

## 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)
研究員	太田 玲央、宮本 隆典
共同研究員	北川 博之
学生	大学院生 29名、学類生 6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、国際睡眠医学統合機構 (IIS) 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、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)、NEDO (令和 2 年度～令和 6 年度) 等の外部研究資金をもとに研究を進展させるとともに、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), NEDO)

##### (1) 高次元データストリームに対する効率的な外れ値検出：VOA\*

外れ値検出は、他のデータとは大きく異なる特徴を有するデータポイントを発見するデータマイニングタスクである。最近では、リアルタイム性を有するストリームデータ等の増加や多様化に伴い、データストリームに対する外れ値検出の重要性が高まっている。従来の代表的な外れ値検出手法は、特徴空間におけるポイント間の距離や密度をベースにしているが、これらの手法は高次元空間では、次元の呪いのためにうまく機能しないことが指摘されている。

高次元データに対するより安定した外れ値検出方法として、角度ベース外れ値検出 (ABOD) が 2008 年に提案された。これは、特徴空間中のあるポイント  $p$  を考えた時、他のポイント対  $q, r$  に対して  $pq$  と  $pr$  がなす角度を考える。全てのポイント対  $q, r$  に対してこの角度を計算しその分散を基に  $p$  の外れ値度合いを測るものである。クラスターに含まれるポイント ( $p_2$ ) に対する角度の分散は、クラスターの境界 ( $p_3$ ) または外れ値 ( $p_1$ ) のポイントに対する角度の分散よりも、広がり大きい傾向があることが期待できる (図 1)。具体的な角度ベース外れ値検出手法としてはいくつかの種類があるが、その一つとして、2012 年に Pham らによって提案された、距離による重み付けを行わず純粋に角度の分散値のみを外れ値検出に用いる VOA 手法がある。VOA は静的なデータ集合を対象としているが、本研究では、ストリームデータにそれを適用可能とし、差分計算によって動的なストリームに対して外れ値検出を効率的に行う VOA\* を提案した。

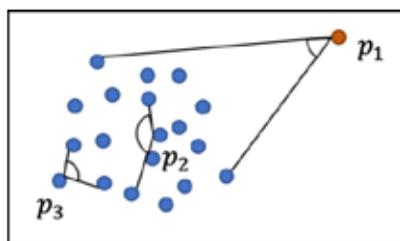


図 1. 角度ベース外れ値検出手法

VOA\* は、ストリームデータに対する固定長の移動窓内のポイントを対象とし、窓内の外れ値ポイントを、窓の移動のたびに更新して検出する。時刻  $t$  における窓内のポイント  $p$  を考えた時、外れ値度  $VOA_t(p)$  は、窓内の他の全ての対  $q, r$  に対して  $pq, pr$  がなす角度の分散値を計算したものである。VOA<sub>t</sub>( $p$ ) が小さい程、外れ値の可能性が高くなる。本研究では、外れ値度の閾値  $\tau$  が与えられた場合を想定し、 $\tau$  以下の VOA<sub>t</sub>( $p$ ) をもつポイントを外れ値として検出する問題を対象とする。時間が経過し窓が移動した場合、新たなポイントが窓に加わり、古いポイントが窓から除去される。したがって、窓内のポイント  $p$  の VOA<sub>t</sub>( $p$ ) は、 $t$  が変化するたびに变化し得る。単純な移動窓に基づく計算では、窓が移動するたびに VOA<sub>t</sub>( $p$ ) の計算を窓内の全ての  $p$  に対して繰り返す必要があるが、移動前と移動後の計算には重なりが多く、単純な計算は冗長性が非常に大きい。

VOA\* は効率的な差分計算を実現するために、2つの独自のアイデアを導入した。1点目は、窓が移動した後に各ポイント  $p$  が取り得る VOA<sub>t</sub>( $p$ ) の上下限値を、窓移動前の VOA<sub>t</sub>( $p$ ) に基づき比較的 low cost の計算で導出する方法を、空間幾何学的な考察によって示したことである。これによって、VOA<sub>t</sub>( $p$ ) の厳密な計算なし、上下限値のみを用いて外れ値か否かの判定が可能となる場合が多く発生する。すなわち、上限値が  $\tau$  以下であればその時点で外れ値であることが判明する。また、下限値が  $\tau$  を超える場合は外れ値でないことが厳密計算なしに判明する。したがって、厳密な VOA<sub>t</sub>( $p$ ) の計算が必要なのは、上限値が  $\tau$  を超え、下限値が  $\tau$  以下で

ある場合のみになる。これによって、コストの大きい厳密計算が大幅に削減可能である。2つ目のアイデアは、 $VOA_t(p)$ の厳密な計算が必要であることが分かった際に、この厳密計算を前回  $p$  に対して厳密計算を行った後に生じた窓内のポイントの追加・削除履歴に戻つて差分計算により効率的に行うことである。 $p$  の  $VOA_t(p)$ の変化に影響を与えるポイントの追加、削除は多くの場合それ程多くはないため、全ての2点の対  $q, r$  を対象に改めて  $VOA_t(p)$ を再計算するよりも、この方法の方が厳密値の計算も効率化できる。

$VOA^*$ の実行時効率を評価するために、人工データセットとリアルデータセットで実験を行った。窓が移動するたびに  $VOA$  を全て再計算する  $NaiveVOA$ 、上下限值に基づくプルーニングは行わず毎回差分計算による厳密計算を用いて行う  $IncrementalVOA$ 、上下限值に基づく厳密計算のプルーニングのみを実行する  $SimpleVOA$  との性能比較を行った。窓の移動時には、1ポイントが追加、1ポイントが除去されるものとし、追加されたポイントと削除されたポイントの位置の差を変更した場合の実行時への影響を考慮した処理時間の測定結果を図2に示す。 $VOA^*$ は、特に、削除されたポイントと追加されたポイントの間の差が小さい場合に他の方法よりうまく機能する。これは、多くのポイントに対する  $VOA_t(p)$ の厳密計算が上下限值を用いたプルーニングにより不要となり、かつ残った少数のポイントの  $VOA_t(p)$ が窓に対する追加・削除履歴を使用して差分計算で更新されるためである。ただし、削除されたポイントと追加されたポイントの間の差が大きくなると、 $VOA^*$ の性能は  $IncrementalVOA$  に近づいてくる。さらに、UCI 機械学習リポジトリから公開されている高次元リアルデータセットで  $VOA^*$ の実行時性能をテストした。図3に示すように、 $VOA^*$ はすべてのリアルデータセットで  $IncrementalVOA$  よりも2倍程度優れた処理性能を示した。なお、本実験では、 $SimpleVOA$  と  $NaiveVOA$  は性能が低いため含まれていない。

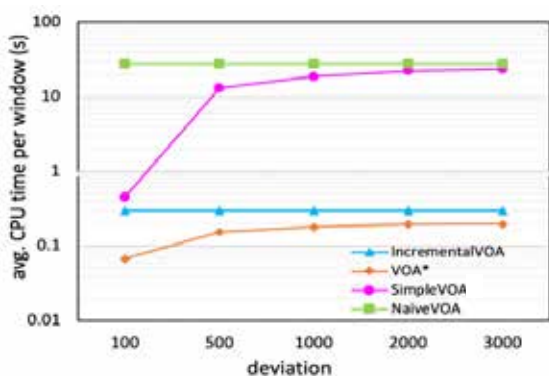


図2. 追加・削除ポイントの差を変化させた際の性能評価

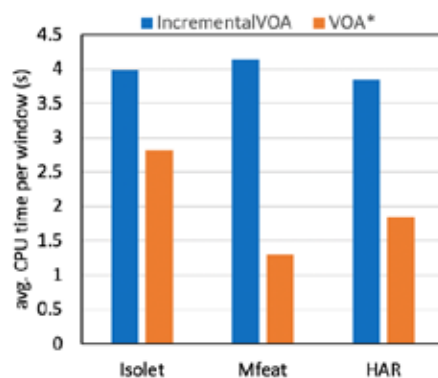


図3. リアルデータセットによる性能評価

## (2) 拡張来歴：複合的データ分析処理に対するトレーサビリティ基盤

データ分析技術の普及に伴い、実社会では様々なデータが蓄積・分析され、その結果を意思決定に活用することが広く行われている。その際、意思決定の信頼性を高めるために、導出された分析結果がどのような根拠で導出されたかを示すトレーサビリティが重要である。トレーサビリティを保証するために、これまで分析結果の元になった入力データを提示するデータ来歴が研究されてきた。しかし近年のデータ分析には、コンテンツデータ処理や AI 処理を活用した、判断ロジックが非常に複雑な処理を伴う複合的データ解析をしばしば伴うという特徴がある。こうした複合的データ分析処理に対して、従来のデータ来歴を用いて元になった入力データを提示するだけでは、その入力データから複合的データ解析がどのような根拠で分析結果を導出したのかは説明できないという問題がある。このことを踏まえ本研究では、従来のデータ来歴だけでなく複合的データ解析の判断根拠も併せて提示する拡張来歴（図 4）を提案した。

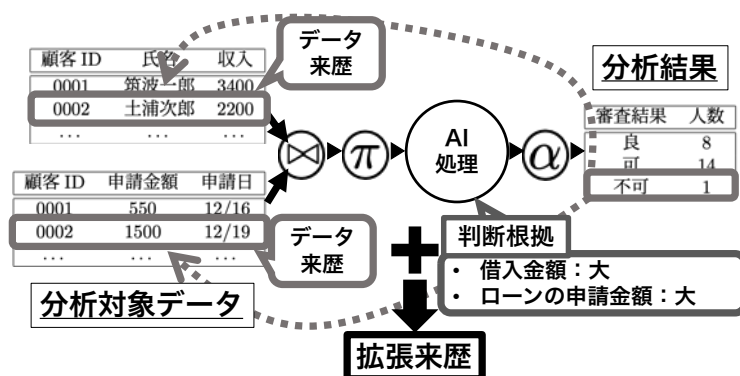


図 4. 複合的データ分析処理における拡張来歴

はじめに複合的データ解析をモデル化する Function オペレータを提案し、それをリレーショナルモデルに組み込むことで複合的データ分析処理のモデル化を行った。そしてモデル化された分析処理を対象に、先行研究の Tracing Query という来歴を求める逆クエリを活用し、分析処理の実行後に指定された分析結果の拡張来歴をピンポイントに導出する基本的手法を提案した。

さらに効率的な拡張来歴の導出方法についても以下の通り検討を行なった。提案手法で使用する Tracing Query は、分析結果と入力データで共通する属性の値をキーとして元になった入力データを追跡する。そのため図 4 のように分析結果と入力データで共通する属性が存在しない場合は、分析処理の中間結果を経由して来歴を求める必要があり、そのため拡張来歴を導出するためには分析処理の中間結果が必要である。中間結果を作成する際、単純には (1) Tracing Query 実行時に必要な中間結果を分析処理の再実行によって作成するアプローチである Rerun, (2) 分析処理の実行時にあらかじめ全ての中間結果をストアしておくアプローチである Full Materialization (Full) の 2 つの方法が存在する。しかし、前者には分析処理を再実行

するため拡張来歴導出に時間がかかるという問題点があり、後者には全ての中間結果をストアするためのストレージコストが発生するという問題点がある。そこで「複合的データ解析の実行コストは他のリレーショナル演算子の実行コストより多くの場合遥かに大きいため、複合的データ解析を実行する Function オペレータの再実行を避けられれば十分に処理時間の短縮が見込める」というアイデアに基づき、分析処理実行時には Function オペレータ出力にあたる中間結果のみあらかじめストアし、その他の中間結果は後から再計算によって作成することで導出時間とストレージコストのトレードオフを図る Function Materialization (FM)を提案した。

評価実験では PostgreSQL 上に実装した拡張来歴導出システムを用いて、複合的データ分析処理に含まれる Function オペレータの処理コストの差が拡張来歴導出処理時間に与える影響を検証した。図 5 は拡張来歴導出にかかった時間を表したグラフで、横軸は拡張来歴導出を行う対象のデータセットサイズを示している。図 5(左) が処理コストの軽い Function オペレータを含む分析処理の場合に対応しており、図 5(右) が処理コストの重い Function オペレータを含む場合に対応している。実験から Function オペレータの処理コストが重い時ほど Function Materialization が拡張来歴導出処理時間の短縮に有効に作用することが示された。さらに本実験で Function Materialization は Full Materialization と比較して約 91%ストアするタプル数を削減することに成功しており、ストレージコストの面でも Function Materialization が有効であることを示した。

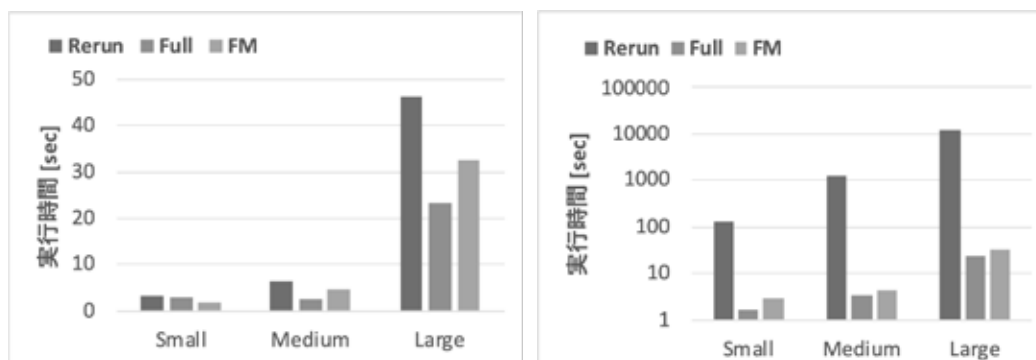


図 5. 拡張来歴導出時間の比較

## [2] データマイニング・知識技術

(関連研究費：科研費 若手研究, JST さきがけ, NEDO)

### (1) Fast ObjectRank for Large Knowledge Databases

知識ベースに格納された情報の活用は AI や機械学習モデルを構築するうえで重要な要素技術である。しかし、ObjectRank に代表される知識ベースに対する検索アルゴリズムは膨大な計算コストを必要とするため大規模なデータを扱うことが難しい。本研究では知識ベースにおける類似検索の高速化手法 SchemaRank を開発した。SchemaRank は知識ベースのスキーマ情報から、属性間のモチーフ構造を捉えることで検索処理コストを削減できることを理論的に示した。本論文では、SchemaRank は 3,660 万件規模の知識ベースにおいて、最先端の手法と比較して 100 倍程度高速に検索できることを確認した。

表 1 は提案手法 SchemaRank と最先端手法の実行時間を比較したものである。表中の N/A は検索を実行できなかったものを示している。また、Skewed と Uniform はそれぞれスキーマの種類、Pre-comp. は事前計算を必要とする手法の事前計算実行時間を示している。表 X から明らかなように、提案手法 SchemaRank はいずれの設定においても事前計算を必要とせず、著しく高速な検索処理を実現している事がわかる。また、図 6 では、知識ベース処理で標準的に利用される ObjectRank の検索結果に対する平均適合率を示している。この結果からも SchemaRank は ObjectRank と同一精度を維持していることが確認できる。

