

## VIII. 計算情報学研究部門

### VIII-1. データ基盤分野

#### 1. メンバー

|       |                                           |
|-------|-------------------------------------------|
| 教授    | 天笠 俊之                                     |
| 准教授   | 塩川 浩昭                                     |
| 助教    | 堀江 和正, Bou Savong (橋本 武彦), Ouyang Tinghui |
| 研究員   | Khalique Vijdan                           |
| 共同研究員 | 北川 博之 (IIIS 教授)                           |
| 学生    | 大学院生 29 名、学類生 5 名、研究生 1 名                 |

#### 2. 概要

計算科学において、大規模データの管理や活用は極めて重要な課題となっている。計算情報学研究部門データ基盤分野は、データ工学関連分野の研究開発を担当している。具体的には、異種データベースや多様な情報源を統合的に扱うための情報統合基盤技術、データ中に埋もれた知識や規則を発見するためのデータマイニング・知識発見技術、インターネット環境においてさまざまなデータを統合的に扱うための RDF・知識ベース・LOD 関連技術等の研究を継続して行っている。また、国際睡眠医科学統合機構 (IIIS) 等との連携を通じて、計算科学の各分野における応用的な研究を推進している。

今年度は外部資金として、科学研究費補助金（基盤研究 (B)、若手研究）、JST 戦略的創造研究推進事業「さきがけ」（令和2年12月～令和7年度）、JST CREST「検証可能なデータエコシステム」（令和4年10月～令和9年度）に加えて、新たに、科学研究費補助金（若手研究）、JST AIP 加速研究（令和5年～令和7年度）、NEDO「ポスト 5G 情報通信システム基盤強化研究開発事業」委託事業（令和5年度～令和9年度）を継続するほか、新たに JST 創発的研究支援事業（令和7年度～令和13年度）が開始された。また、SIP「統合型ヘルスケアシステムの構築」（令和7年度）を獲得した。加えて、従来通り、計算メディカルサイエンス事業をはじめとして、センターの他部門と連携した研究を積極的に推進した。

#### 3. 研究成果

##### [1] 情報統合基盤技術

（関連研究費：科研費 基盤研究 (B)、JST CREST, NEDO）

##### (1) ストリーム処理におけるトレーサビリティ基盤

近年、センサーや IoT 機器等から生成される膨大で多様なストリームデータに対して、即時性の高いリアルタイム分析を行うためにストリーム処理が広く活用されている。生成された分析結果は意思決定をはじめとする様々な目的に活用されるため、分析結果がどのように

導出されたかを説明可能にすることが重要である．これまで分析結果のもとになった入力データを提示するデータ来歴が様々な分野で研究されてきており，ストリーム処理におけるデータ来歴導出も重要な研究トピックである．

既存のストリーム処理における来歴フレームワークは，通常処理の実行時に全ての分析結果に対して来歴情報を追加する処理を併せて行う **Eager** アプローチが基本であったため，通常処理に対するオーバーヘッドが大きく，かつ来歴を必要としない結果に対しても同様の処理を行うという点で課題があった．そこで，本研究では通常のストリーム処理の実行後に来歴が必要と指定された分析結果に対して来歴を後処理によって求める **Lazy** アプローチを提案し，その実装システムである **LPStream** を開発した．これにより，通常ストリーム処理に対するオーバーヘッドを大幅に削減すると同時に，必要な分析結果に対しては来歴を求めることを可能とした．このようなアイデアに基づくストリーム処理に対する来歴導出はこれまでに提案がなく，国際的にも極めて新規性と独自性が高い．

**LPStream** の概念図を図 1 に示す．まず利用者は自分が意図するストリーム処理を記述した **original** ワークフローを用意する．その後，(1) **LPStream** は **original** ワークフローを受け取ると，来歴導出をしない **ordinary** ワークフローと来歴の導出を伴う **provenance** ワークフローの 2 つを自動的に生成

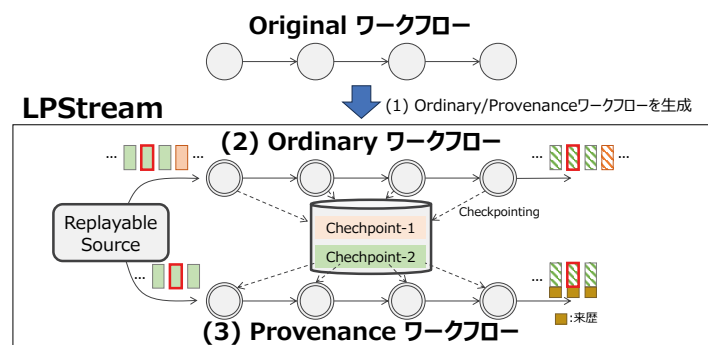


図 1. **LPStream** の概念図

する．(2) 続いて **LPStream** は **ordinary** ワークフローを用いてストリーム処理の通常実行を行うが，その際，ストリーム処理エンジンが障害回復等のために提供するチェックポイントの機能を活用し，定期的に各オペレータ **state** のスナップショットを記録しておく．(3) もし来歴が必要な分析結果が出力された場合は，**LPStream** はその分析結果を再生成するのに適切なチェックポイントから **provenance** ワークフローを実行する．これによって，指定された分析結果の来歴を導出することが可能となる．

**provenance** ワークフローの実行には，入力ストリームを指定した位置からリプレイすることが必要であるが，多くのストリーム処理システムでは障害回復のために **Apache Kafka** のような **Replayable Source** システムを用いているため実現可能である．また，**provenance** ワークフローの実行は **ordinary** ワークフローのバックグラウンドで行われるため，通常のストリーム処理を実行する **ordinary** ワークフローは大きなオーバーヘッドなしに実行可能である．本研究では，上記のアイデアに基づき **LPStream** のプロトタイプシステムを **Flink** 上に実装した．

また、来歴を導出する **provenance** ワークフローには、**Eager** アプローチの **state-of-the-art** である **GeneaLog** を使用している。

実験では、3つの人工データセットと4つのベンチマークデータセットを組み合わせた16クエリを用いた評価を行った。評価ではスループット、レイテンシ、来歴導出時間の3つのメトリクスを使用した。まずスループットの結果を表1に示す。**Base/Gen/Ord/Prov** は、**original** ワークフロー/**GeneaLog** ワークフロー/**ordinary** ワークフロー/**provenance** ワークフローの性能をそれぞれ表している。また **Base** 以外の手法には、**Base** と比較した際の性能の減少率をカッコ内に示している。表から **Base**  $\geq$  **Ord**  $>$  **Gen**  $\geq$  **Prov** という結果が示されており、提案手法でストリーム処理の通常実行を行う **ordinary** ワークフローは、**Eager** アプローチの **GeneaLog** と比較してオーバーヘッドを大幅に削減できることが示されている。次にレイテンシの実験では、特に **aggregation** や **join** といった **window** 処理を伴わない計算コストの小さいストリーム処理の場合、**Eager** に来歴を導出する **Gen** と **Prov** のレイテンシは **Base** や **Ord** と比較して増加する結果となった。一方で、**window** 処理を伴う計算コストの大きいストリーム処理の場合は **Eager** に来歴を導出することによるレイテンシは必ずしも増加しなかった。これは元のストリーム処理のレイテンシが大きくなるほど、来歴導出によるオーバーヘッドが相対的に小さくなるためであると考えられる。最後に **LPStream** の来歴導出時間の測定では、全てのクエリにおいて数十秒程度の時間で指定された分析結果の来歴が導出されることを確認し、本システムが実用的な時間で来歴導出できることを検証した。

**表 1. スループット** [ $10^5$  tupels/sec]. **Base**, **Gen**, **Ord**, **Prov** はそれぞれ **Baseline**, **GeneaLog**, **Ordinary**, **Provenance** を表す。

|           | <b>Base.</b> | <b>Gen.</b>     | <b>Ord.</b>   | <b>Prov.</b> |
|-----------|--------------|-----------------|---------------|--------------|
| LR        | 10.8         | 8.3 (-23%)      | 9.9 (-8%)     | 7.3 (-32%)   |
| SynA(10)  | 14.0         | 10.7 (-24%)     | 13.2 (-6%)    | 9.2 (-34%)   |
| SynA(100) | 10.2         | 8.0 (-22%)      | 9.6 (-6%)     | 6.8 (-33%)   |
| SynA(400) | $\geq 5$     | $\geq 4$ (-20%) | $\geq 5$ (0%) | 3.8 (-24%)   |
| Nex.      | 3.1          | 1.7 (-45%)      | 2.3 (-26%)    | 1.4 (-55%)   |
| Nex.2     | 2.9          | 1.6 (-45%)      | 2.2 (-24%)    | 1.3 (-55%)   |
| NYC       | $\geq 13$    | 8.9 (-32%)      | 10.5(-19%)    | 7.1 (-45%)   |
| NYC2      | $\geq 13$    | 2.9 (-78%)      | 10.6(-18%)    | 2.7 (-79%)   |
| YSB       | $\geq 6$     | 5.3 (-12%)      | $\geq 6$ (0%) | 4.1 (-32%)   |
| YSB2      | $\geq 6$     | 1.6 (-73%)      | $\geq 6$ (0%) | 1.4 (-77%)   |
| SynB(10)  | 1.3          | 0.9 (-31%)      | 1.2 (-8%)     | 0.8 (-38%)   |
| SynB(100) | 1.0          | 0.7 (-30%)      | 1.0 (0%)      | 0.6 (-40%)   |
| SynB(400) | 0.6          | 0.4 (-33%)      | 0.6 (0%)      | 0.4 (-33%)   |
| SynC(10)  | 16.1         | 2.2 (-86%)      | 7.1 (-56%)    | 1.4 (-91%)   |
| SynC(100) | 9.0          | 1.7 (-81%)      | 5.4 (-40%)    | 1.2 (-87%)   |
| SynC(400) | 4.1          | 0.3 (-93%)      | 3.1 (-24%)    | 0.3 (-93%)   |

## [2] データマイニング・知識発見技術

(関連研究費：JST 創発，JST AIP 加速研究，科研費 若手研究)

### (1) 相関部分グラフ検索の高速化と創薬分野への応用

本研究では大規模グラフデータベースを対象とした部分グラフ検索の高速化手法 Corgi を開発した。AI 技術の進展に伴い、医薬品開発においても大規模な分子データベースを活用した AI ベースの探索手法が注目されている。特に、化学分子をグラフとして表現し、ある分子と高い相関を持つ他の分子構造を見つけ出す相関部分グラフ検索 (CSS: Correlated Subgraph Search) は、薬効を持つ分子の特定において重要な役割を果たしている。しかし、CSS はその性質上、グラフ内の全ての部分グラフの組み合わせを調べる必要があり、候補数が指数関数的に増加するため、計算コストが極めて高いという深刻な課題を抱えている。特に、実際のデータベースには 10 万以上の分子が含まれる場合もあり、既存手法では数週間から数か月を要することもある。このような背景から、より効率的かつ精度を損なわない CSS 手法の需要が高まっている。

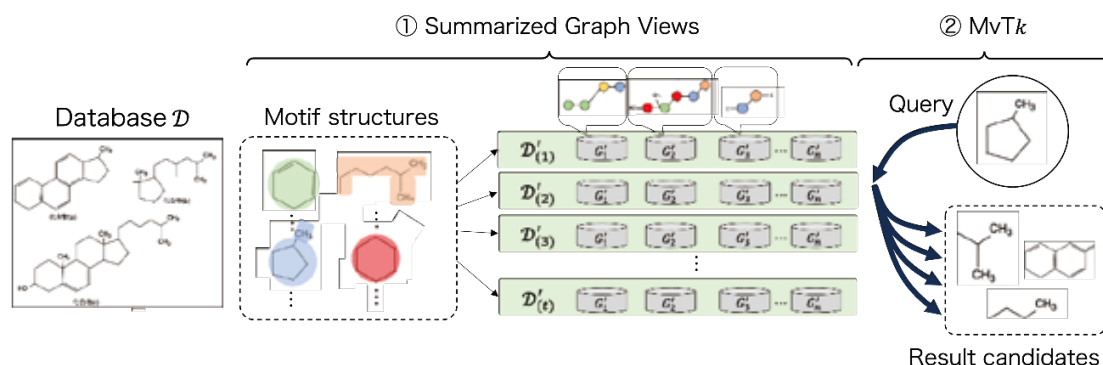


図 1. Corgi の概要: Corgi は①Summarized Graph Views と②Multi-viewed Top- $k$  Search (MvTk) から構成される。①ではデータベース  $D$  に内在する基調構造を利用して  $t$  種類の要約データベースを構築する。②では  $t$  種類の要約データベースに対して問合せ処理を行うことで、高速性と検索精度の向上を図る。

本研究では、CSS の高コスト問題を解決するための新たなフレームワークである Corgi を提案した。Corgi は、データベース内の冗長な部分構造を動的に排除しながらも、Top- $k$  件の検索精度を保証することができる。図 1 に示すように Corgi は次の 2 段階の戦略を採用している。第一に、Summarized graph view) の導入によって、類似した基調構造を多数含むグラフ群を抽象化し、共有された構造を効果的にまとめることで、探索すべきグラフのサイズと数を大幅に削減する。この要約処理は、データベース内のノード対の折りたたみ操作を通じて実現される。第二に、Multi-viewed Top- $k$  search を導入し、複数の要約ビューにまたがって部分グラフ探索を行うことで、偽陽性および偽陰性を防ぎつつ、高い検

索精度を担保する．さらに，検索結果候補となる部分グラフは元の構造に展開され，最終的な精査が行われることにより，正確な結果を保証している．これらの設計により，Corgi は従来法に比べてはるかに少ない計算量で正確な検索を行うことができる．

本研究では Corgi の有効性を 12 の公開分子データセットを用いた実験によって検証した．まず，効率性の面では，Corgi は既存の最先端手法と比較して最大で 48.6 倍高速であることが確認された．例えば，数万件規模の分子データベースにおいて，既存の手法が検索に 7200 秒以上の処理を要するのに対して，Corgi はわずか 15.5 秒で処理を完了した．検索精度においては，Corgi が出力する Top- $k$  部分グラフの精度が  $1 - \epsilon$ （本研究では  $\epsilon = 0.05$ ）を下回らないことが，理論的にも実験的にも確認された．実際に，全てのケースにおいて 95% 以上の精度が得られており，Corgi は高精度かつ信頼性の高い探索を実現している．加えて，Corgi は空間効率にも優れており，他の手法と比較して最大 198 倍少ないメモリで同等以上の性能を達成している．最後に，実応用の可能性を示すために行われたケーススタディでは，Corgi を用いて ADORA2A を活性化する化合物の探索が行われた．その結果，Corgi はわずか数十秒で 50 個中 43 個の正しい化合物を特定することに成功した．本研究の成果は難関国際会議 IJCAI2024 に採択された．

## (2) グラフ要約を活用したグラフ処理プリミティブの高速化

本研究では 2023 年度に我々が開発したグラフ要約手法 HYBRID を基盤とし，要約グラフ上で精度を損なうことなく高速にプリミティブなグラフ分析処理を行う手法の開発した．グラフ要約とは，ノードやエッジを集約し，スーパーノード・スーパーエッジによってグラフを圧縮する手法である．SWeG や UDS, SCL, HYBRID といった要約手法が提案されているが，その多くは空間効率に重きを置き，グラフ要約後のアルゴリズムの計算時間短縮については十分に検討されてこなかった．また，三角形カウント (TC) や単一起点最短経路 (SSSP) といったプリミティブなグラフ処理においても，要約グラフ上での高速処理を可能にする技術は未発展であった．

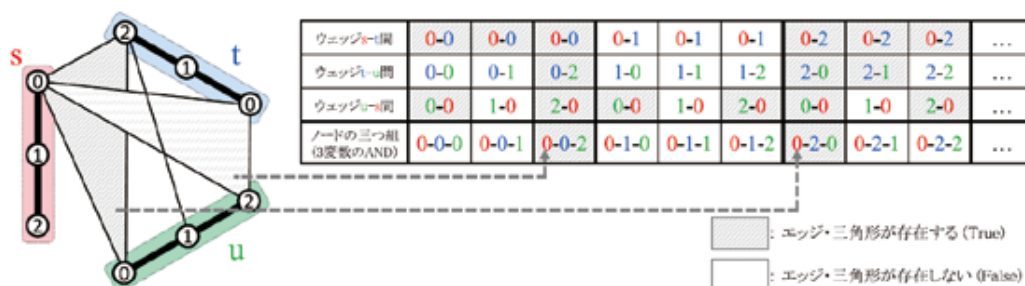


図2. 27ビット拡張 BLEW の例: 表の最下部に記載されたノードの三組に対して論理 AND を実行することで，三角形の有無を判定することができる．

本研究では、グラフ分析において基本となるプリミティブな処理である TC および SSSP に対して、要約グラフ上で直接高速に実行可能なアルゴリズムを提案した。我々が 2023 年度に開発したグラフ要約では、ウェッジと呼ばれる基調構造を基本単位としたスーパーノード・スーパーエッジ集合を用いて要約データ構造を構築する。各ウェッジは BLEW という 9 ビットのビット列により、スーパーノード間の接続情報を損なわずに圧縮表現する。TC では三角形を構成するノードがウェッジにまたがるパターンを考慮し、それぞれに応じた高速なビット演算による計数手法を設計した。特に 3 ウェッジ間の三角形数に関しては、27 ビット拡張 BLEW (図 2) を提案し、これにより全ての三角形パターンを一括で検出し、 $O(|P|^{1.5})$  時間で TC を実行できることを示した。 ( $|P|$  は要約グラフのサイズである。) SSSP では、各ウェッジに対して 3 ノード間の最短距離をタプル形式で保持し、BLEW に基づく事前計算済み距離テーブルを用いて、全体の探索効率を大幅に向上させた。いずれの手法も要約グラフ上での操作のみで正確な解析結果を得ることを可能にしており、グラフ処理のために要約グラフを展開する必要がない。

本研究の主要な貢献はグラフ要約を用いて TC と SSSP の精度を損なうことなく計算時間の大幅な削減を達成した点にある。TC においては、従来のアルゴリズムと比較して最大約 4.5 倍の高速化を達成した。SSSP では最先端手法と比較して約 1.6 倍の高速化を実現した。また、いずれの処理プリミティブにおいても、本手法は理論的に正確な結果を返すことが定理により保証されており、近似処理ではない点で既存の近似要約法に対する優位性がある。

### (3) DISTINCT 句を含むグラフパターンマッチングの高速化

本研究ではプロパティグラフに対するグラフパターンマッチング問合せを高速化する手法を開発した。プロパティグラフは、頂点および辺に対してラベルやプロパティを付与することで、よりリッチな情報を表現することが可能である。このような構造を持つデータベースに対して、パターンに一致する部分グラフを検索するグラフパターンマッチングが基本的な問合せとして用いられており、特にプロパティを指定した問合せが多用される現場においては、DISTINCT 句によって重複のない割り当て結果を抽出することが重要となる。しかしながら、従来のアルゴリズムはこの DISTINCT 句を考慮しておらず、結果として無駄な部分グラフの列挙が多数行われ、膨大な処理時間を要するという課題がある。

本研究では、Worst-case Optimal Join (WCJ) に基づく既存のグラフパターンマッチング手法を拡張し、DISTINCT 句を含む問合せに対して不要な探索を打ち切ることで処理時間を劇的に短縮する新しいアルゴリズムを提案した。WCJ は、AGM 境界に基づき、問合せの理論上の最悪ケースにおいても最適な計算時間を保証する手法であるが、DISTINCT 句に対しては全ての一致パターンを列挙した後に重複除去を行うため、大量の中間結果が生じる問題を抱えている。提案手法ではこの点を克服するために、探索の打ち切り機構と実行計画の最適化と

いう二つのアプローチを導入した．探索の打ち切りでは，グラフパターン中で出力対象となる頂点集合 (VD) とその先祖集合からなるコア集合 (C) を定義し，VD の割り当てが更新された際には，その割り当てが既に結果集合に存在するかを判定し，重複する場合には後続の探索を打ち切る．実行計画の最適化では，探索順序によって処理時間が大きく変動することに着目し，総割当数を指標とした探索順序の最適化を行う．各頂点の割り当て数の推定には，エッジやラベルに基づく事前統計情報と平均選択率を用いた近似的なコスト推定手法を用いる．これらの技術を組み込んだ提案アルゴリズムは，既存の WCOJ アルゴリズムをベースとしつつも，DISTINCT 句の特性に最適化されており，冗長な探索を行うことなく問合せ結果を取得することが可能となっている．

