

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	北川 博之
教授	天笠 俊之
助教	塩川 浩昭
研究員	Salman Ahmed Shaikh, 駒水 孝裕, Savong Bou, 堀江 和正
学生	大学院生 27 名、学類生 5 名、研究生 3 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様々なデータを統一的に扱うための XML 関連技術等の研究を継続して行っている。また、国際統合睡眠医科学研究機構（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。

3. 研究成果

【1】 情報統合基盤技術

（関連研究費：文科省／理研受託研究，NICT 受託研究）

(1) イベント駆動型スマートストリーム処理

センサー、移動体軌跡等のストリームの増加に伴い、これらを連続的に処理するストリーム処理の需要が高まっている。このため、連続的に到着するストリームデータを継続的に処理する連続問合せを実行する各種のストリーム処理エンジンが開発されてきた。ストリーム処理において重要な問合せの一つとして、イベント駆動型問合せがある。これは、連続的に到着する複数のストリームを入力として用いるが、指定された特定のストリームから到着するイベントの発生時にのみ問合せ結果を生成するものである。特定のイベントが発生した時のみ、その直前の状況をモニタリングするようなアプリケーションの問合せは、しばしばイベント駆動型問合せとなる。差分計算に基づく基本連続的問合せ処理スキームでは、イベントが発生しない状況でも、入力ストリーム中のタプルは問合せを処理するための演算子からなるパイプラインを下流方向に連続的に途中まで処理されるものの、最終的には問合せ結果

は生成されないことになる．すなわち，最終的な問合せ結果に寄与しない入力データの処理のため，システム負荷が増加し，システムリソースが浪費されることになる．この問題を解決するため，本研究では，イベント駆動型スマートストリーム処理スキームを開発した．提案スキームの基本的なアイデアは，新たなスマートウィンドウと呼ばれるウィンドウ演算子を導入し，イベントが発生していない間は，問合せ結果を生成するのに必要なウィンドウ長分の入力ストリームタプルをバッファリングするというものである．スマートウィンドウ内にバッファされたタプルがイベント発生前にウィンドウ長から外れて期限切れになると，それらはスマートウィンドウから直接削除されるため，下流演算子での無駄な処理を削減できる．問合せ結果を生成すべきイベントが発生した時は，バッファされたタプルはフラッシュされ，パイプラインの下流の演算子によって処理され，最終的な問合せ結果を生成する．

ストリーム処理エンジンにおいては，複数の連続問合せが与えられた際，それらに共通する処理を統合し処理コストを節約するため，問合せプランをマージし最適化を行う．本研究では，その考え方をイベント駆動型スマートストリーム処理スキームにも適用できるように拡張し，スマートウィンドウを用いた問合せプランが複数与えられた場合にも適用可能な問合せ最適化方式を開発した．

以上述べたイベント駆動型スマートストリーム処理については，これまでも継続的に研究開発を行ってきた．特に本年度は，イベント駆動型問合せを標準的な連続問合せ言語である CQL の枠組みの中に位置付けると共に，提案方式の完成度を上げ，さらに，既存システムとの比較を含めた詳細な性能評価等を行うことで，その有効性を検証した．

図 1.1 は，結合処理を含む問合せを対象に，提案方式を実装したシステムの処理性能を，他のストリーム処理エンジンである STREAM, Apache Spark SPE と比較したものであり，提案方式の有効性が示されている．図 1.2 は，提案複数問合せ最適化の有効性を示す実験結果である．

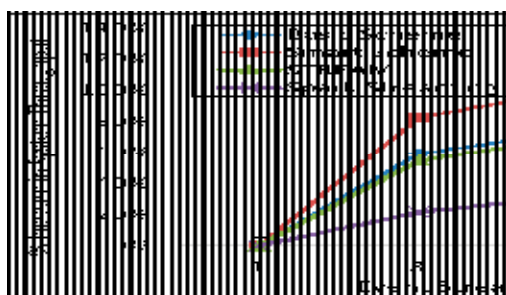


図 1.1 システム処理性能の比較

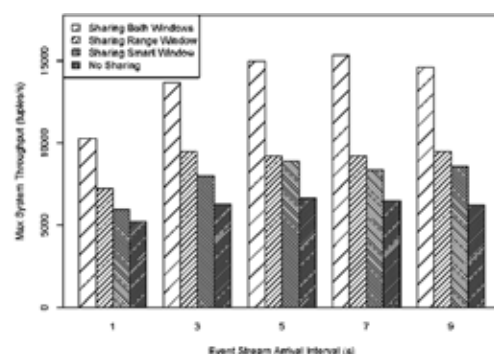


図 1.2 複数問合せ最適化の効果

(2) StreamingCube : ストリーム処理とストリーム OLAP の統合

多くのストリームアプリケーションでは，最新の情報を利用して瞬時に意思決定を行うため，ストリームを継続的に分析する必要がある．多くの場合，ストリームデータ自身は多次

元で抽象度が低く、分析者は必要な知見を得るために、多次元的かつ多段階のインタラクティブなデータ分析を行いたいことが多い。オンライン分析処理（OLAP）は、静的データを対象に、多次元的かつ多段階のインタラクティブなデータ分析のための手法として広く用いられている。ストリームデータを対象に OLAP を行う研究はいくつか行われているが、これまでは、ストリーム処理エンジンと OLAP のためのエンジンを結合することでストリームに対する OLAP を行うことが主流であった。複数のシステムを結合することは、複数のシステム間でデータを転送するためのコストやそれぞれのシステムでリソースの共有が十分できない上、複雑さにより保守コストが高くなる等の問題がある。

この問題に対し、本研究では、ストリーム処理とストリームに対する OLAP を統合したフレームワークである StreamingCube を提案し、その実装システムの研究開発を進めた。図 1.3 は、StreamingCube のアーキテクチャを示している。ストリーム処理とストリーム OLAP を統合したフレームワークの考え方は、ストリーム処理における差分計算と OLAP 処理における実体化ビューの差分メンテナンスに多くの共通点があるという考え方に立脚している。StreamingCube は差分計算に基づくデータ処理フレームワーク上に構築され、ストリーム処理とストリーム OLAP に共通の考え方に基づく差分処理を適用する。StreamingCube は、ストリーム処理のための通常の演算子をサポートする他、多次元階層に基づく OLAP 格子構造を維持しストリーム OLAP を実現するための cubify という演算子を導入している点に最大の特徴がある。これにより、StreamingCube は、ストリームに対する連続問合せと OLAP 問合せの 2 種類の問合せをサポートする。cubify が維持する OLAP 格子構造は一部のみを実体化して保持することが可能である。さらに、StreamingCube における連続的問合せで特徴的な点は、cubify 演算子で生成された格子構造の頂点をストリーム発生源として、さらに下流の演算子を用いたストリーム処理を行うことも可能にしている点である。

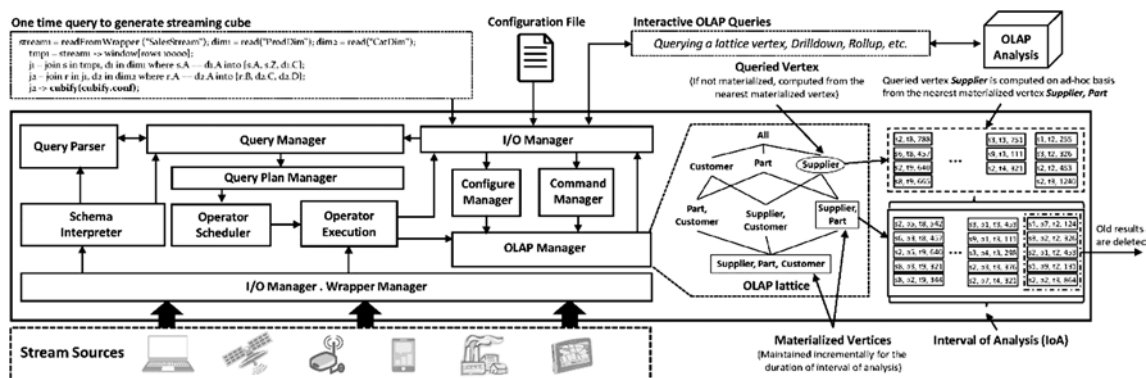


図 1.3 StreamingCube アーキテクチャ

今年度は、StreamingCube システムの初期バージョンを完成させ、性能評価等の様々な実験により提案フレームワークの有効性を検証すると共に、オープンソースとして公開した。図 1.4 は、StreamingCube の処理性能を、従来のストリーム処理エンジンと OLAP エンジンとを結合したシステムと比較した実験結果である。統合システムの優位性がこの結果からも示されている。

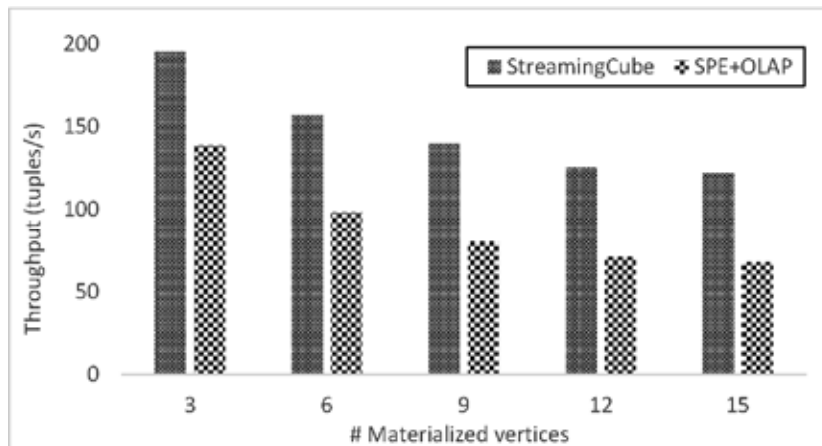


図 1.4 TPC-H データを用いた性能比較 (StreamingCube vs. SPE+OLAP)

【2】 データマイニング・知識発見技術

(関連研究費：文科省／理研受託研究，NICT 受託研究，科研費・研究活動スタート支援，JST ACT-I 委託研究，企業受託研究)

(1) 大規模グラフ分析の高速化

大規模グラフに対する高速な分析手法の構築について，本年度は (1-A) 大規模なグラフに対する構造的クラスタリングの超並列化，ならびに，(1-B) 大規模なヘテロジニアスグラフを対象とした ObjectRank 解析の高速化に関する研究成果を得た。

(1-A) 大規模なグラフに対する構造的クラスタリングの超並列化

グラフクラスタリングはグラフの中に存在するコミュニティ構造を理解する上で重要な要素技術である。その中でも構造的類似度に基づくクラスタリング手法 SCAN は高い精度でクラスタを検出することが出来ることから幅広いアプリケーションで利用されている。しかしながら，SCAN はグラフに含まれる全てのノードとエッジに対して構造的類似度計算を行う必要があり，大規模なグラフを対象とした場合に計算量が爆発するという問題がある。この問題を解決するために，これまでいくつかの高速化手法が提案されてきたが，Web や SNS などの 1 億ノード規模の大規模なグラフは処理できないのが現状である。

この問題に対して，我々は前年度，計算科学研究センターが運用するスーパーコンピュータ COMA および Oakforest-PACS に搭載されている Intel Xeon Phi Co-processor を活用した SCAN の超並列化手法 SCAN-XP を開発した。しかしながら，SCAN-XP は 1 台の計算機のメモリに搭載できるサイズのグラフデータを対象としており，メモリ容量を超えるサイズのグ