本研究の成果は Semantic Web 分野のトップ会議である ISWC2021 に採択された。日本の学術期間からの同会議への採択は約 10 年ぶりである。

表 1. 実行時間の比較

Methods	Skewed	Uniform	Pre-comp.
SchemaRank ( $k=10^2$ )	<b>134</b> ( $\pm 0.195$ ) sec.	<b>169</b> ( $\pm 0.106$ ) sec.	—
SchemaRank ( $k=10^3$ )	<b>168</b> ( $\pm 0.173$ ) sec.	<b>241</b> ( $\pm 0.122$ ) sec.	—
ObjectRank	>24 hours	>24 hours	—
BinRank	N/A	N/A	>24 hours
LORank	>24 hours	>24 hours	—
SimMat ( $k=10^2$ )	N/A	N/A	>24 hours
SimMat ( $k=10^3$ )	N/A	N/A	>24 hours
FORank ( $k=10^2$ )	2,209 ( $\pm 1.008$ ) sec.	2,677 ( $\pm 1.066$ ) sec.	—
FORank ( $k=10^3$ )	2,431 ( $\pm 1.912$ ) sec.	3,137 ( $\pm 1.903$ ) sec.	—

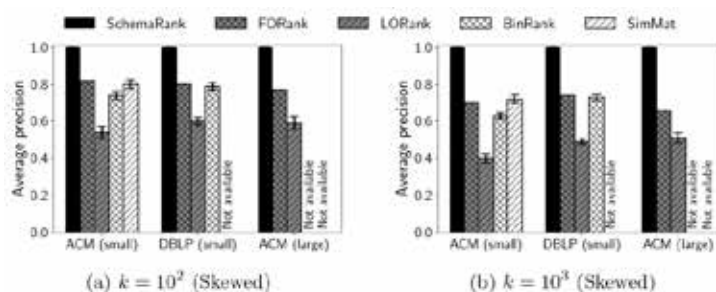


図 6. 検索精度 (平均適合率) の比較

## (2) Fast Indexing Algorithm for Efficient kNN Queries on Complex Networks

本研究では複雑ネットワークにおいて高速に  $k$  最近傍検索を行うための索引構築手法を提案した。グラフデータに対する最近傍検索手法を高速化するためにこれまで多数の索引構築手法が提案されているが、その多くは道路ネットワークなどの平面グラフを対象としたものである。複雑ネットワークは平面グラフとは異なりエッジ同士の交差を多く含む特性があることから、平面グラフを対象とした索引構築手法を用いたとしても、(1)索引構築に膨大な計算時間が必要となる、(2)構築した索引を用いたとしても  $k$  最近傍検索をあまり高速化できないという問題点が生じる。本研究では複雑ネットワークに含まれる基調構造・モチーフ構造を事前抽出し、それらに対して個別の索引を構築することで、複雑ネットワークに対する索引構築と索引を用いた  $k$  最近傍検索の高速化を実現する。本論文の提案手法は約 2,200 万エッジから構成される複雑ネットワークに対する索引構築を 5 秒未満、 $k$  最近傍検索時間を 0.5 秒程度にまで高速化することに成功した。

図 7 において提案手法 (Proposed method) の索引構築時間と  $k$  最近傍検索時間を最先端手法 (G-Tree, ILBR) と比較した結果を示す。図中の空欄となっている箇所は 1 時間以内に処理が終わらなかったことを示している。また、図中の CAL, NY, FLA, および TV は平面グラフであり、それ以外は複雑ネットワークである。これらの結果から明らかな通り、提案手法はいずれのデータセットにおいても比較手法よりも高速な索引構築と  $k$  最近傍検索を実現していることがわかる。具体的には、索引構築において提案手法は最先端手法と比較して最大で 18,074 倍高速である。また、 $k$  最近傍検索においては、提案手法は最先端手法と比較して最大で 146 倍高速である。また、平面グラフと複雑ネットワークにおける提案手法の高速化率を比較すると、複雑ネットワークにおいて提案手法は大幅な高速化を達成している。これは上述した通り、複雑ネットワークに含まれている基調構造・モチーフ構造を利用することが効果的であることを示唆している結果である。基調構造・モチーフ構造を活用する高速化アプローチは我々が昨年度に発見した新たなアプローチであるが、本研究の結果からも同アプローチの汎用的な有効性が示唆されていると考える。

本研究の成果はグラフ分析に関する国際会議 ASONAM2021 にて発表を行った。

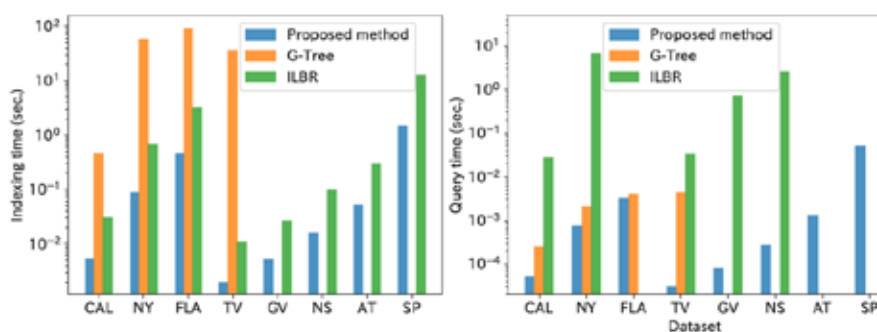


図 7. 索引構築時間の比較 (左図) と  $k$  最近傍検索時間の比較 (右図)

(3) GPU による 5 ノードサブグラフのオービット数え上げの高速化

サブグラフ数え上げは、対象となるグラフに対して、特定の（数ノードからなる）グラフ（パターンと呼ばれる）がサブグラフとして出現する回数を求める問題である。さらに、サブグラフの出現回数だけではなく、サブグラフにおける頂点の種類（次数及び他の頂点との接続関係）を数え上げるオービット数え上げは、サブグラフ数え上げより詳細な統計情報を得ることができることから、研究が進んでいる。その一方で大規模なグラフに対してサイズ 5 のオービット数え上げを行うには多大な計算コストを要する。

このため本研究では、GPU を利用した高速なオービット数え上げ手法を提案した。基本的には、サイズ 5 のオービット数え上げを提案した EVOKE をベースに、これを GPU による並列計算により高速化した。EVOKE は、5 ノードサブグラフ数え上げの手法である ESCAPE をベースとしているため、それを GPU 並列化した過去の提案手法をベースに、GPU による並列化を行った。具体的には、グラフの有向グラフへの変換およびパターン分割による数え上げのアプローチを踏襲しつつ、並列化が容易な分割パターンの数え上げの部分を GPU 上で並列に実行する手法を開発した。さらに、GPU 上での並列処理における書き込み競合を避けるため、各スレッドにおける出力サイズの推定を行うことで、処理効率を改善している（図 8）。多くの実データを利用した評価実験を行い、提案手法（表 2. 列 Proposal）は、CPU 版の EVOKE に対して最大 16 倍の高速化を実現していることを確認した。

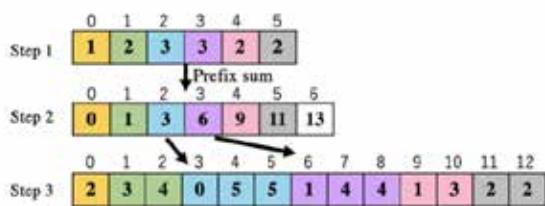


図 8. スレッド書き込み量推定

Dataset	V	E	T	EVOKE	P-EVOKE	Proposal
ca-AstroPh	18.7K	396K	135K	18.1	7.99	4.68
soc-brightkite	56.7K	426K	494K	9.11	4.26	2.12
soc-lastfm	1.19M	9.04M	3.95M	298	202	22.0
soc-pokec-relationships	1.63M	22.3M	32.6M	2.57K	2.12K	159
soc-flixster	2.52M	15.8M	7.90M	298	208	37.7
web-wiki-ch-internal	1.93M	8.5M	18.2M	2.00K	1.31K	136.0
web-ludong	1.98M	14.43M	21.6M	4.04K	1.67K	819
web-baidu-baike	2.14M	17.01M	25.2M	4.80K	2.87K	303
tech-as-skitter	1.69M	28.8M	28.8M	2.34K	1.03K	253
wiki-en-cat	1.85M	7.59M	2.54K	54.9	34.7	6.79
wiki-Talk	2.39M	9.32M	9.20M	1.47K	809.4	95.1
com-amazon	335K	1.85M	667K	4.96	2.44	1.21
com-youtube	1.13M	5.97M	3.06M	192.6	102	21.1
socfb-B-anon	2.94M	41.9M	52.0M	3.27K	2.58K	205

表 2. 実験結果

(4) SVD-Updating による動的データベースに対する近似 k-最近傍検索の高速化

多くのアプリケーションにおいて、データはベクトルで表現され、あるクエリベクトルに対して近傍に位置する k 件のデータベクトルを列挙する k-最近傍検索は、単なるデータベース検索に止まらず、機械学習モデルにおける計算にも利用される基本的な処理である。ビッグデータを扱う際には、ベクトルデータ自身の次元数とデータ数に応じた格納容量が必要となる一方で、k-最近傍検索においては正確な距離計算は必ずしも必要でなく、異なるベクトル間の相対的な距離が正しければ、正しいランキングの結果が得られるという特徴がある。このため、ベクトル及び距離計算を近似することで、性能を極端に落とさず格納コストを下



げるとともに、処理時間を短縮する近似  $k$ -最近某検索が用いられる。また、ベクトルの近似には、ベクトルを複数の部分ベクトルに分割した上で、異なる部分ベクトルの重心が張る直交空間によってベクトルの距離を近似する「直積量子化」がよく利用される。ところが、データの追加などでデータベースが動的に更新される場合、直積量子化の過程で近似ベクトルの計算のために生成したコードブックが最新のデータを反映できず、当初の性能を維持できないという問題があった。

この問題に対して本研究では、動的データベースに対する直積量子化手法である Online Product Quantization (OPQ) を高速化する手法を提案した。OPQ では、最適なコードブックを学習するため、データの追加のたびに全データに対して特異値分解を適用し最適な回転行列を計算するとともに、それを元にコードブックを更新する必要があった。このため提案手法では、追加データのみを利用することで、データ全体にアクセスすることなく特異値分解を行う SVD-Updating を適用した。その結果、精度を保ちつつ、実行時間を改善することに成功した。図 9 は実データを利用した実験結果の図である。上段は上位 20 件の再現度 (Recall@20)，下段は実行時間を示している。また、列は異なるデータセットに対応する。提案手法 (SVD-updating) は、ナイーブな直積量子化 (pq) と Online PQ (opq) の中有間の性能を保ちつつ、大幅な実行時間の削減を実現している。

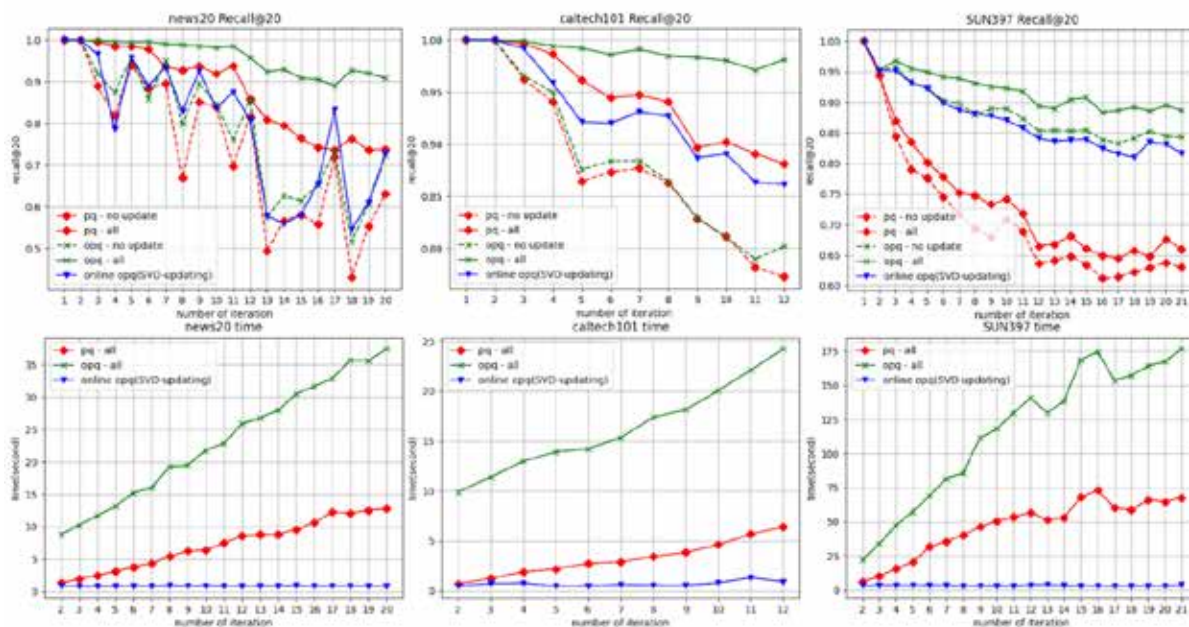


図 9. SVD-Updating を利用した直積量子化手法の性能評価

### [3] RDF・知識ベース・LOD

(関連研究費：NEDO)

#### (1) 知識ベースを利用した高機能なテキスト検索手法

近年、一般の知識を機械処理可能な形式で蓄積した知識ベースが注目され、DBpedia や WikiData など大規模なデータが多く応用で利用されている。大規模知識ベースは、多くの実世界におけるエンティティに関する情報が含まれており有用である一方、最新の情報や著名でないエンティティに関する情報に対するカバー率は低いという問題を持つ。この一方で、テキストから、そこに含まれるエンティティやエンティティに対する言及を検出し、知識ベースを生成する「知識ベース抽出」の技術が研究されている。これを利用することで、任意のテキストからそこで言及されている知識を構造化データとして抽出することができる。これと知識ベースを連携することができれば、テキストに含まれるエンティティに対して、テキストに言及されていない情報やエンティティ間の関係を利用したより高度な検索が可能となる。

以上問題に対して、本研究では知識ベースを利用したテキスト検索手法を提案した。テキストとして、一般的な電子メールを想定したメタデータモデルを開発するとともに（図 10）、テキストに含まれるエンティティやエンティティ同士の関係を利用した問合せを行うための Query-by-Example に基づく検索インタフェースを開発した。さらに評価実験により、提案手法によって、従来では困難だったエンティティおよびエンティティ間の関係に関する問合せを高精度に実行できることを確認した。