本研究の主たる貢献は，DISTINCT 句を含むグラフパターンマッチングの問合せにおいて，理論的な正確性を保ちつつも実行時間を大幅に短縮した点にある．実験では，Epinions, Amazon, Google, および LDBC という 4 種のプロパティグラフを用いて，提案手法と既存の代表的な WCOJ 手法である LFTJ および CTJ との比較を行った．その結果，提案手法は平均して LFTJ に対して 302 倍，CTJ に対して 121 倍高速であることが確認された (図 3)．特に，Epinions や Amazon といった現実のソーシャルグラフにおいては，冗長な部分グラフの列挙が著しく抑制されたことが高速化の主要因となっている．また，選択演算を含む問合せに対する性能評価においても，提案手法はその有効性を示した．選択率が高い条件を含む問合せ Q1 に対して，従来の LFTJ が 10273.178 ミリ秒を要するのに対し，提案手法はわずか 52.329 ミリ秒で処理を完了した．同様に，CTJ の処理時間が 5124.642 ミリ秒であるのに対し，提案手法は約 99% の短縮を実現した．

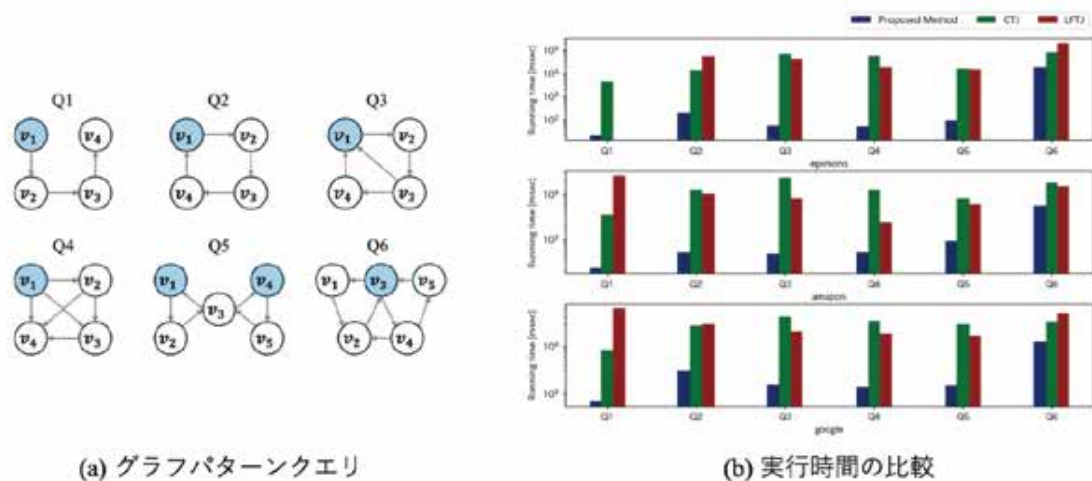


図 3. グラフパターンマッチング問合せの実行時間の比較：本実験では(a)に示した Q1～Q6 のグラフパターンクエリに対して DISTINCT 句を付けた場合の問合せ処理時間を比較した．(b)のように提案手法 (Proposed Method)は既存手法を大きく上回る計算性能を示した．

#### (4) O(1)-Time Complexity for Fixed Sliding-window Aggregation over Out-of-order Data Streams

スライディング ウィンドウ集約は、データ ストリーム処理と分析における中核操作の 1 つだが、データ ストリームからの順序付けられていないイベントや要素によって深刻な問題が生じる。順序付けられていないストリームまたは順序が乱れたデータ ストリームには、タイムスタンプに基づく順序（イベント時間と呼ばれる）がシステムへの到着時間に基づく順序（取り込み時間と呼ばれる）と異なるイベントが含まれる。順序どおりでないデータ ストリームは、通常、ネットワークの中断や遅延など、さまざまな要因により分散環境で発生する。順序が乱れたデータ ストリームは処理速度を大幅に低下させるが、順序が乱れたストリームを処理できる既存の作業ではこの問題が適切に解決されておらず、さらに改善の余地がある。既存のアプローチの時間計算量は、ウィンドウ内のスライドの数である  $n$  に依存するため、効率的ではない。さらに、遅れて到着したレコードによって影響を受ける過去のウィンドウは無視される。多くのアプリケーションでは、遅れて到着したレコードによって影響を受けた過去のウィンドウの結果をリアルタイムで更新して報告することが強く求められている。2つの解決策を提案する：（1）最大許容遅延ベースのインデックスアルゴリズム（CMiX）は、現在のウィンドウを計算するための定数時間計算量を持つ、と（2）過去のウィンドウを効率的に更新するための過去ウィンドウインデックスアルゴリズム（PWIX）だ。実験結果から、CMiX と PWIX は、他の既存のアプローチよりも順序どおりでないデータ ストリームをはるかにうまく処理できることがわかっている。CMiX は、メモリ使用量を大幅に削減することで、最先端のアプローチよりも約 3.21 倍高速だ。

| Algori.  | Needed time: Avg. # of primitive operations |                                                     |           |                                                     | Needed space                    |                                                                                                   |
|----------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | $p \leq \beta * n$ ( $0 < \beta < 1$ )      |                                                     | Otherwise |                                                     | Big O                           | Detail                                                                                            |
| Bclassic | log(n)                                      | $(q+1) * \log(n)$                                   | log(n)    | $(q+1) * \log(n)$                                   | $2^{\lceil \log(n) \rceil + 1}$ | $2^{\lceil \log(n) \rceil + 1}$                                                                   |
| FlatFAT  | log(n)                                      | $(q+1) * \log(n)$                                   | log(n)    | $(q+1) * \log(n)$                                   | $2^{\lceil \log(n) \rceil + 1}$ | $2^{\lceil \log(n) \rceil + 1}$                                                                   |
| FiBA     | log(n)                                      | $(q+1) * \log(\frac{n+2}{4})$                       | log(n)    | $(q+1) * \log(\frac{n+2}{4})$                       | $2^{\lceil \log(n) \rceil + 1}$ | $2^{\lceil \log(n) \rceil + 1}$                                                                   |
| CPiX     | log(n)                                      | $(q1+1) * \log(\lceil \frac{n}{k} \rceil) + 3 * q2$ | log(n)    | $(q1+1) * \log(\lceil \frac{n}{k} \rceil) + 3 * q2$ | $2^{\lceil \log(n) \rceil + 1}$ | $(n - \lceil \frac{n}{k} \rceil) + k + 1 + 2^{\lceil \log(\lceil \frac{n}{k} \rceil) \rceil + 1}$ |
| CMiX     | 1                                           | $9 + 3q + \frac{1}{2(n-p)} * (\frac{n}{n-p} + 1)$   | n         | $9 + 3q + \frac{1}{2(n-p)} * (\frac{n}{n-p} + 1)$   | n                               | n                                                                                                 |

Note:  $q = q1 + q2$ .

図 4. 既存手法と提案手法 CMiX の計算量

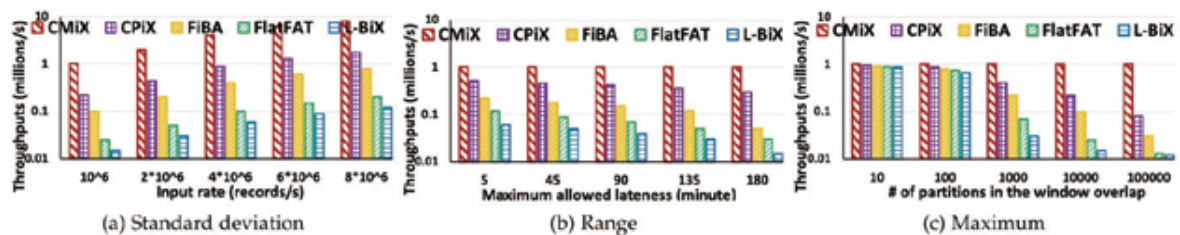


図 5. DEBS12 データセット：提案手法と既存手法のスループット（百万レコード/秒）

### [3] RDF・知識ベース・LOD

(関連研究費: 科研費 基盤研究(B), JST CREST, NEDO)

#### (1) エンティティリンキングの不確実性を表現可能な知識ベースと外部情報源の統合モデル

人々の保有する様々な知識を体系的に利用するための枠組みとして、RDF形式の知識ベース(KB)と問合せ言語 SPARQL の利用環境が構築されてきた。しかし、知識の全てが RDF 形式の知識ベースに集積されているわけではない。例えば、気象情報や交通機関の運行情報といった即時性が重要な情報は静的な集積という形式はそぐわない。また、専門的な知識などを提供する知識ベース以外の情報源も多い。これらの情報を有効活用するためには、知識ベースと非知識ベースの外部情報源の連携利用が重要となる。しかしながら、外部情報源は、独自のアクセス方法やさまざまな形式のデータを有す。また、知識ベースと外部情報源の情報を統合するには、外部情報源のオブジェクトに対応する知識ベース中のエンティティを特定するエンティティリンキングが必要である。

そこで我々は、外部情報源にアクセスしつつも、利用者から見るとあたかも知識ベースの一部として問合せを行える統合環境である Knowledge Mediator を提案した。これは、もともと知識ベース内に存在する述語に加えて、SPARQL の Magic Property を利用し、外部情報源アクセスやエンティティリンキングのための関数を有する外部情報源述語(External Source Predicate: ESP)を定義するものである。これによって、利用者は知識ベースと外部情報源を統合した拡張された知識ベースが仮想的に存在するものとして、問合せを行うことが可能となる。また、拡張知識ベースに対する問合せを評価するための問合せ処理アルゴリズムを設計した。

しかしながら、一般に、エンティティリンキングは曖昧性を持つ。例えば、外部情報源の“府中市”に対応する知識ベースのエンティティとして、東京都府中市、広島県府中市等が考えられる。どちらのエンティティががより適切かは問合せ内容に依存し、最適エンティティを自動的に決定することが容易でない場合も多い。そのような場合、エンティティリンキングにおいて単一のエンティティを決定するのではなく、複数の候補エンティティに確からしさのランク値を付けてランキングし、最終的に利用者が最も適切なエンティティを選択できるようにすることが考えられる。

本提案の情報統合環境においても、利用者がエンティティリンキングの曖昧性を把握し適切な問合せ結果を求められるようにするための配慮が望まれる。

表 1. L-Relation の例

| ?x        | ?y                    | Lineage                                 |
|-----------|-----------------------|-----------------------------------------|
| dbr:Chōfu | dbr:Fuchū, _Tokyo     | (esp:AdminDivNext, dbr:Chōfu, Fuchū, 0) |
| dbr:Chōfu | dbr:Fuchū, _Hiroshima | (esp:AdminDivNext, dbr:Chōfu, Fuchū, 1) |
| dbr:Chōfu | dbr:Komae, _Tokyo     | (esp:AdminDivNext, dbr:Chōfu, Komae, 0) |

そこで、エンティティリンキングの曖昧性を考慮したデータモデル・問合せ処理の拡張を行った。具体的には、エンティティリンキングにおいて一つのエンティティのみではなく、複数候補エンティティとそのランク値を表現できるようにデータモデルを拡張した。拡張データモデルでは L-Relation を用いてデータを表す。L-Relation は、ESP を評価した際のエンティティリンキングに関する付加情報を保持する Lineage を追加したリレーションである。Lineage には ESP の IRI、主語エンティティ、外部情報源オブジェクト、ランク値が格納される。表 1 の最初の 2 タプルに注目すると、これらは外部情報源オブジェクト“府中市”に対するエンティティリンキングにおいて、東京都府中市エンティティがランク値 0（最上位ランク）、広島県府中市がランク値 1 で選択された結果得られたことが示されている。さらに、L-Relation を対象としたリレーショナル演算を定義し、エンティティリンキングのランク値情報を保持した問合せ結果を生成する問合せ処理アルゴリズムを設計した。問合せ結果中の各タプルは、確からしさのランク値を保持することとなる。

異なるランク値をもつタプルが問合せ結果に混在する場合、一般には、一定のランク閾値 (MaxRank) 以下の確からしさを有するタプルのみを取得したいというニーズが多いことが想定される。その際、全てのランク値をもつタプルを含む問合せ結果を求めた後に、MaxRank 以下のランク値をもつタプルだけを選択するというナイーブな問合せ処理は無駄が多い。そこで、MaxRank が指定された際、最終的な問合せ結果に寄与する可能性のない大きなランク値をもつタプルを問合せ処理から早期に除外し、外部情報源へのアクセス回数の削減につながるような改良問合せ処理方式も併せて設計した。

エンティティリンキングの曖昧性を考慮することの有用性を評価するため、提案手法のプロトタイプを実装し、MaxRank を変化させた際の問合せ結果の Recall, Precision, F1 の変化を確認した。図 1 は、MaxRank の変化による各スコアの変化を示したものである。この結果、曖昧性を許容しない以前の手法に比べると、問合せ結果により幅をもたせることで、正解となるタプルを発見する能力が向上することが確認できる。また、図 2 は、ナイーブ問合せ処理 (No Pruning) と改良問合せ処理での外部情報源アクセス回数の比較である。改良問合せ処理では、MaxRank を用いた枝刈りにより、外部情報源へのアクセス回数を抑止できることが分かる。

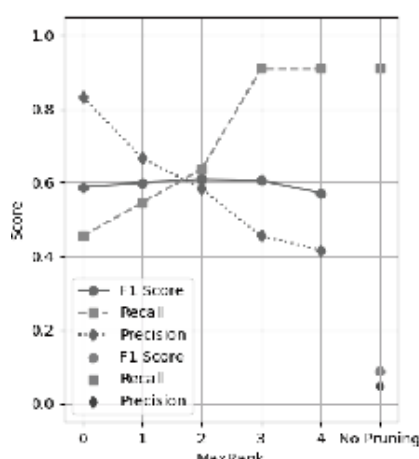


図 1. MaxRank と問合せ結果の変化

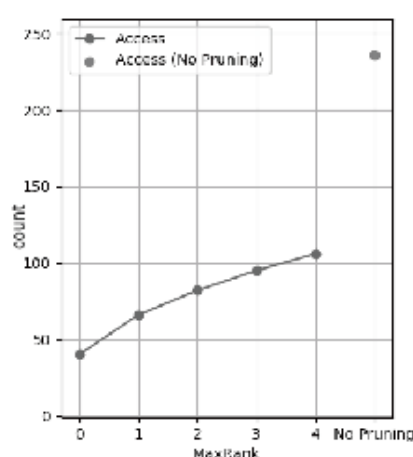


図 2. 外部情報源アクセス回数

## (2) フォグ環境におけるコストベースの RDF 推論処理負荷分散手法

IoT やサイバーフィジカルシステム (CPS) の普及に伴い、センサーネットワーク等から取得されるリアルタイムデータに対して、知識ベースを利用した意味的な処理を行うニーズが増している。具体的には、エッジやフォグなど、末端に近いノードにおいて、センサーから取得した生データに対して、機械学習などを利用して高次の情報を付与した上で、RDF などの形式で送信を行う。一方で、このような処理では一部のノードに負荷が偏る場合があり、これらの負荷を路側機やクラウドなどを利用して均衡化することで性能を向上することが期待される。

このため本研究では、クラウド、路側機がある分散知識ベースにおける動的負荷分散手法を開発した (図 3)。システムは、クラウドサーバと複数のフォグノード、各フォグノードに関連づけられた複数のエッジノードから構成される。エッジで取得されたデータはフォグノードで集約された上で、クラウドに送信される。フォグとクラウドには RDF 推論器と推論に利用される知識ベースが搭載されるとともに、推論規則のアウトソーシングを判断するための推論ルール分散器が搭載される。本システムでは、基本的にルールベースの RDF 推論を適用することとしており、フォグでの負荷が一定水準を超えた場合にはクラウドの負荷を分散することで性能を維持する。

提案手法では、動的な負荷分散を実現するために、ネットワークおよび CPU の負荷状況を考慮したコストモデルを提案している。さらに、このコストモデルの最適化が整数計画問題に帰着できることを示し、RDF 推論規則の特性を考慮したヒューリスティックなアルゴリズムを提案した。実験による評価を行い、提案手法が各ノードの付加状況やネットワーク状況を踏まえ、適切に負荷をオフロードし性能を向上できることが確認された。

この成果は、査読付き国際会議 ACM SAC2024 に採択された。

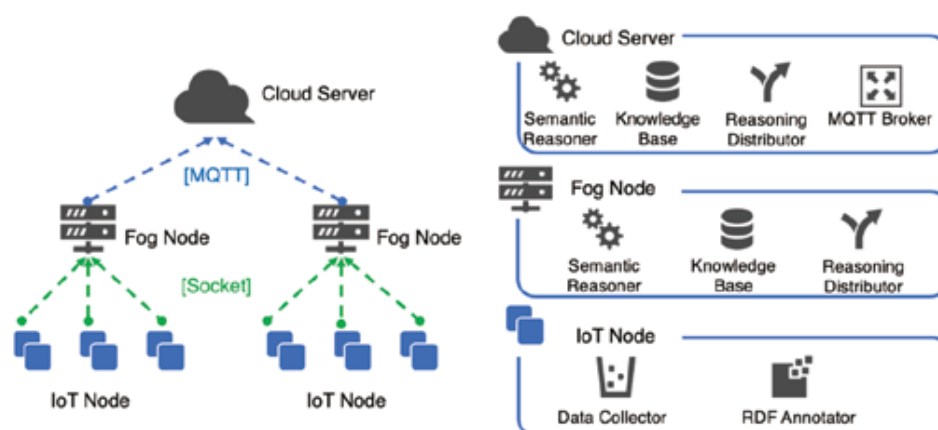


図 3. RDFf 推論におけるコストベースの負荷分散

### (3) テキストの類似度を考慮した類似部分木検索

本論文は、木構造データを対象とした類似部分木検索問題を提案している。例えば、JSON, HTML, XML などがその代表例である。与えられたターゲット木  $D$  と問合せ木  $Q$  に対して、 $Q$  に類似する  $D$  内のすべての部分木を全て列挙する問題を類似部分木検索問題(図 4)といい、データ間の複製検知や剽窃検出など、幅広い応用を持つ。既存の先行研究では、木構造間の類似度を木編集距離 (TED) に基づいて評価している。TED は、一方の木をもう一方の木に変換するために必要なノードの編集操作 (挿入, 削除, 名前変更) の最小回数と定義される。部分木類似度検索の手法は、木全体を走査するスキャンベースの手法と、索引構造を用いる索引ベースの手法に分類される。これらの手法は、まずフィルタリングによって候補を絞り込み、その後 TED を計算して候補を検証する「フィルタリングと検証」のアプローチを採用している。

既存の手法は、リーフに存在するテキスト情報に対しても、マッチするか否かの完全一致しか考慮しておらず、テキストの類似性は考慮されていない。さらに、問合せ木と候補部分木のノード数の違いに基づいて候補を抽出するため、問合せと類似した構造を持つ部分木が多い場合、候補の絞り込みがうまく働かず、多くの候補に対して TED を計算することになり、処理効率が悪くなる点。TED の計算コストが木のノード数に対して 3 乗オーダーであるため、大規模な木の効率的な検索が困難である。

これらの課題を解決するため、木の構造とテキストの類似度の両方に基づいて部分木類似度検索を行う新しい手法を提案した。提案手法は、構造類似度に加えてテキストの類似度を考慮し、問合せ木に加えて、構造類似度とテキスト類似度のバランスをパラメタとして受け取る。提案手法はスキャンベースのアプローチを取り、データ木から候補部分木を抽出しながら、マッチする部分木を探索する。このとき以下のフィルタリングを行うことで、高コストな TED の計算回数を削減している: 1) テキスト類似度, 2) TED の上限値, 3) TED の下限

値. 実験により, 提案手法が既存のスキャンベース手法を速度で上回り, 索引ベース手法と同等の性能を発揮することを示している.