ラフデータ（例えば、10 億ノード以上の規模のグラフデータ）に対しては高速に処理することが出来ない。

そこで本年度は、分散並列化によるスケーラブルな構造的グラフクラスタリング手法 DSCAN を開発した。DSCAN では、計算科学研究センターが運用するスーパーコンピュータ Oakforest-PACS に搭載されている複数台の Intel Xeon Phi Co-processor を同時に活用することにより、従来手法では対応できない規模のグラフデータに対するクラスタリングを実現する。一般的に分散並列化の際に生じる計算機間の通信コストを抑制するために、本手法では実世界に存在するグラフには次数分布の偏りや 3 部クリーク構造が頻出すると行った構造特性を持つことに着眼した計算の枝刈りやロードバランシングを行う。これにより、数十台の計算機を用いた場合においても、高い処理性能を達成することができる。また、各計算機においては、Intel Xeon Phi Co-processor の持つ多くの物理コアと 512 ビット SIMD 演算を最大限に活用するためのアルゴリズムの最適化を行っている。その結果、従来技術では処理できなかった 60 億ノード規模のグラフデータに対するクラスタリング分析を Oakforest-PACS を構成する計算機を 32 台活用することにより 20 秒程度で分析が可能とした。数十億ノード規模のグラフデータに対する構造的グラフクラスタリングを実現した手法は我々が知る限りまだ存在しておらず、本研究は世界初の成功事例であると考えている。

(1-B) 大規模なヘテロジニアスグラフを対象とした ObjectRank 解析の高速化

近年、ヘテロジニアスグラフと呼ばれるグラフ構造をより一般化したグラフモデルに対する分析技術の重要度が高くなってきている。ヘテロジニアスグラフでは、グラフを構成する各ノードやエッジが任意の属性を採ることができる。例えば図 2.1 は、論文の引用・共著・出版関係をヘテロジニアスグラフで表現した例である。各研究者の協力関係や論文とカンファレンスの出版関係、論文同士の引用関係など、様々な関係性をひとつのグラフ表現として表すことが出来ていることがわかる。

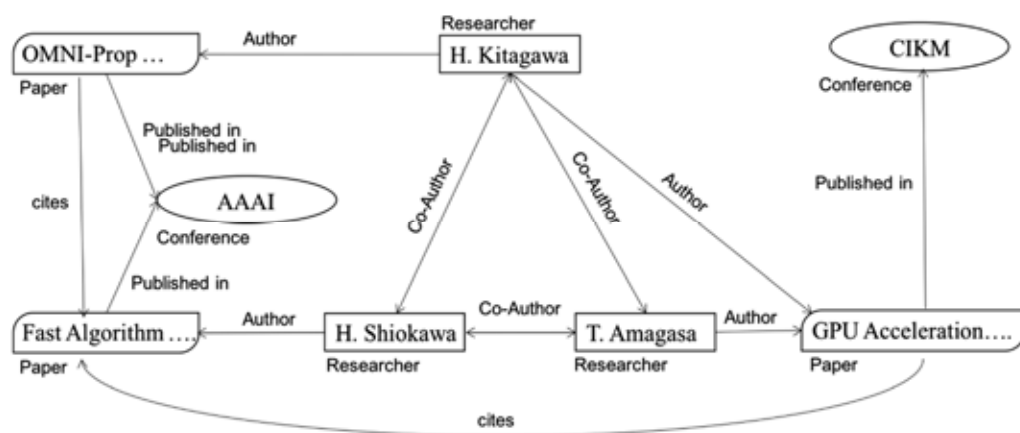


図 2.1 論文の引用・共著・出版関係を表すヘテロジニアスグラフの例

このようなヘテロジニアスグラフに対する分析技術のひとつとして ObjectRank 解析が挙げられる。ObjectRank 解析は、ユーザによって入力されたキーワードに対する重要度（関連度）をヘテロジニアスグラフの中で計算し、キーワードに対して重要性（関連性）の高いノードをユーザに返すランキング手法である。一般的に ObjectRank の計算は図 2.1 で示したようなヘテロジニアスグラフとユーザから与えられたクエリをそれぞれ疎行列およびベクトルとして表現し、疎行列・ベクトル積を冪乗法により解くことで、各ノードの重要性を示すスコア値を獲得する。しかしながら、ノード数 N 、エッジ数 M 、ヘテロジニアスグラフに含まれるキーワード数 K 、冪乗法の反復回数を T とした時に、 $O(TK(N+M))$ となる。一般的なヘテロジニアスグラフを想定した場合、 N ならびに M 、 K は数百万から数億の規模となることから、ObjectRank には膨大な計算時間を要する。

そこで本研究では、ObjectRank に対する高速化計算手法 FORank を開発した。我々は各ノードの重要度を表すスコア値が冪乗法の反復回数を経て次第に収束する性質に着眼し、各反復において各ノードが取り得るスコア値の上限値・下限値を理論的に導出した。この上限値・下限値は図 2.2 に示すように、反復計算回数の増加に併せて本来のスコア値へと収束する性質を持つ。提案手法ではこの性質を利用して、反復計算毎に各ノードの上限値・下限値を導出・比較し、スコア値でランク付けした際に上位 k 件になり得ないノードを計算から逐次的に枝刈りする手法を構築した。この手法により、提案手法 FORank は数百万ノード規模のヘテロジニアスグラフに対して、従来と同一のランキング結果を保ちつつ、その計算速度を 10 倍程度高速化することに成功した。

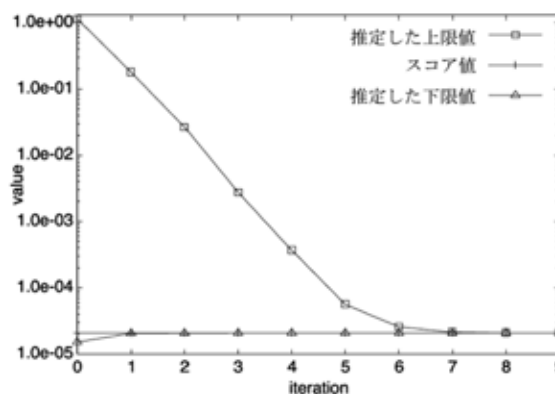


図 2.2 スコア値とその上限値・下限値の推移

(2) GPU を用いたデータ解析の高速化

GPU コンピューティングは、本来グラフィックス処理を目的としたプロセッサである GPU (graphics processing unit) を、数値計算などの一般的な処理に用いる技術であり、高性能計算機やビッグデータ、あるいは機械学習処理の高速化の手段として近年広く普及している。GPU コンピューティングでは、通常は CPU で行われる計算負荷の高い処理を、GPU を用いて並列

処理することで全体の処理の高速化を図る．しかし，GPU の性能を引き出すためにはいくつかの技術的課題を解決する必要がある．今年度は，GPU を用いたビッグデータ処理の高速化を目的として，以下の研究に取り組んだ．

(2-A) GPU を用いたラベル伝搬法によるグラフクラスタリングの高速化

与えられたグラフから密に接続した頂点の集合をクラスタとして抽出する技術であるグラフクラスタリングは，Web やソーシャルネットワークから生物学など，多種多様なグラフデータに対する応用が進んでいる．近年のビッグデータ分析の一般化に伴い，大規模なグラフに対する処理が強く求められている．Facebook の月間アクティブユーザ数は，2015 年 3 月時点で 14.4 億であると報告されている．このような巨大なグラフに対してクラスタリングを適用するためには，精度を保ちつつ高速な処理が可能なアルゴリズムを適用することが必要である．

ラベル伝搬法は，グラフの辺数に比例する計算量を持ち，他の多くのアルゴリズムより効率的である（図 2.3）．また，処理性能だけでなく，クラスタリング精度においても良い性能を示すという結果が報告されている．さらに，局所的な情報のみをもとにクラスタリング処理を行うため，並列化に適しているという利点もある．ただし各頂点の次数はばらつきが大きく，単純にデータを分割しただけでは高い性能を達成することができない．

そこで本研究では，GPU 上での負荷分散を考慮したラベル伝搬法の高速化を行なった．まず，ラベル伝搬法をベースに，アルゴリズムを GPU 上での高並列処理に適した形式へと変換する．これにより，各スレッドが行なう仕事量を均一化すると同時に，GPU に適した処理である，配列上の単純な操作のみでクラスタリング処理が可能となる．それに加えて，segmented sort や segmented reduce などの，次数の偏りが存在するデータにおいても効率的に並列処理が可能な演算を活用する．さらに，GPU に加えて CPU を同時に利用するアルゴリズムを開発し，更なる性能向上を図った．提案手法の有効性を，実世界のグラフデータと合成データを用いた評価実験によって行なった．その結果，処理性能においては，CPU による並列実装に対して 14.3 倍の高速化を達成した（図 2.4）．

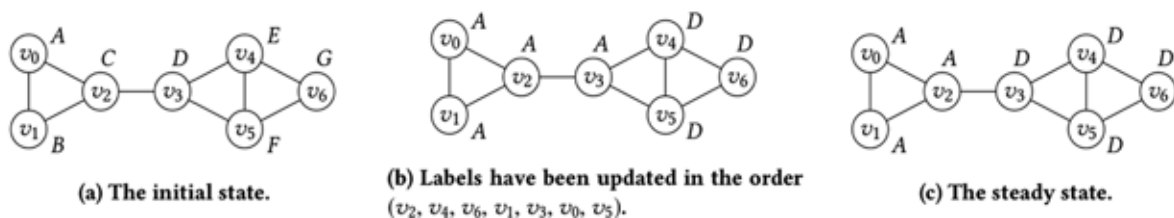


図 2.3 ラベル伝搬法

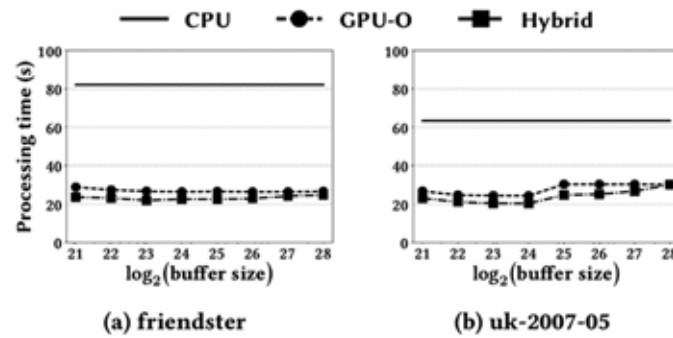


図 2.4 性能評価

(2-B) 類似画像検索に基づいた位置推定の GPU による高速化

CPS や IoT の普及により、モバイルデバイスの位置情報を高精度に推定することが求められている。一般には GPS が用いられるが、衛星からの電波が受信できない環境では使えない、あるいは高い精度が得られないといった問題点があるため、あらかじめ撮影された位置情報付きの利用者の視点映像に対して、現在の画像をリアルタイムにマッチさせることによって、GPS を用いずに位置推定をする手法が研究されている（図 2.5）。

このようなアプリケーションにおいては、膨大なビデオ映像と位置情報が必要となるため、データベースはサーバー上で保持されることが想定される。位置推定の際には、まず歩行者が撮影したカメラ映像をクエリ画像としてサーバーに送信する。その後、サーバー上でデータベースとの照合を行い、得られた位置情報をユーザに送信する。このように、サーバー上でクエリを処理することにより、高速な処理が可能となりリアルタイムに位置情報を取得可能となる。類似画像検索では画像間の類似度計算に特徴ベクトルを用いる手法が主流である。特徴ベクトルは数千個程度のベクトルを用いて画像の特徴を表現する。類似画像検索はこれらのベクトルの比較により実現可能である。しかし、画像データベース全体では特徴ベクトル数が莫大となることに加え、特徴ベクトルが高次元であるため、検索には多大な処理コストを要する。

そこで、本研究では GPU を用いた類似画像検索による歩行者位置推定の高速化手法を提案した。本研究の基本的なアイデアは、1) GPU に適したデータ構造とアルゴリズムの提案、2) 特徴ベクトルの圧縮、3) 歩行者の空間局所性の利用、である。本研究の提案手法はデータベース構築とクエリ処理の二つの処理に大別できる。データベース構築では、効率的な検索のために事前処理可能な処理を行い、クエリ処理で実際に与えられたクエリ画像に基づき位置情報を推定する。