(Non-linear AE 及び Linear AE) は、精度をやや失うものの、実行時間を大幅に削減できることを確認した (表 3)。

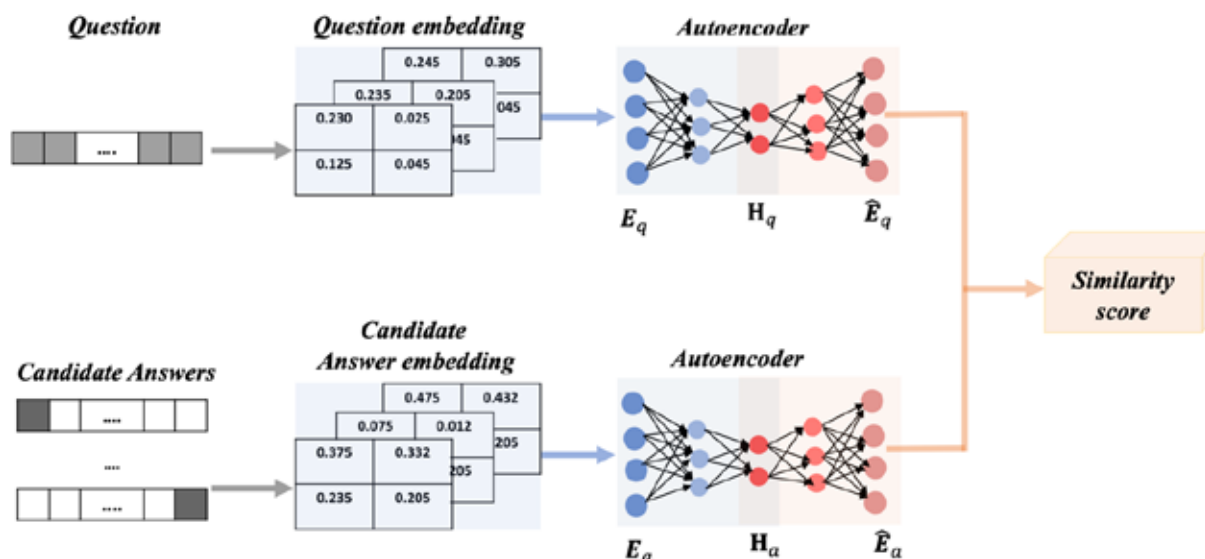


図 11. 知識ベースに対する質問応答のモデル

表 3. 実験結果

QA Model set up	Accuracy		Time (minutes) for 100 Epochs
	Train	Val	
Word2Vec	0.932 ± 0.077	0.923 ± 0.076	122.42 ± 0.38
Non-Linear AE	0.902 ± 0.066	<b>0.895 ± 0.071</b>	<b>97.35 ± 0.17</b>
Linear AE	0.797 ± 0.079	<b>0.690 ± 0.077</b>	<b>97.02 ± 0.15</b>

#### [4] データベース応用・データサイエンス

(関連研究費：科研費 若手研究, 挑戦的研究 (萌芽) など)

##### (1) Biological signal recognition and processing based on Deep learning technology

生体信号からの睡眠ステージ (睡眠状態・レム睡眠等) の判定は、睡眠の診断における必須検査の一つである。しかしながら、生体信号を目で確認することから、医師・技師の労力が大きいという問題を有している。これまでも、睡眠ステージの自動判定手法は提案されているものの、判定の理由を提示することができず、医師・技師の信頼獲得、臨床の現場における普及には至らなかった。

本研究では、判定理由の提示を大きな要件の一つとし、睡眠ステージ判定を自動的に行う新しい深層学習モデル Sleep-CAM の開発と判定理由の解析を行っている。開発に際しては、Class Activation Mapping (CAM) と呼ばれる深層学習向けの理由提示手法に着目した。この手法では、各時刻における各ステージらしさを表すマップを計算、時間軸方向に集約することで最尤の睡眠ステージを求めることで、どの区間が判定に有用だったかを簡単に示すことができる。(図 12)。

図 13 は、判定理由となった区間と特徴波（医師・技師がステージを判定する際に判定の根拠とする生体信号波形）との関連を示しており、判定の根拠として有効とされた区間ほど、特徴波が多く出現していることを示している。この結果は、提案手法技師と同じ波形に基づいて判定していることを示唆しており、従来よりも信頼のおける手法といえるだろう。

本研究の成果は筑波大学国際統合睡眠医科学研究機構（WPI-IHIS）との共同研究として、Scientific Reports に投稿中である。

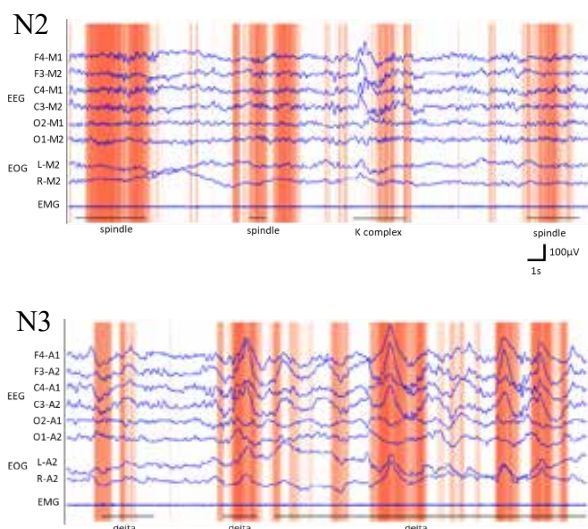


図 12. 判定理由提示の例，判定理由区間（オレンジ背景）に特徴波が重複

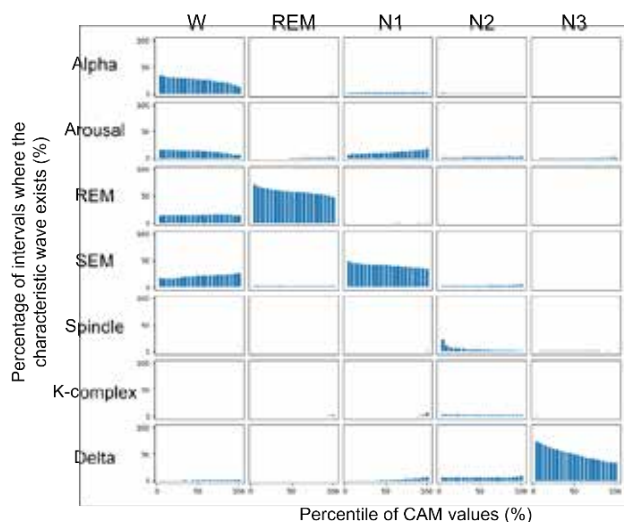


図 13. 判定理由区間と特徴波の関係  
注目度が大きい区間に特徴波がより存在

## (2) 信頼できる実行環境 TEE を用いた暗号マルチマップにおけるデータ量秘匿可能な挿入法

近年、クラウドコンピューティング環境が一般化し、個人情報を含むさまざまなデータがクラウドサービス上に格納されている。その一方で、プライベート情報の流出は大きな社会問題となっており、クラウドサービス上のプライベート情報をいかにして保護するかは重要な課題である。そのため、暗号化データベースに関する研究開発が活発に行われている。ところが、単にデータを暗号化するだけでは十分なセキュリティを確保できず、セキュリティ上の脅威があることが指摘されている。その一つがデータ量の漏洩である。データ量の漏洩

とは、攻撃者がクエリ結果のサイズ（データ量）を取得し、その結果、データベースや問合せに関連する情報が明らかになるというセキュリティ上の脅威である。

この問題に対し、Sarvar らは、データ量を秘匿した暗号化マルチマップへの検索手法を提案した。ここでマルチマップとは、同一のキーに対して複数のバリューを格納可能なキーバリューストアを指す。彼らの手法は、データ量を管理するハッシュテーブルに Cuckoo ハッシュを用いるとともに、差分プライバシーを適用することで、データ量の秘匿を実現した。しかしながら、データの追加には対応していない。

そこで本研究では、データ量を秘匿した暗号化マルチマップにおいてデータ挿入を実現する手法を提案した。データ挿入後もデータ量を秘匿するためには、挿入後もデータ量に付与されているノイズが差分プライバシーを保証している必要がある。さらに、データ量の秘匿だけでなく、挿入箇所の秘匿も必要となる。このため、局所差分プライバシーを利用して、データの挿入に応じてノイズを混入する。また、挿入箇所の秘匿のため、最新のプロセッサでサポートされている信頼できる実行環境（trusted execution environment; TEE）を利用する（図 14）。実データ及び人工データを用いた評価実験を行い、実験環境において 1 レコードの挿入に 50 ms を要することを確認した。これは TEE を用いない前の手法に比べて 12 倍高速であり、実用的な規模のデータに対して適用が可能であることを確認した。

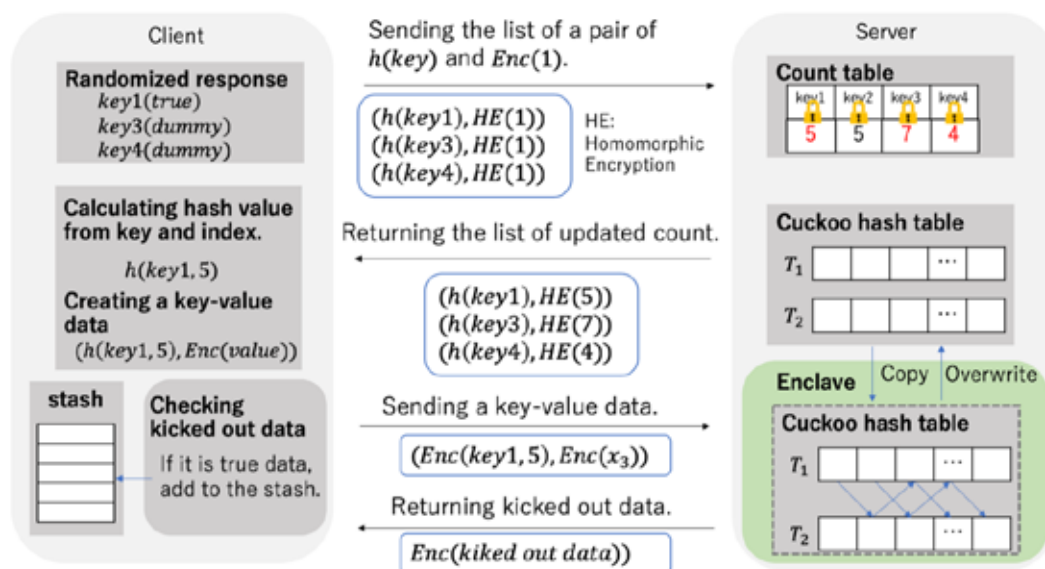


図 14. TEE を用いた挿入可能な暗号化マルチマップ

#### 4. 教育

学生の指導状況（学生氏名、学位の種類、論文名）

< 修士（工学） >

1. 石原 詢大

信頼できる実行環境を用いた暗号化マルチマップにおける挿入の実現

2. 菅波 柊也

GPU-Accelerated Counting Methods for 5-vertex Subgraphs (GPU を用いた 5 ノードサブグラフ数え上げ手法の高速化)

3. 中野 茉里香

複数知識ベース及びテキストに対する横断的問合せ

4. 平方 俊行

分散 RDF ストリーム処理システムにおけるフィルタリング処理効率化

5. 山田 真也

Traceability of Data Analysis Including Complex UDF Processing (複合的 UDF 処理を伴う分析処理に対するトレーサビリティ)

6. 山中 仁斗

リファクタリング前後のコードの一貫性に着目したメソッド抽出

7. 湯川 皓太

距離空間におけるデータ分析の効率化

8. Teklu Aregawi Gidey

Generating RDF Metadata from Twitter Streams

9. 大倉 真一希

知識グラフにおける更新エンティティの予測

< 学士 (情報科学, 情報工学) >

1. 大宮 直樹

深層学習を用いた睡眠ステージ判定のための脳波データスタイル変換

2. 八木 隆一

DNA データベースに対する Top-k 検索の高速化に関する研究

3. 直井 悠馬

グラフデータベースに対する高速な相関問合せに関する研究

4. 佐藤 祥吾

RDF マッピング言語 RML を用いた異種データ統合システム

5. 永崎 遼太

プログラム文の間の依存関係を利用したメソッド名推薦

6. 溝谷 祐大

oneAPI を用いた FPGA 上のグラフ探索アルゴリズムの実装と評価

## 集中講義など

1. システム情報工学研究群情報理工学位プログラム 博士前期課程「フロンティアインフォマティクス特論 A」及び「フロンティアインフォマティクス特論 B」世話人

## 5. 受賞、外部資金、知的財産権等

### 受賞

1. Future of Information and Communications Conference (FICC) 2021, Best Paper Award : Hayata Takagi, Hanxiong Chen, Kazutaka Furuse, and Hiroyuki Kitagawa, "Aggregate Nearest Neighborhood Queries", April 2021.
2. 情報処理学会データベースシステム研究会 第 173 回研究会, 学生奨励賞: 大倉 真一希, 天笠 俊之, “知識グラフにおける更新可能性が高いエンティティの検出”, 2021 年 9 月 16 日~17 日.
3. 情報処理学会 2021 年度山下記念研究賞: 山中 仁斗, 早瀬 康裕, 天笠 俊之, "メソッド抽出リファクタリング推薦手法に対するメソッド名予測を用いた精度改善の試み", 2021 年 9 月 30 日.
4. 筑波大学 2021 年度 BEST FACULTY MEMBER: 塩川浩昭
5. 第 14 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2021), 学生プレゼンテーション賞: 中野茉里香, 天笠俊之, "複数の知識ベースに対するキーワード検索", 2022 年 2 月 27 日~3 月 2 日.
6. 第 14 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2021), 学生プレゼンテーション賞: 真次彰平, 塩川浩昭, "ウェッジ分割を用いた大規模グラフの要約手法", 2022 年 2 月 27 日~3 月 2 日.
7. 第 14 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2021), 学生プレゼンテーション賞: 湯川皓太, 天笠俊之, "BLOCK-OPTICS: 密度ベースクラスタリング手法 OPTICS の高速化", 2022 年 2 月 27 日~3 月 2 日.
8. 第 14 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2021), 学生プレゼンテーション賞: Hina Suzuki, Hanxiong Chen, Kazutaka Furuse, Toshiyuki Amagasa, "A Study on Dense Nearest Neighborhood Query", 2022 年 2 月 27 日~3 月 2 日.
9. 第 14 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2021), 学生プレゼンテーション賞: 小久保柚真, 天笠俊之, "フォグコンピューティングにおける RDF 推論処理の動的な負荷分散", 2022 年 2 月 27 日~3 月 2 日.
10. 情報処理学会第 84 回全国大会, 学生奨励賞: 直井悠馬, 真次彰平, 塩川浩昭, "タンパク質データベースにおける高速な相関問合せ手法の提案", 2022 年 3 月 3 日~3 月 5 日.



11. 情報処理学会第 84 回全国大会, 学生奨励賞: 八木隆一, 塩川浩昭, "DNA データベースに対する効率的な編集類似結合アルゴリズム", 2022 年 3 月 3 日~3 月 5 日.
12. 情報処理学会第 84 回全国大会, 学生奨励賞: 佐藤祥吾, 天笠俊之, "知識ベースを対象とした異種データ統合", 2022 年 3 月 3 日~3 月 5 日.

## 外部資金

1. 受託研究: 民間企業共同研究 (令和元年 10 月 1 日~令和 4 年度)  
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  
全年度直接経費: 26,166,333 円 (R3 年度直接経費: 7,083,333 円)
2. 受託研究: 科学技術振興機構・未来社会創造事業 (令和元年 11 月 1 日~令和 3 年度)  
研究課題: 睡眠脳波を指標とする睡眠と運動の自己管理による健康寿命延伸  
研究分担者: 天笠 俊之 (研究代表者: 柳沢 正史)  
全年度直接経費: 5,000 千円 (R3 年度直接経費: 1,500 千円)
3. 受託研究: 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (令和 2 年 7 月 16 日~令和 7 年 2 月 28 日)  
研究課題: 多粒度ストリームにおける StreamOps 技術の開発  
研究代表者: 天笠 俊之  
全年度契約金額: 48,557 千円 (R3 年度直接経費: 9,180 千円)
4. 共同研究: 民間企業共同研究 (令和 3 年 4 月 1 日~令和 4 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  
直接経費: 1,500 千円
5. 受託研究: 民間企業共同研究 (令和 3 年 4 月 1 日~令和 4 年 3 月 31 日)  
研究課題: 次世代データ解析基盤のためのグラフデータ解析技術に関する研究  
研究代表者: 天笠 俊之  
直接経費: 1,250 千円
6. 受託研究: 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (さきがけ) 「IoT が拓く未来」 (令和 2 年 11 月 1 日~令和 5 年度)  
研究課題: 超高速な多モーダル IoT データ統合処理基盤  
研究代表者: 塩川 浩昭  
全年度直接経費: 40,000 千円 (R3 年度直接経費: 10,920 千円)

7. 科研費：若手研究（平成30年度～令和3年度）  
研究課題：超並列計算環境における大規模グラフの実時間問合せ処理  
研究代表者：塩川 浩昭  
全年度直接経費：3,200 千円（R3 年度期間延長分：2,205,504 円）
8. 科研費：若手研究（令和元年度～令和4年度）  
研究課題：敵対的生成ネットワークを用いたノイズ除去手法の開発と生体信号への応用  
研究代表者：堀江 和正  
全年度直接経費：3,300 千円（R3 年度直接経費：90 千円）
9. 科研費：基盤研究 B（令和元年度～令和4年度）  
研究課題：高水準仮想化機能を持つ Augmented リアルビッグデータ利活用基盤の構築  
研究代表者：北川 博之  
全年度直接経費：13,200 千円（R3 年度直接経費：3,200 千円）
10. 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）  
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  
R3 年度直接経費：7,075 千円
11. 共同研究：民間企業共同研究（令和3年4月1日～令和4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  
直接経費：1,500 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. Taro Aso, Toshiyuki Amagasa, and Hiroyuki Kitagawa, "A System for Relation-Oriented Faceted Search over Knowledge Bases", International Journal of Web Information Systems, Vol. 17, No. 6, pp.698-713, July 2021.