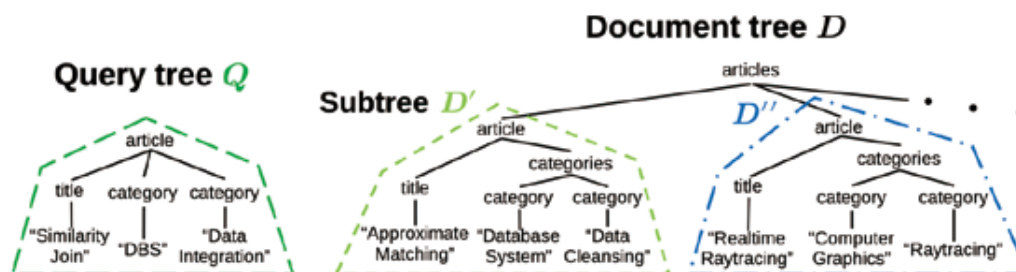


図 4. 類似部分木検索

#### (4) 更新履歴を用いた知識グラフにおける更新エンティティの推定

近年, 知識グラフ (KG) の需要が高まっている. KG は, ヘッドエンティティ, 関係, テールエンティティからなるトリプルの集合として, エンティティとその関係に関する一般的な知識を表現するものだ. これらは, データ統合, 顧客関係管理, 質問応答など, さまざまなタスクで利用されており, 機械学習タスクにおける有用な情報源ともなっている. KG は普及が進む一方で, いくつかの課題も抱えている. その一つは, KG が常に不完全である点である. 対象ドメインの変化に対応するためには, 情報の追加, 削除, 更新といった継続的なメンテナンスが必要となる. また, 入力の不完全性から, 関係予測によって欠落した関係を補完する必要がある場合もある.

これらの課題に対処するため, これまで様々な研究が行われてきた. KG に新しい情報を自動で追加する研究としては, Web ドキュメントなどの非構造化データから新しいトリプルを抽出する OpenIE や, 関連エンティティを特定するエンティティ認識がある. また, 欠落したトリプルを補完する研究としては, KG 補完に関する多くの研究が行われている. しかし, これらの技術が提案されていても, KG のメンテナンスは依然として人間の介入に大きく依存しているのが現状である. KG は数百万ものエンティティを含む可能性があるため, 人間によるメンテナンスを完璧に行うのは困難である.

本研究で提案する手法は, 現実世界における変化が, KG において一連の相関する編集操作として伝播するという観察に基づいている. すなわち, あるエンティティが更新されると, その近傍のエンティティも間もなく更新される可能性が高いという点に着目した. 例えば, 日本の首相が変更された場合, その個人の特性や関連するエンティティ (例: 内閣のメンバー) にさらなる更新が引き起こされる可能性がある. 提案手法では, エンティティ間の関係 (リンク) に沿った変更の伝播に着目し, 関係タイプによって変更が伝播する可能性が異なることを考慮する. また, KG 内のエンティティタイプ (概念エンティティとインスタンスエ

ンティティ)の違いも考慮に入れる。過去のKGの編集履歴を利用することで、これらの変更伝播の可能性を推定し、更新が必要なエンティティを予測する。

Dbpedia データセットから作成した知識グラフと編集履歴を用いて、提案手法の有効性を検証した。その結果、一定の精度で更新エンティティの推定ができることを確認するとともに、異なる手法ごとに検出されるエンティティの重複が少なかったことから、複数の手法を組みわせることで、より精度の高い検出が可能ということが判明した。

#### [4] データベース応用・データサイエンス

##### (1) 自己教師有り学習を用いた睡眠ステージ自動判定モデルの構築

睡眠ステージ判定は睡眠の分析や診断において重要な役割を果たしている。睡眠ステージ判定とは、脳波等の睡眠データをエポックと呼ぶ小区間（通常 30 秒長程度）に区分し、各エポックに対して該当するステージラベル（覚醒（W）、レム睡眠（R）、ノンレム睡眠（N1～N3））を割り当てることである。長い間専門技師によるステージ判定が行われてきたが、近年、深層学習を用いた自動睡眠ステージ判定モデルが数多く提案されている。現在主流のモデル学習手法は、専門家が正解ラベル付けした大量の睡眠データを用いてモデルの学習を行う教師有り学習である。睡眠データ分析では、一般に、睡眠計測デバイス、被験者特性等に伴うデータ特性の違いにより、対象データに対応して異なるモデルを構築し判定に用いることが通常必要となる。しかし、正解ラベル付け作業は高い専門性と多くの労力を必要とすることから、各モデル毎に正解ラベル付けデータを大量に用意することは容易でない。また、覚醒検出、レム睡眠検出等、他の睡眠データ分析に対する機械学習モデルの適用も進められており、対象データや分析目的ごとに大量の正解データを必要とすることは、睡眠データ分析自動化の大きなネックとなる。

これらの問題に対応するため、本研究では、対照学習（Contrastive Learning）と呼ばれる自己教師有り学習手法を自動睡眠ステージ判定モデルの構築に適用した。対照学習では、最初に正解ラベルのない大量のデータを用いて事前学習を行う。次に、事前学習モデルを目的タスク向けに拡張したモデルを作成し、少量の目的タスク向け正解ラベル付きデータでファインチューニングすることでモデルを構築する。この方法では、正解ラベル付きデータの量を大幅に削減可能であり、上記問題への対応策となることが期待される。本研究では3チャンネルの家庭用脳波計データを対象する自動睡眠ステージ判定モデル構築に対照学習を適用し、その有効性を検証した。多チャンネルデータや家庭用脳波計を対象としたこのような研究は、世界的にもこれまで行われていない。検証の結果、対照学習による事前学習により、従来の教師有り学習よりもはるかに少ない分量の正解ラベル付きデータを用いて、優れた判定性能のモデルを実現可能であることが確認できた。

図1は、単一チャンネルに対する対照学習のプロセスを示す。脳波データに対して2種類の異なるデータ拡張を適用し、同一エポックの入力同士は近い表現、異なるエポック同士は異なる表現を出力するという表現学習により特徴抽出モジュールの事前学習を行う。この事前学習は学習データは必要ではあるが、正解レベルは不要である。本研究の対照学習では、家庭用脳波計データ 1361 件を用いた。図2は、このような方法で事前学習した各チャンネルごとの特徴抽出部にさらに睡眠ステージ判定部を付加したモデルを示す。事前学習後のファインチューニングにおいては、少量の正解ラベル付きデータを用いてモデル全体をチューニングする。本研究では、ファインチューニングには 162 件のデータを用いた。

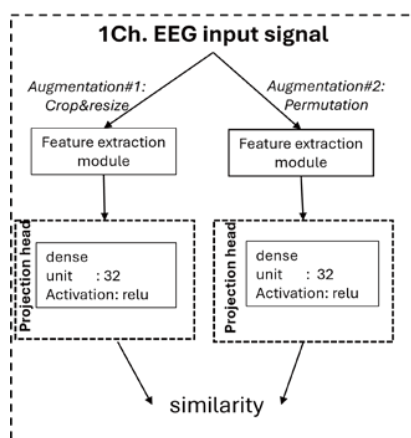


図1. 特徴抽出部の対照学習

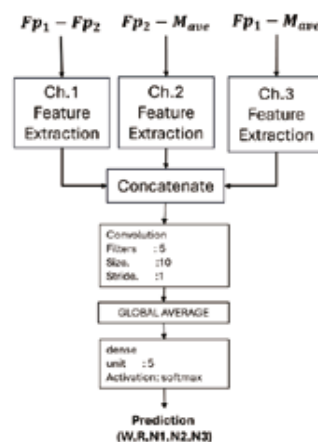


図2. 睡眠ステージ判定モデル

図3は、対照学習を用いて構築したモデルと、従来の教師有り学習を用いたモデルの睡眠ステージ判定正解率の比較である。後者のモデル構成は図2と同じであるが、前者のファインチューニング用データのみを用いて特徴抽出部を含めて全体を教師有り学習したものである。図3のX軸は162件あるデータのうち実際にファインチューニングならびに教師有り学習に用いた正解レベル付きデータの割合である。いずれのデータ量においても、対照学習を用いた事前学習は正解率向上に寄与していることが分かる。

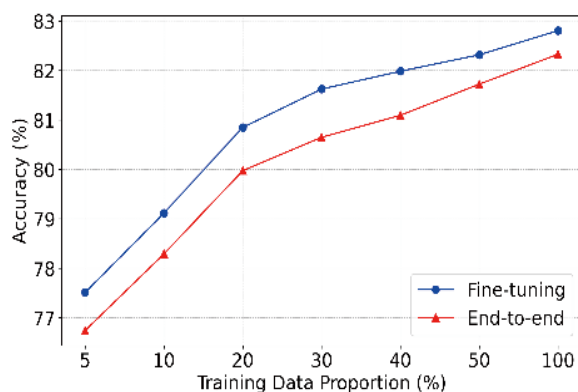


図3. 教師有り学習との性能比較

## (2) リアルタイム確定レム睡眠検出システム

従来の睡眠データ分析では、睡眠中の脳波等の生体データを一旦ファイル等に保存し、後から専門技師や分析ツールで分析する方法がもっぱらとられてきた。しかし、近年、睡眠分析・研究の高度化、睡眠時に着目した各種治療・施術、睡眠の質向上等が動機となり、睡眠状態をリアルタイムで把握すると共に、必要に応じて刺激提示等の介入が行えるような環境の実現が求められている。一例として、レム睡眠を対象とした睡眠研究では、レム睡眠状態をリアルタイムで検出すると共に、音、香り等の刺激提示を行い、その影響を分析するといった研究が行われている。現在は、睡眠状態を専門技師がモニタリングしてレム睡眠検出や刺激提示を行っているが、技師の負担は非常に大きい。

本研究では、レム睡眠をリアルタイムで自動検出可能なシステムの構築を行った。具体的には、レム睡眠の中でも確定レム睡眠と呼ばれる睡眠状態を対象とし、深層学習モデルを用いてそのリアルタイム検出を行うと共に、刺激提示等も可能なシステムである。本システムは、被験者の脳波 (EEG)、眼電位 (EOG) および顎筋電位 (EMG) を取得し、その信号に基づいて指定時間間隔 (例えば、毎秒) ごとに確定レム睡眠状態か否かを判定する。確定レム睡眠のリアルタイム自動検出はこれまで世界的にも報告がなく、その点で本研究は高い独自性を有している。

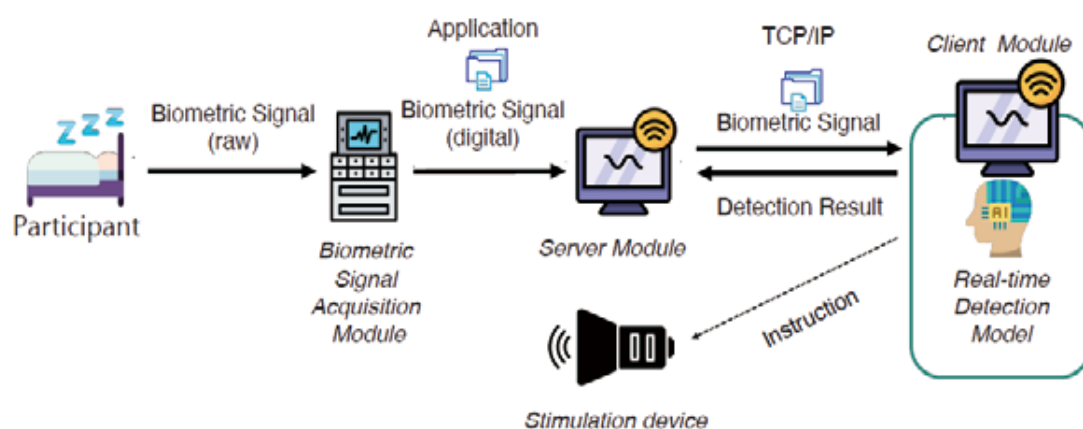


図4. リアルタイム睡眠分析システム

図4は、本システムの構成を示す。核となるクライアントモジュールは通常のPCで稼働することを想定している。被験者からの生体信号取得には、高精度PSG脳波計ActiveTwoを想定し、サーバモジュールから送信される生体データをクライアントモジュール上で逐次判定モデルを用いて分析することで、リアルタイム確定レム睡眠検出を行う。

我々は、PSG (Polysomnography) 信号を入力とし、30秒のエポック単位で5睡眠ステージ判定を行うSleep-CAMモデルを2022年に開発した。本研究では、Sleep-CAMをベースにリアルタイム確定レム睡眠区間検出のための判定モデルReal-Time Definite REM Detection

Model (D-REM)を開発した。D-REM は、EEG 6 チャンネル、EOG 2 チャンネル、EMG 1 チャンネルの計 9 チャンネルの 30 秒の信号を入力とし、最新点（最後のサンプル）が確定レム睡眠状態であるかを判定する。D-REM の特徴抽出部は Sleep-CAM と共通の構造であるが、ActiveTwo に最適化してある。Sleep-CAM のステージ割当層は、フィルタ数と Softmax 層のユニット数を 5 として 5 睡眠ステージを判定するが、D-REM は最新点が確定レム睡眠状態かどうかを判定するため、ステージ割当層のフィルタ数と Softmax 層のユニット数を 2 としている。D-REM の学習は、ActiveTwo データから切り出した 30 秒長区間を 1 秒ずつスライドさせて取得したデータを用いて、ステージ割当層をファインチューニングすることで学習した。

D-REM は最新点が確定レム睡眠状態か否かの判定を行うものの、モデルの特徴抽出においては、入力 30 秒の信号を均等に用いている。しかし、最新点の判定を行う上では、より最新点に近い入力を重視した方が有効な可能性がある。そこで、D-REM モデルのステージ割当層の Global Average Pooling 層を、最新のデータポイントをより重視するように Global Weighted Average Pooling に置き換えた、Weighted Real-Time Definite REM Detection Model (WD-REM) を開発した。WD-REM の学習方法は、D-REM と同様である。

本研究で開発したリアルタイム睡眠分析システムに、上記の判定モデルを搭載し、リアルタイム確定レム睡眠検出の評価実験を行った。まず、リアルタイム確定レム睡眠自動検出システムにおいて、核となるクライアントモジュールの処理時間を評価するために、データの前処理から検出結果までの一連の処理にかかる反復時間を計測した（表 1）。なお、Sleep-CAM/AT は Sleep-CAM を ActiveTwo 向けにファインチューニングした D-REM、WD-REM のベースとなる 5 睡眠ステージ判定モデルである。Sleep-CAM/AT は 5 睡眠ステージ判定モデルであるため、本実験ではレム睡眠出力を確定レム睡眠出力と見なしている。各モデルとも反復時間は約 100 ミリ秒程度以下であり、1 秒程度間隔のリアルタイム判定処理は十分可能であることを確認できる。

次に、確定レム睡眠の検出性能を、正解率 (Accuracy)、感度 (Sensitivity)、適合率 (Precision)、F 値 (F-score)、偽陽性率 (RFp) を用いて評価した。レム睡眠実験を行う際、確定レム睡眠状態でない時に確定レム睡眠状態であると誤って判定されること（偽陽性）は特に刺激提示等を伴う実験では悪影響を与える可能性が高い。このため、適合率が高く、偽陽性を低いことが重要である。実験結果を表 2 に示す。WD-REM は感度がやや低いものの、適合率と偽陽性率が最も優れていることが分かる。D-REM は、全体的にバランスの取れたパフォーマンスを示している。Sleep-CAM/AT は感度が最も高いが、適合率が低く、偽陽性率も最も高い。これらの実験結果から、WD-REM の優れた判定性能が確認できる。

表 1. 各モデルの処理時間

|              | Iteration [ms] |      | Preprocessing [ms] |      | Detection [ms] |       |
|--------------|----------------|------|--------------------|------|----------------|-------|
|              | Mean           | Std  | Mean               | Std  | Mean           | Std   |
| WD-REM       | 88.4           | 10.4 | 69.9               | 8.64 | 18.5           | 2.12  |
| D-REM        | 98.6           | 2.64 | 78.5               | 2.18 | 20.0           | 0.898 |
| Sleep-CAM/AT | 90.2           | 20.2 | 72.2               | 14.2 | 19.7           | 6.81  |

表 2. 各モデルの確定レム睡眠検出性能

| Model        | Metrics     |             |             |             |                 | Count         |               |             |              |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|---------------|---------------|-------------|--------------|
|              | Accuracy    | Sensitivity | Precision   | F-score     | R <sub>FP</sub> | TP            | TN            | FN          | FP           |
| WD-REM       | <b>93.9</b> | 80.0        | <b>83.0</b> | 81.5        | <b>3.31</b>     | 108003        | <b>646965</b> | 26957       | <b>22165</b> |
| D-REM        | <b>93.9</b> | 81.4        | 82.4        | 81.7        | 3.50            | 109378        | 645716        | 25582       | 23414        |
| Sleep-CAM/AT | 93.3        | <b>93.6</b> | 73.6        | <b>82.4</b> | 6.77            | <b>126366</b> | 623812        | <b>8594</b> | 45318        |

### (3) 年齢情報に基づく重み切替機構を導入した睡眠ステージ判定手法の開発

医師・臨床検査技師の負担軽減を目的に、深層学習を用いた生体信号からの睡眠ステージ（睡眠状態、レム睡眠など）判定手法が開発されている。これらの手法は高い判定精度を有しているが、被験者の年齢や属性の違いに起因する脳波波形のばらつきに対応しきれず、一部の対象者において精度が大きく低下するという課題があった。

本研究では、睡眠ステージ判定における被験者間の精度のばらつきを抑制するために、年齢情報に基づいてモデルの重みを動的に切り替える機構を過去に提案した睡眠ステージ判定モデル Sleep-CAM に導入した。

提案手法では、被験者の年齢を 5 歳ごとのビンに分類し、各年齢群に対して異なるマスクパターン（バイナリベクトル）を事前に定義する。その後、これを用いてどの特徴量を使用して判定するかを動的に変更する構成としている（図 5）。従来の補助損失による年齢影響の抑制とは異なり、年齢ごとの特徴を積極的に活用する方向性を採用している。

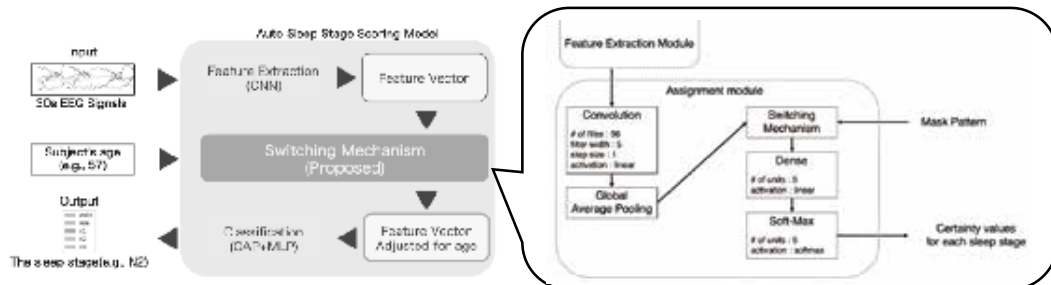


図 5. 提案手法

実験では、0歳台～80歳台を含む730名の睡眠記録から150件を抽出し、6分割交差検証を実施した。比較対象として、従来のSleep-CAM (Baseline)，年齢情報を補助損失で除去するAuxiliaryモデルを用いた。提案手法は平均精度においてはほぼ同等（0.3%pt改善）であったものの、極端に精度の低い対象（60%未満）を削減できた。

表3. 各モデルの判定精度が閾値を上回ったレコードの割合

| Threshold | baseline | Auxiliary | Proposed |
|-----------|----------|-----------|----------|
| Above 90% | 4.00%    | 3.33%     | 4.00%    |
| Above 82% | 52.67%   | 53.33%    | 48.67%   |
| Above 80% | 65.33%   | 65.33%    | 63.33%   |
| Above 70% | 91.33%   | 90.67%    | 90.00%   |
| Above 60% | 96.67%   | 98.00%    | 98.67%   |