GPU 上での処理において、データの圧縮も重要であるため、特徴ベクトルの圧縮を行う。GPU 上で処理を行うためには、デバイスメモリにデータを格納しておく必要があるが、その容量はメインメモリと比較して低容量である。そのため、GPU に載せるデータの圧縮が重要となる。特徴ベクトルの圧縮方法は複数存在するが、本研究では並列処理に適した LSH

(locality sensitive hashing) を用いてデータの圧縮を行う。LSH は類似ベクトルを高確率で同一のハッシュ値に変換するハッシュ法であり、特に類似検索の高速化等に用いられる。提案手法では、データベース構築とクエリ処理において、それぞれ、画像データベースとクエリ画像の特徴ベクトル圧縮を行う。

本研究では、提案手法の性能を評価するために評価実験を行なった。LSH と GPU を用いることにより、複数の条件に対して一貫して高速な処理が可能であることを示した。図 2.6 は実験結果の一部であり、横軸 W は LSH のパラメータ、縦軸は実行時間である。結果より、SIFT 特徴量をそのまま用いたナイーブな手法 (RS) に比べて、LSH を使った手法 (LC*, LG*) が高速であり、さらに GPU (LG*) を使うことでさらなる高速化が達成されている。

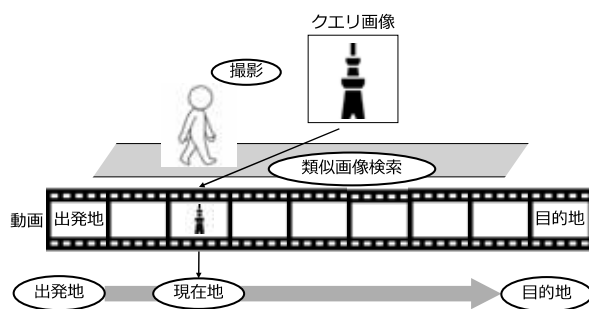


図 2.5 類似画像検索による位置素推定

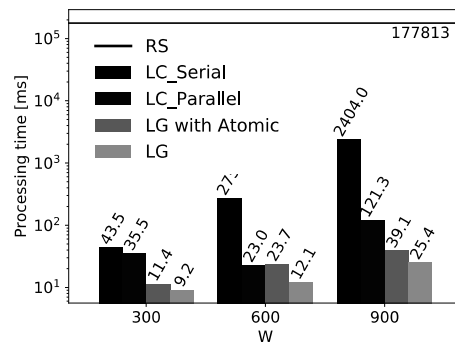


図 2.6 実データによる性能評価

(3) 特定地域から発信されたツイートの効率的収集

ソーシャルメディアデータに対するメタデータ推定に関する研究について述べる。近年、ソーシャルメディアを通じて多くの人々が多様な情報発信を行うようになった。Twitter は主要なサービスのひとつであり、ユーザはツイートと呼ばれる 140 文字以内の短文を投稿することができる。Twitter には携帯端末からも手軽にアクセスすることができるため、投稿されたツイートの中にはユーザの現在の状況や周囲での出来事など、ユーザの現在位置と深く結びついた情報が含まれていることも多い。そのため、特定の地域から発信されたツイートを収集することができれば、その地域に対するマーケティングやイベント検出や災害分析などに応用することが可能であると考えられる。

本研究では、限られた資源（時間や API アクセス回数など）のみを用いて、指定された地域から発信されたツイート（投稿）をできるだけ多く収集する手法を提案した。特定の地域からのツイートを多く集めると、災害の検知や状況把握などが行えることは広く知られている。しかし、多くのツイートの発信地は非公開であるため、これらの目的を達成するためには発信地を推定することが重要である。

前年度までは、主にこの問題をバンディット問題としてモデル化することで、高い確率で特定地域からツイートを発信するユーザを発見し（探索）、高い確率を持つユーザからのツ

イートをできるだけ優先して収集する（活用） ϵ -greedy アルゴリズムを開発した。しかし、 ϵ -greedy アルゴリズムは新規フォローユーザをランダム探索する点がボトルネックとなり、収集時間の経過とともに探索効率が向上しないという問題が有ることが明らかとなった。そこで本年度は ϵ -greedy アルゴリズムの改良した ϵ - α -greedy アルゴリズムを提案した。

提案アルゴリズムは、Twitter においてフォロー関係のあるユーザ同士は現実世界においても行動範囲が近い可能性があるという仮説のもと、確率 α でユーザのフォロー情報を用いることで新規フォローユーザの探索を改善し、特定地域から発信されたツイートの収集の効率化を行う。

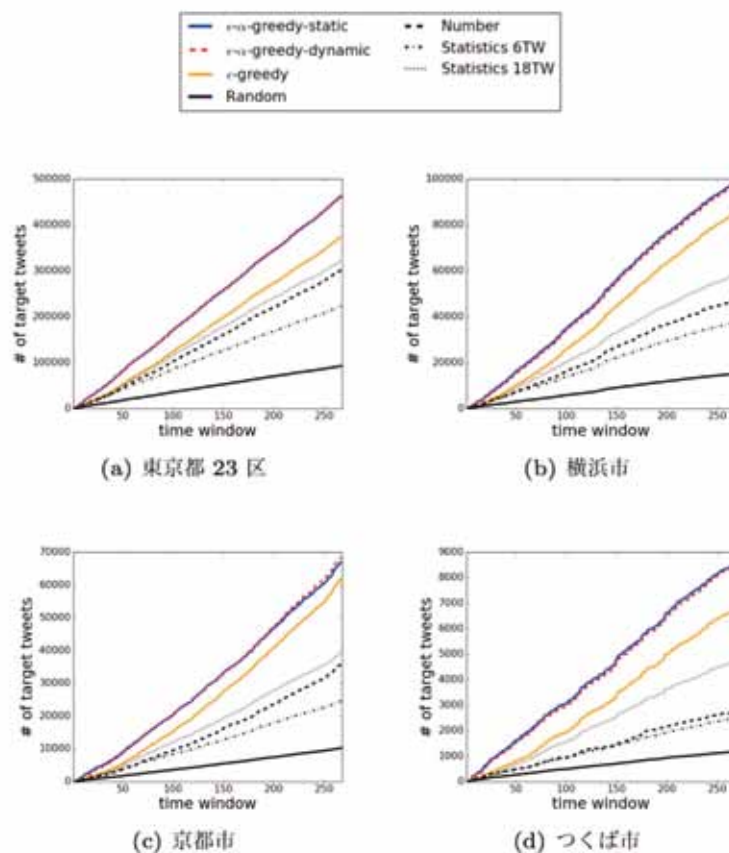


図 2.7 収集ツイート数の比較：提案手法は他の比較手法より多くの所望のツイートを収集できていることが分かる。縦軸は収集されたツイートの数を表す。

実施した評価実験について述べる。本実験では提案手法 ϵ - α -greedy アルゴリズムと先行研究 ϵ -greedy アルゴリズム, ならびにバンディットアルゴリズムを用いない手法とを比較した。実験結果を図 2.7 に示す。各グラフは異なる地域（東京、京都、横浜、つくば）における実験結果を表す。各線は各手法による結果を表し、縦軸が各手法によって最終的に収集された所望のツイートの数を表す。実験結果によると、すべての結果において、提案手法が最も多く

対象地域からのツイートを集めることができることが分かる。これは、確率 α により、ユーザのフォロー情報を用いることが有効であることを示している結果であると言える。

【3】 XML・Web プログラミング

(関連研究費：文科省／理研受託研究)

(1) LOD に対する ObjectRank を利用したキーワード検索

Linked Open Data (LOD) とは、相互にリンクされたオープンデータのネットワーク (Web of Open Data) を構築し、機械処理可能なデータを広く公開しようとする試みである。近年のデータ公開の流れと相まって、政府や企業等がデータを公開する手段として注目されている。LOD において、データは Resource Description Framework (RDF) によって記述され、URI により相互に参照される。また利用者は、クエリ言語 SPARQL を利用することで、問合せを行うことができる。今日 LOD は代表的な半構造データ情報源となりつつある。

しかしながら、SPARQL 問合せを記述するために、利用者は SPARQL 言語そのものを習得することが必要である。さらに、問合せ対象となる LOD データそのものの構造を知る必要がある。LOD データは一般に複雑なグラフ構造を持つため、複雑かつ巨大なデータの場合、特に後者は困難である。また、SPARQL の結果はランキングされていないため、重要度の高い結果を判別することが困難である。

この問題に対して、昨年度に引き続き、LOD に対するキーワード検索手法の開発を行なった (図 3.1)。関連研究において行われているような、RDF トリプルを単位とする検索ではなく、エンティティをベースとし、ObjectRank によるランキングを行う。さらに、ObjectRank におけるスキーマグラフのエッジ重みを適切に設定することを目的として、適合フィードバックに基づく手法を提案した。検索処理において、ユーザは検索キーワードを与え、システムはそれに基づきキーワードに適合するドキュメントを ObjectRank 値に基づいてユーザへ返却する。このとき、検索結果に対してユーザが検索意図に適合するドキュメントをシステムに対してフィードバックすることによって、検索意図に近いランキング結果となるようにスキーマグラフにおけるエッジの重みを調整する。

DBPedia データセットを使った実験による評価を行い、提案手法が適切なランキングおよびスキーマグラフにおけるエッジ重みの調整を行えることを確認した。図 3.2(a) にフィードバックを基にスキーマグラフを調整した時の検索精度改善の傾向を示す。図に示すように、フィードバック数が増えるほど検索精度が向上することが確認できた。また、図 3.2(b) に既存手法との比較を示す。図に示す FORK が本研究の提案手法であり、最も良い精度を示していることがわかる。これにより、本研究が有効な手段を提案したことを確認した。

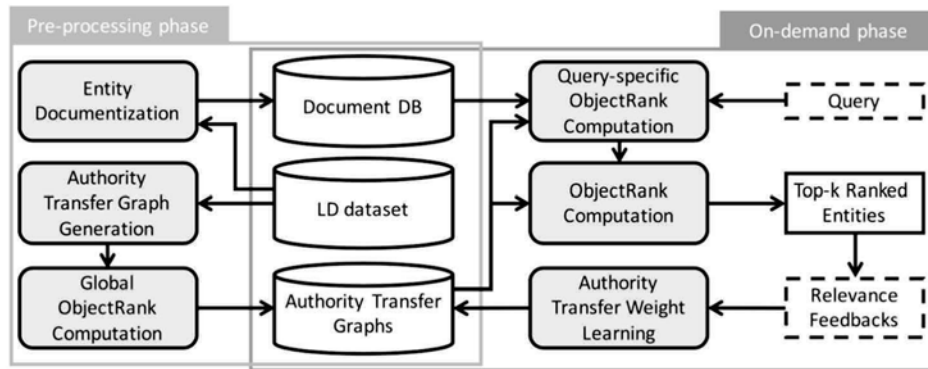


図 3.1 提案手法 FORK の概要

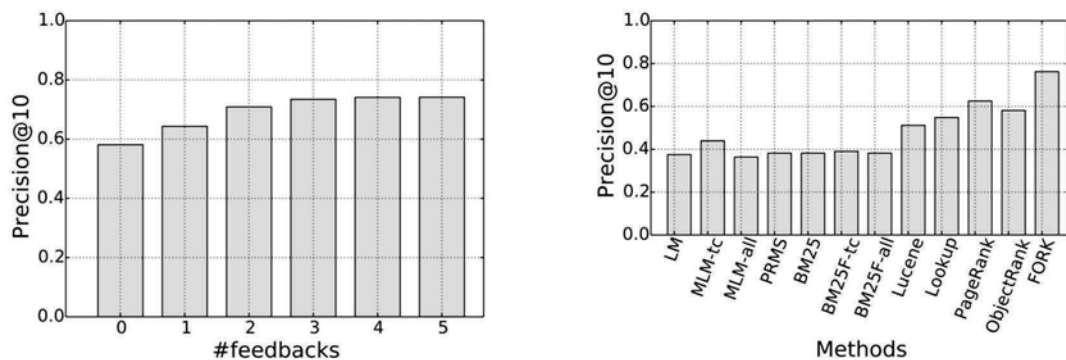


図 3.2 FORK の性能評価

(2) 順序関係を考慮したログデータに対するジョイン処理

サービスの記録を電子的にログデータとして記録することが容易になり、ログデータを分析することでサービスの質の向上に役立つことが周知されてきた。これにより、様々なサービスでログデータを記録し、活用するニーズが増えてきた。ログデータを分析する際に、記録されている対象（人物など）のメタデータを同時に活用することでより高度な分析が期待できる。

