畳みパネル橋のパネルレイアウトと部材剛性が力学特性に与える影響, 令和5年度土木学会中部支部研究発表会, 2024.

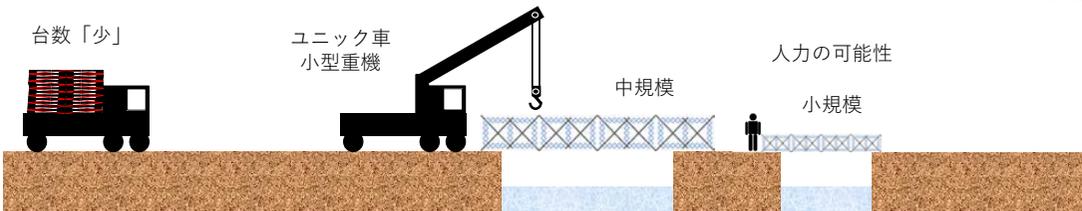
台数「少」

ユニック車
小型重機

人力の可能性

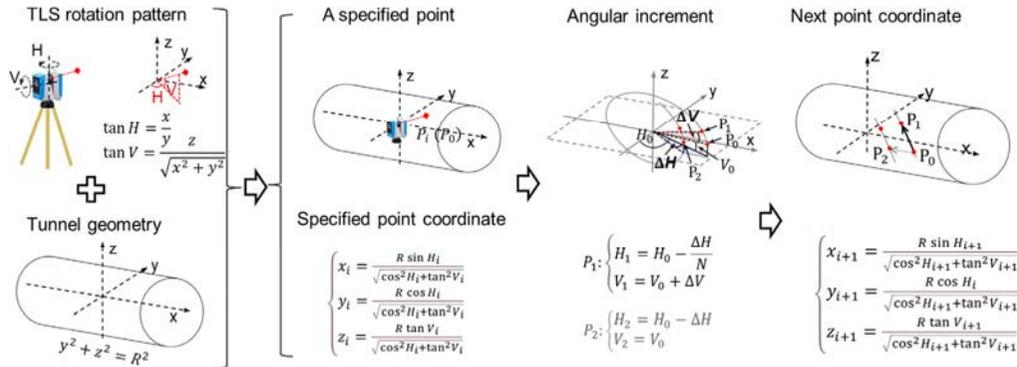
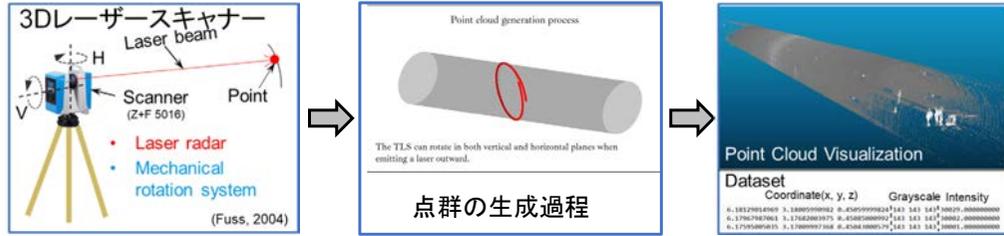
中規模