提案手法は、とくにBaselineにおいて著しく精度が低かった対象に対して、個別適応による安定化効果を示した。一方で、判定精度が中程度（約80%前後）の対象においては、パラメータ数の増加や学習安定性の低下により十分な改善が見られなかった。今後は、年齢を含む多属性の非線形性を反映したマスクパターンの設計や、特徴抽出にVariational Autoencoder等を導入した非エンドツーエンド学習手法の採用を検討していく予定である。

#### (4) 自動睡眠ステージ判定モデルにおける説明能力の改善と特徴波単位での特徴量解析

近年、深層学習による自動睡眠ステージ判定が進展しているが、判定根拠の不透明性が課題となっている。本研究では、判定根拠となる信号区間を提示可能なSleep-CAMモデルに着目し、判定に寄与した信号区間（重要区間）に含まれる特徴波（ステージ判定の根拠となる波）の種類を自動的に識別可能とする手法の検討を行った。

具体的には、Sleep-CAMが出力するCAM値の上位10%に該当する信号区間を基に「重要区間」を定義し、その区間に対応する特徴量テンソル（96ch×区間時間）を時間軸方向に集約したうえでt-SNEプロットやクラスタリング（DBSCAN）し、その内容を観察した。

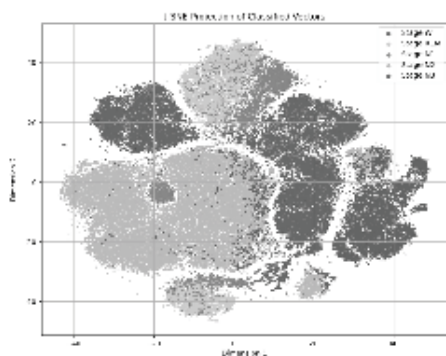


図6. ステージ別に特徴量テンソルをプロットした場合

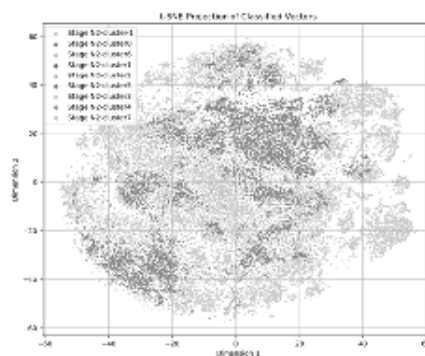


図7. クラスタリング後のN2の特徴量テンソル

まず、テンソルを t-SNE にて 2 次元に集約したプロットでは、ステージごとにテンソルが凝集している様子が見て取れた（図 6）。よく似た特徴波があるステージ同士は一部オーバーラップしていることも観察されており、Sleep-CAM が適切な特徴抽出を行っていることがここからも示唆された。

さらにステージ N2（紡錘波と K 複合という 2 つの特徴波を持つ）を対象としたクラスタリング実験においては、大きく 2 つのクラスタへ分類されることが確認された。これらは片方が紡錘波、もう片方が K 複合を多く含んでおり、教師なし学習のみで特徴波を分離できる可能性を示唆する結果となった。

課題としては、現在定義している「重要区間」には多くの特徴波以外のノイズが含まれている点が挙げられる。今後は特徴抽出精度の向上や他ステージへの拡張を通じて、より信頼性の高い根拠提示機構の実現を目指す。

#### 4. 教育

##### <博士（工学）>

##### 1. 山田 真也

A Study on Systems for Data Provenance in Complex Data Analysis and Stream Processing  
(複合的データ分析とストリーム処理に対するデータ来歴システムの研究)

##### 2. Rina Trisminingsih

Enhancing Pattern Matching Queries over Trajectory and Event Streams  
(移動軌跡及びイベントストリームに対するパターン照合問合せの高度化)

##### <修士（工学）>

##### 1. 山崎 昂輔

SQL/PGQ を対象としたプロパティグラフの並列分散処理

##### 2. 川上 隼

動的モード分解を用いた時系列異常検知

##### 3. 安田裕真

時系列データにおける階層 SAX を用いた類似部分シーケンス問合せの高速化

##### 4. 小倉 勇大

連邦型 RDF 問合せのための隣接プロパティの集約に基づく情報源選択手法

##### <学士（情報科学）>

##### 1. 手川 朋香

分散環境における検証可能なプロパティグラフ問合せ手法

2. 湯川 楓祐

プロパティグラフに対するスキーマ評価手法の提案

3. 尾名高 祐斗

化合物データベースに対する高速な類似検索手法の提案

4. 崎山 諒介

自動睡眠ステージ判定モデルにおける判定根拠説明能力の改善

5. 受賞、外部資金、知的財産権等

受賞

1. 第17回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2025), 株式会社日立製作所賞, 学生プレゼンテーション賞: 伊藤 寿浩, 塩川 浩昭, "集約隣接リストを用いた Worst-Case Optimal Join の高速化, 2025 年 2 月 27 日~3 月 1 日 (オンライン), 2025 年 3 月 3 日~3 月 4 日 (オンサイト) .
2. 第17回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2024), 学生プレゼンテーション賞: 山崎 昂輔, 増田 正, 天笠 俊之, "SQL/PGQ を対象としたプロパティグラフの並列分散処理", 2025 年 2 月 27 日~3 月 1 日 (オンライン), 2025 年 3 月 3 日~3 月 4 日 (オンサイト)
3. 第17回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2024), 学生プレゼンテーション賞: 湯川 楓祐, 塩川 浩昭, "プロパティグラフに対する新たなスキーマ評価指標の提案", 2025 年 2 月 27 日~3 月 1 日 (オンライン), 2025 年 3 月 3 日~3 月 4 日 (オンサイト)
4. 第17回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2024), 学生プレゼンテーション賞: 佐野 史弥, 国生 泰資, 堀江 和正, 古木 淳也, 鈴木 陽子, 阿部 高志, 北川 博之, "確定レム睡眠のリアルタイム自動検出", 2025 年 2 月 27 日~3 月 1 日 (オンライン), 2025 年 3 月 3 日~3 月 4 日 (オンサイト) .
5. 情報処理学会第 87 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2025), 学生奨励賞: 湯川 楓祐, 塩川 浩昭, "正解スキーマを必要としないプロパティグラフのスキーマ評価手法の提案", 2025 年 3 月 13 日~3 月 15 日.
6. 情報処理学会第 87 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2025), 学生奨励賞: 尾名高祐斗, 牛尼 素造, 塩川浩昭, "化合物データベースに対する範囲検索の高速化", 2025 年 3 月 13 日~3 月 15 日.

## 外部資金

1. 科研費：基盤 B（令和4年度～令和7年度）  
研究課題：多粒度分散知識グラフ活用のための基盤技術に関する研究  
研究代表者：天笠 俊之  
全年度直接経費：12,800 千円（R6 年度直接経費：3,100 千円）
2. 科研費：基盤 B（令和5年度～令和8年度）  
研究課題：真核生物ゲノムデータに混入している原核強制田ゲノムの体系的探索  
研究分担者：天笠 俊之  
全年度直接経費：14,100 千円（R6 年度直接経費：3,700 千円 分担金: 100 千円）
3. 受託研究：国立研究開発法人科学技術振興機構（令和4年10月1日～令和7年3月31日）  
研究課題：データエコシステムのためのメタデータ管理およびスマート農業実証  
研究代表者：天笠 俊之  
R6 年度直接経費：17,000 千円
4. 受託研究：国立研究開発法人産業技術総合研究所（令和5年4月1日～令和7年10月19日）  
研究課題：超分散コンピューティング環境における高性能ストレージ基盤技術  
研究担当者：天笠 俊之  
R6 年度直接経費：9,999 千円
5. 受託研究：大学共同利用機関法人・システム研究機構（令和6年6月5日～令和7年3月31日）  
研究課題：医療データ・医療 LLM/LMM の利活用を促進する医療データ基盤  
研究代表者：天笠 俊之  
R6 年度直接経費：4,800 千円
6. 受託研究：民間企業共同研究（令和元年10月1日～令和7年3月31日）  
研究課題：睡眠障害の自動診断システム及び睡眠障害の予防・改善・治療システムの研究開発  
研究代表者：天笠 俊之  
R6 年度直接経費：6,538,462 円
7. 共同研究：民間企業共同研究（令和6年4月1日～令和7年3月31日）  
研究課題：鉄道の自立運行システムにおける SoS のモデル化と影響評価  
研究代表者：天笠 俊之  
R6 年度直接経費：1,000 千円

8. 共同研究：民間企業共同研究（令和4年4月1日～令和7年3月31日）  
研究課題：データエンジニアリングの知見の応用による SKYSEA Client View のログ及び資産情報の処理の高速化・軽量化  
研究代表者：天笠 俊之  
R6 年度直接経費：直接経費：1,650 千円
9. 科研費：若手研究（令和4年度～令和7年度）  
研究課題：大規模科学データに対する高速問合せ処理  
研究代表者：塩川 浩昭  
全年度直接経費：3,600 千円（R6 年度直接経費：1,000 千円）
10. 受託経費：科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（AIP 加速課題）（令和5年度～令和7年度）  
研究代表者：塩川 浩昭  
研究課題：超高速データサイエンス基盤におけるグラフ探索の研究  
R6 年度直接経費：5,250 千円
11. 受託経費：科学技術振興機構 創発的研究支援事業（令和6年10月1日～令和8年3月31日）  
研究代表者：塩川 浩昭  
研究課題：整合性検証可能なグラフデータベース  
R6 年度直接経費：1,000 千円
12. 共同研究：民間企業共同研究（令和6年5月29日～令和7年2月28日）  
研究代表者：塩川 浩昭  
研究課題：大規模データに対する高速クラスタリングの研究  
R6 年度直接経費：1,000 千円
13. 科研費：若手研究（令和5年度～令和6年度）  
研究課題：生体信号認識課題における被験者・計測状況を踏まえた真相学習処理の代替機構の開発  
研究代表者：堀江 和正  
全年度直接経費：3,300 千円（R6 年度直接経費：900 千円）
14. 科研費：若手研究（令和5年度～令和9年度）  
研究課題：ディープラーニングによって強化されたストリーム処理システムに関する研究  
研究代表者：橋本 武彦（Bou Savong）  
全年度直接経費：4,810 千円（R6 年度直接経費：800 千円）

15. 科研費：若手研究（令和4年度～令和6年度）  
研究課題：Advanced deep graph neural networks for explainable anomaly detection study  
研究代表者：Ouyang Tinghui  
全年度直接経費：3,770 千円（R6 年度直接経費：800 千円）
16. 科研費：基盤研究 B（令和5年度～令和8年度）  
研究課題：パーベイシブトレサビリティを実現する複合的ビッグデータ処理基盤  
研究代表者：北川 博之  
全年度直接経費：14,300 千円（R6 年度直接経費：3,900 千円）
17. 科研費：挑戦的研究（萌芽）（令和4年6月30日～令和6年度）  
研究課題：睡眠センシングストリーム基盤を用いた睡眠時のリアルタイム情動推定  
研究代表者：北川 博之  
全年度直接経費：4,800 千円（R6 年度直接経費：1,500 千円）
18. 科研費：学術変革領域研究 B（令和6年4月1日～令和9年3月31日）  
研究課題：睡眠中の音刺激による環世界マニピレーション  
研究分担者：北川 博之（研究代表者：坂口 昌徳）  
R6 年度直接経費：1,000 千円
19. 受託研究：AMED ムーンショット型研究開発事業（令和3年度～令和7年度）  
研究課題：睡眠と冬眠：2つの「眠り」の解明と操作が拓く新世代医療の展開  
研究分担者：北川 博之  
R5 年度直接経費：900 千円
20. 受託研究：SIP（令和6年4月1日～令和7年3月31日）  
研究分担者：北川 博之  
R6 年度直接経費：1,500 千円
21. 共同研究：民間企業共同研究【F-MIRAI】（令和6年3月1日～令和7年4月30日）  
研究課題：第2期人間特性モデルに資する研究と人間特性モデルのライブラリー化  
研究分担者：北川 博之  
R6 年度直接経費：9,900 千円
22. 共同研究：民間企業共同研究（令和3年4月1日～令和8年3月31日）  
研究課題：データエンジニアリングの知見の応用による SKYSEA Client View のログ及び資産情報の処理の高度化  
研究代表者：北川 博之  
R6 年度直接経費：直接経費：1,650 千円

## 知的財産権

該当なし

## 6. 研究業績

### (1) 研究論文

#### A) 査読付き論文

< 学術雑誌論文 >

1. Savong BOU, Toshiyuki AMAGASA, Hiroyuki KITAGAWA, "Finformer: Fast Incremental and General Time Series Data Prediction", IEICE Transactions on Information and Systems, 2024, Volume E107.D, Issue 5, Pages 625-637, Released on J-STAGE May 01, 2024, Online ISSN 1745-1361, Print ISSN 0916-8532.  
<https://doi.org/10.1587/transinf.2023DAP0003>, [https://www.jstage.jst.go.jp/article/transinf/E107.D/5/E107.D\\_2023DAP0003/article/-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/transinf/E107.D/5/E107.D_2023DAP0003/article/-char/en)
2. Keisuke KAWANO, Satoshi KOIDE, Hiroaki SHIOKAWA, Toshiyuki AMAGASA, "Multi-Dimensional Fused Gromov Wasserstein Discrepancy for Edge-Attributed Graphs", IEICE Transactions on Information and Systems, 2024, Volume E107.D, Issue 5, Pages 683-693, Released on J-STAGE May 01, 2024, Online ISSN 1745-1361, Print ISSN 0916-8532.  
<https://doi.org/10.1587/transinf.2023DAP0014>, [https://www.jstage.jst.go.jp/article/transinf/E107.D/5/E107.D\\_2023DAP0014/article/-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/transinf/E107.D/5/E107.D_2023DAP0014/article/-char/en)
3. Savong Bou, Toshiyuki Amagasa, Hiroyuki Kitagawa, "O(1)-Time Complexity for Fixed Sliding-window Aggregation over Out-of-order Data Streams," IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering (Impact Factor 8.9)  
[10.1109/TKDE.2024.3419566](https://doi.org/10.1109/TKDE.2024.3419566)
4. Kazumasa Horie, Ryusuke Miyamoto, Leo Ota, Takashi Abe, Yoko Suzuki, Fusae Kawana, Toshio Kokubo, Masashi Yanagisawa, and Hiroyuki Kitagawa, Pages 6745-6757, "An Ensemble Method for Improving Robustness Against the Electrode Contact Problems in Automated Sleep Stage Scoring", Scientific Reports, Springer Nature, Vol. 14, 21894, September 2024. (2-Year Impact Factor 3.8 (2023))  
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-72612-8>
5. Salman Ahmed Shaikh, Hiroyuki Kitagawa, Akiyoshi Matono, and Kyoung-Sook Kim, "A Distributed and Scalable Framework for Real-time Trajectory Stream Processing", IEEE Access, IEEE, Vol. 12, pp. 159426-159444, October 2024. (Impact Factor 8.9 (2023))  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3484433>

6. Ryoya Tsunoda, Keitaro Kume, Rina Kagawa, Masaru Sanuki, Hiroyuki Kitagawa, Kaori Mase, and Kunihiro Yamagata, "Machine-learning-based Identification of Patients with IgA Nephropathy Using a Computerized Medical Billing Database", PLOS ONE, 19(12): e0312915. December 2024.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0312915>
7. Md Abu Marjan and Toshiyuki Amagasa, "Domain-adaptive entity recognition: unveiling the potential of CSER in cybersecurity and beyond," Int. J. Mach. Learn. & Cyber. (2024).  
<https://doi.org/10.1007/s13042-024-02424-9>
8. Rina Trisminingsih, Savong Bou, Toshiyuki Amagasa, "Efficient Pattern Matching over Out-of-Order Event Streams Using Sliding Buffer," J. Inf. Process., Vol. 32, pp. 963-972, 2024.  
<https://doi.org/10.2197/ipsjip.32.963>

## B) 査読無し論文

該当なし

## (2) 国際会議発表

### A) 招待講演

1. DEXA2024 Keynote: Toshiyuki Amagasa "Deep Entity Processing in the Era of Large Language Models: Challenges and Opportunities", 2024 年 8 月 26-28 日.
2. iiWAS2024 Keynote: Toshiyuki Amagasa "Harnessing Large Language Models for Entity Processing in Resource-Constrained Environments", 2024 年 12 月 2-4 日.

### B) 一般講演

<査読付き国際会議論文>

1. Yuma Kokubo and Toshiyuki Amagasa, "Cost-based Load Balancing of RDF Reasoning in Fog-Computing Environments", Proc. 39th ACM/SIGAPP Symposium On Applied Computing (SAC 2024), pp. 572-579, Avila, Spain, April 8-12, 2024. <https://doi.org/10.1145/3605098.3636047>
2. Saki Tsumoto, Fusae Kawana, Kazumasa Horie, Minoru Masaki, Kei Nishida, Kazuya Miyamishi, Jaehoon Seol, Morie Tominaga, Takashi Amemiya, Tetsuro Hiei, Akihiro Tani, Masaki Matsubara, Atsuyuki Morishima, Hiroyuki Kitagawa, Masashi Yanagisawa, "Automated Generation of Narrative Sleep Reports Utilizing Portable Electroencephalogram Data through ChatGPT", Proc. 12th IEEE International Conference on Healthcare Informatics (IEEE ICHI 2024), pp. 376-385, Orlando, Florida, June 3-6, 2024. (Acceptance ratio 29.6%)  
<https://doi.org/10.1109/ICHI61247.2024.00055>

3. Juan Carlos Neira Almanza, Leo Ota, Kazumasa Horie, Fusae Kawana, Toshio Kokubo, Masashi Yanagisawa, Hiroyuki Kitagawa, "Sleep and Arousal Scoring for In-home EEG Signals: A Multitask Learning Approach", Proc. 12th IEEE International Conference on Healthcare Informatics (IEEE ICHI 2024), pp. 147-156, Orlando, Florida, June 3-6, 2024. (Acceptance ratio 29.6%) <https://doi.org/10.1109/ICHI61247.2024.00027>
4. Vijdan Khaliq, Hiroyuki Kitagawa, and Toshiyuki Amagasa, "Boundary Point Detection Combining Gravity and Outlier Detection Methods", Proc. Workshop on Emerging Results in Data Science and Engineering (ERDSE), co-located with 29th International Conference on Database Systems for Advanced Applications (DASFAA), Gifu, Japan, July 2-5, 2024. [https://doi.org/10.1007/978-981-96-0914-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-96-0914-7_10)
5. Hailemariam Mehari Yohannes, Steven Lynden, Toshiyuki Amagasa, and Akiyoshi Matono, "Semi-supervised Named Entity Recognition for Low-Resource Languages using Dual PLMs," The 29th International Conference on Natural Language & Information Systems (NLDB2024), Turin, Italy, June 25-27, 2024. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-70239-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-031-70239-6_12)
6. Salman Ahmed Shaikh, Hiroyuki Kitagawa, Akiyoshi Matono, "Distributed, Continuous and Real-time Trajectory Similarity Search", Proc. 23rd IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Computing (ISPD 2024), Chur, Switzerland, July 8-10, 2024. <https://doi.org/10.1109/ISPD62236.2024.10705397>
7. Hiroaki Shiokawa, Yuma Naoi, Shohei Matsugu, "Efficient Correlated Subgraph Searches for AI-powered Drug Discovery," Proc. 33rd International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI2024), Jeju, South Korea, August 3-9, 2024. (Full paper) <https://doi.org/10.24963/ijcai.2024/260>
8. Shohei Matsugu, Suomi Kobayashi, Hiroaki Shiokawa, "An Efficient Indexing Method for Dynamic Graph kNN", Proc. 35th International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA2024), Part I, pp. 81-89, Naples, Italy, August 26-28, 2024. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-55699-4\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-319-55699-4_26)
9. John Bosco Mugeni, Steven Lynden, Toshiyuki Amagasa, Akiyoshi Matono, "MultiMatch: Low-Resource Generalized Entity Matching Using Task-Conditioned Hyperadapters in Multitask Learning", Proc. 26th International Conference on Big Data Analytics and Knowledge Discovery (DAWAK 2024), pp. 51-65, Naples, Italy, August 26-28, 2024. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-68323-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-68323-7_4)
10. Takuya Mizokami, Savong Bou, Toshiyuki Amagasa, "Subtree Similarity Search Based on Structure and Text", Proc. 26th International Conference on Big Data Analytics and Knowledge

- Discovery (DAWAK 2024), pp. 72-87, Naples, Italy, August 26-28, 2024.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-031-68323-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-68323-7_6)
11. Shun Kawakami, Savong Bou, Toshiyuki Amagasa, "LSiX: A Scheme for Efficient Multiple Continuous Window Aggregation Over Streams", Proc.26th International Conference on Big Data Analytics and Knowledge Discovery (DAWAK 2024), pp. 322-328, Naples, Italy, August 26-28, 2024. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-68323-7\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-031-68323-7_27)
  12. Saki Tsumoto, Jaehoon Seol, Kazumasa Horie, Fusae Kawana, Morie Tominaga, Shigeru Chiba, Hideaki Kondo, Hiroyuki Yoshimine, Masaki Matsubara, Atsuyuki Morishima, Masahi Yanagisawa, and Hiroyuki Kitagawa, "Automatic Sleep Stage Classification for Sleep Apnea Patients Using an In-home Sleep Electroencephalography Device", Proc. Workshop on Big Data and AI for Healthcare, Co-located with 2024 IEEE International Conference on Big Data (IEEE BigData 2024), pp. 5082-5085, Washington D. C., December 15, 2024. (Short Paper)  
<https://doi.org/10.1109/BigData62323.2024.10825971>
  13. Maiki Okura, Toshiyuki Amagasa, "Predicting Knowledge Graph Updates from Edit Histories," International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS2024), pp. 283-297, Bratislava, Slovakia, Dec. 2-4, 2024.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-031-78090-5\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-031-78090-5_24)
  14. Tinghui Ouyang and Toshiyuki Amagasa, "Textual Out-of-Distribution Data Detection Based on Granular Dictionary," 2024 IEEE International Conference on Big Data (IEEE Big Data 2024), pp. 8333-8340, Washington DC, USA, Dec. 15-18, 2024.  
<https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/BigData62323.2024.10825751>
  15. Wa Ode Zuhayeni Madjida and Toshiyuki Amagasa, "Attribute-controlled Summarization: Enhancing Semantic Approach for Numerical Attribute Prediction on Knowledge Graphs," International Conference on Big Data and Smart Computing (IEEE BigComp 2025), Kota Kinabalu, Malaysia, Feb. 9-12, 2025.  
<https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/BigComp64353.2025.00056>

### (3) 国内学会・研究会発表

#### A) 招待講演

1. 北川 博之, “機械学習を用いたヒト睡眠の自動解析”, 日本睡眠学会第48回定期学術集会, 教育セミナー(検査技師), ES3-1, 横浜, 2024年7月19日.
2. 天笠俊之, “筑波大学人工知能科学センタービッグデータ・クラウド分野の研究紹介”, 新潟大学データサイエンス・AIシンポジウム2024 招待講演, 新潟県, 2024年9月19日.