しかしながら、対象とメタデータを結びつけることが容易でない場合がある。対象が移動体であるパターンで動いており、一定期間ごとに行動が記録されるような状況では、記録が取られたタイミングにおいて、メタデータのどの部分と対応付けばよいかが自明でない。また、データの管理上、メタデータ中の順序が暗に示されていることがあり、機械的に順序を判別するのが困難な場合がある。加えて、上記対応付けを人手でやろうとすると大変な労力がかかるため、全部を人手で行うことは非現実的である。

本研究では、一部の対応付けが行われたデータを利用し、対応付けに必要な情報を導出しジョイン処理を行う手法を提案した（図 3.3）。提案手法では、一部に対応付けが行われたデ

ータから，順序対応をする可能性のある属性対を発見する．その際に，すべての属性対を探索しないように枝刈り手法を提案することで計算の効率化を図った（図 3.4）．

藤沢市の協力で得たゴミ収集ログデータとゴミ収集車のメタデータを対象に実験を行い，結果として，すべてを人手でやる場合よりも 77%の効率化に成功した．この対応付けにより，ゴミデータの地域ごとの分析やゴミ収集車経路ごとのゴミ排出量分析などが可能となった．

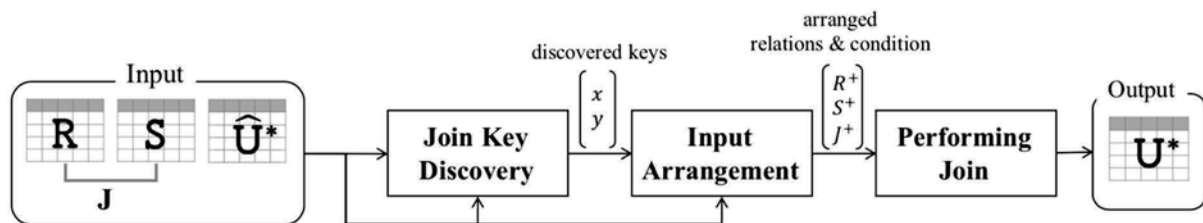


図 3.3 提案手法の概要

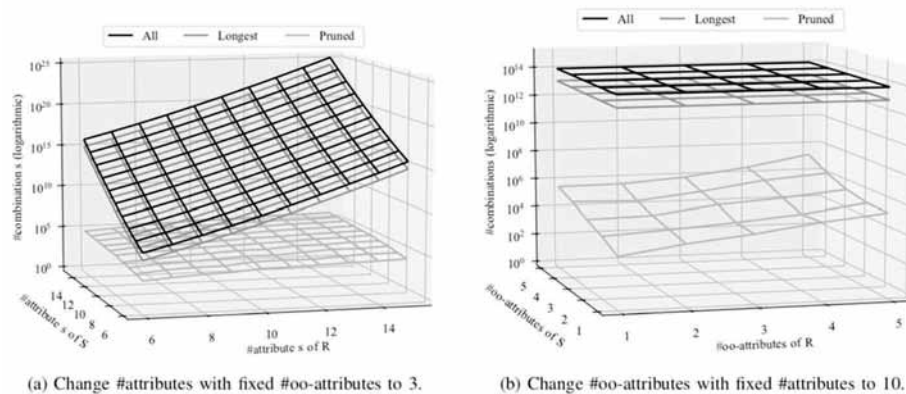


図 3.4 提案手法の性能評価：縦軸は対数スケールでの比較回数を示す．提案手法により比較回数が大幅に削減できる．

【4】 科学分野におけるデータベース・機械学習応用

（関連研究費：文科省／TGI 受託研究，科研費・新学術領域，企業受託研究）

(1) 生体信号解析に基づく睡眠ステージ分析

睡眠は，役割や深さの異なる複数の睡眠ステージから構成されている．睡眠状態の解析や，睡眠障害の診断には，この睡眠ステージを生体信号から判定する必要がある．現在，臨床検査技師や医師がこの判定を行っているが，非常に大きな労力を要する．本研究では，この睡眠ステージ判定の効率化を目的とし，上記判定を自動的に行うアルゴリズム・ソフトウェアの開発に取り組んでいる．昨年度までの研究では，マウスの睡眠ステージ判定が主な対象であったが，本年度からはヒトの睡眠ステージ判定手法の開発に手を広げた．本報告では，ヒト睡眠ステージ判定に関して述べる．

一般的な技師による睡眠ステージ判定では、脳波や眼電位に含まれる特徴波形（各睡眠ステージに固有、もしくはステージの判定基準となる波形）の検出と、検出した特徴波形からの睡眠ステージの判定の 2 段階から成り立つ。本研究では、この技師の判定手順を模倣、再現しやすいモデルを作成、機械学習手法を用いてパラメータの最適化を行うことで、技師に近いステージ判定が可能な手法を開発した。

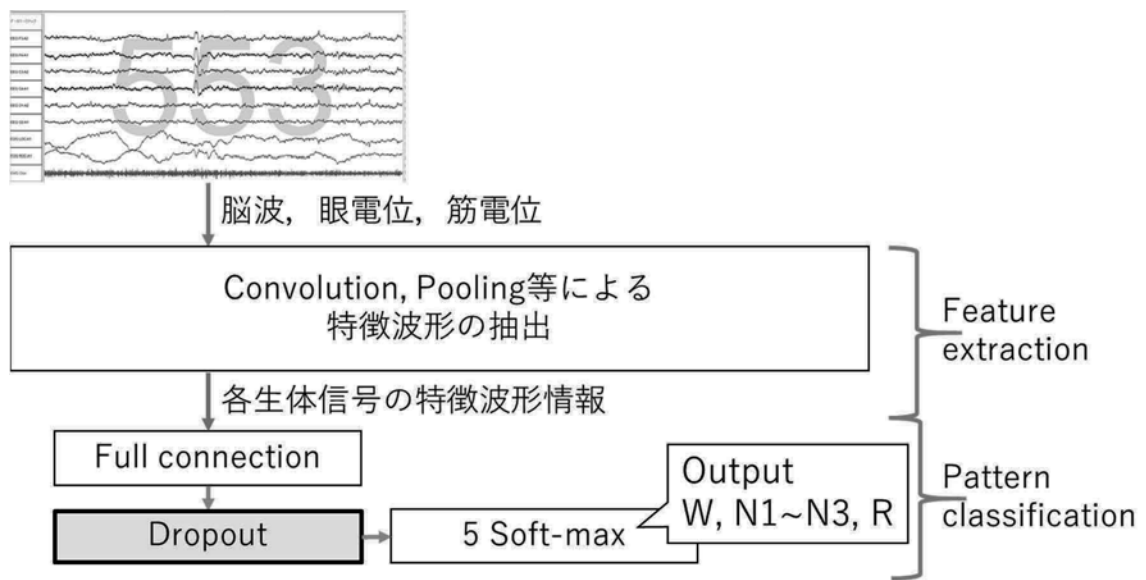


図 4.1 睡眠ステージ判定手法の概要

本睡眠ステージ判定手法は、「特徴量抽出部」と「パターン認識部」の 2 つから構成される（図 4.1）。入力された生体信号はまず特徴抽出部において、その種類ごとにステージ判定に有効な特徴量が抽出される。本手法では、この特徴抽出に Convolutional Neural Network を用いた。本ネットワークは、特定の周波数の波や特定の波形の検出が可能で、様々な特徴波形を取り扱う本課題に適した特徴抽出器である。この特徴抽出部で、技師と同様に特徴波形の検出を行っている。抽出された特徴量は、パターン認識部に入力される。パターン認識部は、特徴量と睡眠ステージの対応関係を学習、前者から後者の推定を行う。

提案手法の評価のために、被験者 16 名から得た睡眠時生体信号から、実際に睡眠ステージの判定を行った。提案手法の睡眠ステージ判定結果と技師の判定結果の一致率は約 87%であった。一般に、技師間の判定一致率は約 82%といわれており、本提案手法はこれを上回ることができた。以上のことから、本手法は技師の代替、もしくは補助として利用する十分な精度を有しており、睡眠ステージ判定の効率化の目的を十分に達成可能であると思われる。

平成 30 年度以降では、さらに判定一致率を高めるべく、時系列特徴の効果や生体信号別の特徴抽出方法について検討するとともに、ステージ判定基準の可視化や、判定システムとしての実装等、実応用性向上に向け取り組みたいと考えている。

(2) GPV/JMA アーカイブ・JRA-55 アーカイブ

地球環境研究部門と共同で、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、および管理、運用を行っている(図 4.2)。GPV/JMA アーカイブは、気象庁が公開している気象予報グリッドデータ(GPV データ)を蓄積するとともに、外部登録ユーザへのデータを提供することを目的としている。GPV/JMA アーカイブで提供しているデータは、全球モデル、メソスケールモデル、リージョナルスケールモデル、週間アンサンブル、月間アンサンブル、季間アンサンブルの 6 種類である。



図 4.2 GPV/JMA アーカイブ

(3) 格子 QCD データグリッド ILDG/JLDG

Japan Lattice Data Grid (JLDG), International Lattice Data Grid (ILDG) は、格子 QCD 配位データを共有するためのデータグリッドである。素粒子物理研究部門と連携し、JLDG/ILDG の運営に継続参画している。今年度は、システムの運用を継続するとともに、システムのセキュリティ対策およびデータセットに対する DOI 付与について検討を進めた。



図 4.3 QCDml ファセット検索

4. 教育

学生の指導状況(学生氏名、学位の種類、論文名)

<博士(工学)>

1. Mateus Silqueira Hickson Cruz

A Study on Efficient and Secure Set Similarity Joins

2. 小山田 昌史

Efficient Machine Learning on Relational Data

<修士(工学)>

1. 秋山 賢人

秘匿検索フレームワーク OSIT における検索効率化とデータ提供サービスへの応用

2. 草村 優太

GPU を用いた類似画像検索による歩行者位置推定の高速化

3. 熊井 克仁

ワークスキルと再割当ての低減を共に考慮したタスクストリームへのワーカ割り当て手法

4. 鈴木 陸也

表計算インターフェースを用いた複雑なクラウドソーシングプログラムの開発支援

5. 高橋 知克

メニーコアプロセッサを用いた構造的類似度に基づくグラフクラスタリングの高速化

6. 中川 真史

フォローを用いた特定地域から発信されたツイートの効率的な収集

7. 長城 沙樹

時系列文書に対する効率的なエンティティリンキング

8. 山下 雅弘

逆ランク検索による情報改良支援

9. 王 嵩

Enhancing Efficiency of High-Dimensional Aggregate Reverse Rank Query Processing

<修士（工学）：特定課題研究>

1. 後藤 修平

公共ビッグデータ利活用のための参加型センシングアプリケーションの開発
ーデータ可視化アプリケーションによるデータ活用の検討ー

2. 坂元 亘

公共ビッグデータ利活用のための参加型センシングアプリケーションの開発
ーシステムのポータビリティ実現ー

<学士（情報科学，情報工学）>

1. 住谷 雄樹

GAN を用いた時系列データに対するノイズ除去手法

2. 中川遼太郎

予測分析機能を有する ストリーム OLAP システムの開発

3. 仁木 美来

RDF グラフに対するグラフ集約の高速化

4. 山崎 耕太郎

大規模グラフに対する RankClus の高速化に関する研究

5. 米内 裕史

メソッド呼び出し関係に基づくメソッド名の予測

集中講義など

該当なし

5. 受賞、外部資金、知的財産権等

受賞

(賞の名称、受賞者名、タイトル、年月日)