2. Salman Ahmed Shaikh, Hiroyuki Kitagawa, Akiyoshi Matono, Komal Mariam, and Kyoung-Sook Kim, "GeoFlink: An Efficient and Scalable Spatial Data Stream Management System", IEEE Access, Vol. 10, pp. 24909-24935, February 2022.

## **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**

< 査読付き国際会議論文 >

1. Hayata Takagi, Hanxiong Chen, Kazutaka Furuse, and Hiroyuki Kitagawa, "Aggregate Nearest Neighborhood Queries", Proc. Future of Information and Communications Conference (FICC) 2021, April 2021.
2. Yasuyuki Kato, Hanxiong Chen, Kazutaka Furuse, and Hiroyuki Kitagawa, "Unifying Spatial Keyword Indexing in Continuous Search on Dynamic Objects", Proc. Future of Information and Communications Conference (FICC) 2021, April 2021.
3. Vijdan Khaliq and Hiroyuki Kitagawa, "VOA\*: Fast Angle-Based Outlier Detection Over High-Dimensional Data Streams", Proc. 25th Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD2021), pp. 44-52, May 11-14, 2021.
4. Ryohei Kobayashi, Kento Miura, Norihisa Fujita, Taisuke Boku, Toshiyuki Amagasa, "A Sorting Library for FPGA Implementation in OpenCL Programming," Proc. 11th International Symposium on Highly Efficient Accelerators and Reconfigurable Technologies (HEART 2021), Article No. 1, pp. 1-6, June 21-23, 2021.
5. Shunta Ishihara, Chiemi Watanabe, Toshiyuki Amagasa, "Supporting Insertion in Encrypted Multi-Maps with Volume Hiding", The 5th IEEE International Workshop on Big Data and IoT Security in Smart Computing (BITS2021), pp.264-269, August 23rd, 2021.
6. Carina Miwa Yoshimura and Hiroyuki Kitagawa, "TLV-Bandit: Bandit Method for Collecting Topic-related Local Tweets", Proc. IEEE 4th International Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval (MIPR2021), pp. 56-62, September 8-10, 2021. Tokyo, Japan.

7. Masaya Yamada, Hiroyuki Kitagawa, Toshiyuki Amagasa, Akiyoshi Matono, "Augmented Lineage: Traceability of Data Analysis Including Complex UDFs", In Proceedings of the 32nd International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA2021), pp. 65-77, September 27-30, 2021.
8. Shuya Suganami and Toshiyuki Amagasa, "GPU-accelerated vertex orbit counting for 5-vertex subgraphs", In Proceedings of the 32nd International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA2021), pp. 205-217, September 27-30, 2021.
9. Kota Yukawa and Toshiyuki Amagasa, "Online Optimized Product Quantization for Dynamic Database using SVD-Updating", In Proceedings of the 32nd International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA2021), pp. 273-284, September 27-30, 2021.
10. Hiroaki Shiokawa, "Fast ObjectRank for Large Knowledge Databases," In Proceedings of the 20th International Semantic Web Conference (ISWC2021), Virtual Conference, October 2021.
11. Hina Suzuki, Hanxiong Chen, Kazutaka Furuse, and Toshiyuki Amagasa, "Dense Nearest Neighborhood Query", 4th International Conference on Intelligent Technologies and Applications (INTAP 2021), Online (Grimstad, Norway), Oct. 11-13, 2021.
12. Suomi Kobayashi, Shohei Matsugu, Hiroaki Shiokawa, "Fast Indexing Algorithm for Efficient kNN Query on Complex Networks," In Proceedings of the 2021 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM2021), Virtual Conference, November 2021.
13. Happy Buzaaba, Toshiyuki Amagasa, "A Scheme for Efficient Question Answering with Low Dimension Reconstructed Embeddings", In Proceedings of the 23rd International Conference on Information Integration and Web Intelligence (iiWAS2021), November 29 - December 1, 2021.
14. Taro Aso, Toshiyuki Amagasa, Hiroyuki Kitagawa, "A Method for Searching Documents using Knowledge Bases", In Proceedings of the 23rd International Conference on Information Integration and Web Intelligence (iiWAS2021), November 29 - December 1, 2021.
15. Toshiyuki Hirakata, Toshiyuki Amagasa, "A Dynamic Load-balancing Method for Distributed RDF Stream Processing Systems", In Proceedings of the 23rd International Conference on Information Integration and Web Intelligence (iiWAS2021), November 29 - December 1, 2021. (short paper)
16. Marika Nakano, Toshiyuki Amagasa, "Query Processing over Multiple Knowledge Bases and Text Documents", In Proceedings of the 23rd International Conference on Information

Integration and Web Intelligence (iiWAS2021), November 29 - December 1, 2021. (short paper)

17. Shunta Ishihara, Chiemi Watanabe, Toshiyuki Amagasa, "Supporting Insertion in an Encrypted Multi-Maps with Volume Hiding using Trusted Execution Environment," DOLAP 2022: The 23rd International Workshop on Design, Optimization, Languages and Analytical Processing of Big Data (DOLAP) co-located with EDBT/ICDT 2021, pp. 61-70, Virtual Conference (Nicosia, Cyprus), March 23, 2021.

### (3) 国内学会・研究会発表

#### A) 招待講演

該当なし

#### B) その他の発表

<学会発表>

1. 小林 諒平, 三浦賢人, 藤田典久, 朴泰祐, 天笠俊之, "コンパクション処理を活用した正規パス問合わせアクセラレータの FPGA 実装", IEICE-RECONF2021-12/ IEICE-121(59), pp. 62-67, 2021 年 6 月 9 日.
2. 小林 諒平, 三浦賢人, 藤田典久, 朴泰祐, 天笠俊之, "FPGA 向け浮動小数点数型ソーティングライブラリの提案と実装", IEICE-CPSY2021-8/ IEICE-121(116) pp. 43-48, 2021 年 7 月 21 日.
3. Teklu Aregawi Gidey, Toshiyuki Amagasa, "Generating RDF Metadata from Twitter Streams", 研究報告ドキュメントコミュニケーション(DC), 2021-DC-121(7), pp. 1-8, 2021 年 7 月 8 日.
4. 大倉 真一希, 天笠 俊之, "知識グラフにおける更新可能性が高いエンティティの検出", 研究報告データベースシステム(DBS), 2021-DBS-173(9), pp. 1-6, 2021 年 9 月 9 日.
5. 対比地 恭平, 天笠 俊之, "GPU を用いた高次元データにおける逆 k-最近傍検索の高速化", 研究報告データベースシステム(DBS), 2021-DBS-174(7), pp. 1-6, 2021 年 12 月 20 日.
6. 宮本隆典, 太田玲央, 堀江和正, 天笠俊之, 北川博之, "相互相関法による足音を用いた歩幅推定システムの基礎的検討", 第 14 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 2022), A31-1, 2022 年 2 月 27 日~3 月 2 日.
7. 此島魁二, 陳漢雄, 天笠俊之, 古瀬一隆, "属性改良問題の高速化に対する検討", 第 14 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 2022), C41-3, 2022 年 2 月 27 日~3 月 2 日.

8. 大倉真一希, 天笠俊之, "知識グラフにおける更新エンティティの予測", 第 14 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 2022), G23-4, 2022 年 2 月 27 日～3 月 2 日.
9. 中野茉里香, 天笠俊之, "複数の知識ベースに対するキーワード検索", 第 14 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 2022), G33-3, 2022 年 2 月 27 日～3 月 2 日.
10. 大森雄基, 北川博之, 天笠俊之, "ユーザ定義関数を利用した知識ベースと外部情報源の統合利用手法", 第 14 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 2022), G33-4, 2022 年 2 月 27 日～3 月 2 日.
11. 直井悠馬, 真次彰平, 塩川浩昭, "グラフデータベースに対する相関問合せ手法の高速化", 第 14 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 2022), G34-1, 2022 年 2 月 27 日～3 月 2 日.
12. 真次彰平, 塩川浩昭, "ウェッジ分割を用いた大規模グラフの要約手法", 第 14 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 2022), G34-2, 2022 年 2 月 27 日～3 月 2 日.
13. 高島聡, 堀江和正, 阿部高志, 北川博之, "Random Forest によるマイクロサッケードが不要な眼球指標からの覚醒度合い判定手法の開発", 第 14 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 2022), H23-3, 2022 年 2 月 27 日～3 月 2 日.
14. 湯川皓太, 天笠俊之, "BLOCK-OPTICS : 密度ベースクラスタリング手法 OPTICS の高速化", 第 14 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 2022), H34-3, 2022 年 2 月 27 日～3 月 2 日.
15. 小出智士, 河野圭祐, 塩川浩昭, 天笠俊之, "グラフ編集距離に基づく部分グラフ探索", 第 14 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 2022), I44-1, 2022 年 2 月 27 日～3 月 2 日.
16. 河野圭祐, 小出智士, 塩川浩昭, 天笠俊之, "結晶構造を対象としたグラフニューラルネットワークにおけるグラフ識別性能の限界", 第 14 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 2022), I44-4, 2022 年 2 月 27 日～3 月 2 日.
17. 山田真也, 北川博之, 天笠俊之, 的野晃整, "複合的データ分析処理に対する拡張来歴導出手法と性能評価", 第 14 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 2022), J21-4, 2022 年 2 月 27 日～3 月 2 日.
18. Hina Suzuki, Hanxiong Chen, Kazutaka Furuse, Toshiyuki Amagasa, "A Study on Dense Nearest Neighborhood Query", 第 14 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 2022), J23-2, 2022 年 2 月 27 日～3 月 2 日.

19. 石原詢大, 渡辺知恵美, 天笠俊之, "信頼できる実行環境 TEE を用いた暗号マルチマップにおけるデータ量秘匿可能な挿入法",第 14 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 2022), J43-3, 2022 年 2 月 27 日~3 月 2 日.
20. 小久保柚真, 天笠俊之, "フォグコンピューティングにおける RDF 推論処理の動的な負荷分散",第 14 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 2022), K21-2, 2022 年 2 月 27 日~3 月 2 日.
21. 対比地恭平, 天笠俊之, "GPU を用いた高次元データに対する逆 k 最近傍検索の高速化手法の改善",第 14 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 2022), K24-1, 2022 年 2 月 27 日~3 月 2 日.
22. 大宮直樹, 堀江和正, 北川博之, "深層学習を用いた睡眠ステージ判定のための脳波信号スタイル変換",ニューロコンピューティング研究会 (NC), NC2021-66, 2022 年 3 月 2 日~3 月 4 日.
23. 直井悠馬, 真次彰平, 塩川浩昭, "タンパク質データベースにおける高速な相関問合せ手法の提案",情報処理学会第 84 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2022), 1N-04, 2022 年 3 月 3 日~3 月 5 日.
24. 八木隆一, 塩川浩昭, "DNA データベースに対する効率的な編集類似結合アルゴリズム",情報処理学会第 84 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2022), 2N-04, 2022 年 3 月 3 日~3 月 5 日.
25. 大森雄基, 北川博之, 天笠俊之, "知識ベースと外部情報源の統合利用環境",情報処理学会第 84 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2022), 2N-05, 2022 年 3 月 3 日~3 月 5 日.
26. 佐藤祥吾, 天笠俊之, "知識ベースを対象とした異種データ統合",情報処理学会第 84 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2022), 2N-07, 2022 年 3 月 3 日~3 月 5 日.
27. 溝谷祐大, 天笠俊之, "FPGA を利用したグラフ幅優先探索の高速化",情報処理学会第 84 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2022), 7K-02, 2022 年 3 月 3 日~3 月 5 日.
28. 萬場 大登, 早瀬 康裕, 天笠 俊之, "オブジェクト指向プログラムの要素関係とメソッドの構文木を併用したクラス名推薦", 研究報告ソフトウェア工学 (SE) ,2022-SE-210(13), pp. 1-6, 2022 年 3 月 4 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

- 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.

- 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.
- 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（IIIS）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.