## B) その他の発表

### <学会発表>

1. 津本紗希, Jachoon Seol, 堀江和正, 川名ふさ江, 富永杜絵, 千葉滋, 近藤英明, 吉嶺裕之, 松原正樹, 森嶋厚行, 北川博之, 柳沢正史, “在宅脳波計測デバイスを用いた睡眠時無呼吸患者の自動睡眠ステージ判定”, 日本睡眠学会第48回定期学術集会, ポスター, P-021, 横浜, 2024年7月18-19日.
2. 金築 敬晃, 天笠 俊之, "HTAP システムにおける簡便かつ信頼性の高いデータフレッシュネス測定手法の提案", 第17回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2025), 福岡国際会議場(福岡県福岡市), 2025年2月27日~3月1日 (オンライン), 2025年3月3日~3月4日 (オンサイト) .
3. 伊藤 寿浩, 塩川 浩昭, (株式会社日立製作所賞, 学生プレゼンテーション賞), "集約隣接リストを用いた Worst-Case Optimal Join の高速化", 第17回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2025), 福岡国際会議場(福岡県福岡市), 2025年2月27日~3月1日 (オンライン), 2025年3月3日~3月4日 (オンサイト) .
4. 川上 隼, Bou Savong, 天笠 俊之, "動的モード分解による時系列異常検知のための説明可能なフレームワーク", 第17回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2025), 福岡国際会議場(福岡県福岡市), 2025年2月27日~3月1日 (オンライン), 2025年3月3日~3月4日 (オンサイト) .
5. 大森 雄基, 北川 博之, 天笠 俊之, 的野 晃整, "エンティティリンキングの不確実性を表現可能な知識ベースと外部情報源の統合モデル", 第17回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2025), 福岡国際会議場(福岡県福岡市), 2025年2月27日~3月1日 (オンライン), 2025年3月3日~3月4日 (オンサイト) .
6. 小倉 勇大, 増田 正, 天笠 俊之, "連邦型 RDF 問合せのための隣接述語索引に基づく情報源選択手法の改良", 第17回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2025), 福岡国際会議場(福岡県福岡市), 2025年2月27日~3月1日 (オンライン), 2025年3月3日~3月4日 (オンサイト) .
7. 尾名高 祐斗, 牛尼 索造, 塩川 浩昭, "化合物データベースに対する高速な範囲検索アルゴリズム", 第17回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2025), 福岡国際会議場(福岡県福岡市), 2025年2月27日~3月1日 (オンライン), 2025年3月3日~3月4日 (オンサイト) .
8. 山崎 昂輔, 増田 正, 天笠 俊之, (学生プレゼンテーション賞), "SQL/PGQ を対象としたプロパティグラフの並列分散処理", 第17回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2025), 福岡国際会議場(福岡県福岡市), 2025年2月27日~3月1日 (オンライン), 2025年3月3日~3月4日 (オンサイト) .

9. 手川 朋香, 天笠 俊之, "分散環境におけるプロパティグラフに対する整合性検証", 第 17 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2025),福岡国際会議場(福岡県福岡市), 2025 年 2 月 27 日~3 月 1 日 (オンライン) , 2025 年 3 月 3 日~3 月 4 日 (オンサイト) .
10. 湯川 楓祐, 塩川 浩昭, (学生プレゼンテーション賞), "プロパティグラフに対する新たなスキーマ評価指標の提案", 第 17 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2025),福岡国際会議場(福岡県福岡市), 2025 年 2 月 27 日~3 月 1 日 (オンライン) , 2025 年 3 月 3 日~3 月 4 日 (オンサイト) .
11. 牛尼 索造, 藤原 靖宏, 塩川 浩昭, "次元削減を用いた高次元データに対する S-FINCH の高速化", 第 17 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2025),福岡国際会議場(福岡県福岡市), 2025 年 2 月 27 日~3 月 1 日 (オンライン) , 2025 年 3 月 3 日~3 月 4 日 (オンサイト)
12. 金田 優香, 森 正夫, 天笠 俊之, "CNN を用いた潮汐ストリームによるダークマターハローの密度分布推定", 第 17 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2025),福岡国際会議場(福岡県福岡市), 2025 年 2 月 27 日~3 月 1 日 (オンライン) , 2025 年 3 月 3 日~3 月 4 日 (オンサイト)
13. 佐野 史弥, 国生 泰資, 堀江 和正, 古木 淳也, 鈴木 陽子, 阿部 高志, 北川 博之, (学生プレゼンテーション賞), "確定レム睡眠のリアルタイム自動検出", 第 17 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2025),福岡国際会議場(福岡県福岡市), 2025 年 2 月 27 日~3 月 1 日 (オンライン) , 2025 年 3 月 3 日~3 月 4 日 (オンサイト) .
14. Ali Ushtar, Lynden Steven, 的野 晃整,天笠 俊之, "Multi-Hop Corpus for Detecting LLM Hallucinations", 第 17 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2025),福岡国際会議場(福岡県福岡市), 2025 年 2 月 27 日~3 月 1 日 (オンライン) , 2025 年 3 月 3 日~3 月 4 日 (オンサイト) .
15. 湯川 楓祐, 塩川浩昭, (学生奨励賞), "正解スキーマを必要としないプロパティグラフのスキーマ評価手法の提案", 情報処理学会第 87 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2025),立命館大学 大阪いばらきキャンパス(大阪府),2025 年 3 月 13 日~3 月 15 日.
16. 手川 朋香, 天笠 俊之, "分散環境における検証可能なプロパティグラフ問合せ", 情報処理学会第 87 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2025), 立命館大学 大阪いばらきキャンパス(大阪府),2025 年 3 月 13 日~3 月 15 日
17. 尾名高祐斗, 牛尼索造, 塩川浩昭, (学生奨励賞), "化合物データベースに対する範囲検索の高速化", 情報処理学会第 87 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2025),立命館大学 大阪いばらきキャンパス(大阪府),2025 年 3 月 13 日~3 月 15 日.

18. 崎山諒介, 堀江和正, 北川博之, "自動睡眠ステージ判定モデルにおける抽出特徴量の解析と説明能力の改善", 情報処理学会第 87 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2025),立命館大学大阪いばらきキャンパス(大阪府),2025 年 3 月 13 日~3 月 15 日.

#### (4) 著書、解説記事等

該当なし

### 7. 異分野間連携・産学官連携・国際連携・国際活動等

#### 異分野間連携（センター内外）

1. 地球環境研究部門との連携：気象庁気象予報データベース「GPV/JMA アーカイブ」(<http://gpvjma.ccs.hpcc.jp>) の開発, 管理, 運用.
2. 素粒子物理研究部門との連携：Japan Lattice Data Grid (JLDG) , International Lattice Data Grid (ILDG) の運営.
3. 計算メディカルサイエンス事業 睡眠ビッグデータ  
国際統合睡眠医科学研究機構 (IIS) との連携：マウスとヒトの脳波／筋電図データを利用した睡眠ステージの自動判定アルゴリズム・ソフトウェアの研究開発

#### 産学官連携

該当なし

#### 国際連携・国際活動

該当なし

### 8. シンポジウム、研究会、スクール等の開催実績

1. Panel Co-chair, DASFAA2024, Gifu, 2024 年 7 月 2-5 日.
2. Program Co-chir, DEXA2024, Naples, Italy, 2024 年 8 月 25-27 日.

### 9. 管理・運営

天笠俊之教授

- 学外
  - 日本データベース学会理事
- 学内
  - 筑波大学統合 IR 機構 副機構長
  - 計算科学研究センター：ビッグデータ・AI 連携推進室長
  - 計算科学研究センター：計算メディカルサイエンス推進事業部長

- 情報科学類：学生委員会委員長

塩川浩昭准教授

- 学外
  - 国立情報学研究所 グローバルサイエンスキャンプ 2020 年度「情報科学の達人」メンター
- 学内
  - 計算科学研究センター：セキュリティ委員会委員，共同研究委員会委員
  - 情報科学類：カリキュラム委員会委員，クラス担任，心青会担当委員
  - 情報理工学位プログラム：ダブルディグリープログラム推進室室員，入試オンライン化 WG 委員
  - ヒューマニクス学位プログラム：学生支援委員会委員

堀江和正助教

- 学外
  - 該当なし.
- 学内
  - 情報科学類：広報委員会委員
  - 情報理工学位プログラム：インターンシップ委員会委員
  - ヒューマニクス学位プログラム：広報委員会副委員長，運営委員会委員

## 10. 社会貢献・国際貢献

天笠俊之教授

- 国際委員等
  - プログラム共同委員長：DEXA2024
  - パネル共同委員長: DASFAA2024
  - プログラム委員：iiWAS2024, IDEAS2024, 他
- 国内委員等
  - 情報処理学会論文誌データベース（TOD）共同編集委員長
  - 情報処理学会ドキュメントコミュニケーション研究会 幹事

塩川浩昭准教授

- 国際委員等
  - 国際ジャーナル編集委員：IEICE Transactions on Information and Systems
  - 国際会議運営委員：VLDB2020 Proceedings Co-chair
  - 国際会議プログラム委員：IJCAI2020, AAAI2021, PAKDD2021, DASFAA2021

- 国内委員等
  - 電子情報通信学会 データ工学研究会 (DE) 専門委員
  - 日本データベース学会 電子広報委員会編集委員

堀江和正助教

- 国際委員等
  - 該当なし.
- 国内委員等
  - 該当なし.

## 11. その他

海外長期滞在、フィールドワークなど

該当なし

## VIII-2 計算メディア分野

### 1. メンバー

|    |                   |
|----|-------------------|
| 教授 | 亀田 能成、北原 格        |
| 助教 | 謝 淳               |
| 学生 | 大学院生 35 名、学類生 8 名 |

### 2. 概要

人間に関わる情報を処理対象とする計算科学においては、情報処理の空間的表現および時間軸を人間の特性に即して設計することが不可欠である。この目的のもと、本研究では、グローバルに広がる人間社会とそれを取り巻く環境を対象とした解析を進めている。そこで得られる実観測データとシミュレーション結果とを融合し、情報を人間にとって直観的に理解しやすい形で提示し、社会への有効なフィードバックを実現することを目指している。そのための枠組みとして、計算メディアを介在させた新たな計算パラダイムを提案している。また、この計算メディアの応用的展開として、北原格教授は本センターにおける計算メディカルサイエンス事業の一環である「3D Surgical Vision」の研究を主導している。

昨年度の研究評価での指摘事項に対応するものとして、計算メディアとしてのあるべき姿をグループ内の取り組みから俯瞰的にとらえ直すべく、様々な分野での研究成果から得られた知見を中期的には抽象化して分野全体に還元することを学術的貢献として目指しているが、現状ではまだそのための努力を重ねている状況である。

本年度は、学際領域として、スポーツ計算科学、Surgical Vision を含む医療応用、交通における安全安心を実現する支援、計算メディアに基づく新しいユーザインタフェースの提案などを中心に、後の節で述べる様々な研究成果を上げ、学会発表として社会に貢献することができた。国際会議で4件、国内シンポジウムで4件の受賞を得られたことは、研究が評価されていることを示しているといえよう。

産学連携に関しては、産業界にも有益な研究を産業界と共同研究としていくよう活動しているところである。CapGemini、日立製作所、エクシオグループとは具体的な研究活動に入っている。

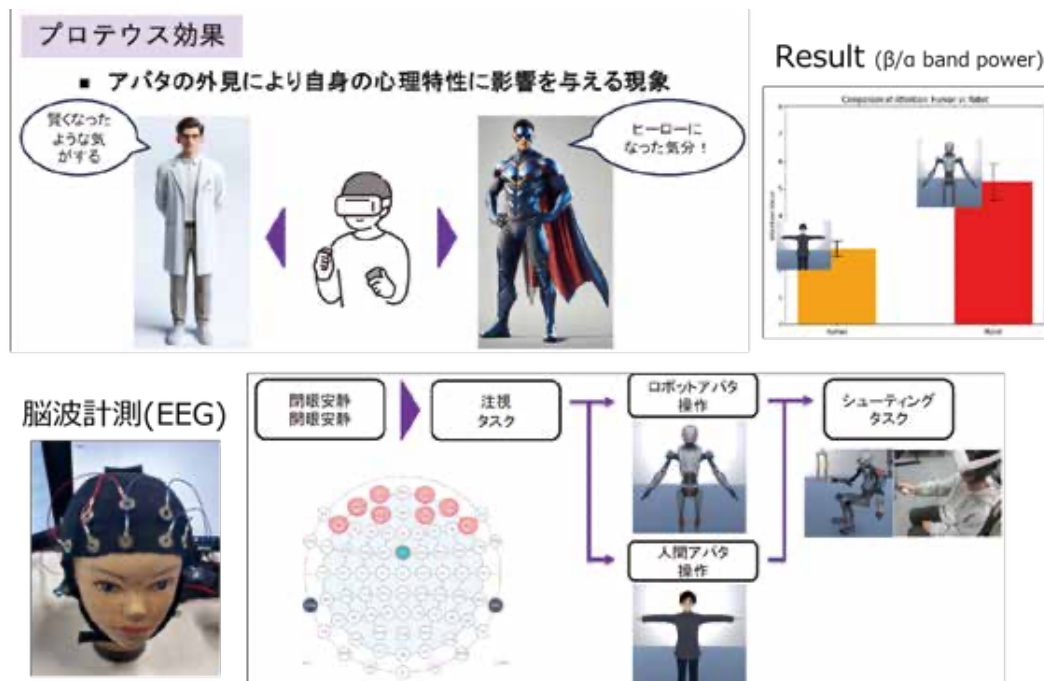
計算メディアをスポーツ界に展開していく取り組みは、以下の研究成果で示すように、様々な分野で成果を得ることができた。これらの研究では当該スポーツでの一線の指導者と連携してインクルーシブデザインとなるよう留意している。また、本学体育系教員および本学ヒューマン・ハイ・パフォーマンス先端研究センター(ARIHHP)と連携しての研究展開を引き続き実施している。継続的な課題として、これらの成果を研究レベルからスポーツの場での実証などに繋げていくことが挙げられる。

### 3. 研究成果

#### [1] プロテウス効果を利用した集中度向上の検討と定量的評価【亀田】

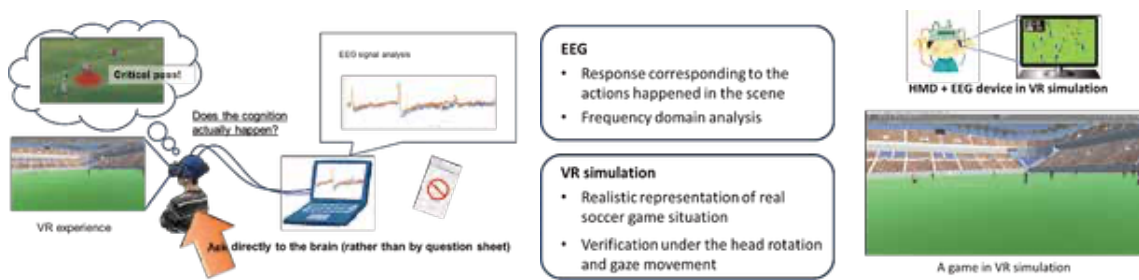
本研究は、アバターの外見がユーザーの心理や行動に影響を与える「プロテウス効果」が集中力に与える影響を検討したものである。参加者はロボットアバターを装着した状態で集中力課題に取り組み、脳波（EEG）を用いて集中度を定量的に評価した。実験の結果、アバターの外見が脳波指標に影響を与え、プロテウス効果が集中力の向上に寄与する可能性があることが示された。VR 環境における心理的特性の変化を定量的に捉える有効性も確認された。

本研究は IWAIT2025 国際会議で成果公開し、Best paper award を受賞した。



#### [2] ヘッドマウントディスプレイを用いたサッカープレー体験時の認知のための脳波分析【亀田】

本研究では、HMD 型 VR システムと脳波測定装置を用い、サッカーにおける認知状況を VR 空間で再現し、体験中の脳波特性を解析した。HMD 使用時の頭部回転や視線移動が脳波計測に与える影響を考慮し、これらの体動を伴った状態で脳波を正確に測定する予備システムを構築した。アルファ帯域およびベータ帯域のパワー分析により、異なるタイプのパス体験中における体動の影響を評価した結果、能動的体験時の脳波バンドパワーは受動的体験時よりも有意に高いことが示された。IWAIT2025 で成果発表を行った。