1. Best Paper Award : Chihiro Sakazume, Hiroyuki Kitagawa, Toshiyuki Amagasa, "DIO: Efficient Interactive Outlier Analysis over Dynamic Datasets", 12th International Conference on Digital Information Management (ICDIM 2017), September 12-14, 2017.
2. 学生奨励賞: 秋山賢人, 渡辺知恵美, 北川博之, "暗号化データベースシステムにおけるクエリベースのデータ販売スキーム", 第 10 回 Web とデータベースに関するフォーラム (WebDB Forum 2017), 2017 年 9 月 20 日.
3. 学生奨励賞・企業賞 (Sansan 株式会社賞): 高橋 知克, 塩川浩昭, 北川博之, "メニーコアプロセッサを用いた構造的類似度に基づくグラフクラスタリングの高速化", 第 10 回 Web とデータベースに関するフォーラム (WebDB Forum 2017), 2017 年 9 月 20 日.
4. 論文賞: 藤森 俊匡, 塩川 浩昭, 鬼塚 真, "分散グラフ処理におけるグラフ分割", 第 10 回 Web とデータベースに関するフォーラム (WebDB Forum 2017), 2017 年 9 月 20 日.
5. 筑波大学若手教員奨励賞: 塩川浩昭, 2017 年 12 月 4 日.
6. 優秀インタラクティブ賞: 伊藤 寛祥, 駒水 孝裕, 天笠 俊之, 北川 博之, "ノードがテキスト情報を持つ動的ネットワークにおけるノードと単語の分散表現学習", 第 10 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 2018), 2018 年 3 月 6 日.
7. 学生プレゼンテーション賞: 秋山 賢人, 渡辺 知恵美, 北川 博之, "秘匿検索フレームワーク OSIT を利用したデータ提供サービス", 第 10 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 2018), 2018 年 3 月 6 日.
8. 学生プレゼンテーション賞: 草村 優太, 天笠 俊之, 北川 博之, 小澤 佑介, "GPU を用いた類似画像検索による歩行者位置推定の高速化", 第 10 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 2018), 2018 年 3 月 6 日.
9. 学生プレゼンテーション賞・最優秀インタラクティブ賞: 長城 沙樹, 北川 博之, "時系列文書に対する効率的なエンティティリンキング", 第 10 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 2018), 2018 年 3 月 6 日.

10. 学生プレゼンテーション賞：佐藤 朋紀，塩川 浩昭，北川 博之，"選択的重要度先読みを用いた ObjectRank の高速化"，第 10 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 2018)，2018 年 3 月 6 日．

外部資金

(名称、氏名、代表・分担の別、採択年度、金額、課題名)

受託経費：文部科学省/理化学研究所 (平成 26 年度～平成 29 年度)

研究課題：実社会ビッグデータ利活用のためのデータ統合・解析技術の研究開発

研究代表者：北川 博之

平成 29 年度配分額：33,777 千円 (直接経費 30,707 千円：間接経費 3,070 千円)

受託経費：情報通信研究機構 (平成 28 年度～平成 31 年度)

研究課題：欧州との連携による公共ビッグデータの利活用基盤に関する研究開発

研究代表者：北川 博之

平成 29 年度配分額：10,250 千円(直接経費 9,318,182 円：間接経費 931,818 円)

受託経費：文部科学省/つくばグローバル・イノベーション推進機構 (平成 28 年度～平成 32 年度)

事業名称：＜イノベーションシステム整備事業＞地域イノベーション・エコシステム形成プログラム「つくばイノベーション・エコシステムの構築（医療・先進技術シーズを用いた超スマート社会の創成事業）」

研究分担者：北川 博之

平成 29 年度配分額：15,000 千円

受託経費：国立研究開発法人日本医療研究開発機構(平成 29 年 1 月 27 日～平成 30 年 3 月 31 日)

事業名称：＜臨床研究等 ICT 基盤構築研究事業＞

研究課題：エビデンスの飛躍的創出を可能とする超高速・超学際次世代 NDB データ研究基盤構築に関する研究

研究分担者：北川 博之

平成 29 年度配分額：6,760 千円 (直接経費 5,200 千円：間接経費 1,560 千円)

研究種目：新学術領域 （平成 27 年度～平成 31 年度）

研究課題：超ストレス環境・宇宙を見据えた新規睡眠覚醒制御手法の開発

（研究代表者：長瀬 博）

研究分担者：北川 博之

平成 29 年度配分額：3,500 千円

研究種目：研究活動スタート支援 （平成 28 年度～平成 29 年度）

研究課題：大規模グラフの頻出部分構造を利用した高速な分析アルゴリズムの開発

研究代表者：塩川 浩昭

平成 29 年度配分額：2,990 千円（直接経費 2,300 千円：間接経費 330 千円）

受託経費：Sky 株式会社 （平成 29 年 4 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日）

研究課題：複合イベント処理や機械学習などの技術を利用し、SKYSEA Client View のログ
及び資産情報から警告すべき状況の高速かつ柔軟な検出を実現する

研究代表者：北川 博之・天笠 俊之

平成 29 年度配分額：3,330 千円（直接経費 3,000 千円：間接経費 330 千円）

受託経費：エーザイ株式会社 （平成 29 年 6 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日）

研究課題：脳波、筋電データの深層学習に関する研究

研究代表者：北川 博之・塩川 浩昭

平成 29 年度配分額：2,200 千円（直接経費 2,000 千円：間接経費 200 千円）

受託経費：株式会社富士通研究所 （平成 29 年 6 月 23 日～平成 30 年 3 月 31 日）

研究課題：多様なデータの統合・活用のための基盤技術

研究代表者：北川 博之

平成 29 年度配分額：2,000 千円（直接経費 1,538,462 円：間接経費 461,538 円）

受託経費：科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 ACT-I 「情報と未来」（平成 29 年
10 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日）

研究課題：Data Skewness を捉えた超高速・省メモリな大規模データ処理

研究代表者：塩川 浩昭

平成 29 年度配分額：1,950 千円（直接経費 1,500 千円：間接経費 450 千円）

受託経費：国立研究開発法人科学技術振興機構（平成 29 年 11 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日）

事業名称：＜未来社会創造事業＞

研究課題：サービスの自動合成および連携に関する技術課題と社会経済的インパクトに関する調査

研究代表者：天笠 俊之

平成 29 年度配分額：1,235 千円（直接経費 950 千円：間接経費 285 千円）

知的財産権

（種別、氏名、課題名、年月日）

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. Makoto Onizuka, Toshimasa Fujimori, Hiroaki Shiokawa, "Graph Partitioning for Distributed Graph Processing", Data Science and Engineering, Springer, 2017.
2. Yasuhiro Fujiwara, Makoto Nakatsuji, Hiroaki Shiokawa, Takeshi Mishima, Makoto Onizuka, "Fast Ad-hoc Search Algorithm for Personalized PageRank", IEICE Transactions, Vol.E 100-D, No.4, pp., April, 2017.
3. 高橋 知克, 塩川浩昭, 北川博之, "メニーコアプロセッサを用いた構造的類似度に基づくグラフクラスティングの高速化", 情報処理学会論文誌データベース (TOD76 テクニカルノート), Vol.10, No.4, pp.1-5, December, 2017.
4. 佐藤朋紀, 塩川浩昭, 山口祐人, 北川博之, "大規模グラフに対する ObjectRank の高速な近似 Top-k 検索", 情報処理学会論文誌データベース (TOD76 テクニカルノート), Vol.10, No.4, pp.11-15, December, 2017.
5. 秋山賢人, 渡辺知恵美, 北川博之, "暗号化データベースシステムにおけるクエリベースのデータ販売スキーム", 情報処理学会論文誌データベース (TOD76 テクニカルノート), Vol.10, No.4, pp.31-35, December, 2017.
6. 上田紗希, 山口祐人, 北川博之, "バンディットアルゴリズムを用いた特定地域から発信されたツイートの収集", 日本データベース学会和文論文誌, Vol.16, Article No.9, 2018 年 3 月.

7. 長裕敏, 塩川浩昭, 北川博之, "ストリーム処理とバッチ処理の統合と実行最適化", 日本データベース学会和文論文誌, Vol.16, Article No.11, 2018 年 3 月.

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. Yuta Suzuki, Makito Sato, Hiroaki Shiokawa, Masashi Yanagisawa, Hiroyuki Kitagawa, "MASC: Automatic Sleep Stage Classification Based on Brain and Myoelectric Signals", Proc. 33rd IEEE International Conference on Data Engineering Workshops (ICDE Workshops 2017), pp. 1489-1496, San Diego, CA, USA, April 19-22, 2017.
2. Tomokatsu Takahashi, Hiroaki Shiokawa, Hiroyuki Kitagawa, "SCAN-XP: Parallel Structural Graph Clustering Algorithm on Intel Xeon Phi Coprocessors", Proc. 2nd ACM SIGMOD Workshop on Network Data Analytics (NDA 2017), pp. 6:1-6:7, Chicago, IL, USA, May 19, 2017.
3. Takahiro Komamizu, Yasuhiro Hayase, Toshiyuki Amagasa, Hiroyuki Kitagawa, "Exploring Identical Users on GitHub and Stack Overflow", Proc. 29th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE 2017), pp.584-589, Pittsburgh, USA, July 5-7, 2017.
4. Yuyang Dong, Hanxiong Chen, Kazutaka Furuse, Hiroyuki Kitagawa, "Efficient Processing of Aggregate Reverse Rank Queries", Proc. 28th International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA 2017) (Short Paper), pp.159-166, Lyon, France, August 28-31, 2017.
5. Takahito Kaiho, Wen-jie Lu, Toshiyuki Amagasa, Jun Sakuma, "Towards Privacy-preserving Record Linkage with Record-wise Linkage Policy", Proc. 28th International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA 2017), pp.233-248, Lyon, France, August 28-31, 2017.
6. Chihiro Sakazume, Hiroyuki Kitagawa, Toshiyuki Amagasa, "DIO: Efficient Interactive Outlier Analysis over Dynamic Datasets", Proc. 12th International Conference on Digital Information Management (ICDIM 2017), pp. 234-241, Fukuoka, Japan, September 12-14, 2017.
7. Yusuke Kozawa, Toshiyuki Amagasa, and Hiroyuki Kitagawa, "GPU-Accelerated Graph Clustering via Parallel Label Propagation", Proc. 26th ACM International Conference on