小規模



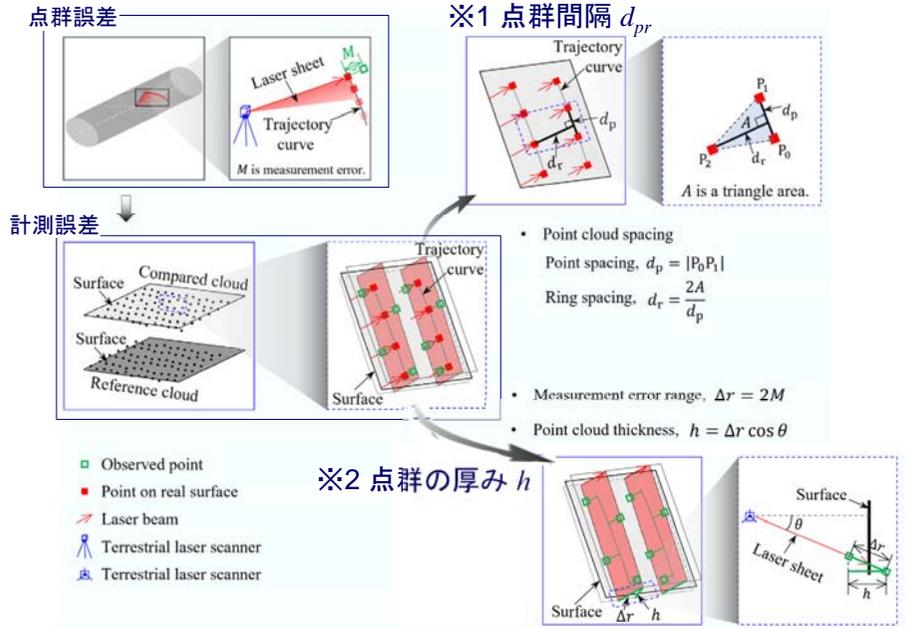
3. トンネル点群特性に基づく比較誤差評価手法の提案

3.1 トンネル点群特性に基づく点群軌道の定式化



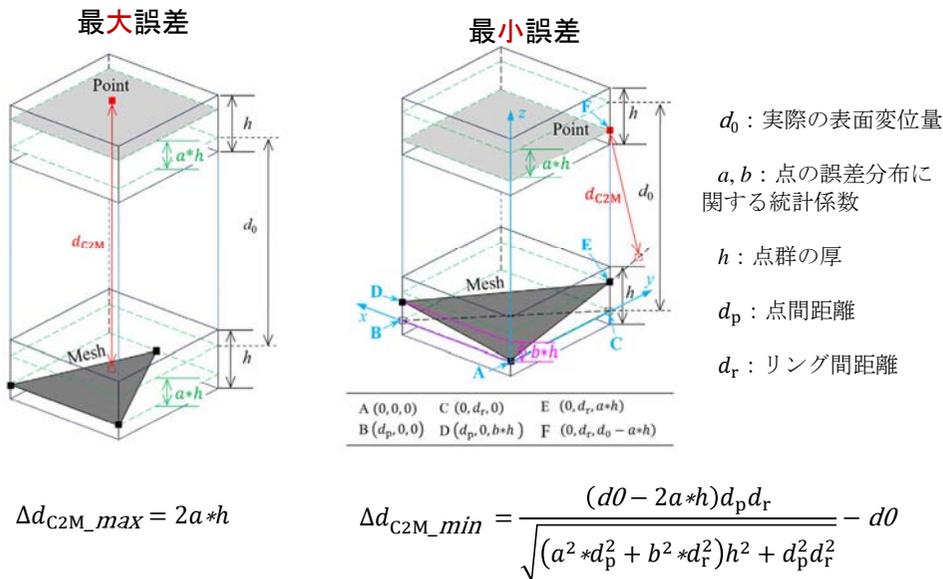
3. トンネル点群特性に基づく比較誤差評価手法の提案

3.2 差分計算における誤差の発生メカニズム



3. トンネル点群特性に基づく比較誤差評価手法の提案

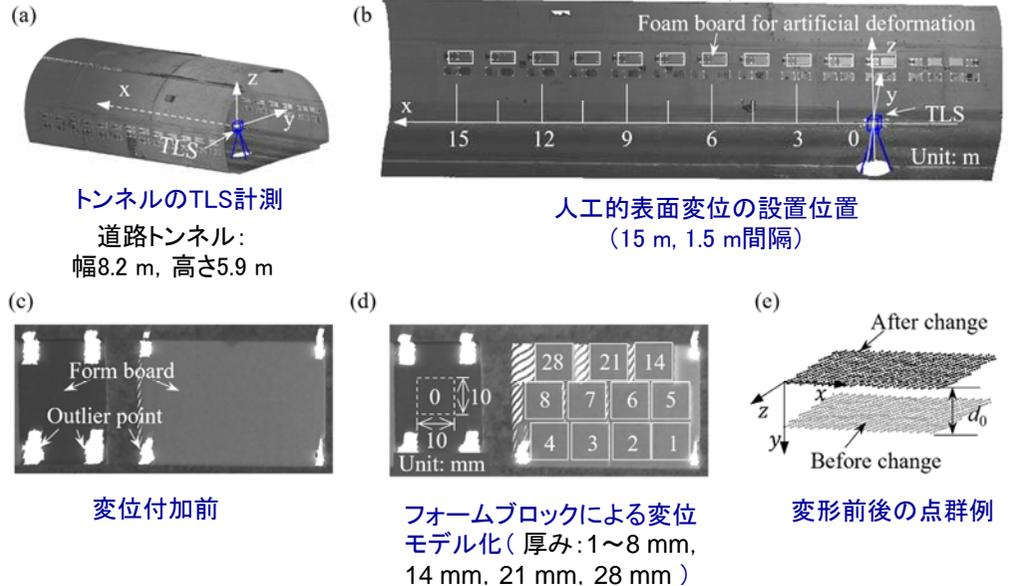
3.3 C2Mによる比較誤差評価手法 (CEE) の提案



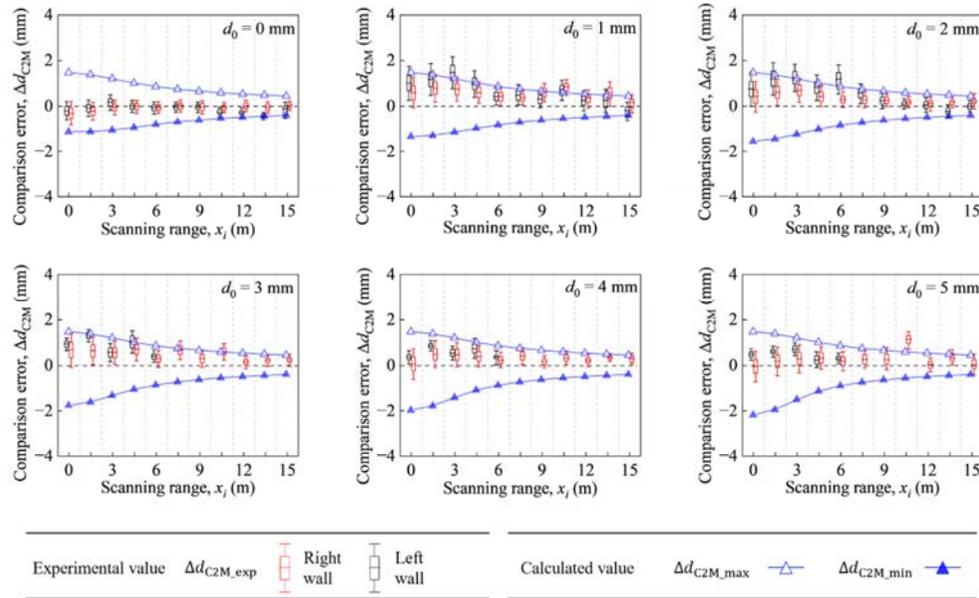
3. トンネル点群特性に基づく比較誤差評価手法の提案

3.4 現場実験による検証

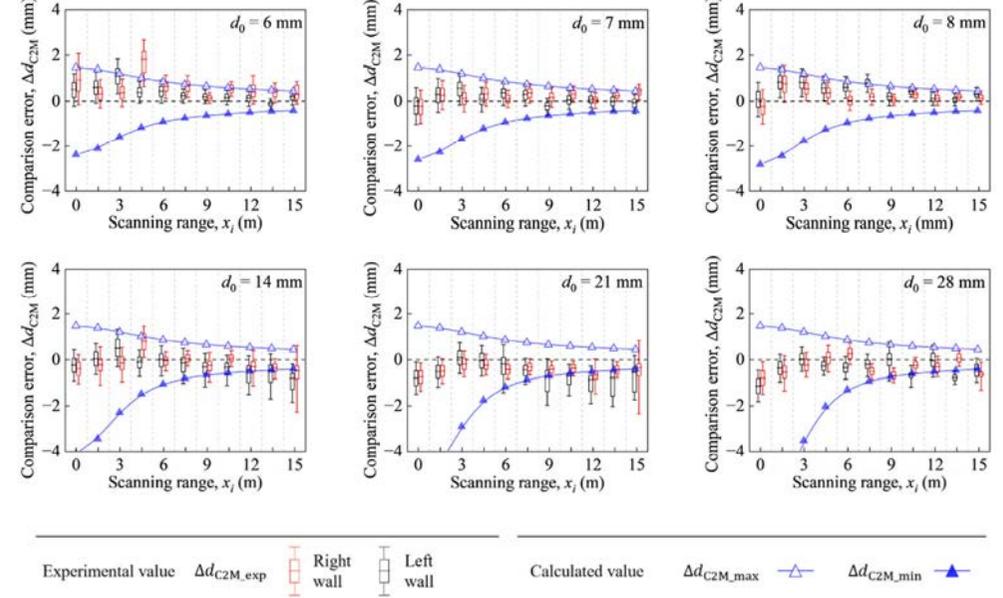