### [3] VR シミュレータにおけるバスケットボール選手の視覚的探索動作および状況対応能力評価【亀田】

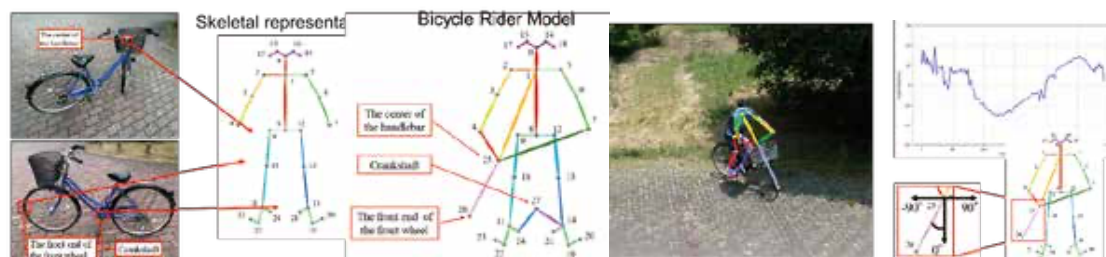
本研究は、バスケットボール選手の状況対応能力を評価するための VR シミュレータを用いた手法を提案する。2on2 のゲームシナリオを VR 空間で再現し、HMD で視線を記録し、OpenPose を用いて選手の動作から骨格情報を推定する。視線、頭部回転数、身体の動き、動作傾向、平均反応時間などの指標を算出し、客観的に対応能力を評価する枠組みを構築した。実験の結果、これらの指標により選手の認知的特性を定量的に把握できることを示し、スポーツ分析への応用可能性を示唆した。本研究については、バスケットボール部ヘッドコーチの吉田先生および仲澤先生と共同研究を実施し、実験のデザインについてアドバイスを得た。その評価実験においてもバスケットボール部員を対象に行っている。成果を icSPORTS2024 および APMAR2024 で行った。



### [4] 自転車パーツを用いた人体骨格モデルによる自転車ライダーの姿勢推定【亀田】

本研究では、自転車とライダーの関係を統合した「自転車ライダーモデル」を構築し、画像から自転車乗員の姿勢を推定する手法を提案する。従来のように自転車と人体を別々に扱うのではなく、両者を一体の骨格構造として表現する点が特徴である。モデル学習のために独自のビデオデータセットを作成し、ハンドル中心、クランクシャフト、前輪先端などを新たなキーポイントとしてアノテーションを行った。実験の結果、この統合モデルにより、自転車ライダーの姿勢推定が有効に行えることを確認した。本研究成果については、IWAIT2025 にて発表を行った。

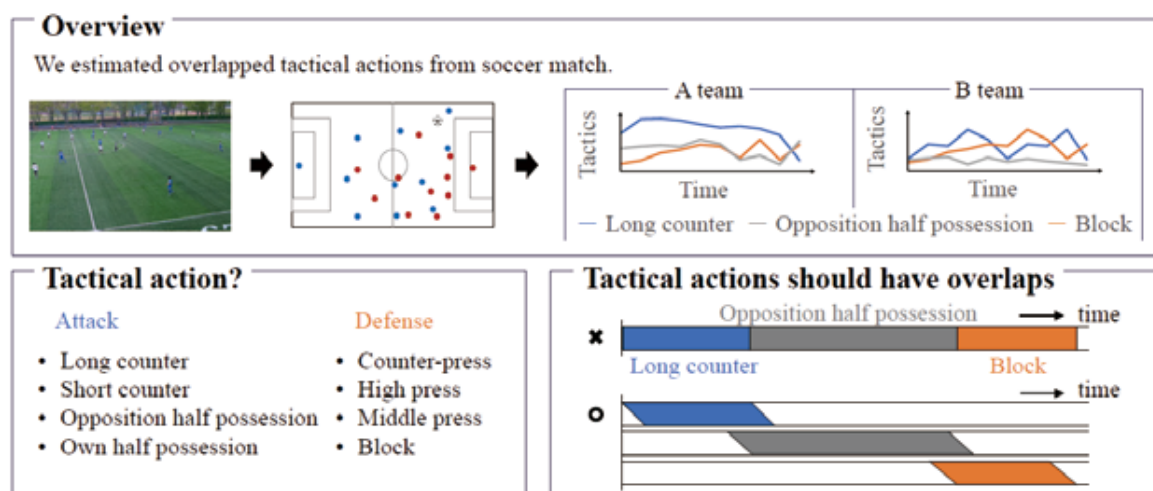
# Bicycle Rider Model



## [5] サッカー試合映像からの戦術的アクションの重なり推定【亀田】

本研究は、サッカー試合中に複数の戦術的行動が時間的に重複して発生するという特性に着目し、試合映像から重複する戦術行動を推定する手法を提案する。提案手法では、ディープラーニングモデルに全ての戦術行動を同時に学習させることで、各時点における戦術の強弱を推定可能とする。10 試合分のデータを用いた実験により、単一の戦術に限定せず、複数の戦術が重なり合う状況を的確に捉えることができることを示した。

本研究は蹴球部監督の小井土先生と共同で実施してきた。共著で日本フットボール学会 22nd Congress および icSPORT2024 で発表し、22nd Congress においては奨励賞を受賞した。



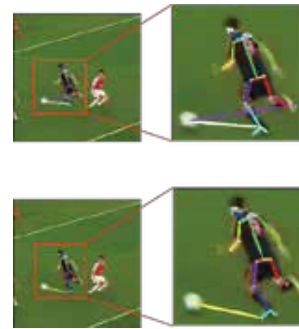
## [6] ボールを使った人体骨格モデルによるドリブル姿勢推定【亀田】

本研究では、サッカーにおけるドリブル動作を評価するため、選手とボールの動きを統合的に解析する新たな手法「Dribbling Player Model」を提案する。このモデルは、既存の骨格推定手法 OpenPose を拡張し、ボールを選手の骨格の一部として扱う点が特徴である。モデル学習には、自作のドリブル動作映像データベースを用い、ボール保持者にはボールを含むアノテーションを、非保持者にはボールなしで行った。実験により、本モデルがドリブル中の選手の姿勢を正確に推定できることを確認した。本研究については蹴球部監督の小井土先生とも議論を重ね、共著で日本フットボール学会 22nd Congress 及び IWAIT2025 で発表した。

- Proposed Method :**Dribbling Player Model**
- ◆ Add ball keypoint to existing posture estimation model
- ◆ Dribbling Player Model is a machine learning model that estimates the skeleton of players from images.



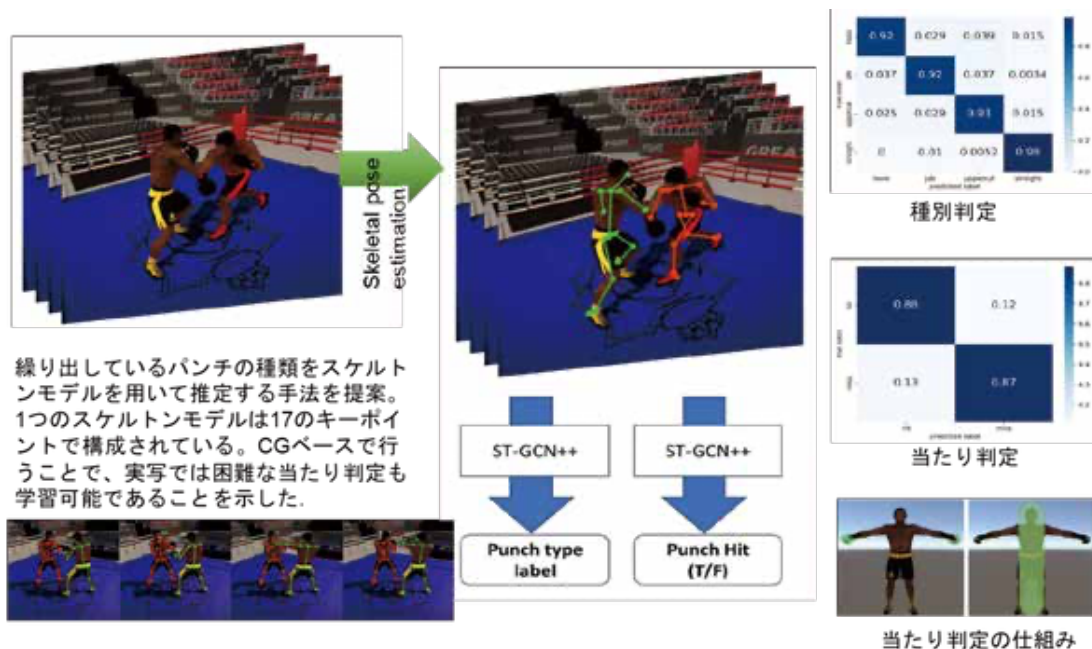
- Connecting the player and the ball
  - ◆ Enables integrated representation of the player and the ball



## [7] ボクシング試合映像における推定骨格モデルを用いたパンチ分類とヒット判定

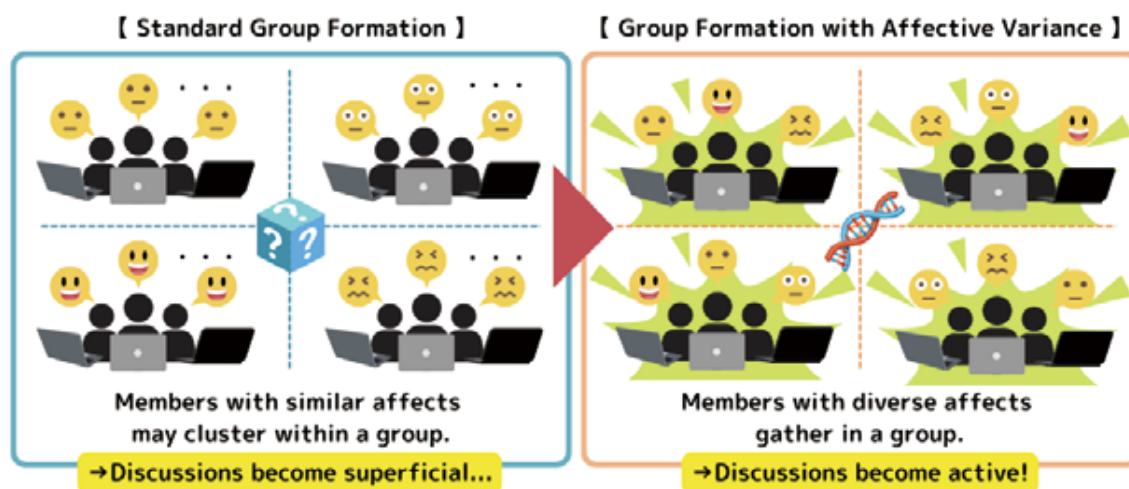
### 【亀田】

本研究では、ボクシングにおけるパンチの種類分類とヒット判定を目的とし、3DCG シミュレーションを用いた試合映像データセットの構築と新たな解析手法を提案する。実際の試合映像ではパンチのヒット有無を判別するのが困難であるため、シミュレーションにより自動的に属性付与されたデータセットが有効である。本手法では、時系列の骨格表現を用いてパンチの種類を分類し、ヒット判定を行う。実験により、本手法が高精度での分類と判定を実現可能であることを確認した。この研究によって、実写スポーツ映像の入手が難しいスポーツにおいても、映像解析が実現可能であることを明らかにし、これによって計算メディアの未来を開拓することができた。研究成果発表を IWAIT2024 で行った。



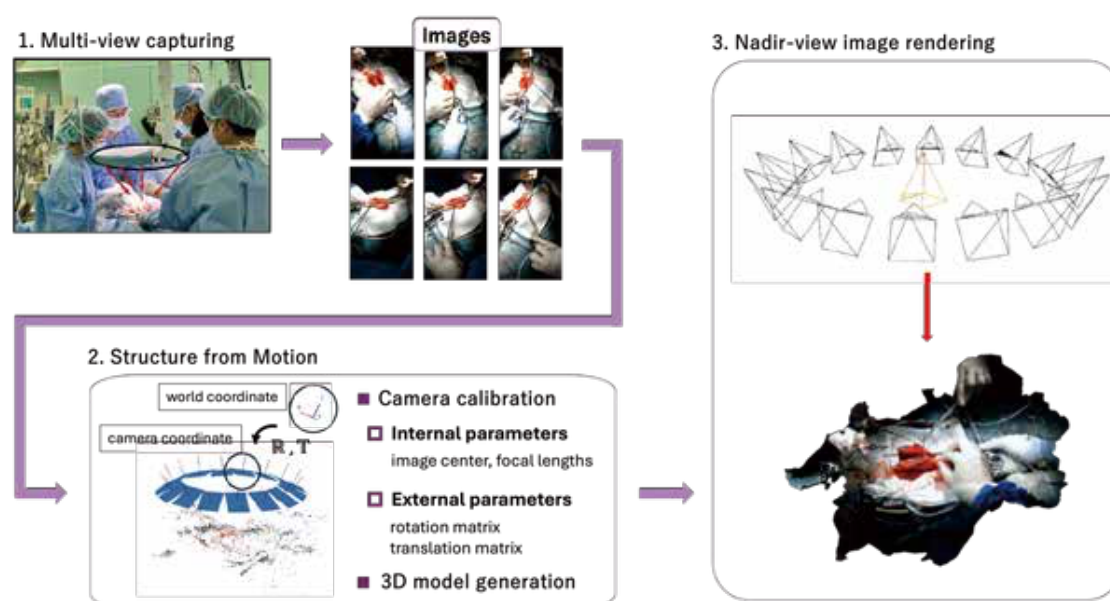
## [8] 協調学習のための感情推定を用いたグループ形成方式の提案と評価【北原】

オンライン環境における協調学習の効果を最大化するために、感情の多様性を考慮した新しいグループ形成手法を提案し、その有効性を検証した。音声や表情から推定される多次元的な感情指標を活用することで議論が活発になり、学習成果の向上に一定の効果が示された。一方で、心理的安全性の観点では、提案手法が一部の参加者に心理的な負担を与える可能性が示唆されるなど、解決すべき課題が明らかになった。本研究成果は、2025年6月にスウェーデン・ヨーテボリで開催される国際会議 HCI-International2025 に採択され発表予定である。



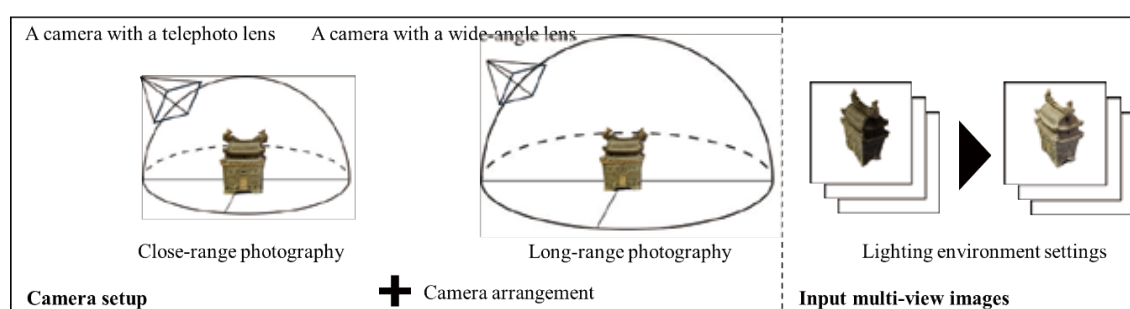
## [9] 開腹手術を対象とした多視点映像撮影方式の構築と直下視点映像生成【北原】

開腹手術現場で利用可能な多視点撮影方式“Surgical Arena 360”の構築と、撮影した多視点手術画像を用いた直下視点映像生成法を提案した。複数台のカメラを円状に配置した多視点撮影機材を開発し、術者と術野の間に配置することで頭や腕による遮蔽を回避することに成功した。リグカバーやアクリルパネルを装着することで外科手術室での臨床実験を実現した。Structure from Motion を用いて臨床実験で撮影した手術画像群からカメラパラメータ推定と術野の3次元モデル生成を行い、それに基づいた直下視点画像のレンダリング法を提案した。その結果、医師の身体によって術野が遮蔽されることのない手術映像の生成に成功し、開腹手術現場への導入の可能性を大きく高めた。2025年1月に福岡市で開催された日本バーチャルリアリティ学会第75回複合現実実感研究会において本研究成果を発表した。



#### [10] 文化財のデジタルコンテンツ生成に適した多視点カメラ配置【北原】

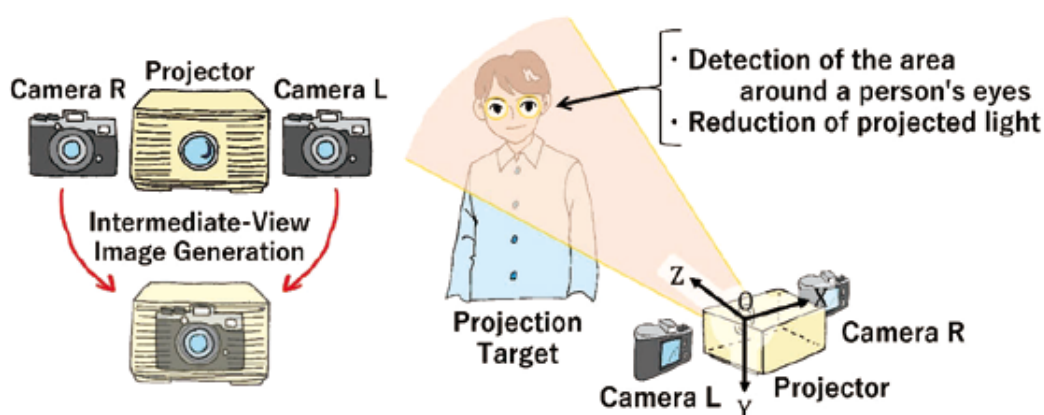
文化財のデジタルコンテンツ化を目的とした多視点画像取得のための撮影構成手法を検討した。CG環境で照明制御やカメラ配置を設定することにより、自由視点生成に向けた撮影環境を定量的に示した。その結果、対象物を均等に覆うようにカメラを密に配置することが精度向上に寄与することを明らかにした。また、焦点距離と視野角の関係を分析した結果、焦点距離に適した撮影距離で多視点画像取得することが精度向上に貢献することを明らかにした。2025年2月に韓国・ソウルで開催された International Workshop on Frontiers of Computer Vision (IWFCV) 2025 において本研究成果を発表した。



#### [11] 中間視点画像生成による疑似光軸一致型プロジェクタ・カメラシステム【北原】

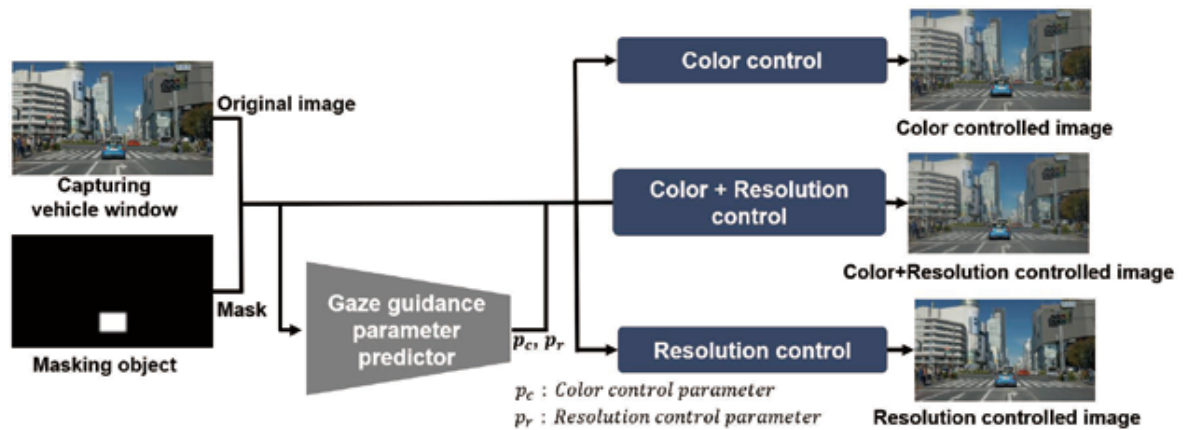
中間視点画像生成による疑似光軸一致型プロジェクタ・カメラシステムを提案した。プロジェクタの左右両側に配置した2台のカメラの撮影画像間に生じる視差に基づき、プロジェクタの光学中心から観測される画像を生成した。提案手法により、プロジェクタとカメラの光軸を疑似的に一致させることに成功した。生成した中間視点画像をプロジェクタで投影し、

実物体への重畳投影が可能であることを示した。また、中間視点画像に対して画像処理を施すことで、特定の物体の見え方を変化させる映像コンテンツの実現が可能であることを示した。2025年2月に韓国・ソウルで開催された International Workshop on Frontiers of Computer Vision (IWFCV) 2025 において本研究成果を発表した。