- Information and Knowledge Management (CIKM 2017), pp.567-576, Singapore, November 6-10, 2017 .
8. Saki Ueda, Yuto Yamaguchi, Hiroyuki Kitagawa, "Collecting Non-Geotagged Local Tweets via Bandit Algorithms", Proc. 26th ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM 2017) (Short Paper), pp.2331-2334, Singapore, November 6-10, 2017.
 9. Salman Ahmed Shaikh and Hiroyuki Kitagawa, "StreamingCube: A Unified Framework for Stream Processing and OLAP Analysis", Proc. 26th ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM 2017) (Demo Paper), pp. 2527-2530, Singapore, November 6-10, 2017.
 10. Takahiro Komamizu, Sayami Okumura, Toshiyuki Amagasa, Hiroyuki Kitagawa, "FORK: Feedback-aware ObjectRank-based Keyword Search over Linked Data", Proc. 13th Asia Information Retrieval Societies Conference (AIRS 2017), pp.58-70, Jeju island, Korea, November 22-24, 2017.
 11. Takahiro Komamizu, Toshiyuki Amagasa, Salman Ahmed Shaikh, Hiroaki Shiokawa, Hiroyuki Kitagawa, "SOLA: Stream OLAP-based Analytical Framework for Roadway Maintenance", Proc. International Workshop on Social and Big Data in Digital Ecosystems (SBDDE 2017), pp.35-42, Bangkok, Thailand, November 7-10, 2017 .
 12. Takahiro Komamizu, Toshiyuki Amagasa, Hiroyuki Kitagawa, "CROISSANT: Centralized Relational Interface for Web-scale SPARQL Endpoints", Proc. 19th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS 2017) (Short Paper), pp.284-288, Salzburg, Austria, December 4-6, 2017.
 13. Saki Nagaki, Hiroyuki Kitagawa, "Recency-based Candidate Selection for Efficient Entity Linking", Proc. 19th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS 2017) , pp.405-414, Salzburg, Austria, December 4-6, 2017.
 14. Kento Akiyama, Chisato Shinozuka, Chiemi Watanabe, Toshiyuki Amagasa, Hiroyuki Kitagawa, "An Index-based Secure Query Processing Scheme for Outsourced Databases", Proc. 19th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS 2017) , pp.215-223, Salzburg, Austria, December 4-6, 2017.
 15. Mateus S. H. Cruz, Toshiyuki Amagasa, Chiemi Watanabe, Wenjie Lu and Hiroyuki Kitagawa, "Secure Similarity Joins Using Fully Homomorphic Encryption", Proc. 19th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS 2017) , pp.224-233, Salzburg, Austria, December 4-6, 2017.
 16. Katsumi Kumai, Jianwei Zhang, Yuhki Shiraishi, Daisuke Wakatsuki, Hiroyuki Kitagawa, Atsuyuki Morishima, "Group Rotation Management in Real-Time Crowdsourcing",

- Proc. 19th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS 2017) , pp.23-31, Salzburg, Austria, December 4-6, 2017.
17. Yuta Kusamura, Toshiyuki Amagasa, Hiroyuki Kitagawa and Yusuke Kozawa, "Efficient Content-based Image Retrieval for Position Estimation on GPU",
Proc. the 15th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia (MoMM 2017) , pp.58-66, Salzburg, Austria, December 4-6, 2017.
 18. Salman Ahmed Shaikh and Hiroyuki Kitagawa, "Smart Distributed Query Execution over Data Streams", Proc. 2nd Workshop on Real-time and Stream Processing in Big Data, Co-located with the IEEE International Conference on Big Data, pp.2326-2331, Boston, MA, USA, December 2017.
 19. Takahiro Komamizu, Toshiyuki Amagasa, Hiroyuki Kitagawa, "Implicit Order Join: Joining Log Data with Property Data by Discovering Implicit Order-oriented Keys with Human Assistance", Proc. The First IEEE Workshop on Human-Machine Collaboration in BigData, co-located with IEEE Big Data 2017 (HMDData 2017), pp.4400-4406, Boston, MA, USA, December 11-14, 2017.
 20. Takahiro Komamizu, Jin Nakazawa, Toshiyuki Amagasa, Hiroyuki Kitagawa, Hideyuki Tokuda, "Analytical Toolbox for Smart City Applications: Garbage Collection Log Use Case", Proc. 3rd International Workshop on Smart Cities: People, Technology, and Data, co-located with IEEE Big Data 2017 (IWSC 2017), pp.4105-4110, Boston, MA, USA, December 11-14, 2017
 21. Hiroyoshi Ito, Takahiro Komamizu, Toshiyuki Amagasa, Hiroyuki Kitagawa, "Network-Word Embedding for Dynamic Text Attributed Networks", Proc. Sixth International Workshop on Semantic Computing for Social Networks and Organization Science with Twelfth IEEE ICSC (SCSN 2018) , pp.334-339, Laguna Hills, USA, January 31-February 2, 2018 .
 22. Hiroyoshi Ito, Takahiro Komamizu, Toshiyuki Amagasa, Hiroyuki Kitagawa, "Community Detection and Correlated Attribute Cluster Analysis on Multi-Attributed Graphs", Proc. 2nd International Workshop on Data Analytics Solutions for Real-Life Applications with 21st EDBT/ICDT Joint Conference (DARLI-AP 2018), pp.2-9, Vienna, Austria, March 26-29, 2018.
 23. Shuta Nakamae, Wataru Sakamoto, Tetsuya Negishi, Shuhei Goto, Buntarou Shizuki, Chiemi Watanabe, and Toshiyuki Amagasa, "A Development of Participatory Sensing System for Foreign Visitors in PBL", 10th Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems (ACIIDS 2018), pp.149-158, Dong Hoi City, Vietnam, March 19-21, 2018.

(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

<査読付国内論文>

1. 永野 真知, 早瀬 康裕, 駒水 孝裕, 北川 博之, "GitHub と Stack Overflow の開発者の活動記録を併用したリポジトリ推薦", ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム 2017 (SES-2017), pp. 138-145, 2017 年 8 月 31 日-2017 年 9 月 1 日.

<学会発表>

1. 秋山賢人, 渡辺知恵美, 北川博之, "暗号化データベースシステムにおけるクエリベースのデータ販売スキーム", 第 10 回 Web とデータベースに関するフォーラム (WebDB Forum 2017), 2017 年 9 月 18 日～9 月 20 日.
2. 高橋 知克, 塩川浩昭, 北川博之, "メニーコアプロセッサを用いた構造的類似度に基づくグラフクラスタリングの高速化", 第 10 回 Web とデータベースに関するフォーラム (WebDB Forum 2017), 2017 年 9 月 18 日～9 月 20 日.
3. 佐藤朋紀, 塩川浩昭, 山口祐人, 北川博之, "大規模グラフに対する ObjectRank の高速な近似 Top-k 検索", 第 10 回 Web とデータベースに関するフォーラム (WebDB Forum 2017), 2017 年 9 月 18 日～9 月 20 日.
4. 藤森 俊匡, 塩川 浩昭, 鬼塚 真, "分散グラフ処理におけるグラフ分割", 第 10 回 Web とデータベースに関するフォーラム (WebDB Forum 2017), 2017 年 9 月 18 日～9 月 20 日.
5. Shaikh Salman Ahmed, Kitagawa Hiroyuki, "Smart Distributed Query Execution for Event-driven Stream Processing", 第 10 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 2018), I3-1, 2018 年 3 月 4 日～3 月 6 日.
6. 伊藤 寛祥, 駒水 孝裕, 天笠 俊之, 北川 博之, 伊藤 寛祥, 駒水 孝裕, 天笠 俊之, 北川 博之, "ノードがテキスト情報を持つ動的ネットワークにおけるノードと単語の分散表現学習", 第 10 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 2018), A1-1, 2018 年 3 月 4 日～3 月 6 日.
7. 秋山 賢人, 渡辺 知恵美, 北川 博之, "秘匿検索フレームワーク OSIT を利用したデータ提供サービス", 第 10 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 2018), F7-1, 2018 年 3 月 4 日～3 月 6 日.
8. 草村 優太, 天笠 俊之, 北川 博之, 小澤 佑介, "GPU を用いた類似画像検索による歩行者位置推定の高速化", 第 10 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 2018), I2-5, 2018 年 3 月 4 日～3 月 6 日.
9. 高橋 知克, 塩川 浩昭, 北川 博之, "Intel Xeon Phi による SCAN クラスタリングの分散並列化", 第 10 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 2018), H6-1, 2018 年 3 月 4 日～3 月 6 日.

10. 長城 沙樹, 北川 博之, "時系列文書に対する効率的なエンティティリンキング", 第 10 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 2018), C1-6, 2018 年 3 月 4 日～3 月 6 日.
11. 中川 真史, 山口 祐人, 北川 博之, "フォローを用いた特定地域から発信されたツイート
の効率的な収集", 第 10 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
2018), B3-3, 2018 年 3 月 4 日～3 月 6 日.
12. 佐藤 朋紀, 塩川 浩昭, 北川 博之, "選択的重要度先読みを用いた ObjectRank の高速化
", 第 10 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 2018), I7-5, 2018
年 3 月 4 日～3 月 6 日.
13. 菅野 健太, 天笠 俊之, 北川 博之, "メニーコアプロセッサを用いた大規模な集合間類似
結合の高速化", 第 10 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
2018), H6-2, 2018 年 3 月 4 日～3 月 6 日.
14. 那須 勇弥, 中挾 晃介, 北川 博之, "シーケンス OLAP におけるパターン拡張問合せ手
法の提案", 第 10 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 2018),
E1-5, 2018 年 3 月 4 日～3 月 6 日.
15. 松下 朋弘, 塩川 浩昭, 北川 博之, "セル分割による Affinity Propagation の高速化", 第 10
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 2018), F4-5, 2018 年 3 月 4
日～3 月 6 日.
16. 山部 剛士, 堀江 和正, 塩川 浩昭, 柳沢 正史, 北川 博之, "ディープラーニングによる
脳波/筋電データを用いたマウスの睡眠ステージ判定", 第 10 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 2018), C3-5, 2018 年 3 月 4 日～3 月 6 日.
17. 住谷 雄樹, 堀江 和正, 塩川 浩昭, 北川 博之, "生体データ解析における GAN を用いた
データ処理", 情報処理学会第 80 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2018), 2018 年 3 月 13 日～3
月 15 日.
18. 中川 遼太郎, 塩川 浩昭, 北川 博之, "予測分析を可能とするストリーム OLAP 分析フレ
ームワーク", 情報処理学会第 80 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2018), 2018 年 3 月 13 日～3
月 15 日.
19. 仁木 美来, 天笠 俊之, 駒水 孝裕, 北川 博之, "グラフ集約に基づく RDF データに対す
る OLAP 分析", 情報処理学会第 80 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2018), 2018 年 3 月 13 日
～3 月 15 日.
20. 山崎 耕太郎, 佐藤 朋紀, 塩川 浩昭, 北川 博之, "大規模グラフに対する逐次的なノー
ドの枝刈りを用いた RankClus の高速化", 情報処理学会第 80 回全国大会 (IPSJ 全国大会
2018), 2018 年 3 月 13 日～3 月 15 日.

21. 米内 裕史, 早瀬 康裕, 北川 博之, "コールグラフに基づくメソッド名の分散表現の獲得", 情報処理学会第 80 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2018), 2018 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・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.
- 国際統合睡眠医科学研究機構 (IIIS) との連携：マウスの脳波／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.
- 宇宙物理研究部門および東京大学宇宙線研究所との連携：深層学習を用いた遠方銀河画像の自動判別

8. シンポジウム、研究会、スクール等の開催実績

- Korea-Japan Database Workshop 2017 (KJDB 2017), 沖縄都ホテル(沖縄県那覇市), 2017 年 11 月 17 日 (金) ～11 月 20 日 (月) .
- 第 10 回 Web とデータベースに関するフォーラム (WebDB フォーラム 2017), お茶の水女子大学 (東京都), 2017 年 9 月 18 日 (月) ～20 日 (水) .

9. 管理・運営

北川博之教授

- 学外
 - 日本データベース学会監事
- 学内
 - システム情報工学研究科：研究科長
 - 計算科学研究センター：計算情報学研究部門長, 計算科学振興室長, ビッグデータ・AI 連携推進室長

天笠俊之教授

- 学外

- 該当なし.
- 学内
 - 情報科学類計算機運用委員長
 - コンピュータサイエンス専攻カリキュラム委員長

塩川浩昭助教

- 学外
 - 該当なし.
- 学内
 - 該当なし.

