

# 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 <sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> 東京大学 レジリエンス工学研究センター

2025 年 10 月 17 日

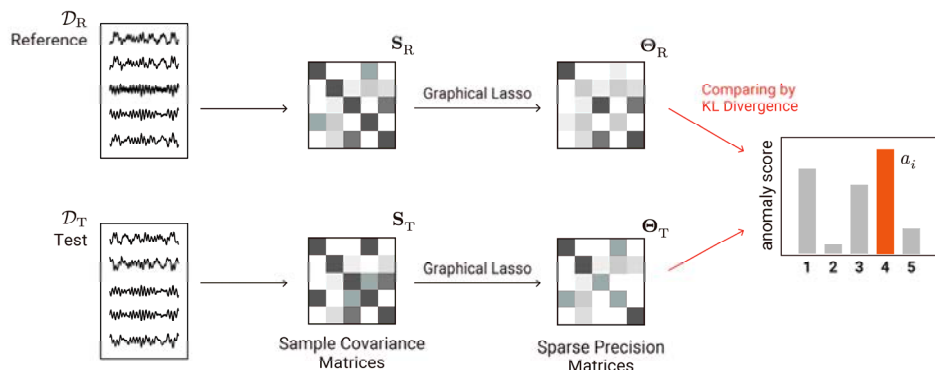


## 研究背景・目的

- ▶ 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。

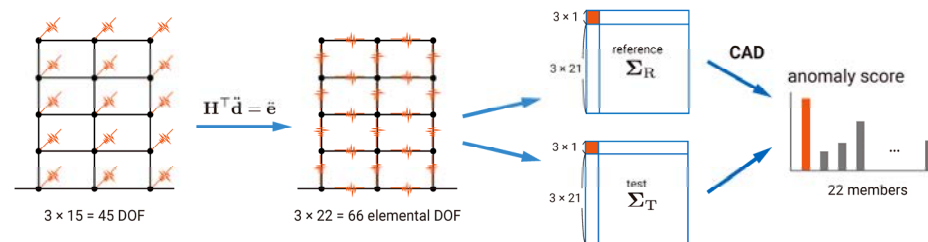
## 先行研究：相関異常検知 / Correlation Anomaly Detection (CAD)

- ▶ 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）。



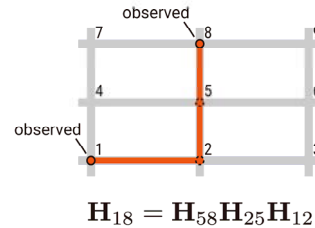
## 相関異常検知の高度化

- ▶ 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。

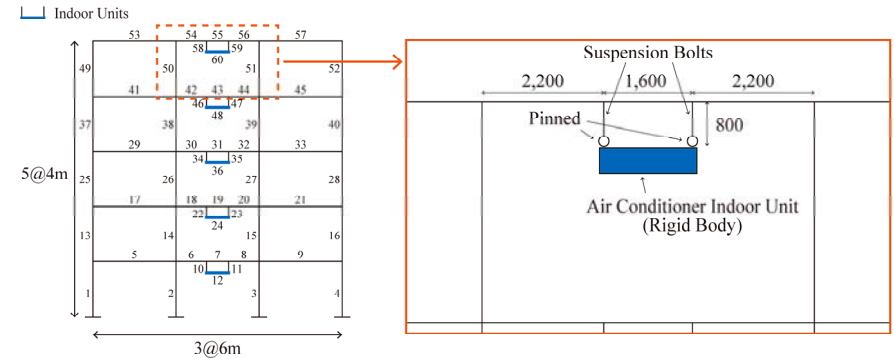
- 平衡行列：二点間の剛体変位を除去し要素変形を抽出。
- 全節点を観測する必要を回避。



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

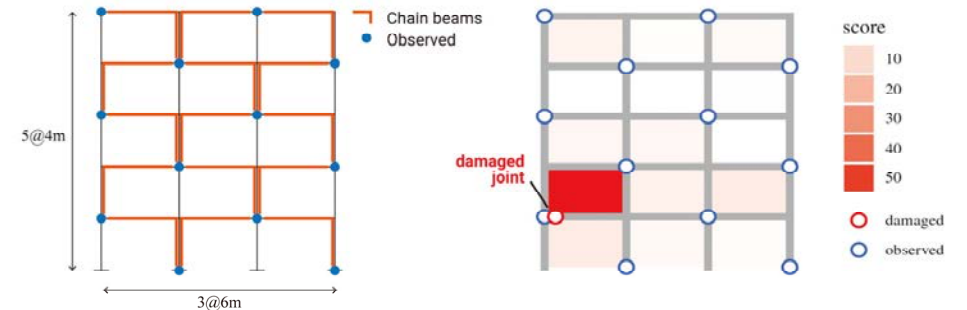
- ▶ 損傷ケース：吊りボルト&梁端の損傷を仮定。
- ▶ 結果：損傷部材+周辺で異常度が卓越。



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！

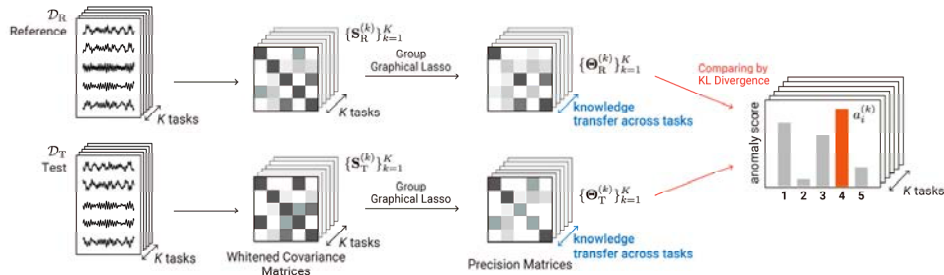


8 / 11

## 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.

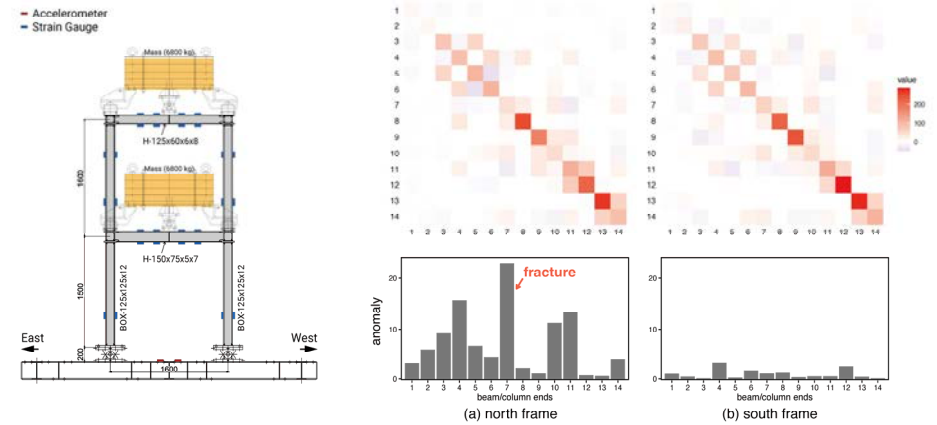
- ▶ 構造物を構面ごとに分解 → マルチタスク学習.
  - 共分散行列のサイズを縮約可能!
- ▶ 提案手法: MTL-CAD
  - タスク間で共分散構造は大きく変化しないことを仮定し, 拘束条件として付与.



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