#### [12] 視覚的顕著性の操作による車窓映像上での非明示的な視線誘導【北原】

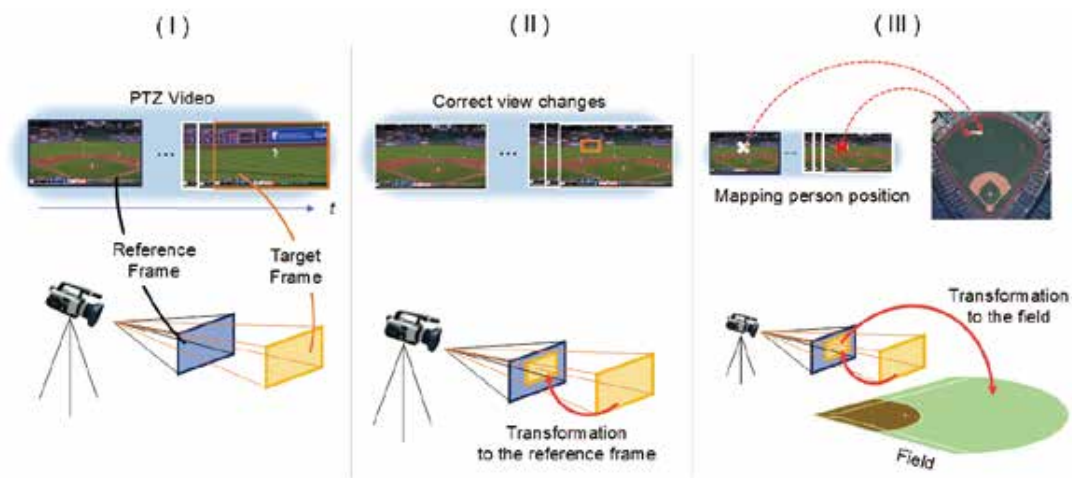
色制御と解像度制御に基づく車窓映像上での非明示的な視線誘導法、および、各誘導法がシーンごとに効果的に機能するための視線誘導処理パラメータ推定モデルを提案した。評価実験では各誘導法の車窓映像上での誘導効果及び視線誘導処理パラメータ推定モデルの有効性を検証した。評価実験の結果、色制御と解像度制御を組み合わせることにより、各手法を単体で用いる場合よりも誘導効果が向上し、明示的な視線誘導と比較して約 85%の視線誘導効果があることを確認した。また、視線誘導処理パラメータ推定モデルを適用することで、一定の強いパラメータで処理した場合と同等の誘導効果を示しながら、画像加工感や視線誘導感などのユーザエクスペリエンスの低下を有意に抑えることに成功した。2024年7月にフランス・ニースで開催された 15th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2024) において本研究成果を発表した。



### [13] パンチルトズーム映像に基づく大規模フィールド上を移動する人物の位置推定法

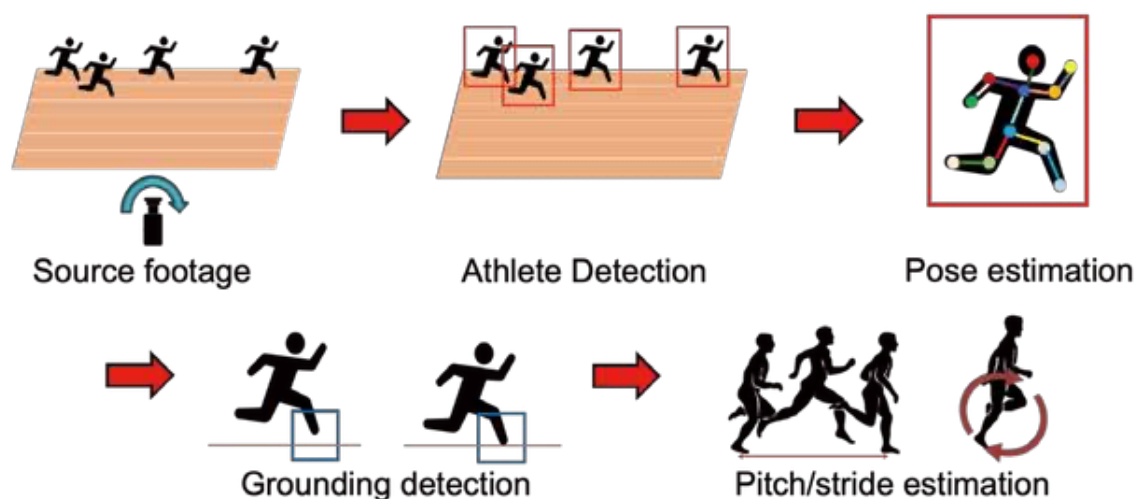
【北原】

スポーツ競技への応用を目的として、カメラ姿勢と視野角が状況に応じて動的に変化するパン・チルトズーム (PTZ) カメラで大規模フィールド上を移動する人物を撮影した映像から人物の位置を推定する手法を提案した。画像特徴に基づいて獲得した連続フレーム間の対応点情報からフレーム間のホモグラフィ変換行列を推定し、それを分解することにより、カメラの焦点距離 (ズーム) と姿勢 (パン・チルト) の変化を推定する。推定したカメラパラメータに基づき、PTZ 映像中での観測座標値をフィールド平面上での位置に変換する。提案手法をテレビ放送映像に適応し、その有効性を検証した。カメラパラメータと人物位置の真値が獲得可能な CG データに基づき推定精度の定量的評価を実施した。2024 年 11 月にポルトガル・ポルトで開催された 12th International Conference on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS2024)において本研究成果を発表し、Best Student Paper Honorable Mention を受賞した。



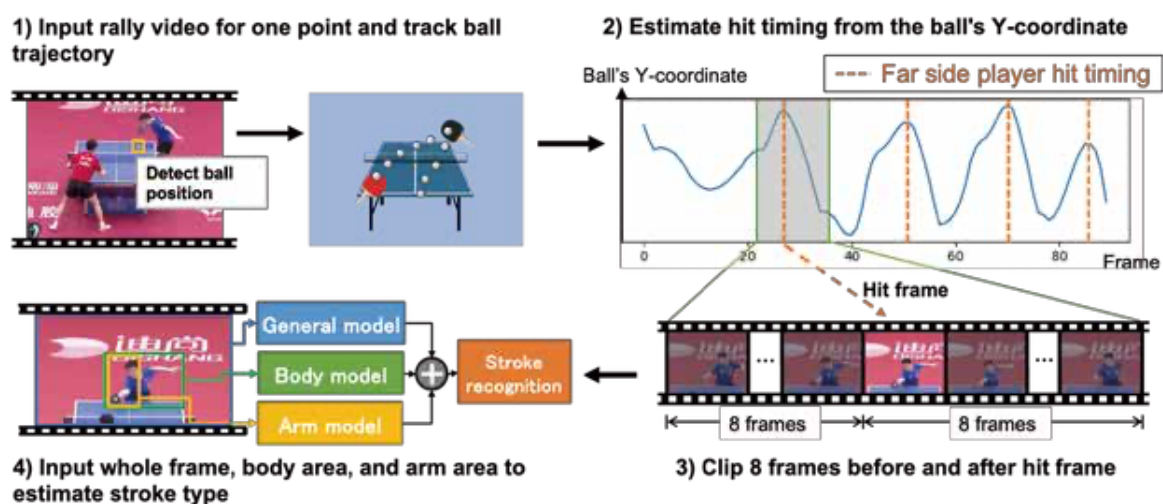
#### [14] 陸上ビデオ解析による骨格データを用いたピッチとストライドの推定【謝】

スポーツ科学は、動作や身体データの詳細な分析を通じてアスリートのパフォーマンス向上に寄与してきた。陸上競技においては、ストライドおよびピッチが競技記録の向上における重要な要素である。従来のレーザーやセンサーを用いた計測手法は主にトップレベルの競技会に限られており、より広範な応用に向けては、マーカー不要かつ非接触での計測技術が求められている。本研究では、RGB カメラ映像から得られる骨格データを用いて、ストライドおよびピッチを計測する手法を提案する。本手法は、中・長距離走を対象とし、カーブ走路を走行するアスリートの映像を用いて検証を行った。その結果、ストライドおよびピッチの計測が可能であり、走行動作の繊細な変化を捉えることに成功した。本研究成果は、GCCE2024 において発表している。



#### [15] 選手の動作に基づく卓球のストローク認識【謝】

本研究では、卓球におけるストローク動作の自動認識手法を提案する。オリンピックのような高レベルの競技において重要となる多様かつ複雑なストローク技術に対応することを目的としている。放送映像を用い、選手の位置、身体の動き、利き腕の動作に着目して解析を行う。映像フレームは「全体画像」「体周辺のクローズアップ」「利き腕領域」の3つの領域に分割され、それぞれに対して深層学習アルゴリズムを適用し、3つの認識モデルを構築する。これらのモデルの出力を統合することで、ストロークの識別精度を向上させる。本手法は、プロ選手の試合映像を用いた評価により、手動による分析の負担を軽減し、戦術的な洞察の獲得を支援するものであり、スポーツ解析分野における重要な進展を示す。本研究成果は、GCCE2024 において発表している。



#### 4. 教育

|                  |           |                                                                |
|------------------|-----------|----------------------------------------------------------------|
| Nicholas Schwier | 博士(工学)    | The Influence of Intentional Visual Structures on Human Vision |
| 上田 樹             | 博士(人間情報学) | 運動予測と 3 次元再構成による人物の自由視点映像生成                                    |

|        |           |                                      |
|--------|-----------|--------------------------------------|
| 羽賀 勇人  | 修士(工学)    | 試合映像からの骨格推定に基づく柔道の技分類                |
| 遠藤 雅弥  | 修士(工学)    | サッカー試合映像からの選手とボールの関係と選手の重点を用いたドリブル評価 |
| 加納 啓汰  | 修士(工学)    | 文化財のデジタルコンテンツ生成に適した多視点カメラ配置          |
| 宮島 大和  | 修士(工学)    | 視覚的顕著性の操作による車窓映像上での非明示的な視線誘導         |
| 高月 峻太郎 | 修士(人間情報学) | 開腹手術を対象とした多視点撮影方式の構築と直下視点映像生成        |
| 山岸 峻造  | 修士(工学)    | パンチルトズーム映像に基づく大規模フィールド上を移動する人物の位置推定法 |
| 寺内 翔英  | 修士(工学)    | 単一カメラ映像を用いた白杖歩行における白杖と身体との関係解析       |
| 多田 遥香  | 修士(人間情報学) | 協調学習のための感情推定を用いたグループ形成方式の提案と評価       |

|       |        |                                  |
|-------|--------|----------------------------------|
| 田山 悠人 | 修士(工学) | 主観評価と EEG を用いたプロテウス効果による集中力向上の検証 |
| 藤井 航  | 修士(工学) | 中間視点画像生成による疑似光軸一致型プロジェクタ・カメラシステム |
| 白茂 宇宙 | 修士(工学) | 自動車運転者の骨格表現を用いた運転動作推定            |
| 木村 晃二 | 修士(工学) | 陸上競技映像からのバトンパスにおける選手の速度推定        |

|              |        |                                                                                                                                                          |
|--------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mingsong Guo | 学士(工学) | Investigating the Optical Properties of the Double Perovskite Semiconductor $\text{Cs}_2\text{AgFeCl}_6$ and its Physical Properties under High Pressure |
| 工藤 大誠        | 学士(工学) | 追いかける再生時間制御によるライブ自由視点映像視聴の快適性向上                                                                                                                          |
| 康 宇童         | 学士(工学) | Transformer を用いたテニス試合映像における自動打法分類                                                                                                                        |
| 植田 智洋        | 学士(工学) | ニューラル場を用いた屋外環境に適用可能な Visual SLAM                                                                                                                         |
| 畠中 啓伍        | 学士(工学) | 一人称シューティングゲーム視聴に適した動的カメラワーク制御                                                                                                                            |
| 福井 レオナ       | 学士(工学) | 防具と姿勢に基づく伝統空手組手映像からの技の判定                                                                                                                                 |
| 孟 瀝原         | 学士(工学) | トンネル掘削機パネル映像における丸型アナログメーター読取方式                                                                                                                           |

## 5. 受賞、外部資金、知的財産権等

### 受賞

1. MIRU オーディエンス賞, 上田 樹, 千葉 直也, 相澤 宏旭, 片岡 裕雄, 北原 格, “Neural Density-Distance Field を用いたニューラルレンダリングの透過率バウンドおよび高速化”, 2024/8.
2. IEEE GCCE 2024 Presentation Awards, Chun Xie, Mao Fujiwara, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “Table Tennis Stroke Recognition Based on Player Motions”, 2024/11.
3. Best Student Paper Honorable Mention at 12th International Conference on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS2024), Shunzo Yamagishi, Chun Xie, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “A Player Position Tracking Method Based on a Wide-Area Pan-Tilt-Zoom Video”, 2024/11.
4. Best Presentation Award at The 16th Asia-Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2024), Kai Shishido, Chun Xie, Masahiko Inoue, and Itaru Kitahara, “Investigation of

an Immersive Telecommunication Method Based on Live-Action Video with Perspective Taking”, 2024/11.

5. The Best Paper at International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) 2025, Yuto Tayama and Yoshinari Kameda, “Investigation and Quantitative Evaluation of Concentration Improvement Using the Proteus Effect”, 2025/1.
6. MVE 賞, 寺内 翔英, 松尾 政輝, 亀田 能成, “単一カメラに基づく白杖歩行状態の時空間解析, 2025/3.
7. MVE 賞, 木村 晃二, 榎本 靖士, 亀田 能成, “固定広角映像からのテイクオーバーゾーンにおけるリレー選手の速度変化推定”, 2025/3.
8. 日本フットボール学会奨励賞, 黒田 堅仁, 小井土 正亮, 亀田 能成, “多義的に戦術的行動が付与されたサッカー映像データセット構築”, 2025/3.

## 外部資金

1. 科研費・基盤(B) 「生体と行動の計測に基づく VR 体験の主観評価安定化」(2021-2024 年度) 代表者：亀田能成 全年度直接経費：960 万円 (2024 年度直接経費：260 万円)
2. 科研費・挑戦的研究(萌芽) 「道具を使う人間行動に対する拡張骨格構造を用いた計測と識別」(2022-2024 年度) 代表者：亀田能成 全年度直接経費：500 万円 (2024 年度直接経費：150 万円)
3. 科研費・国際共同研究強化(B) 「Mining4.0 時代における効率的な発破のためのデジタルツイン技術の共創」(2021-2024 年度)代表者：川村洋平(研究分担者：北原、謝) 全年度直接経費：1460 万円 (2024 年度直接経費：220 万円、分担 70 万円)
4. 科研費・挑戦的研究(開拓) 「道路路面の地盤変状の状態量から末梢系埋設管路の地震損傷を推定するアルゴリズム開発」(2022-2024 年度)代表者：庄司学(研究分担者：北原) 全年度直接経費：1930 万円 (2024 年度直接経費：560 万円、分担 70 万円)
5. 科研費・基盤(B) 「Motion Sense-free Cabin:自動走行時の快適性向上を目的とした搭乗者の移動感覚制御」(2024-2027 年度)代表者：神原誠之(研究分担者：北原) 全年度直接経費：1440 万円 (2024 年度直接経費：430 万円、分担 130 万円)
6. 科研費・基盤(B) 「情報化施工および情報化防災を加速する AI 岩盤・土壌自動評価システムの構築」(2022-2025 年度)代表者：川村洋平(研究分担者：北原) 全年度直接経費：1180 万円 (2024 年度直接経費：410 万円、分担 90 万円)
7. 科研費・基盤(B) 「発達障害児の親のための VR 技術を活用したインターネットペアレントトレーニングの開発」(2023-2027 年度) 代表者：井上雅彦(研究分担者：北原) 全年度直接経費：1080 万円 (2024 年度直接経費：240 万円、分担 10 万円)

8. 科研費・基盤(A)「文理工芸融合の応用科学の形成と新文化遺産パラダイムの展開：日独の戦後遺産を対象に」(2024-2027 年度)代表者：池田真利子(研究分担者：北原) 全年度直接経費：3580 万円 (2024 年度直接経費：1120 万円、分担 79 万円)
9. 科研費・基盤(A)「文化遺産アセットの効率的利活用を目指したミュージアム DX 技術の開発」(2023-2027 年度)代表者：和田浩(研究分担者：北原) 全年度直接経費：3560 万円 (2024 年度直接経費：750 万円、分担 60 万円)
10. 科研費・基盤(C)「フィジカルデータベース開発と実践を通じたコーチングシステムの構築」(2023-2025 年度) 代表者：谷川聡(研究分担者：北原) 全年度直接経費：340 万円 (2024 年度直接経費：90 万円、分担 5 万円)
11. 科研費・基盤(C)「多視点カメラの AI 制御による開腹手術ナビゲーションシステム開発」(2022-2024 年度)代表者：橋本真治(研究分担者：北原) 全年度直接経費：3100 万円 (2024 年度直接経費：40 万円、分担 5 万円)
12. 科研費・基盤(C)「移動式 X 線透視装置のための複合モダリティフュージョン技術の開発」(2023-2025 年度) 代表者：吉井雄一(研究分担者：北原、謝) 全年度直接経費：360 万円 (2024 年度直接経費：100 万円、分担 60 万円)
13. 科研費・若手研究「拡張現実感を用いた空間認識力補完による腹腔鏡下手術支援方式」(2023-2024 年度) 代表者：謝淳 全年度直接経費：360 万円 (2024 年度直接経費：180 万円)
14. 科研費・基盤(C)「超音波診断におけるディープラーニングの実装～靱帯損傷診断システム開発～」(2024-2026 年度) 代表者：十時靖和 (研究分担者：謝) 全年度直接経費：360 万円 (2024 年度直接経費：170 万円、分担 30 万円)
15. JST SATREPS「地中熱利用による脱炭素型熱エネルギー供給システムの構築」代表者：稲垣文昭 (研究分担者：北原、謝) 全年度：17980 万円 (2024 年度分担 394 万円)
16. スポーツ庁受託事業「先端的スポーツ医科学研究推進事業」代表者：高橋英幸(研究分担者：北原、謝) 全年度：25000 万円 (2024 年度分担 460 万円)
17. 共同研究費・CapGemini 「日本の交通文脈に即した次世代モビリティの研究開発」(2023-2026 年度)代表者：伊藤誠(研究分担者：亀田、北原) 全年度分担 1200 万円
18. 共同研究費・エクシオグループ株式会社「推進工法作業のリモート支援システムに関する研究開発」代表者：北原格 180 万円
19. 共同研究費・株式会社日立製作所「屋外環境の 3D 空間構築に向けた次世代 VisualSLAM の研究開発」代表者：北原格(研究分担者：謝) 165 万円

## 6. 研究業績

### (1) 研究論文

#### A) 査読付き論文

1. Pragyan Shrestha, Chun Xie, Yuichi Yoshii, and Itaru Kitahara, “2D-3D Registration Method for X-Ray Image Using 3D Reconstruction Based on Deep Neural Network”, IEEE Transactions on Image Electronics and Visual Computing, vol.12, no.2, pp.60-67, 2024/12.