10. 社会貢献・国際貢献

北川博之教授

- 国際委員等
 - 国際ジャーナル編集委員：World Wide Web Journal
 - 国際会議運営委員：Vice Chair of KJDB Working Group, IEEE Bigcomp 2019 共同プログラム委員長, DASFAA Steering Committee Member Emeritus
 - 国際会議プログラム委員：AAAI2018
- 国内委員等
 - 日本学術会議連携会員
 - (独) 科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業「ビッグデータ統合利活用のための次世代基盤技術の創出・体系化」領域アドバイザー

天笠俊之教授

- 国際委員等
 - ACM SIGMOD 日本支部 副支部長
 - 国際会議プログラム委員：SCI-2017, DaWaK2017, IDEAS2017, DEMoC-2017, FAB2017, WISE2017, iiWAS2017
- 国内委員等
 - 第 10 回 Web とデータベースに関するフォーラム (WebDB フォーラム 2017) 副実行委員長

塩川浩昭助教

- 国際委員等
 - 国際ジャーナル編集委員：IEICE Transactions on Information and Systems
 - 国際会議プログラム委員：IJCAI2018, PAKDD2018, ICSC2018
- 国内委員等

- 電子情報通信学会 データ工学会研究会(DE), 幹事補佐, 会計幹事 (兼任)
- 第 10 回 Web とデータベースに関する (WebDB Forum 2017), Web 担当幹事
- 第 10 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2018), 財務委員長
- 日本データベース学会 電子広報委員会編集委員

11. その他

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
准教授	北原 格
助教	宍戸 英彦
学生	大学院生 15 名、学類生 5 名、研究生 2 名

2. 概要

当グループが属する計算情報学研究部門は、「中長期的観点から計算科学の研究を抜本的に発展させる斬新な方法の開拓研究を行う部門」として、2004 年度に発足した部門である。人間社会とその環境を主な対象とする新しい計算科学の枠組みを創成し、その基盤を確立することを目標として研究活動を推進している。

純粋なデータ処理の効率や速度が求められる通常のスーパーコンピュータ分野とは違い、人間に纏わる情報を処理対象とする計算科学では、情報処理の時間軸を人間に合わせることに必須である。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（生活空間や都市環境など）を対象とした研究を進めている。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。

具体的な取り組みとしては、“実世界の情報をセンシングする機能”、“多様な情報を処理する潤沢な計算機能”、“情報を選択・蓄積する大規模データベース機能”を、コンピュータネットワーク上で融合することにより大規模知能情報メディアをバックボーンとして実現していく。これを総称して実世界計算情報学と呼んでいる。そのバックボーン上で、先端的要素技術の研究開発と、ニーズに密着した応用システムの研究開発を並行して進めている。

現在本分野では下記に上げられるような研究プロジェクトを推進している。

- 科研費・基盤（B）「経路撮影に基づく歩行者・パーソナルモビリティナビゲーション基盤の構築」代表者：亀田能成
 - 研究成果の詳細は 3.の「視覚障がい者の屋外歩行支援に向けた事前撮影映像に基づく位置推定」を参照。
- JST 戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）「多世代視覚障害者移動支援システムにおける画像技術の社会実装」代表者：産総研 関喜一（研究担当者：亀田）

- 研究成果の詳細は 3.の「視覚障がい者の屋外歩行支援に向けた事前撮影映像に基づく位置推定」を参照. 元から掲げていた研究成果をほぼ挙げることに成功し, 11 月に研究プロジェクトが終了した. 11 月には兵庫県の岡本商店街にて実証実験を実施し, 我々の研究成果である事前記録撮影に基づく音声ナビゲーションや, 前方の安全確認を自動的に行って利用者に伝えるシステムの性能確認をした.
- 科研費・基盤研究 (A) 「体工連携によるスポーツ科学イノベーション」 (2015-2018 年度) 代表者: 高木英樹 (研究分担者: 亀田)
 - 競泳における位置推定手法の改良により, 選手の頭部位置推定だけでなく, ストローク数の分析が可能になる手法を研究開発した. また, サッカーにおける試合状況の理解を測るための新しい評価尺度を研究開発した.
- 科研費・基盤 (B) 「不特定人称視点映像を用いたコミュニケーション型教示映像メディア」代表者: 北原格
 - 研究成果の詳細は 3.の「フレーム補間処理を用いた非同期多視点映像の滑らかな切り換え手法」と「画像再構成処理を用いた疑似ドリーイン映像の生成手法」参照.
- 共同研究・2501 株式会社「多視点映像処理に基づく次世代映像メディアに関する研究開発」代表者: 北原格
- 学術指導 2501 株式会社「自由視点映像撮影・生成システムの実証実験における学術的知見・実践経験を活かした学術指導」 (北原)
 - 大規模空間における自由視点映像生成・提示技術をサッカー天皇杯 (1 回戦～決勝戦) と高円宮杯チャンピオンシップを撮影対象とした実証実験に適用し、オンライン自由視点リプレイ提示の実現に成功した。
- 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)
 - 研究成果の詳細は 3.の「クラウドソーシングと 3 次元復元技術による世界遺産の予防的保存」を参照
- 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、「ソーシャル・イメージング: 創造的活動促進と社会性形成支援」代表: 鈴木健嗣 (研究分担者: 北原)
 - 発達障害児 (ASD) の教育支援への多視点映像提示方式の導入に関する研究に取り組んだ。現場のセラピストや保護者にとって使いやすいインタフェースの検討や、作業空間の様々な位置・角度からの観察を可能とする映像生成方式に関する研究に取り組んだ。

- 科研費・基盤研究 (A) 「強震動と液状化の複合作用を受けるライフラインネットワークの被害推定システムの開発」 (2016-2019 年度) 代表者: 庄司学 (研究分担者: 北原)
 - 被災地の強震動と液状化の複合作用を受けたライフラインネットワークの AR 提示システムを目的とした全方位映像情報を用いた VR 空間を実現した。
- 科研費・基盤研究 (B) 「アンコール遺跡群における予防的保存に資する劣化・変形・環境観測システムの構築」 (2016-2019 年度) 代表者: 川村洋平 (研究分担者: 北原)
 - アンコール遺跡群における予防的保存を目的に、多数のユーザから映像情報を募る収集型クラウドソーシングと、多数のユーザによる 3 次元物体状況認識を行う判定型クラウドソーシングを 3 次元情報復元処理で橋渡しするプラットフォーム構築を実現した。
- 科研費・若手研究 (B) 「人工知能を活用したスポーツ選手映像における関節位置の可視化」 (宍戸)
 - 研究成果の詳細は 3. の「疎に配置した多視点カメラのキャリブレーション手法」参照。
- JSPS CREST AIP チャレンジ「疎に配置した多視点カメラ映像における 3 次元骨格位置の推定手法」 (宍戸)
 - 疎に配置した多視点カメラのキャリブレーション手法を利用してバドミントン選手の 3 次元骨格位置の推定精度を検証した。また、バドミントン競技に適用するためのカメラ配置, 撮影方式を検証した。トップアスリートの撮影実験を実施し, 提案手法の有効性を確認した。

3. 研究成果

【1】 歩行支援に向けた歩行可能領域の検出と音による提示 (亀田)

研究の概要

視覚障がい者は、単独での歩行時、白杖を携帯することを義務付けられている。白杖は、直接接触させることで、障害物や段差等の有無を直感的に判断することができ、前方の安全確認の役割を担っている。しかし、白杖の検出可能な範囲は 1, 2 歩先までと狭い。そのため、それよりも遠くにある障害物や段差を検出することができない。また、路面上の窪みや排水溝などの穴の検出には、白杖は向いていないとされる。視覚障がい者でこうした穴を不安に思う人もいる[1]。こうした背景から、より広範囲に障害物や段差を検出し、視覚障がい者に提示する方法が望まれている。

本研究では、白杖と併用し、白杖よりも広範囲に、携帯可能で、屋内外において実時間で前方の安全確認を行い、その結果を音で提示するシステムを提案する。提案システムの使用で、視覚障がい者がより安心して、安全な単独歩行ができることを目標とする。

白杖の検出範囲は、約 1m であることから、提案システムは、これよりも広範囲での検出を行う。また提案システムは、白杖と併用できつつ、前方の安全確認を行える。安全確認の結果は、音で視覚障がい者に提示する。視覚障がい者は単独歩行時、環境音から周囲の状況を把握する必要があるため、これを阻害することなく提示する。そのために、骨伝導イヤフォンを用いて、周囲の環境音と重ならないようにビープ音を提示する。

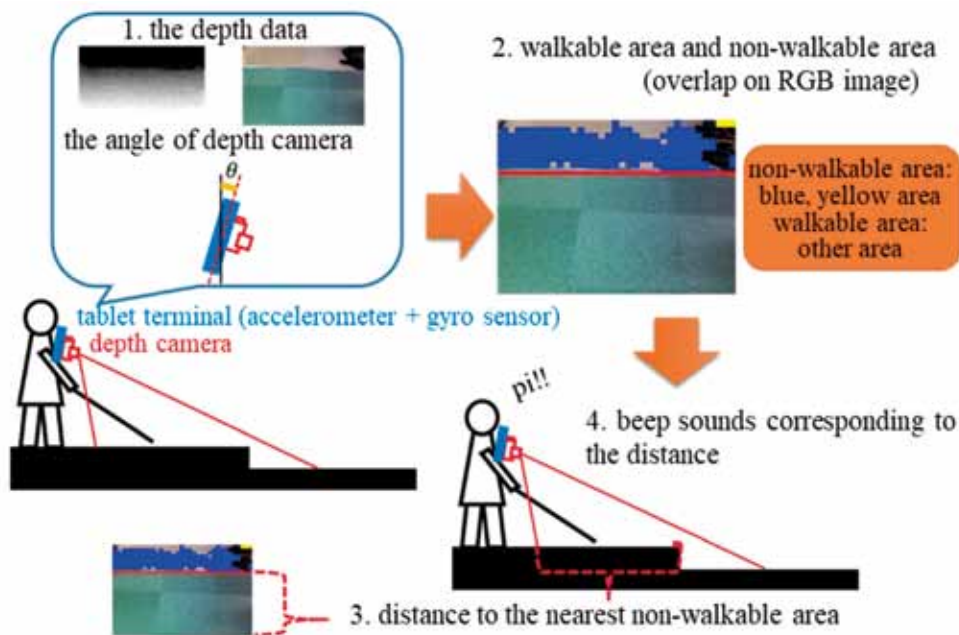
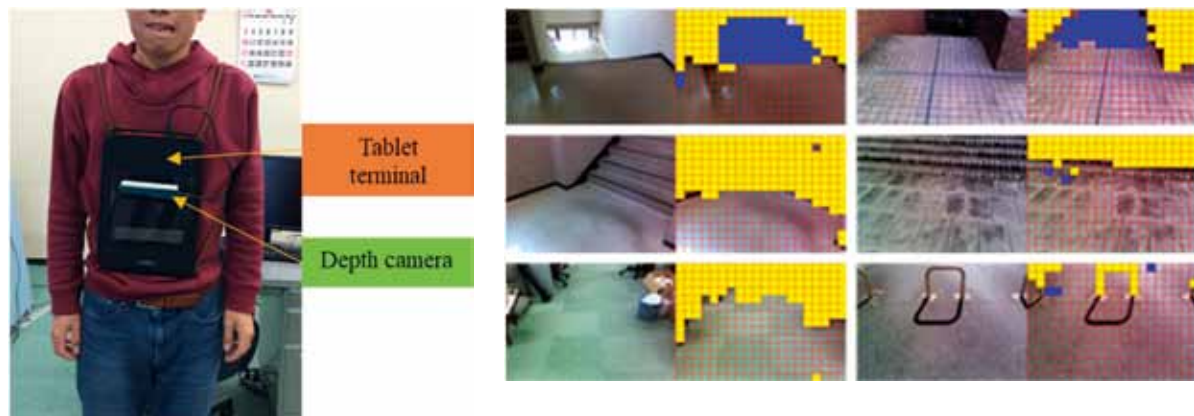