## 8. シンポジウム、研究会、スクール等の開催実績

## 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
  - 筑波大学情報ガバナンス基盤室長
  - 計算科学研究センター：ビッグデータ・AI連携推進室長
  - 情報科学類・情報理工学位プログラム：国際交流委員会委員長
  - 情報理工学位プログラム：デュアルディグリー推進室室長

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
  - プログラム委員：DASFAA2021, DaWaK2021, iiWAS2021, IDEAS2021, 他
- 国内委員等
  - 情報処理学会データベースシステム研究会（SIG-DBS）主査
  - 情報処理学会論文誌データベース（TOD）共同編集委員長

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, AAI2021, 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
教授	北原 格
助教	宍戸 英彦
研究員	謝 淳
学生	大学院生 31名、学類生 6名

### 2. 概要

人間に纏わる情報を処理対象とする計算科学では、情報処理の空間表現と時間軸を人間に合わせることが必須である。そのために、グローバルに広がる人間社会とそれを取り巻く環境とを対象として研究を進めている。それによって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させた情報を、人間に分かり易い形で提示し人間社会へフィードバックするために、計算メディアを仲立ちとするコンピューテーションの新しい枠組みを提案している。また、これまでの計算メディアの取り組みを発展させる形で、北原格教授は本センターの計算メディカルサイエンス事業における 3D Surgical Vision の研究を率いている。

本年度は、学際領域として、情報学とスポーツ学との交点であるスポーツ映像解析について研究を推進することを目標にしてきた。結果として大規模空間におけるスポーツ映像解析に関する研究では、次節に上げるような様々な研究成果を上げることができた。行動計測技術の先端的な研究成果を上げることで、スポーツパフォーマンス分析への応用展開が可能になりつつある。これらの研究では、スポーツ学の研究者と協力して研究を進めている。

また、街の中にいる人間に対する知的支援として、カメラによる定位技術のための基礎的研究の発展（発表した国際会議で受賞）と、視覚障がい者に対する見守り技術とナビゲーション方法について研究を進捗させることができた。

視覚メディアを主眼に置いた学際研究での研究展開も順調であり、医療機関との共同研究のもと、3D Surgical Vision の基礎技術の一つを確立した。また、ダンスを例として映像加工の新展開や、世界的にも前例のない形でのクラウドソーシングとの相乗効果による遺跡記録利用の新形態を提案することができた。

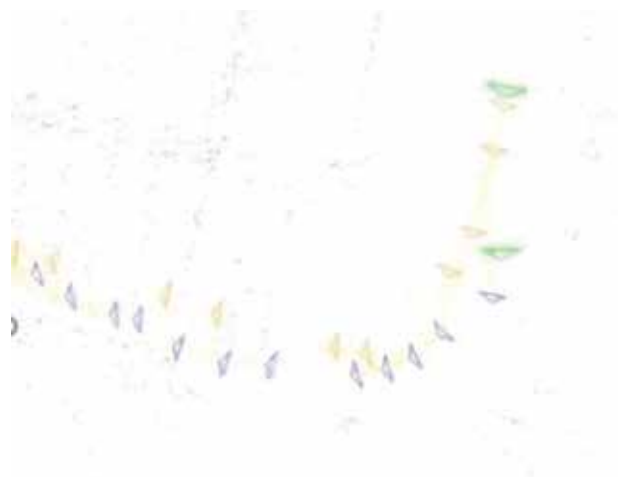
研究活動の広がりとして、本センターとイスラエルの Holon Institute of Technology 他で締結した MoU により実施している共同研究に関連して、査読付国際会議論文 1 件を発表した。また、本センターとオーストラリアの Curtin University と締結した MoU により実施した共同研究から、国際会議論文 2 件その他の発表 2 件に至った。

### 3. 研究成果

#### [1] フレーム単位での統合環境協調型 SLAM における地図構築手法

我々は、2つのカメラヘッドを自由に動かして、統合的で一貫性のある環境マップをビデオフレームごとに構築する独自の手法 TWIN HEAD SLAM を提案する。複数のカメラによる視覚的 SLAM は協調的 SLAM と呼ばれる。構築された統合環境マップは、即時に、各カメラに個別に取り付けられた 2 つのトラッキングモジュールで共有される。本研究の貢献は、両カメラでの入力のビデオフレームごとに非同期に統合環境マップを更新することを、計算量最小で実現できることである。このことは、今一つのカメラで得られた重要な情報を、もう一方のカメラのトラッキングモジュールで即座に利用することができることを意味する。我々は提案手法 OpenVSLAM をもとに実装し、2 台のカメラからの映像入力を用いて、一貫性のある統一環境マップが作成できることを示した。2 台のカメラのローカライゼーションモジュールはそのマップを利用して定位する。

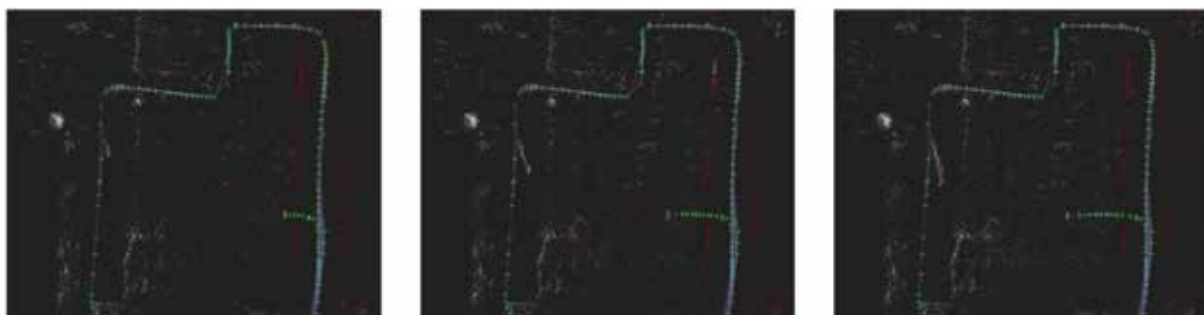
提案手法の実装システムを実行したときの様子を下図に示す。黄色のピラミッドと紫色のピラミッドは、それぞれ異なるカメラで推定されたカメラ位置に対応する。緑色のピラミッドはカメラの最新位置を示している。点群は統合環境マップにおける三次元特徴点である。



OpenVSAM から導入した検証用映像データの様子を下図に示す。カメラ 2 台が同じ建物内で離れて移動している。



システムの動作結果を下図に示す。オレンジ色のキーピラミッドはカメラ 1、緑のピラミッドはカメラ 2、カメラ 1 のローカルマップは赤い点、統合環境マップは白い点に対応する。2 台のカメラが同じ区間を通ることで、一貫性のある統合された 1 つの環境地図が自動的に得られる。2 台のカメラは、もう 1 台のカメラの位置に関係なく、自由に空間を行き来する。トラッキングのためのローカルマップは、グローバルマップの一部であり、グローバルマップは統一環境マップとしてフレームごとに更新される。このため、本手法では、これまでの手法では必要とされたグローバルマップの更新を不要とし、計算量最小化に成功している。



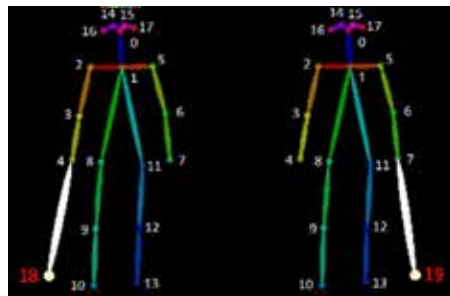
本手法は、国際会議 International Workshop on Advanced Imaging Technology (IWAIT) 2022 において Best Paper Award の一つとして表彰された。

## [2] 白杖を用いた人体骨格による視覚障がい者の姿勢推定

視覚障がい者は、白杖を使って危険を回避している。本研究では、白杖を使う視覚障がい者を画像から認識するにあたって、白杖が対象者の腕の延長とみなす方法を提案する。これにより、白杖使用中の歩行者の姿勢を安定して推定することに成功した。これによって、視覚障がい者の歩行の様子を推察することができる。

提案手法では、既存の人体姿勢推定手法である OpenPose を拡張し、白杖を持つ人の姿勢を推定する。ここでは、白杖を人体骨格モデルの一部として組み込んでいる。白杖を持つ視覚障がい者の画像データベースを構築し、拡張人体骨格モデルのネットワーク学習を行った。右利きと左利きの歩行者を分けて学習させる必要があるため、学習画像から白杖を持つ手の左右を判別する方法を開発した。姿勢推定の結果から、白杖の動きを解析することができる。我々は、白杖の角度に着目し、その揺れ頻度を分析する。実験を通して、本システムが白杖を持った人間の姿勢と白杖の振れ幅を正しく推定できることを確認した。

次図で番号 18 と番号 19 が拡張骨格で追加された体の一部である。これが白杖に相当する。利き手が左右のどちらかであることから、モデルは二種類用意している。



推定結果の例を下図に示す。



一続きの映像で拡張骨格モデルにより姿勢推定を行い、そこから白杖の人体に対する相対的な動きを解析することで、白杖の仕様状況を推測することができる。下図では、対象者が一定の周期で白杖を振りながら歩いていることがわかる。これにより、対象者の歩行が順調に推移していると見なすことができる。本研究については、国際会議 IWAIT2022 の他、国内シンポジウム、国内研究会にて成果発表をした。

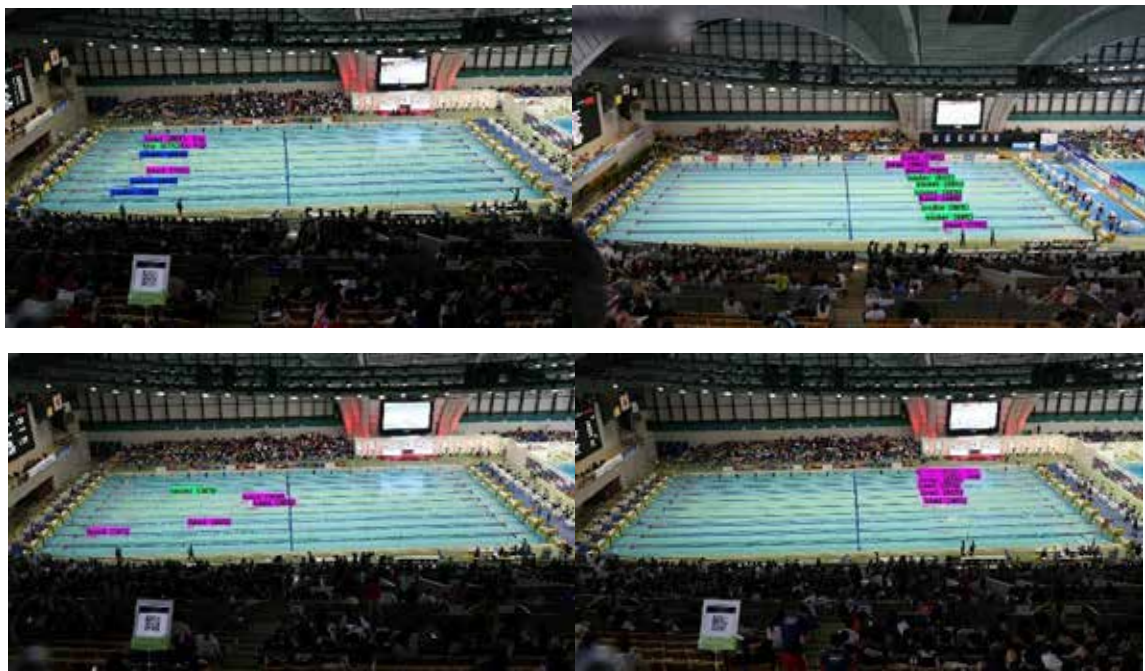


### [3] 頭部認識による水泳選手の位置推定とストローク解析

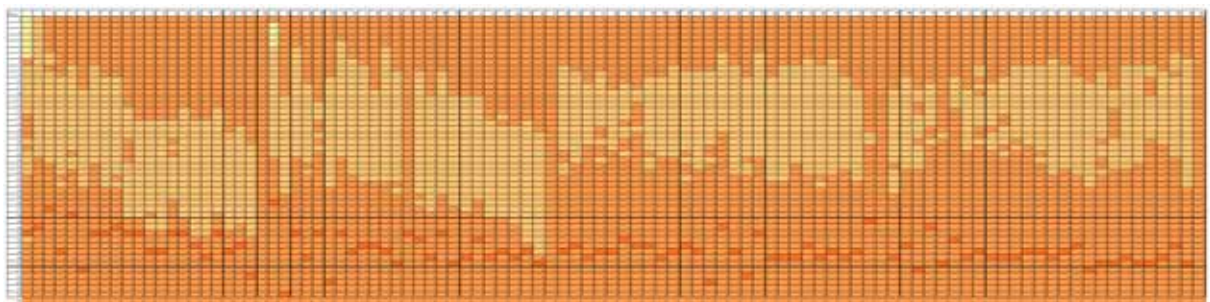
競泳の分野では、公式戦でのパフォーマンス調査が重要であり、パフォーマンスの向上に役立つ。我々は、公式戦の広視野映像から水泳選手の位置推定を行う研究を行っている。課題は、水しぶきや複雑な光の反射により、水泳選手がカメラから隠れる可能性があることである。これらの問題を解決するために、実試合における水泳選手の頭部の専用データセットを用意した。映像資料については、日本水泳連盟の協力を得ている。我々は YOLOv3 の学習を行い、学習後の YOLOv3 によって 48.1% mAP で頭部を検出することに成功した。また、位置推定に加え、水面上と水面下の 2 つのヘッドクラスを検出することで、時間経過に伴うス

トロークの状態を調査することを新たに可能とした。競泳競技で参加全選手の位置を継続的に追跡し、かつ各泳法の状態推定まで画像認識のみで可能とした研究としては、世界最先端レベルの成果であるといえる。

下図は泳者の位置と状態の推定を行った一例である。左上がバタフライ、右上が平泳ぎ、左下が背泳、右下が自由形である。状態推定としては頭部が水面上か水面下かを区別することができることから、時間経過を追うことでストローク解析も可能となっている。

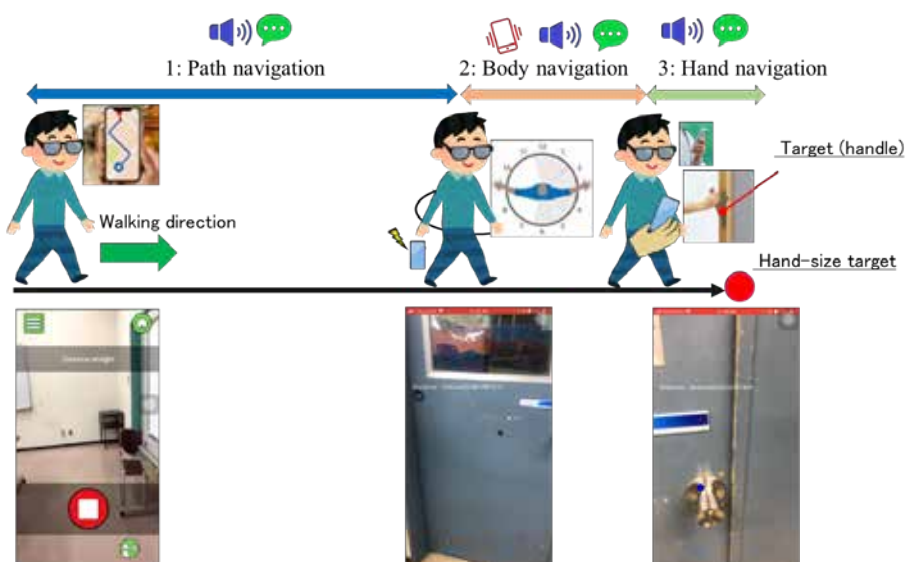


200メートルバタフライでのストローク解析の例を示す。各セルが映像1フレームに相当する。縦一列のセルの上端から濃いオレンジ色のセルまでが1ストロークに相当する。左から右へ向かって競技開始時からのストローク数となる。薄いオレンジ色は頭部が水面上にある状態を示している。本研究については国際会議 IWAIT2022 で発表を行った。

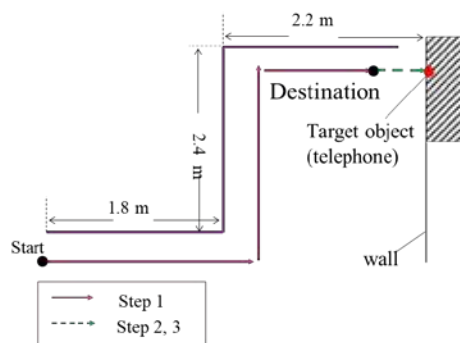


#### [4] 視覚障害者のための手のひらサイズの物体への3段階ナビゲーション

視覚障害者のために、音声ガイドを用いた手のひらサイズの目標物への3段階ナビゲーション法を提案した。提案手法の利点は、カメラ付きウェアラブルデバイスを用いることで、視覚障害者が触るべき対象物まで到達できることである。本提案方式では、事前に映像の軌跡を設定するだけで、視覚に基づく事前登録が可能であるため、屋内のあらゆる状況に適用できる。ナビゲーションは、経路ナビゲーション、ボディナビゲーション、ハンドナビゲーションの3つのステージに分解される。歩行ステージについては、先行研究の成果であるClewアプリを利用する。続く2つのステージではARアンカーを導入する。ARアンカーは、あらかじめ対象物に登録しておく。音によるガイダンスで手のひらサイズの分解能でターゲットに到達できるよう、適切な音声ガイダンスを用意している。ステージの切り替えは、振動で通知する。