#### B) 査読無し論文

該当なし

### (2) 国際会議発表

#### A) 招待講演

該当なし

#### B) 一般講演

1. Yamato Miyajima, Chun Xie, and Itaru Kitahara, “Video Generation Method Unconsciously Gaze-Guiding for a Passenger on Autonomous Vehicle with Controlling Color and Resolution 15th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2024), vol.121, pp. 9-18, 2024/7, Nice, France. (DOI: <https://doi.org/10.54941/ahfe1004609>)
2. Nicholas Schwier, Sunao Iwaki, and Yoshinari Kameda, “Effects of Artistic Structure on Eye Gaze and Neural Changes in Response to Structured and Unstructured Images of Natural Scenes”, NEURO2024, 2024/7, Fukuoka, Japan.
3. Luoxi Zhang, Chun Xie, and Itaru Kitahara, “A 3D Model Generation from a Single Snapshot in Outdoor Scene”, 2024 IEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2024), pp.1-5, 2024/10, Kitakyushu, Japan.  
(DOI: <https://doi.org/10.1109/GCCE62371.2024.10760813>)
4. Chun Xie, Yuta Niisato, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “Pitch and Stride Estimation Using Skeletal Data from Track and Field Video Analysis”, 2024 IEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2024), pp.183-186, 2024/10, Kitakyushu, Japan. (DOI: <https://doi.org/10.1109/GCCE62371.2024.10760983>)
5. Chun Xie, Mao Fujiwara, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “Table Tennis Stroke Recognition Based on Player Motions”, 2024 IEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2024), pp.337-341, 2024/10, Kitakyushu, Japan.  
(DOI: <https://doi.org/10.1109/GCCE62371.2024.10760455>)

6. Kento Kuroda, Ikuma Uchida, Keisuke Fujii, and Yoshinari Kameda, “Estimation of Overlapped Tactical Actions from Soccer Match Video”, 12th International Conference on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS2024), pp.257-264, 2024/11, Porto, Portugal. (DOI: <https://doi.org/10.5220/0013066300003828>)
7. Shinya Ishikawa, Kenji Yoshida, and Yoshinari Kameda, “Quantification of Visual Search Motion During Basketball in VR Simulation”, 12th International Conference on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS2024), pp.225-232, 2024/11, Porto, Portugal. (DOI: <https://doi.org/10.5220/0013018600003828>)
8. Soma Watanabe and Yoshinari Kameda, “Punch Type Classification and Hit Judgement Using Estimated Skel-Etal Model in Boxing Match Videos”, 12th International Conference on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS2024), pp.218-224, 2024/11, Porto, Portugal. (DOI: <https://doi.org/10.5220/0013018400003828>)
9. Shunzo Yamagishi, Chun Xie, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “A Player Position Tracking Method Based on a Wide-Area Pan-Tilt-Zoom Video”, 12th International Conference on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS2024), pp.46-53, 2024/11, Porto, Portugal. (DOI: <https://doi.org/10.5220/0012920100003828>)
10. Ayaka Shimazu, Chun Xie, Satoru Tanigawa, and Itaru Kitahara, “A Human Pose Estimation Method from Pseudo-Captured Two-Viewpoints Video”, 12th International Conference on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS2024), pp.148-154, 2024/11, Porto, Portugal. (DOI: <https://doi.org/10.5220/0012921400003828>)
11. Zichen Tan, Shota Nakazawa, Kenji Yoshida, and Yoshinari Kameda, “Ability Evaluation of Basketball Players on Responding to Situations in VR Simulator”, The 16th Asia-Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2024), 15 pages, 2024/11, Kyoto, Japan.
12. Kai Shishido, Chun Xie, Masahiko Inoue, and Itaru Kitahara, “Investigation of an Immersive Telecommunication Method Based on Live-Action Video with Perspective Taking”, The 16th Asia-Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2024), 2024/11, Kyoto, Japan.
13. Wataru Fujii, Chun Xie, and Itaru Kitahara, “A Pseudo Optical-Axis-Matching Projector-Camera System Using Intermediate-View Image Generation”, The 16th Asia-Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2024), 2024/11, Kyoto, Japan.
14. Pragyan Shrestha, Chun Xie, Yuichi Yoshii, and Itaru Kitahara, “Rayemb: Arbitrary Landmark Detection in X-Ray Images Using Ray Embedding Subspace”, 17th Asian Conference on Computer Vision (ACCV2024), pp.665-681, 2024/12, Hanoi, Vietnam. (DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-96-0901-7\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-96-0901-7_15))

15. Yusuke Iida and Yoshinari Kameda, “Eeg Analysis for Cognition During Soccer Play Experience Using Head Mounted Display”, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) 2025, vol.13510, pp.135101M-1 - 135101M-6, 2025/1, Yunlin, Taiwan.  
(DOI: <https://doi.org/10.1117/12.3058028>)
16. Yuto Tayama and Yoshinari Kameda, “Investigation and Quantitative Evaluation of Concentration Improvement Using the Proteus Effect”, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) 2025, vol.13510, pp.1351019-1 - 1351019-6, 2025/1, Yunlin, Taiwan. (DOI: <https://doi.org/10.1117/12.3058001>)
17. Masaya Endo and Yoshinari Kameda, “Dribbling Posture Estimation Using a Human Skeleton Model with a Ball”, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) 2025, vol.13510, pp.135101G-1 - 135101G-6, 2025/1, Yunlin, Taiwan.  
(DOI: <https://doi.org/10.1117/12.3058021>)
18. Sora Shiromo and Yoshinari Kameda, “Bicycle Rider Pose Estimation Using a Human Skeleton Model with Bicycle Parts”, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) 2025, vol.13510, pp.135101J-1 - 135101J-6, 2025/1, Yunlin, Taiwan.  
(DOI: <https://doi.org/10.1117/12.3058024>)
19. Wataru Fujii, Chun Xie, and Itaru Kitahara, “A Pseudo Optical-Axis-Matching Projector-Camera System by Using Intermediate Viewpoint Image Generation”, International Workshop on Frontiers of Computer Vision (IWFCV) 2025, 2025/2, Seoul, Korea.
20. Keita Kano, Chun Xie, and Itaru Kitahara, “Multi-View Images Acquisition for Digital Content Creation of Cultural Heritage”, International Workshop on Frontiers of Computer Vision (IWFCV) 2025, 2025/2, Seoul, Korea.

### (3) 国内学会・研究会発表

#### A) 招待講演

1. 北原 格, “<学会企画シンポジウム>コーチングを取り巻くモノの変化ーコーチング学とコーチの今後に影響を及ぼすモノ”, 日本コーチング学会 第36回学会大会, 2025/3, 筑波大学.

#### B) その他の発表

1. 山岸 峻造, 謝 淳, 宍戸 英彦, 北原 格, “パンチルトズーム映像による広範囲を移動する選手の位置推定法の検討”, 情報処理学会研究報告 SI, 2 pages, 2024/6, 東京とオンライン.

2. 島津 彩香, 謝 淳, 谷川 聡, 北原 格, “疑似的に撮影した二視点映像からの人体骨格推定”, 情報処理学会研究報告 SI, 2024/6, 東京とオンライン.
3. 上田 樹, 千葉 直也, 相澤 宏旭, 片岡 裕雄, 北原 格, “Neural Density-Distance Field を用いたニューラルレンダリングの透過率バウンドおよび高速化”, 第 27 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2024) , OS1-C-07, 2024/8, 熊本.
4. Pragyan Shrestha, Chun Xie, Yuichi Yoshii, and Itaru Kitahara, “Rayemb: Arbitrary Landmark Detection in X-Ray Images Using Ray Embedding Subspace”, The 27th Meeting on Image Recognition and Understanding (MIRU2024), IS-1-012, 2024/8, Kumamoto, Japan.
5. 多田 遥香, 謝 淳, 北原 格, “挨拶動画からのマルチモーダル情報に基づく感情推定を用いた協調学習のためのグループ形成方式”, 第 27 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2024) , 2024/8, 熊本.
6. 山岸 峻造, 謝 淳, 宍戸 英彦, 北原 格, “パンチルトズーム映像による広範囲を移動する選手の位置推定手法”, 第 27 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2024) , IS2-166, 2024/8, 熊本.
7. 北原 格, “デジタルホスピタルの展望と 3D Surgical Vision の紹介”, サイバーメディシン研究センターキックオフシンポジウム, 2024/8, つくば.
8. 岡田 夏男, 有馬 孝彦, 鳥屋 剛毅, 大友 陽子, 北原 格, 川村 洋平, “高空間分解能マルチスペクトル画像を用いた資源探査方法の開発”, 2024 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 1501-06-01, 2024/9, 秋田.
9. 蛭田 雄也, 謝 淳, 小田原 豊, 松尾 敬太, 川村 洋平, 北原 格, “小口径トンネル推進工法のための映像情報に基づく計測法の検討”, 2024 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2107-24-01, 2024/9, 秋田.
10. 宮島 大和, 澤邊 太志, 神原 誠之, 謝 淳, 北原 格, “乗り物酔い軽減を目的とした色と解像度の制御に基づく無意識的な視線誘導システム”, 日本バーチャルリアリティ学会第 29 回大会論文集, 2E1-04, 2024/9, 名古屋とオンライン.
11. 渡辺 雄大, セレスタ プラギャン, 謝 淳, ジャン ヒョンドゥ, 和田 浩, 川村 洋平, 北原 格, “屋外空間における体験共有のための Location-Based AR システムの構築”, 日本バーチャルリアリティ学会第 29 回大会論文集, 2B1-05, 2024/9, 名古屋とオンライン.
12. 宍戸 海, 謝 淳, 井上 雅彦, 北原 格, “視点取得可能な実写映像に基づく没入型テレコミュニケーション方式の検討”, 日本バーチャルリアリティ学会第 29 回大会論文集, 2A1-03, 2024/9, 名古屋とオンライン.

13. 藤井 航, 謝 淳, 北原 格, “中間視点画像生成による疑似光軸一致型プロカムシステムの検討”, 日本バーチャルリアリティ学会第29回大会論文集, 3E2-10, 2024/9, 名古屋とオンライン.
14. 亀田 能成, “集団行動における暗黙的合意形成過程の認識と検証の枠組み”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.124, no.192, pp. 45-48, 2024/9, 利尻とオンライン.
15. 池上 柊人, 山岸 峻造, 尾山 匡浩, 北原 格, “フィールド上の選手位置推定精度向上のための CG シミュレーションを用いたデータセットの構築”, 情報処理学会研究報告 SI, 3 pages, 2024/11, 北見工業大学.
16. 石井 智也, 亀田 能成, “歩行者のカメラ装着体に対する振る舞いを評価するための研究基盤の構築”, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム 2024, 5 pages, 2024/12, 金沢.
17. 寺内 翔英, 亀田 能成, “単一カメラ映像からの白杖歩行者に対する姿勢推定の精度検証”, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム 2024, 6 pages, 2024/12, 金沢.
18. 大浦 那佑太, 亀田 能成, “視線誘導によるサッカー選手の視覚探索運動の改善への検討”, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム 2024, 5 pages, 2024/12, 金沢.
19. 木村 亮一, 亀田 能成, “自転車前方に取り付けたカメラ映像からの安全ルート推定”, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム 2024, 5 pages, 2024/12, 金沢.
20. 張 横, 亀田 能成, “骨格推定に基づく車いすテニス選手の動作推定の検討”, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム 2024, 4 pages, 2024/12, 金沢.
21. 半田 健人, 亀田 能成, “力士骨格の時系列表現に基づく技の掛け合い認識”, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム 2024, 5 pages, 2024 年 12 月 11 日~13 日, 金沢.
22. 深澤 晨浩, 亀田 能成, “打ち方によって決まる卓球の打球軌道予測要因に関する動画解析”, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム 2024, 5 pages, 2024/12, 金沢.
23. 畠中 啓伍, 亀田 能成, “FPS ゲーム視聴に適した動的カメラワーク制御への検討”, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム 2024, 5 pages, 2024/12, 金沢.
24. 赤堀 史津香, 照屋 翔太郎, セレスタ プラギャン, 道信 龍平, 飯塚 里志, 北原 格, “超音波肘画像におけるキーポイント検出を用いた関節裂隙の計測”, 情報処理学会研究報告 CVIM, 2025/1, 福岡.
25. 高月 峻太郎, 謝 淳, 熊野 皓一郎, 北口 大地, 橋本 真治, 小田 竜也, 北原 格, “多視点開腹手術映像からの直下視点映像生成による遮蔽問題の解消”, 日本バーチャルリアリティ学会第75回複合現実実感研究会, 6 pages, 2025/1, 福岡.
26. セレスタ プラギャン, 謝 淳, 吉井 雄一, 北原 格, “任意ランドマーク推定を用いた X 線画像と 3 次元 CT の位置合わせ手法”, 日本バーチャルリアリティ学会第75回複合現実実感研究会, 7 pages, 2025/1, 福岡.

27. 木村 晃二, 榎本 靖士, 亀田 能成, “バトンパスの工学的な解析に向けた競技映像からのバトンパス前後における選手の速度推定”, 日本陸上競技学会第 23 回大会, 2025/2, 仙台.
28. 木村 晃二, 榎本 靖士, 亀田 能成, “固定広角映像からのテイクオーバーゾーンにおけるリレー選手の速度変化推定”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.124, no.406, pp. 67-72, 2025/3, 沖縄.
29. 羽賀 勇人, 松井 崇, 亀田 能成, “二体の骨格推定に基づく柔道試合映像からの技分類”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.124, no.406, pp. 162-167, 2025/3, 沖縄.
30. 福井 レオナ, 亀田 能成, “防具と姿勢に基づく伝統空手組手映像からの技の判定”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.124, no.406, pp. 168-172, 2025/3, 沖縄.
31. 寺内 翔英, 松尾 政輝, 亀田 能成, “単一カメラに基づく白杖歩行状態の時空間解析”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.124, no.406, pp. 173-178, 2025/3, 沖縄.
32. 遠藤 雅弥, 小井土 正亮, 亀田 能成, “サッカー試合映像でのボールと選手の位置関係に基づくドリブル評価”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.124, no.406, pp. 348-353, 2025/3, 沖縄.
33. 黒田 堅仁, 小井土 正亮, 亀田 能成, “多義的に戦術的行動が付与されたサッカー映像データセット構築”, 日本フットボール学会 22nd Congress, 2025/3, 豊田.
34. 遠藤 雅弥, 小井土 正亮, 亀田 能成, “試合映像中の選手骨格とボール配置に基づくドリブル評価の取り組み”, 日本フットボール学会 22nd Congress, 2025/3, 豊田.
35. 多田 遥香, 謝 淳, 北原 格, “協調学習のための感情推定を用いたグループ形成方式の提案”, 電子情報通信学会 技術研究報告 CNR, vol.124, no.441, pp. 5-10, 2025/3, 八丈島とオンライン.
36. 工藤 大誠, 謝 淳, 北原 格, “追いかけて再生時間制御によるライブ自由視点映像視聴の快適性向上の検討”, 電子情報通信学会 技術研究報告 CNR, vol.124, no.441, pp. 15-20, 2025/3, 八丈島とオンライン.
37. 宮島 大和, 澤邊 太志, 神原 誠之, 謝 淳, 北原 格, “車窓映像上での非明示的な視線誘導のための視覚的顕著性の設定法”, 電子情報通信学会 技術研究報告 CNR, vol.124, no.441, pp. 78-83, 2025/3, 八丈島とオンライン.
38. 郭 明松, 謝 淳, 北原 格, “自動走行車両におけるゲーミフィケーションを用いた視線誘導に関する検討”, 電子情報通信学会 技術研究報告 CNR, vol.124, no.441, pp. 84-89, 2025/3, 八丈島とオンライン.

#### (4) 著書、解説記事等

該当なし

### 7. 異分野間連携・産学官連携・国際連携・国際活動等

#### 異分野間連携（センター内外）

##### 1. スポーツ庁受託事業「先端的スポーツ医科学研究推進事業」

（グループリーダー：北原、担当研究者：謝）

先端的なスポーツ医・科学研究の推進と研究で得られた知見の実践活用を目的として、筑波大学ヒューマン・ハイ・パフォーマンス先端研究センター（ARIHHP）が取り組む表記事業に、「マルチモーダル計測と深層学習(AI)を用いたパフォーマンス分析・フィードバック方法の開発」グループとして参画している。具体的には、①マルチモーダル・パフォーマンスビックデータの構築、②映像情報からのマルチモーダルデータ推定、③トップパフォーマンス下での戦術分析、④アスリートや指導者へのフィールドバックインタフェースの開発に取り組んでいる。今年度は野球とパフォーマンス映像分析を対象として、①②③の研究開発に取り組み、広範囲を移動する競技者を追尾撮影した映像に基づく位置推定、および、簡易な撮影装置による3次元動作分析手法を実現した。

##### 2. JST 共創の場プロジェクト「つくばデジタルバイオ国際拠点」（北原）

学際的な生命科学研究と人工知能技術の融合を目的として、筑波大学サイバーメディシン研究センターが取り組む表記事業に、デジタルホスピタル部門長として参画している。次世代型オペレーションルーム、病院内自動運転システム、入院生活支援システム等の研究開発を通じて、医療データのデジタル化と医療課題に則した医療技術における「暗黙知」の発見獲得に必要となるデジタル情報を用いた AI モデルと技術伝承のアシストシステムの開発に取り組み、今年度は、開腹外科手術の多視点映像撮影装置の構築および直下視点映像の生成方式を実現した。

#### 産学官連携

計算メディア分野の亀田能成と北原格は、キャップジェミニ株式会社と、2024年度から本格的に共同研究を進めている。キャップジェミニ側は先進運転支援システム(ADAS)や自動運転(AD)の産業界での利活用の経験があることから、それらを基盤とした研究展開を試みているところである。2024年度は自動運転車の搭乗者の安全安心な乗車感覚の提供を目指した研究などが進められてきたところである。

産学連携：株式会社日立製作所

ニューラルネットワークで3次元シーンの密度や放射輝度の分布を連続的に表現するニューラル場を、映像情報から撮影シーンの3次元復元（Mapping）と撮影カメラの位置姿勢推定（Localization）を同時に行う Visual SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）に導入することを目的とした研究に取り組んだ。特に、屋外環境での利用を想定し、ニューラルネットワークに入力する位置情報（座標）を正規化することで、壁や天井といった明確な境界を持たない撮影シーンにおける SLAM 実現の可能性を検討した。実証実験を通じて、直近のフレームを参照する Visual SLAM の枠組みでは、境界を持たない空間の概形を捉えることは可能だが、カメラ姿勢を安定して推定することが困難であることを確認した。

産学連携：エクシオグループ株式会社

トンネル掘削機（TBM）の操縦支援を目的とし、計器パネル映像から丸型アナログメーターの指針角度を自動的に認識するシステムを構築した。物体検出技術（YOLOv6）を用いた計器領域の認識、ホモグラフィ変換による幾何学的補正、角度相関法を利用した指針角度の検出を組み合わせることで、実用的な計器読み取り手法を提案した。

## 国際連携・国際活動

JST SATREPS「地中熱利用による脱炭素型熱エネルギー供給システムの構築」（グループリーダー：北原、担当研究者：謝）

タジキスタンの豊富な地下水資源に着目し、先端的 ICT による「先進乾燥地帯対応型地中熱ヒートポンプシステム（タジキスタンモデル）」の実現に向けたプロジェクトに、AI・VR 技術を用いたデモプラントの遠隔運用支援グループとして参画している。具体的には、現地（タジキスタン・ドゥシャンベ）の科学技術アカデミーに建設中のデモプラントのデジタルツイン構築、投影型 AR を用いた日本とタジキスタン間での遠隔指示インタフェースに関する研究開発に取り組んでいる。

参考：<https://www.akita-u.ac.jp/shigen/itag-satreps/ja/#outline>

## 8. シンポジウム、研究会、スクール等の開催実績

該当なし

## 9. 管理・運営

亀田 能成

エンパワーメント情報学プログラム 運営委員会 委員長

知能機能システム学位プログラム 学務カリキュラム委員会 副委員長

全学 教学システム運用委員会 委員長

全学 教育戦略会議 委員

北原 格

ヒューマニクス学位プログラム 運営委員会 委員

ヒューマニクス学位プログラム 入試委員会 副委員長

計算科学研究センター 広報・戦略室 室長

工学システム学類 カリキュラム委員会 委員長

全学 教育課程委員会 委員

謝 淳

工学システム学類FD委員会 委員

エンパワーメント情報学プログラム 学務カリキュラム委員会 委員

## 10. 社会貢献・国際貢献

亀田 能成

電子情報通信学会 メディアエクスペリエンス・仮想環境基礎研究会(MVE) 顧問

電子情報通信学会 サイバーワールド 時限研究専門委員会(CW) 委員

北原 格

日本バーチャリアリティ学会 SIG-MR 研究会 委員長

情報処理学会スポーツ情報学研究会(SI) 幹事

映像情報メディア学会スポーツ情報処理研究会(SIP) 幹事

## 11. その他

亀田 能成

人工知能科学センターでも研究に従事（プロジェクト研究部門モビリティ分野）。

北原 格

筑波大学サイバニクス研究センター、ヒューマン・ハイ・パフォーマンス先端研究センター（スポーツ計算科学部門）、サイバーメディシン研究センター（デジタルホスピタル部門）でも研究に従事。