現場実験の概要



3.4 現場実験による検証

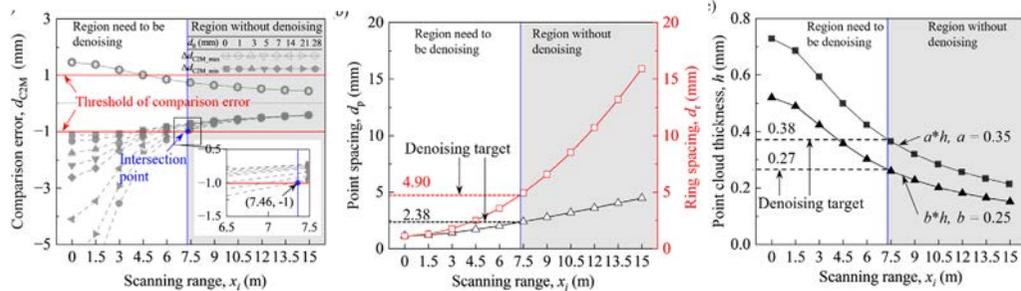


3.4 現場実験による検証



4. 点群最適化手法の提案

CEE法を用いた最適化



ノイズ除去領域の抽出



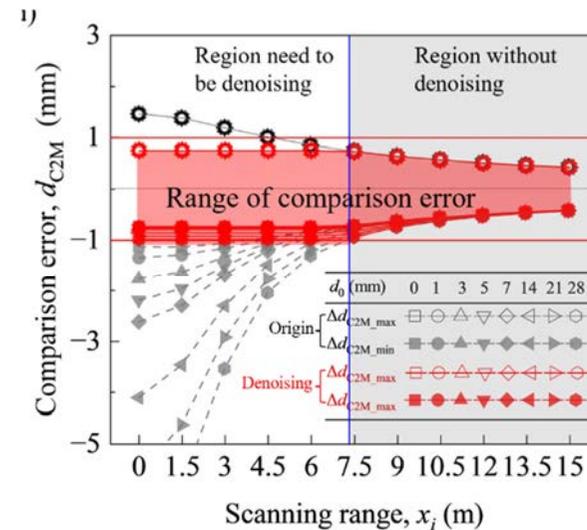
点間隔に対する制限値の設定



点群厚さに対する制限値の設定

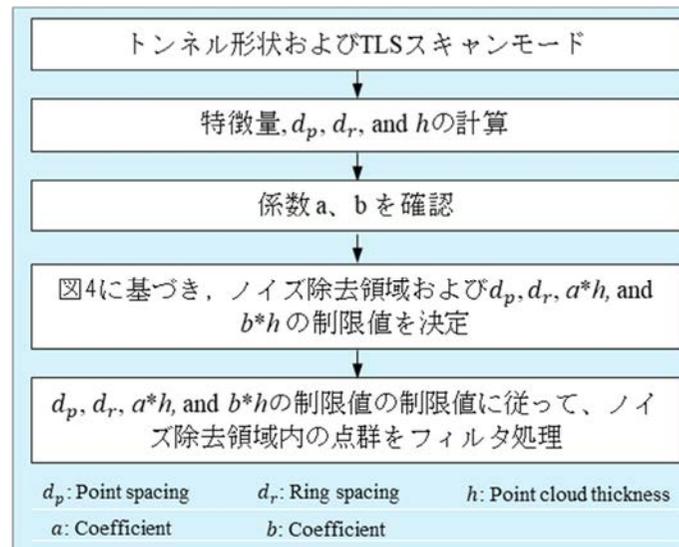
4. 点群最適化手法の提案

CEE法を用いた最適化の効果



最適化後の比較誤差評価

実測点群の最適化フローチャート



結論

- 点群およびメッシュに分布特徴量を割り当て、点群厚さに統計的制限を導入することで、C2M比較誤差を定量的に評価するCEE法を構築。
→従来十分に解析されてこなかったC2Mアルゴリズムの理論的誤差解析に新たな枠組みを提供。