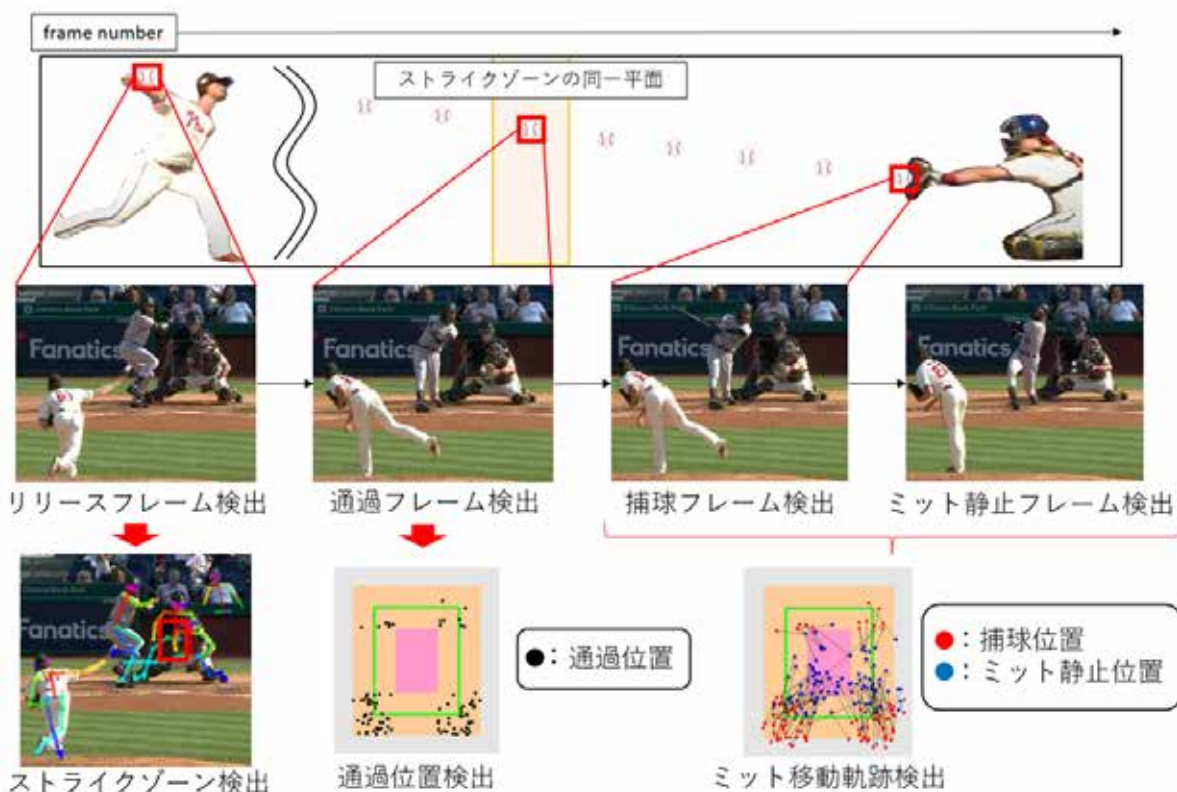


スマートフォンを用いた評価実験を行った結果、提案手法により、5m離れた位置から手のひらサイズの目標物までユーザを誘導できることが確認できた。研究成果をIWAIT2022で発表した。



### [5] 野球映像を用いた捕手のフレーミング技術におけるミット移動軌跡検出

本研究では、異分野間連携として広島大学総合科学部・人間社会科学研究科スポーツバイオメカニクス研究室と共同研究を実施した。本研究では打者が投球を見逃した映像からフレーミング中の捕手のミット移動軌跡を検出する手法を提案した。提案手法では、物体検出手法を用いて野球ボールが投手から離れたフレームをリリースフレームとして検出した。リリースフレームに骨格推定手法を適用することで、フレーミング評価に不可欠な各映像に対応するストライクゾーンを検出した。検出された野球ボールの最終フレームを捕球フレーム、捕球フレームの野球ボール位置を捕球位置として検出した。物体検出手法を用いて捕手のミットを追跡し、前後 0.1 [s]のミット移動距離が最小となるフレームをミット静止フレーム、ミット静止フレームのミット位置をミット静止位置として検出した。実証実験の結果、リリースフレーム検出、ストライクゾーン検出は高精度であった。また、検出した捕球位置とミット静止位置を用いてフレーミング中のミット移動軌跡を可視化した。

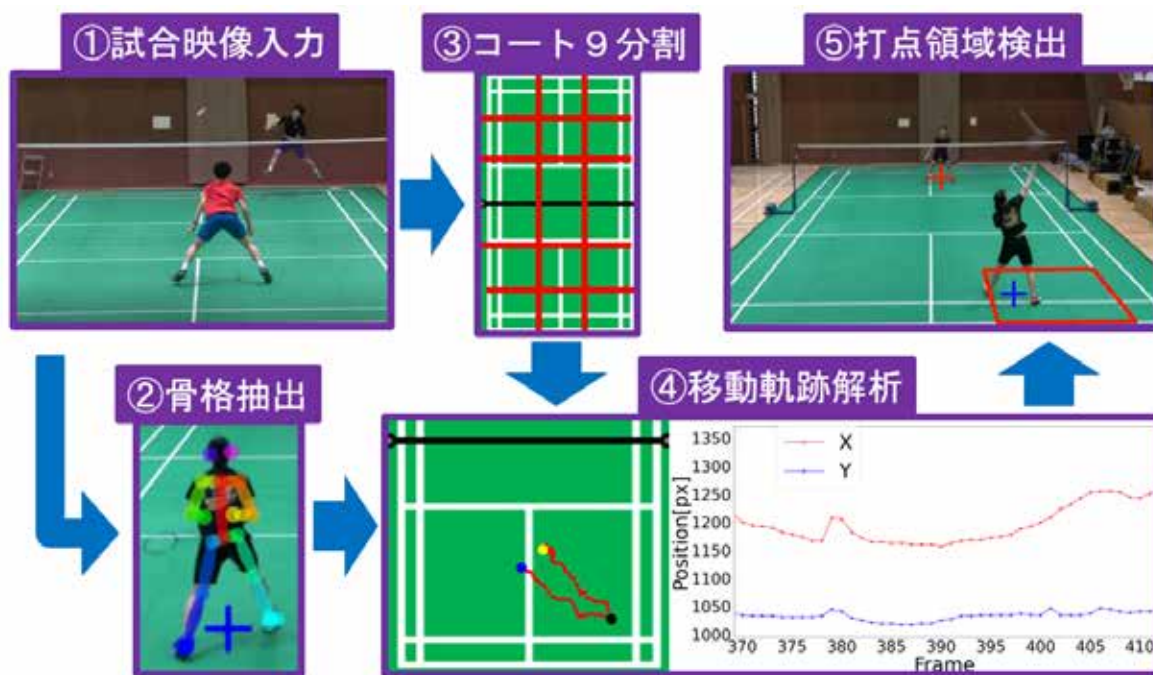


野球映像を用いた捕手のフレーミング技術におけるミット移動軌跡検出手法の概要：検出したフレーミング中のミット移動軌跡の可視化によって、ミットを 10~25 [cm] (野球ボール約 1~3 個分) 動かすことがフレーミングに効果的であることがわかった。



## [6] バドミントン映像におけるフットワーク軌跡を用いた打点領域の検出

本研究では、異分野間連携として広島大学総合科学部・人間社会科学研究科スポーツバイオメカニクス研究室と共同研究を実施した。本研究では、バドミントン競技映像に対する選手のフットワーク軌跡を用いた打点領域の検出手法を提案した。バドミントンシングルスでは通常、自陣コートの中央付近をベースとし、自身がショットを放った後は、ベースに戻り相手選手の打球に備えるフットワーク特性がある。“ベースから任意の地点に移動したのちベースに戻る”という移動軌跡の中で、任意の地点はショットが放たれた地点である。提案手法では、選手のフットワーク軌跡を解析し、“ベースから任意の地点に移動したのちベースに戻る”という動きからヒットタイミングを検出した。ヒットタイミングにおける選手位置が含まれる9分割領域を打点領域と定義し、打点領域の検出を試みた。実証実験の結果、コート手前の選手の検出精度（F 値）は約 86%、コート奥の選手の検出精度（F 値）は約 71%であった。以上より選手のフットワーク軌跡から打点領域を検出できることを確認した。



フットワーク軌跡に着目した打点領域検出手法の概要: コート手前の選手の再現率は 76.3%、適合率は 98.4%であり、提案手法は高い精度であることを確認した。

## [7] ダンスと場景を連動させた映像生成手法の開発

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の影響によりダンサーがパフォーマンスを披露する場は、ステージからメディアへと変化している。そのレジリエンスな教育として、高校生のダンス部を応援するために、2020年よりテレビ局の企画の一つとして「ダンス ONE プロジェクト」が実施された。我々は、ダンス ONE プロジェクトに参加する高校生の撮影および

動画制作をサポートする形で協力し、IT の活用体験を向上させることを目的とした。そこで、コンピュータビジョンの最先端技術を活用した映像生成手法を提案する。研究協力校ダンス部の高校生とコンセプト作りや撮影作業などに取り組み、音源のビート検出手法とオブジェクト検出アルゴリズムを活用したダンスと場景を連動させた映像生成手法を提案する。信号機の色を映像処理によって拡張し、場景とダンスが一体化しているような効果を狙い、違和感のない映像を生成する。動画編集の難しさを解決するためにカット割りとズーム設定の自動処理を提案する。ダンス ONE プロジェクトを通して、高校探求学習科目「総合的な探究の時間」と同様の取り組みを部活動の一環とし、新たな教育モデルを提案する。「総合的な探究の時間」に向けて、高校生に対しソフトウェアを用いた動画編集方法とコンピュータビジョン技術を活用した映像生成手法について講義した。IT の活用体験の向上に関する意向調査では、ダンス ONE プロジェクトと本研究活動を通して参加者の IT の活用体験が向上したことを確認した。以上より、研究に協力いただいた高等学校へ社会活動を実施した。

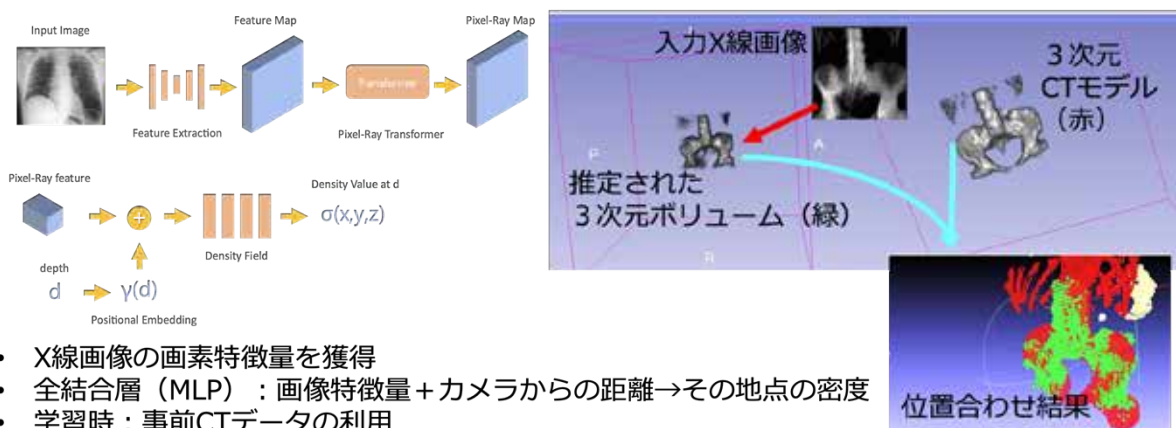


ビートに合わせて変化させた信号機のパターン提示：アンケート結果より、生徒全員が高揚感に対して効果があり、違和感がないと感じていることを確認した。「信号機の色が変わった前と後の動画を並べて見た時に、変わった後の方が明るく楽しげなようにみえた」というコメントや「実は信号機の色が変わっていたことは知らなかった」など、高校生の要求を満たすような高揚感があり、かつ違和感のない映像生成が実現されていることを確認した。

## [8] X線画像と3次元CTモデルの位置合わせ

計算メディカルサイエンス（3D Surgical Vision グループ）として、整形外科手術を対象とした視覚支援法に関する研究を実施した。単眼 X 線画像と 3 次元 CT モデルをマーカなどの明示的な手がかりを用いずに重ね合わせる手法を考案した。下図左に示すように、ニューラルボリューム表現を用いて、単眼 X 線画像から被写体となる骨の 3 次元ボリュームを推定する深層ネットワークを学習する。3 次元点群の位置合わせ処理（ICP（Iterative Closest Point）アルゴリズム）を用いて、推定ボリュームと CT ボリュームを重ね合わせた結果を下図右に示す。術前に取得した CT モデルに基づく施術計画を術中に撮影した X 線透視画像上に重畳することによって処置の出来を視覚的に確認すると同時に、X 線透視撮影装置の位置姿勢（カメラパラメータ）を推定する。本研究は、東京医科大学茨城医療センターの整形外科医・吉井雄一准教授、医療機器メーカーの株式会社 LEXI と、手術現場での実利用を目的として共同で実施した成果である。国際会議 LifeTech2022 において口頭発表を行った。

- (用途) 整形の術前計画 (CTモデル) と術中状況 (X線画像) を照合→作業の確認  
 (目的) 単眼X線画像と3次元CTモデルの位置合わせ (重ね合わせ)  
 (特徴) 深層学習による密度ボリューム (X線の減衰率) 推定ネットワークの構築

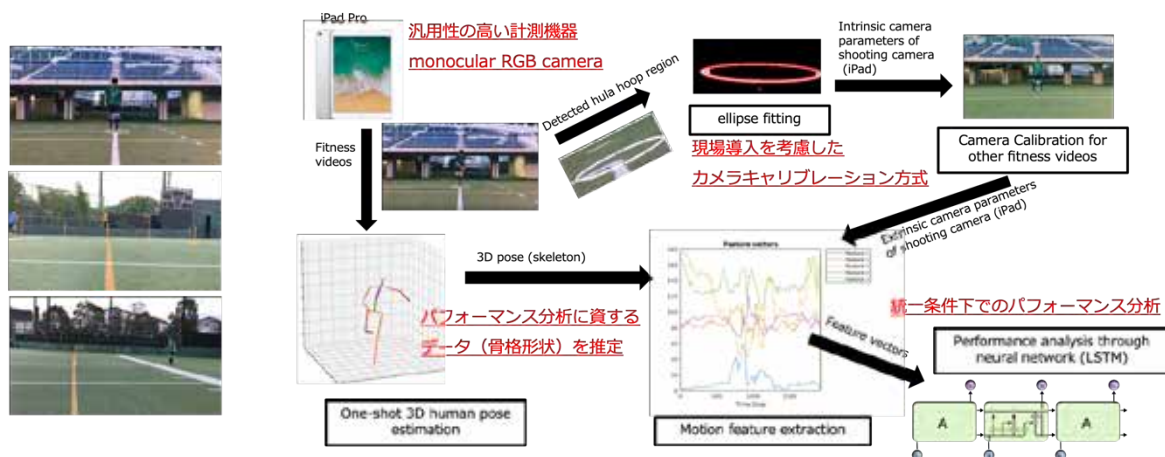


## [9] 大規模なアスリートのパフォーマンス計測

筑波大学体育系谷川聡准教授と共同で、全国各所に存在する多数のアスリートのパフォーマンスを統一的に分析するための計測方式について研究した。スポーツ現場で多用される

iPad 1 台で、垂直跳び、30m スプリント、方向転換の規定運動を撮影する。カメラの設置状態の違いによる見え方の差異を補正するために、形状が既知の物体を撮影しカメラの位置姿勢を推定する。本研究では、現場での入手しやすさを考慮しフラフープを採用する。深層学習によって RGB 画像から被写体の 3 次元骨格情報を復元する処理を撮影映像に適用し、アスリートの時系列 3 次元姿勢情報を取得する。LSTM (Long Short Term Memory) ネットワークを用いて時系列パターンから、被写体のパフォーマンスを推定する。同一競技に取り組むジュニアからシニアそしてエリートまでのアスリートを継続的に計測することにより、長期的な育成計画や怪我の防止などに効果を発揮することが期待できる。以上をまとめた研究成果を映像情報メディア学会 2021 年冬季大会にて発表した。

- (用途) 全国の多様なアスリート (ジュニア~シニア・エリート) のフィジカル管理
- (目的) 単眼映像からアスリートのパフォーマンスを計測
- (特徴) 同一条件下での計測プラットフォーム構築、計測データの深層学習



### [10] 収集型 Crowd Sourcing による文化財観測

文化財の保存活動支援を目的とした研究を実施した。文化財の経年劣化を防ぐためには、長期かつ頻度の高い観察が求められる。画像撮影はその一つの手段である。一方で、世界各地に点在する文化財を網羅的に観察するためには膨大な人手が必要となるため現実的とはいえない。本研究では、文化財を訪れる多数の見学者を観測リソースとして活用するアーカイビングプラットフォームを考案した。文化財管理者は、ドローンなどを用いて事前に生成した文化財の 3 次元モデルを用いて、観測が必要な箇所とその撮影地点を VR 型インタフェースで指示する (日常生活で馴染みの深い Map 型インタフェースも開発した)。その指示情報に基づき、撮影リクエスト Web サイトと、そのサイトへのリンクが埋め込まれた QR コードが生成される。QR コードは文化財の案内板に掲示され、掲示を見て興味を持った見学者が指示に従って画像の撮影と提出を行う。撮影された画像データは管理者の DB に蓄積され、文

文化財の保存活動計画の参考情報として活用される。本方式は、静岡市公園課と協議を重ね考案されたものであり、公園来場者を対象とした実証実験を計画中である。以上をまとめた研究成果を日本バーチャルリアリティ学会 第64回複合現実感研究会にて発表した。

- (用途) 世界各地に点在する文化財の長期かつ頻繁な画像データ収集  
 (目的) 見学者を観測リソースとする文化財アーカイビングプラットフォーム  
 (特徴) 「3次元モデリング→VR遠隔指示→収集型CS→画像DB構築」ループ

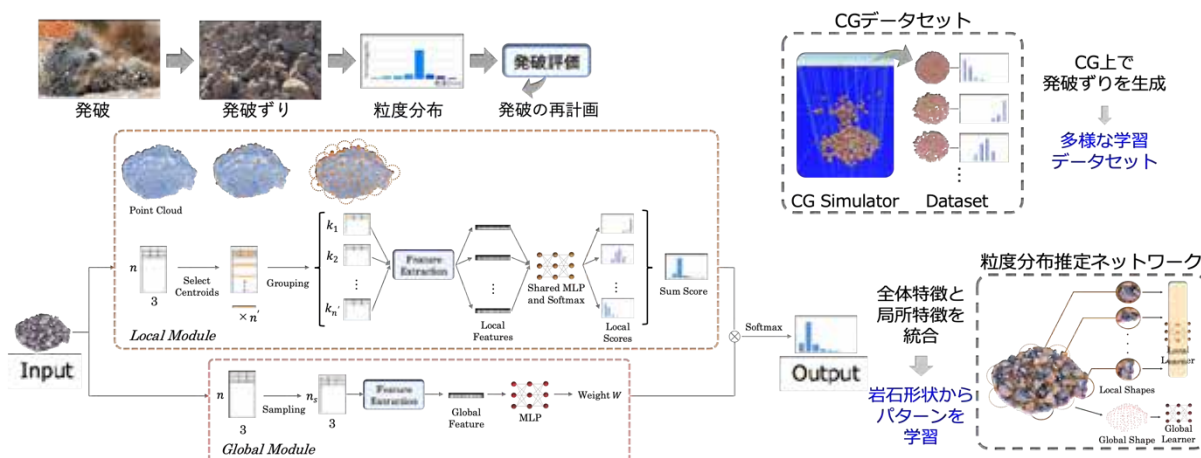


### [11] 発破岩石群の3次元粒度分布推定

3次元画像処理を用いて採掘現場の発破作業を効率化する研究に取り組んだ。発破の結果生み出される岩石群は発破ずりと呼ばれる。その発破ずりに含まれる岩のサイズの分布を粒度分布という。従来研究では、発破ずりを撮影した多視点画像から3次元点群を生成し、その形状特徴から粒度分布を計測する手法が多かったが、3次元点群復元誤差や岩石形状の多様性などの原因により十分な計測精度が実現されたとは言い難かった。本研究では、深層学習を用いて3次元点群からその粒度分布を推定することにより、上述した問題を解消する。

深層学習の推定精度を向上させるためには、信頼性の高かつ様々な条件を網羅した学習データが必要である。本研究では、CGデータから多様で正確な学習セットを生成し、それを用いて深層ネットワークをトレーニングする。本方式は、オーストラリア・Curtin大学、秋田大学、北海道大学の資源工学研究者との共同研究によって考案されたものであり、採掘現場への導入への期待が高まっている。以上をまとめた研究成果を国際会議 The 9th International Conference on Materials Engineering for Resources (ICMR2021)にて口頭発表した。

(用途) 採掘現場の発破作業の効率化 (発破工学へのフィードバック)  
 (目的) 発破ずりの3次元粒度分布推定の高精度化  
 (特徴) 岩石形状に適した深層ネットワーク、CGを用いた学習データセット構築



#### 4. 教育

学生の指導状況

坂村 祐希	博士(工学)	拡張現実型情報提示を用いた自動走行車両の搭乗シミュレータに関する研究
Dmitry Patashov	博士(工学)	A Study on Processing and Analysis of Biomedical Temporal-Quasiperiodic Information using Statistical and non-Stationary Methods
大西 衝	修士(工学)	前頭葉脳波ベータ周波数帯に着目した VR 交通環境体験時の安心感評価
中泉 安貴	修士(工学)	広域撮影映像からの白杖使用者の状態推定
上田 樹	修士(工学)	人物運動予測のための骨格動作特徴の時空間的な集約法
吉野 航平	修士(工学)	発破ずりの粒度分布推定のための3次元点群に基づく深層学習
Tan Peng	修士(工学)	Performance analysis of athletes based on 3D pose estimation from a monocular RGB video
岡本 香	修士(工学)	バドミントン競技におけるシャトルを見る際の眩しさの要因評価
Xia Xue	修士(工学)	文化財のデジタルアーカイビングのための VR インタフェースを用いた撮影指示に基づく画像情報収集方式
Dong Siqi	修士(工学)	被写体の対称性を利用した透視投影に基づくスケッチの形状補正

- 宇津呂 雄生 学士(工学) 相撲における骨格情報を用いた決まり手分類
- 川田 洸希 学士(工学) 方向指示のための視線反応型アクティブパターンの検討
- 坂井 甚太 学士(工学) 映像作品のカメラワーク推定のためのカメラと被写体の位置姿勢推定
- 島田 和輝 学士(工学) 自動走行車両搭乗者の予備動作喚起を目的とした映像の生成と提示
- 菅野 大和 学士(工学) 野球映像を用いた捕手のフレーミング技術におけるミット移動軌跡検出
- 田中 直樹 学士(工学) バドミントン映像におけるフットワーク軌跡を用いた打点領域の検出

## 5. 受賞、外部資金、知的財産権等

### 受賞

1. Best Paper Award of The International Workshop on Advanced Image Technology, Riku Yamasaki, Hidehiko Shishido, and Yoshinari Kameda, A Frame-By-Frame Integrated Environment Map Building Method in Cooperative Slam, 2022/1.
2. Silver Prize, Excellent Paper Awards for oral presentations, GCCE 2021, Yinghao Wang, Chun Xie, Hidehiko Shishido, Shinji Hashimoto, Tatsuya Oda, and Itaru Kitahara, A Surgical Bullet-Time Video Capturing System Depending on Surgical Situation, 2021/10.
3. FIT 奨励賞, 第 20 回情報科学技術フォーラム, 董 思齊, 宍戸 英彦, 北原 格, 被写体の対称性を利用したスケッチ形状の補正手法, 2021/8.
4. MIRU 学生奨励賞, 上田 樹, 宍戸 英彦, 北原 格, 連動する骨格動作の表現に適した時空間特徴の学習による人物運動予測法, 2021/7.

### 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(研究分担者: 宍戸英彦) 全年度直接経費: 960 万円 (2021 年度直接経費: 240 万円)
2. 科研費・挑戦的研究(萌芽) 「プレッシャーコントロール下でのスポーツスキル獲得の効果解明」(2019-2021 年度) 代表者: 亀田能成 全年度直接経費: 470 万円 (2021 年度直接経費: 140 万円)

3. 科研費・基盤(B)「解説型ウェブページの分かり易さ・見易さの自動評定とそれを用いたページ推薦システム」(2019-2021 年度) 代表者：宇津呂武仁(研究分担者：亀田) 全年度直接経費：1330 万円 (2021 年度直接経費：450 万円、分担 20 万円)
4. 科研費・基盤(B)「XR 自動走行プラットフォームを用いた搭乗者の快適性を向上する移動感覚制御」(2021-2023 年度)代表者：神原誠之(研究分担者：北原) 全年度直接経費：1240 万円 (2021 年度直接経費：490 万円、分担 140 万円)
5. 科研費・基盤(B)「柔軟臓器の形状推定と術前モデルへの実時間位置合わせを行う肝手術ナビゲーション開発」(2018-2021 年度)代表者：大城幸雄(研究分担者：北原) 全年度直接経費：1310 万円 (2021 年度直接経費：330 万円、分担 30 万円)
6. 科研費・基盤(A)「人と移動体が混在する空間における外向け HMI 開発・評価基盤技術」(2019-2021 年度)代表者：矢野博明(研究分担者：北原) 全年度直接経費：3360 万円 (2021 年度直接経費：630 万円、分担 80 万円)
7. 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、宍戸、謝) 全年度直接経費：1460 万円 (2021 年度直接経費：410 万円、分担 190 万円)
8. JST CREST 研究領域「人間と調和した創造的協働を実現する知的情報処理システムの構築」研究総括：ATR 萩田紀博、「Cyborg Crowd：柔軟でスケーラブルな人と機械の知力集約」代表：森嶋厚行 (研究分担者：北原) 全年度直接経費：6200 万円 (2021 年度直接経費：1200 万円)
9. JST CREST AIP チャレンジ「マーカレス 3次元関節位置に基づくバドミントンショット情報の可視化」代表：宍戸英彦 2021 年度：100 万円
10. 共同研究・株式会社日立製作所「外界認識のための三次元構造理解」代表者：北原格 2021 年度 183.3 万円
11. 科研費・研究活動スタート支援「投影型拡張現実を用いた腹腔鏡手術支援システムの構築」(2021-2024 年度) 代表者：謝淳 全年度直接経費：240 万円 (2021 年度直接経費：120 万円)

### 知的財産権

1. 森嶋 厚行, 北原 格 他, シールと ICT をつないだ避難状況把握装置, 2022 年 6 月 28 日



## 6. 研究業績

### (1) 研究論文

#### A) 査読付き論文

1. 坂村 祐希, 富田 瑛智, 宍戸 英彦, 水浪 田鶴, 井上 和哉, 亀田 能成, 原田 悦子, 北原 格, “自動走行車両の進行方向提示と搭乗者の安心感の関係性調査”, 情報処理学会論文誌, vol.63, no.1, pp.152-162, 2022/1/15. (DOI: 10.20729/00215723)
2. Yuki Sakamura, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “Multi-View Stereo Based on Omnidirectional Epipolar Geometry”, Trans on IEVC, vol.9, no.2, pp.41-49, 2021/12/1.
3. Zedrick Paul L. Tungol, Hisatoshi Toriya, Narihiro Owada, Itaru Kitahara, Fumiaki Inagaki, Mahdi Saadat, Hyong Doo Jang, and Youhei Kawamura, “Model Scaling in Smartphone GNSS-Aided Photogrammetry for Fragmentation Size Distribution Estimation”, MDPI Minerals, vol.11, no.12, 17pages, 2021/11/23. (DOI: 10.3390/min11121301)
4. Hisatoshi Toriya, Narihiro Owada, Mahdi Saadat, Fumiaki Inagaki, Ashraf Dewan, Youhei Kawamura, and Itaru Kitahara, “Mutual Superimposing of SAR and Ground-Level Shooting Images Mediated by Intermediate Multi-Altitude Images”, Elsevier Array, vol.12, no.100102, 13pages, 2021/10/15. (DOI: 10.1016/j.array.2021.100102)
5. Hidehiko Shishido, Koyo Kobayashi, Yoshinari Kameda, and Itaru Kitahara, “Method to Generate Building Damage Maps by Combining Aerial Image Processing and Crowdsourcing”, Journal of Disaster Research, vol.16, no.5, pp.827-839, 2021/8/1.
6. Fumiya Kimura, Yutaka Ito, Toshiya Matsui, Hidehiko Shishido, Itaru Kitahara, Youhei Kawamura, and Atsuyuki Morishima, “Tourist Participation in the Preservation of World Heritage a Study at Bayon Temple in Cambodia”, Journal of Cultural Heritage, vol.50, pp.163-170, 2021/6/7.