- CEE法を活用することで、誤差閾値の設定・特徴量制限・ノイズ除去を体系的に実施し、C2Mアルゴリズムの誤差を効果的に最小化できることを示した。
→これにより、トンネル変形量の評価精度を±1 mmレベルで制御する点群最適化手法を実現。

課題

- 円筒形トンネルを対象としたTLS計測に限定されており、今後は湾曲トンネル・複雑構造トンネル・MLS計測への適用が課題。
- 法線方向変形(収縮・浮上・剥離など)の検出に有効だが、水平変位や回転変形には対応していない。今後は基準点を用いた変位解析との統合が必要。

大成学術財団 2023～2024 年度研究助成

多様な災害に対応する被災歴史的建造物調査システムの再構築ならびに文化財防災への活用に関する研究

研究代表者 池上重康（北海道大学）

共同研究者 永井康雄（山形大学）、大橋竜太（東京家政学院大学）、
山崎幹泰（金沢工業大学）、小谷竜介（文化財防災センター）

はじめに

本発表に用いる写真、図版は著作権・個人情報保護の関係からハンズアウトへの掲載を見送ります

1995 年の阪神淡路大震災を契機に文化財建造物のリストを整備する機運がたかまる

→2000 年 8 月歴史的建築総目録（General List of Historic Buildings: GLoHB）データベース稼働

2011 年の東日本大震災で文化財ドクター派遣事業調査員登録システムを含む Web サイトを構築・運用

→2016 年の熊本地震でもこのシステムを流用し運用

2018～2020 年度の科研費基盤研究（B）で災害調査システム（Disaster Report Project: DRP）を構築

→2022 年 3 月 11 日に 5 者（文化財防災センター、日本建築学会、日本建築士会連合会、日本建築家協会、日本土木学会）協定を締結 ≡ GLoHB と DRP の利用協定