#### B) 査読無し論文

### (2) 国際会議発表

#### A) 招待講演

#### B) 一般講演

1. Pragyam Shrestha, Itaru Kitahara, Hidehiko Shishido, Yuich Yoshii, and Chun Xie, “3D Reconstruction of Bone from Multi-View X-Ray Images Using Planar Markers”, 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech), pp.193-197, 2022/3, Osaka and online meeting, Japan. (DOI: 10.111LifeTech53646.2022.9754765)

2. Zilong Liang, Hidehiko Shishido, and Yoshinari Kameda, “Three-Stage Navigation to Hand Size Object for Visually Impaired”, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT)2022, 147, 2022/1, Hong Kong and online. (DOI: 10.1117/12.2626172)
3. Mayuko Ishikawa, Hidehiko Shishido, and Yoshinari Kameda, “Swimmer Position Estimation and Stroke Analysis Based on Head Recognition”, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT)2022, 148, 2022/1, Hong Kong and online. (DOI: 10.1117/12.2626170)
4. Riku Yamasaki, Hidehiko Shishido, and Yoshinari Kameda, “A Frame-By-Frame Integrated Environment Map Building Method in Cooperative Slam”, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT)2022, 149, 2022/1, Hong Kong and online. (DOI: 10.1117/12.2626168)
5. Yasutaka Nakaizumi, Hidehiko Shishido, and Yoshinari Kameda, “Posture Estimation for the Visually Impaired People Using Human Skeleton with a White Cane”, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT)2022, 1 page, 2022/1 Hong Kong and online. (DOI: 10.1117/12.2625878)
6. Bashir Ahmad Jalali, Taeyoo Na, Hirokazu Furuki, Itaru Kitahara, and Youhei Kawamura, “Landslide Hazard Mapping Using Gis and Gans at Central Parts of Badakhshan Province, Afghanistan”, The 13th Asian Regional Conference (ARC13) of International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG), 1page, 2021/11, online meeting.
7. Yuta Mizunuma, Itaru Kitahara, and Yoshihiro Kuroda, “ConvLstm Based Estimation Method of Incision Trajectory with Electric Knife by Connecting Restored Thermal Sources”, the 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2021), pp.3485-3489, 2021/11, online meeting. (DOI: 10.1109/EMBC46164.2021.9629819)
8. Pragyanshu Shrestha, Chun Xie, Hidehiko Shishido, Yuichi Yoshii, and Itaru Kitahara, “3D Reconstruction of Bone Structure from Multi-View X-Ray Images Using Planar Markers”, the 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2021), p.5288, 2021/11, online meeting.
9. Taiga Sato, Kohei Yoshino, Hisatoshi Toriya, Jang Hyongdo, Itaru Kitahara, and Youhei Kawamura, “Construction of Training Data in the Computational Domain and Deep Learning Identification Trials for Estimation of Fragmentation in Blast Muckpiles”, The Ninth International Conference on Materials Engineering for Resources (ICMR2021), 2 pages, 2021/10, online meeting.
10. Bashir Ahmad Jalali, Taeyoo Na, Hisatoshi Toriya, Itaru Kitahara, and Youhei Kawamura, “Parametric Study on Landslides Using Frequency Ratio Model and Gis in Central Parts of

- Badakhshan Province, Afghanistan”, The Ninth International Conference on Materials Engineering for Resources (ICMR2021), 2 pages, 2021/10, online meeting.
11. Kohei Yoshino, Taiga Sato, Hisatoshi Toriya, Hidehiko Shishido, Jang Hyongdoo, Youhei Kawamura, and Itaru Kitahara, “An Estimation Method of Fragmentation in Blast Muckpiles Using Deep Learning with Hierarchical Feature Extraction for 3D Point Cloud”, The Ninth International Conference on Materials Engineering for Resources (ICMR2021), 2 pages, 2021/10, online meeting.
  12. Ikuma Uchida, Atom Scott, Hidehiko Shishido, and Yoshinari Kameda, “Automated Offside Detection by Spatio-Temporal Analysis of Football Videos”, 4th International ACM Workshop on Multimedia Content Analysis in Sports (ACM MMSports 2021), pp.17-24, 2021/10, Chengdo and online, China. (DOI: 10.1145/3475722.3482796)
  13. Takenobu Kiyama, Takamasa Takeda, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “A Dnn-Based Refining Method for 3D Point Cloud Reconstructed from Multi-View Images”, 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics, pp.654-658, 2021/10, Kyoto and online, Japan. (DOI: 10.1109/GCCE53005.2021.9621952)
  14. Haihan Zhang, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “Superimpose of 3D Dynamic Objects on a Static Environment for Driver Assistance System”, 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2021), pp.556-560, 2021/10, Kyoto and online, Japan. (DOI: 10.1109/GCCE53005.2021.9622079)
  15. Yinghao Wang, Chun Xie, Hidehiko Shishido, Shinji Hashimoto, Tatsuya Oda, and Itaru Kitahara, “A Surgical Bullet-Time Video Capturing System Depending on Surgical Situation”, 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2021), pp.650-653, 2021/10, Kyoto and online, Japan. (DOI: 10.1109/GCCE53005.2021.9622047)
  16. Yuya Hiruta, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “One Shot 3D Reconstruction by Observing Multiple Spherical Mirrors”, 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2021), pp.659-663, 2021/10, Kyoto and online, Japan. (DOI: 10.1109/GCCE53005.2021.9621989)
  17. Ikuma Uchida, Atom Scott, Yoshinari Kameda, and Keiichi Zempo, “Wearable Device for Evaluation of Players' Interaction on Voice Coaching on Football Field”, 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2021), 4 pages, 2021/10, Kyoto and online, Japan. (DOI: 10.1109/GCCE53005.2021.9622067)
  18. Yuki Sakamura, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “Multi-View Stereo Based on Omnidirectional Epipolar Geometry”, The 7th IEEEJ International Conference on Image Electronics and Visual Computing (IEVC 2021), 4 pages, 2021/9, online meeting.

19. Fumiya Kimura, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “Lively Free-Viewpoint Video Generation Using Video Textures”, The 7th IEEE International Conference on Image Electronics and Visual Computing (IEVC 2021), 4 pages, 2021/9, online meeting.
20. Yuki Sakamura, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “Multi-View Stereo Based on Omnidirectional Projective Geometry”, Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2021), 8 pages, 2021/4, Daejeon, Korea (online).
21. Haihan Zhang, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “3D Dynamic Objects Localization in a Static Environment for Advanced Driver Assistance System”, Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2021), 8 pages, 2021/4, Daejeon, Korea (online).
22. Yuya Hiruta, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “Depth Estimation from Multiple Spherical Mirror Regions in a Single Image”, Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2021), 8 pages, 2021/4, Daejeon, Korea (online).
23. Qiaoge Li, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “An Investigation to Determine the Impact on the Image Quality of Omnidirectional Free-Viewpoint Images by Reconstructed 3D Point Cloud”, Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2021), 2 pages, 2021/4, Daejeon, Korea (online).
24. Dmitry Patashov, Yakir Menahem, Yoshinari Kameda, Dmitry Goldstein, and Michael Balberg, “Fnrirs Artifact Removal Using Selective Source Separation”, The Optical Society of America: Optics in the Life Sciences Congress 2021, 2 pages (Poster), 2021/4, online meeting.

### (3) 国内学会・研究会発表

#### A) 招待講演

1. 北原 格, “自由視点映像によるスポーツ観戦”, 2022 年電子情報通信学会総合大会, 2022/3.
2. 北原 格, “多視点画像情報に基づく高速かつ高品質な自由視点コンテンツの生成と閲覧”, 映像情報メディア学会 2021 年冬季大会, 2021/12.
3. 北原 格, “多視点スポーツ映像処理”, 映像情報メディア学会関西支部講演会『未来を切り拓く世界最先端映像技術』, 2021/10.
4. 北原 格, “複合現実感提示による搭乗者の視覚支援”, 自動車技術会第 1 回情報通信メディア部門委員会, 2021/4.

## B) その他の発表

1. 石川 晋也, 宍戸 英彦, 吉田 健司, 亀田 能成, “VR シミュレーションによるバスケットボール時の視覚探索運動の定量化”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.121, no.423, pp.284-289, 2022/3.
2. 大西 衝, 宍戸 英彦, 亀田 能成, “前頭葉脳波ベータ周波数帯に着目した VR 交通環境体験時の安心感評価”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.121, no.423, pp.278-283, 2022/3.
3. 岡本 香, 宍戸 英彦, 亀田 能成, 吹田 真士, “バドミントン競技におけるシャトルを見る際の眩しさの要因評価”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.121, no.423, pp.84-89, 2022/3.
4. 蛭田 雄也, 宍戸 英彦, 北原 格, “全方位カメラと球面鏡で構成された反射屈折撮像系における奥行き推定手法”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.121, no.423, pp.49-54, 2022/3.
5. 中泉 安貴, 宍戸 英彦, 亀田 能成, “映像からの視覚障がい者に対する白杖の動き推定”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.121, no.423, pp.43-48, 2022/3.
6. 大木 郁登, 宍戸 英彦, 亀田 能成, “手持ちのスマートフォンによる歩行者の自由歩行時における進行方向推定”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.121, no.423, pp.39-42, 2022/3.
7. 岡本 香, 亀田 能成, 宍戸 英彦, 吹田 真士, “バドミントン競技における見上げ動作時の眩しさの要因評価”, 日本バドミントン学会第 5 回学会大会, 1page, 2022/3.
8. 田中 直樹, 宍戸 英彦, 吹田 真士, 亀田 能成, 北原 格, “バドミントン競技映像におけるフットワーク軌跡を用いた打点領域の検出”, 日本バドミントン学会第 5 回学会大会, 1page, 2022/3.
9. 蛭田 雄也, 北原 格, 宍戸 英彦, “全方位カメラと球面鏡で構成された反射屈折撮像系における奥行き推定の検討”, 情報処理学会第 84 回全国大会, vol.2, pp.151-152, 2022/3.
10. 島田 和輝, 澤邊 太志, 宍戸 英彦, 神原 誠之, 北原 格, “自動走行車両搭乗者の予備動作喚起を目的とした映像提示方式”, 情報処理学会第 84 回全国大会, vol.3, pp.71-72, 2022/3.
11. 坂井 甚太, 宍戸 英彦, 北原 格, “3 次元形状復元と人物追跡を用いた単眼映像コンテンツのカメラワーク推定に関する検討”, 情報処理学会第 84 回全国大会, vol.1, pp.515-516, 2022/3.

12. 佐川 加奈, 宍戸 英彦, 吹田 真士, 北原 格, “単眼バドミントン競技映像における選手の骨格情報に基づく反応時間の計測”, 情報処理学会第 84 回全国大会, vol.2, pp.583-584, 2022/3.
13. 坂村 祐希, 宍戸 英彦, 北原 格, “全方位画像のエピポーラ幾何に基づく三次元再構成”, 電子情報通信学会 技術研究報告 ITS, vol.121, no.373, pp. 196-201, 2022/2.
14. 上田 樹, 福原 吉博, 片岡 裕雄, 相澤 宏旭, 宍戸 英彦, 北原 格, “NeDDF: 距離場と密度場を互恵的に制約する 3 次元形状表現”, 日本バーチャルリアリティ学会 第 65 回複合現実感研究会, vol.2022-CVIM-228, no.19, 6 pages, 2022/1.
15. 菅野 大和, 宍戸 英彦, 亀田 能成, 北原 格, “フレーミング技術における捕手動作の映像解析”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.121, no.349, pp. 1-6, 2022/1.
16. 逸見 勲, 宍戸 英彦, 北原 格, “ステージ上での立ち位置に応じたカメラワーク生成手法”, 映像情報メディア学会 2021 年冬季大会, 2 pages, 2021/12.
17. 吉川 優依, 宍戸 英彦, 亀田 能成, 北原 格, “ダンスと場景を連動させた映像生成手法の検討”, 映像情報メディア学会 2021 年冬季大会, 2 pages, 2021/12.
18. 譚 鵬, 宍戸 英彦, 谷川 聡, 北原 格, “単眼 RGB フィットネスチェック映像からの 3 次元動作データの取得”, 映像情報メディア学会 2021 年冬季大会, 2 pages, 2021/12.
19. 古府 侑樹, 宍戸 英彦, 亀田 能成, “滑りやすい歩行領域の画像からの深層学習による検出”, HCG シンポジウム 2021, 6 pages, 2021/12.
20. 夏 雪, 宍戸 英彦, 松井 敏也, 北原 格, “投影型 AR と 3D フォトグラメトリの統合による文化財保護のための撮影地点指示”, 日本バーチャルリアリティ学会 第 64 回複合現実感研究会, vol.2021-EC-61, no.13, 6 pages, 2021/10.
21. 田中 直樹, 宍戸 英彦, 吹田 真士, 亀田 能成, 北原 格, “バドミントン映像処理におけるフットワーク移動軌跡を用いた打点位置とショット方向の検出手法”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.121, no.221, pp. 7-12, 2021/10.
22. 董 思齊, 宍戸 英彦, 北原 格, “被写体の対称性を利用したスケッチ形状の補正手法”, 第 20 回情報科学技術フォーラム, pp.133-136, 2021/8.
23. 田中 直樹, 宍戸 英彦, 亀田 能成, 北原 格, 吹田 真士, “バドミントン映像におけるフットワーク軌跡を用いたショット検出手法”, 第 20 回情報科学技術フォーラム, pp.171-172, 2021/8.
24. 菅野 大和, 宍戸 英彦, 亀田 能成, 北原 格, “野球の捕手のフレーミング技術定量評価における映像の自動抽出”, 第 20 回情報科学技術フォーラム, pp.169-170, 2021/8.
25. 上田 樹, 宍戸 英彦, 北原 格, “連動する骨格動作の表現に適した時空間特徴の学習による人物運動予測法”, 第 24 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2021), 4 pages, 2021/7.

26. 大木 郁登, 宍戸 英彦, 亀田 能成, “歩行の安全確保に向けた単眼 RGB 画像からのバー型障害物検出”, 電子情報通信学会 技術研究報告 WIT, vol.121, no.52, pp.48-53, 2021/6.
27. 飯田 雄介, 宍戸 英彦, 亀田 能成, “HMD を用いたサッカーのフリースペース認知における視覚探索行動の解析”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.121, no.53, pp.25-30, 2021/6.

#### (4) 著書、解説記事等

##### A) 解説記事

1. 宍戸 英彦, 北原 格, “バドミントン競技映像処理における現場活用の可能性”, 日本工業出版 画像ラボ, vol.32, no.4, pp.13-18, 2021/4/10.

#### 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）

該当なし

##### 産学官連携

1. 産学連携：日立製作所との共同研究（代表：北原）  
「外界認識のための三次元構造理解」  
屋内外の比較的整備された環境の認識、および、その結果に基づく作業支援を目的として、複数の手段によって観測した環境の三次元情報を統合し三次元マップを生成する研究調査を実施した。筑波大学においては、ドローンで撮影した空撮映像からの三次元情報取得、および、地上を走行する車両に取り付けた車載カメラの映像からの三次元情報取得の検証と課題抽出を行った。また、両者が復元した三次元情報の統合による動的三次元マップ生成に向けた取得データの補完・補間技術に関する研究を実施した。
2. 学官連携：茨城県産業技術イノベーションセンター笠間陶芸大学校との共同研究（代表：北原）  
「自由視点画像メディアを用いた遠隔展示技術の研究開発」  
自由視点画像技術を用いた遠隔展示技術の実現に向けた研究を実施した。茨城県産業技術イノベーションセンターが所有する立体造形物の多視点画像データセットの構築、多視点画像から生成される自由視点画像コンテンツを活用した展示方式に関する検証を同センターと共同で実施した。立体造形物を対象とした遠隔展示技術の創出を目的として、笠間陶芸大学校のギャラリー展示作品の多視点画像撮影実験を実施した。コンピュータ

ータビジョン（3次元画像処理）技術を用いて計算機内部で撮影画像を統合することで自由視点画像を生成し提示した。自由視点画像に基づいて立体造形物を効果的に鑑賞するインタフェースの検証と課題抽出を行った。

#### **国際連携・国際活動**

亀田能成教授が中心となって締結した、計算科学研究センター、イスラエルの Holon Institute of Technology、およびアゼルバイジャンの Azerbaijan Medical University、およびイスラエルの Innovative Technologies Group 社との4者間の MoU により共同研究を継続実施し、査読付国際会議発表1件を発表した。

北原格教授がオーストラリアの Curtin University と締結した MoU により共同研究を継続実施し、査読付国際会議発表2件・その他の発表2件を発表した。

#### **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  
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  
知能機能システム学位プログラム・エンパワーメント情報学 入試委員会 委員  
知能機能システム専攻 学務・カリキュラム委員会 委員

宍戸 英彦

システム情報工学研究科知能機能システム専攻 広報委員会 委員  
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 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

日本バーチャルリアリティ学会 SIG-MR 研究会 副委員長  
情報処理学会 コンピュータビジョンとイメージメディア研究会(CVIM) 委員  
映像情報メディア学会スポーツ情報処理時限研究会(SIP) 幹事

宍戸 英彦

情報処理学会 コンピュータビジョンとイメージメディア研究会(CVIM) 委員  
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) 委員  
日本バドミントン学会 研究推進委員  
情報処理学会 第20回情報科学技術フォーラム 担当委員, プログラム委員

## 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でも研究に従事。