2022 年 3 月 16 日に福島県沖地震（最大震度 6 強）発災

→災害調査システムの初稼働と使いながらのシステム改良

2024 年度大成学術財団研究助成へ応募

→様々な自然災害による被災状況を記録できるプラットフォームの構築：防災の基礎資料を蓄積

初年度の動きおよび成果と課題

2024 年度大成学術財団研究助成採択（当初は単年度申請）

2024 年 4～7 月に自然災害による文化財建造物の被災事例の現地視察

4 月 沖縄県竹富島の重要伝統的建造物群保存地区の台風被害の現地視察

5 月 熊本県人吉市の豪雨被害の視察

6 月 福井県南越前町今庄宿の豪雨被害と同県福井市大安禅寺の豪雪被害の視察

6 月 新潟県阿賀町の重要文化財五十嵐家住宅の豪雨による地すべり被害の視察

7 月 防衛大学校小林文明博士へ風害（主に竜巻被害）についてヒアリング

2023 年 5 月 5 日 石川県能登地方の地震（最大震度 6 強）発災

これまで不統一だった GLoHB から取り込むデータの項目を整理（GLoHB との親和性を高める）

2024 年 6 月末までに 1 次調査（外観目視）シートが完成

並行して 2024 年 10 月末までに 2 次調査（内部実見および層間変位測定）シートを新規に構築

2024 年 11 月～12 月 28 日に当初予定の 2 次調査を全て完了

年明けに修理概算を見積もるための 3 次調査（技術支援）の実施とシステムへの導入を検討

2024 年 1 月 1 日能登半島地震発災（最大震度 7）：地震被害だけでなく、津波、火災も発生

当初単年度であった本研究の助成期間を 1 年延長する申請 → 採択

2024 年 2 月 15 日 令和 6 年能登半島地震被災建造物復旧支援（文化財ドクター派遣）事業の開始

上記の地震以外の災害（水害、火災）に対応した記載項目を整理して追加

被災調査を進めながら、調査員のフィードバックからシステムを改良

災害調査支援システム（Disaster Survey Support System: DSSS）へ完全移行

プログラマー石上隆達氏の個人管理サーバーから日本建築学会管理の AWS サーバーへ

新システムの構築

様々な災害による被害の視察から建物の被害状況の記録部位は地震被害の項目で対応可能と判断
浸水、地盤（被害性状別）、火災の項目を追記および整理
文化財レスキュー（動産文化財の所在情報）に資する情報記入欄の追加
特記事項（アクセス、駐車場、電波の状況など調査時に留意すべき事項）の記入欄の追加
災害調査システム（DPR）から災害調査支援システム（DSSS）へ

DRP の初期機能	→	DSSS での追加機能
調査員登録	令和七年能登半島地震	全調査対象物件の地図表示
派遣員 ID と証明書の発行		被害状況・程度別の地図表示
調査地域の設定		県、市町毎の調査の進捗状況の表示
GLoHB からの建物情報の取得		3 次調査（技術支援）報告書の PDF 出力
調査計画の提出と承認		調査物件（群）の登録
調査報告書の作成（1 次調査）		調査計画との紐付け＝表紙の作成
すぐに 2 次調査を追加		被害状況調査書（修理費の概算を含む）の作成
一斉メール		+ α（現在検討中）

1 次調査ならびに 2 次調査シートの PDF 生成 → 現在、3 次調査報告書の PDF 出力がほぼ完成

当初は調査対象全物件をプロット → 部位別被害状況の可視化

地図に表示されたピンをクリック → サムネイル画像と物件名を表示 → 1 次・2 次調査シートへリンク
県・市町別調査進行状況のグラフ表示

部位別被害状況の考察と今後の課題

部位別被害状況の地図表示

調査対象全物件

1 次調査全物件 未調査=白、調査完了=赤

2 次調査全物件 未調査=白、調査完了=赤

1 次調査（傾斜） 被害なし=白、確認できず=灰、傾斜あり=赤

1 次調査（浸水） 被害なし=白、確認できず=灰、床下浸水=橙、床上浸水=赤

1 次調査（地盤） 被害なし=白、確認できず=灰、被害あり=赤（液状化、流動、陥没・隆起、亀裂）

1 次調査（火災） 被害なし=白、確認できず=灰、半焼=橙、全焼=赤

1 次調査（基礎、軸部・架構、屋根、壁）

被害なし=白、確認できず=灰、一部損壊=緑、半壊=黄、大規模半壊=橙、全壊=赤

1 次調査（総合判定）

被害なし=白、確認できず=灰、一部損壊=緑、半壊=黄、大規模半壊=橙、全壊=赤、流出・焼失=紫

たとえば、液状化と軸組・架構の被害、壁の被害と軸組・架構の被害の相関を可視化できる

（訂正：図 12 のキャプションは、「屋根の被害」ではなく「壁の被害」）

2024 年 9 月の能登半島豪雨被害により、地震による全壊を免れた物件の多くが 2 次調査前に取り壊し

→ 幾度かの地震被害と耐震補強工事の実例のデータが失われた

むすび

DSSS は紙媒体を使用しない、電子データで完結する次世代型のシステムとして完成した
被災歴史的建造物の調査データが共通のフォーマットで記録され、防災の基礎データとなった
ヘリテージマネージャー等、文化遺産の継承を担う組織から利活用の申請が多く寄せられている
地図表示機能と防災マップ、ハザードマップとの連携が期待されている → 「事前防災」へ