図 3-1-1 システム概要

本研究で使用するデバイスは、深度カメラと加速度センサ、ジャイロセンサが内蔵されているタブレット端末である。本研究で用いる深度カメラは屋内外で使用可能な Intel 社の R-200、タブレット端末は Microsoft 社の Surface Pro 4 である。深度カメラ R-200 で深度画像を取得し、その深度画像を用いて、前方の安全確認を行う。R-200 が安定して深度画像を取得可能な範囲は前方約 3.3m 先までであることから、そこまでの安全確認ができることになる。本研究では、深度カメラと加速度センサ、ジャイロセンサが内蔵されているタブレット端末を用いて、白杖よりも広範囲に歩行可能領域と非歩行可能領域を検出し、音により提示する方法を提案する。本研究における歩行可能領域とは、路面上の凹凸約 5cm 未満の緩い傾斜を含む水平面と定義する。障害物や段差等の歩行可能領域以外の領域を非歩行可能領域とする。深度カメラで深度画像を取得し、タブレット端末内の加速度センサとジャイロセンサで、タブレット端末の重力方向からの傾きを算出する。これら 2 つのセンサを組み合わせることで、

前方約 3.3m 先までの歩行可能領域と非歩行可能領域を検出する。視覚障がい者から最も近い非歩行可能領域までの距離に応じたビープ音を提示する。提案システムを歩行中に携帯することにより、視覚障がい者は白杖の使用のみより安心して、安全な単独歩行ができるようになる。図 3-1-1 に提案手法の仕組みを簡単に示す。

実証実験結果



非歩行可能領域までの距離 $d(m)$	ビープ音周波数(Hz)	ビープ音間隔(ms)
$0 \leq d < 0.75$	1000	200
$0.75 \leq d < 1.50$	3000	300
$1.50 \leq d < 2.50$	5000	400
$2.50 \leq d < 3.30$	8000	500

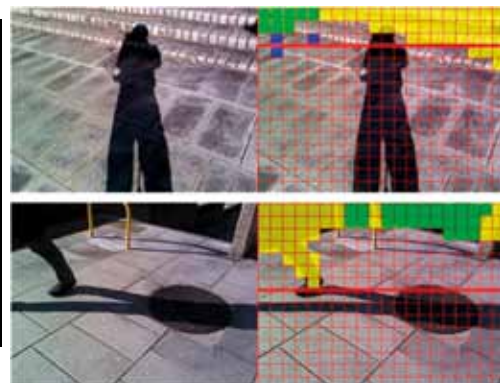


図 3-1-2 実験結果

提案手法を実際にシステムとして構築し、歩行可能領域が推定できることを確認した。図 3-1-2 上左はシステム装着の様子を示す。図 3-1-2 上右は、実行の様子を示す 6 組のサンプルであり、それぞれ左は可視光カメラでのシーンの撮影（この画像自身は処理には一切用いていない）と、それに重畳させた推定結果である。黄色は路面より上に出ていることを、青色は路面より下にくぼんでいることを、緑色は測定可能レンジ外であることを示している。このうち、利用者に一番近い歩行可能領域の端を推定して、そこまでの距離を求め（図 3-1-2 下右の赤太線）、それをビープ音の高さと間隔（図 3-1-2 左下の表）で提示する方法を提案した。実装したシステムを被験者に利用してもらい、評価実験を行った結果について、今後成果として発表していく予定である。

[1] 永松義博, “視覚障害者の外出行動における歩行行動特性に関する研究”, 造園雑誌, Vol.46, No.5, pp.77-80, 1982.

【2】 視覚障がい者の屋外歩行支援に向けた事前撮影映像に基づく位置推定（亀田）

研究の概要

視覚障がい者にとってナビゲーションシステムは単独外出の有用な支援となる。普及しつつあるナビゲーションシステムの多くは健常者を対象としているため、視覚障がい者の利用に適しているとは言い難い。視覚障がい者の外出を支援する方法として、介助者による同行援助や盲導犬が挙げられる。同行援護は人員や財源などの制約から、通勤及び営業活動等の経済活動に係る外出や、通年かつ長期に渡る外出及び社会通念上適当でない外出は対象外とされている。盲導犬についても同様の制約により、絶対数が足りていない問題がある。視覚障がい者の単独外出を支援するシステムが望まれている。

視覚障がい者の利用に適したナビゲーションシステムの実現には、使用者である視覚障がい者の外出特性を考慮する必要がある。視覚障がい者が外出する際には、事前に計画された経路に沿った「認知地図」を元に移動する。認知地図とは環境音や白杖で触知した特徴などの情報を、空間での位置関係として記憶したものである。視覚障がい者は、外出時には聴覚や触覚の情報を手掛かりに、認知地図上での自分の位置と目的地までの経路を推定しながら歩行する。

ナビゲーションシステムに必要な要素として、位置推定手法及び誘導手法が挙げられる。視覚障がい者一人一人が望む経路でナビゲーションを行うためには、あらゆる経路に適用可能な位置推定手法が不可欠である。屋内外を問わず利用可能で、インフラの整備やネットワークの接続を必要とせず、スタンドアローンで動作する必要がある。これらの条件を満たす位置推定手法として、単眼カメラのみを用いた類似画像検索による手法を適用する。ナビゲーションシステムの誘導手法として、視覚情報を利用できない視覚障がい者は、音声通知のみによって導く必要がある。あらかじめ経路上の位置毎に音声を登録し、推定位置に応じた音声を再生することで情報を通知する。

本研究では、単眼カメラのみを用いた位置推定手法を拡張し、より高精度かつ頑健性の高い位置推定を実現する。また、認知地図と環境音を利用した移動に適した音声通知として、三次元音響提示手法を用いたナビゲーションシステムを提案する。

まず、単眼カメラのみを用いた類似画像検索による位置推定手法を簡単に説明する。経路上の同じ地点で撮影された画像は、見た目が類似するという性質を利用して位置推定を行う。計画された経路に沿って事前に映像を撮影するだけで、あらゆる経路に適用できる。画像処理や移動支援についての特別な知識を有さない者でも支援が可能である。類似画像検索には局所特徴量のマッチング数による、一般的な画像認識手法を用いる。画像から検出される局

所特徴量を増加させ、誤マッチングをフィルタリングにより棄却することで、より高精度な位置推定を実現する。また、時間帯や天候などの撮影環境が異なると、照明条件の変動により位置推定精度が低下する問題を解決する。複数の異なる環境下で撮影された経路映像を利用し、撮影環境の変化に頑健な位置推定を実現する。

環境音から自己位置を推定するためには、認知地図上での音源位置と自己位置の相対的な位置関係を判断する必要がある。音源位置の認識が可能な三次元音響提示手法を用いたナビゲーション情報の通知は、視覚障がい者の外出特性に適していると考えられる。視覚障がい者が外出時に得たい情報として、経路情報、位置情報、方向情報が求められている。これらの情報を視覚障がい者と認知地図の相対的な関係に応じた方向から再生するため、視覚障がい者の進行方向を推定する。モバイルデバイスに搭載されているセンサと画像情報を利用した進行方向推定手法を提案する。推定された進行方向に応じて異なる方向から音声を提示するナビゲーションシステムを実装し、被験者実験により有効性を検証した。

実証実験結果

2017 年 11 月 25 日に兵庫県岡本商店街で実証実験を行った時の位置推定結果について示す。図 3-2-1 左は経路、図 3-2-1 右がその時の経路の様子である。

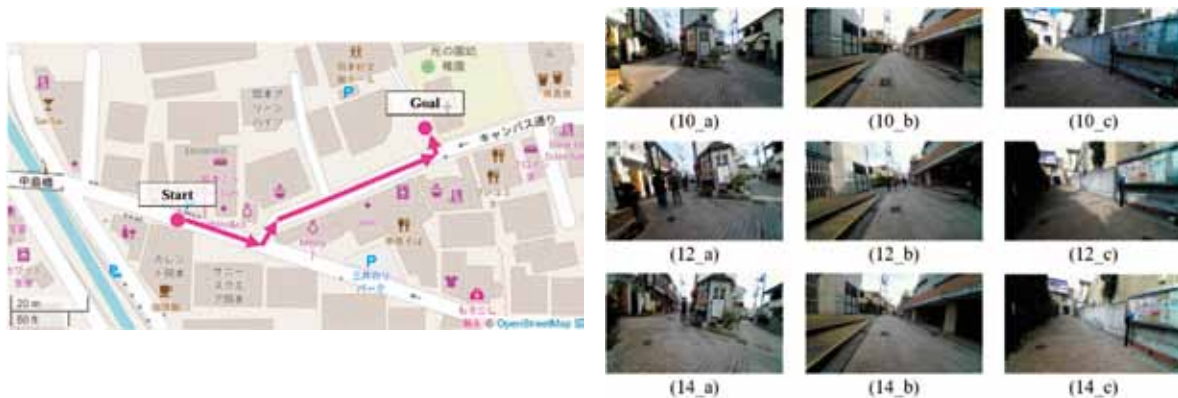


図 3-2-1 実証実験場の様子

10 時と 14 時に撮影した 2 本の経路事前撮影映像を統合して、提案手法を用いて位置推定を行ったところ、各映像を単独で用いるよりも推定能力が向上することが確認された。図 3-2-2 左のグラフにおいて、DB_(HH)は、HH 時に撮影された映像を利用して位置推定した結果を表し、DB_(10+(14))は、10 時の映像をベースに 14 時の映像を統合した結果である。Q_(10/26-KK)は、別の日の KK 時に撮った映像を歩行時の映像入力として位置推定を行ったときの結果を示している。縦軸のレスポンスレートとは、問合せ回数に対して有効回答数の比率を表しており、高いほどよい結果と言える。いずれの時間帯に外出しても、本提案手法が最もよい結果を出すことがわかる。

この位置推定手法をもとに、骨電動ヘッドフォンを用いて、経路情報・位置情報・方向情報を音声によって視覚障がい者に経路誘導を行う手法を実装した。システム装着の様子は図 3-2-2 右を参照されたい。岡本商店街の経路において、実際に視覚障がい者の誘導に成功した。このときに主観評価なども得ているので、今後成果発表を行っていく予定である。

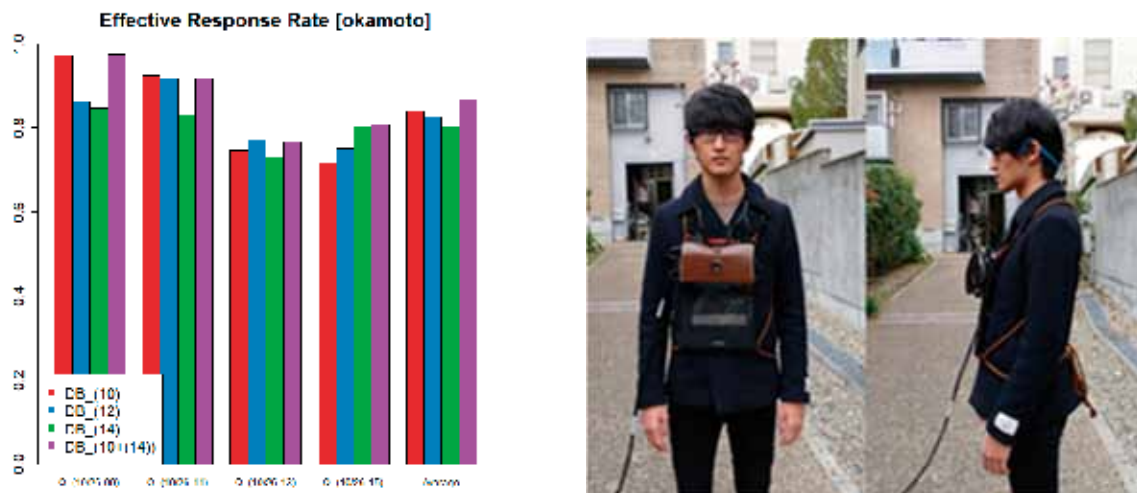


図 3-2-2 実験結果

【3】 疎に配置した多視点カメラのキャリブレーション手法（宍戸、北原）

研究の概要

3次元追跡や3次元形状復元など多視点画像を用いた研究開発が盛んに行われている。特に大規模空間における被写体の3次元位置推定の研究は、多様なシーンを対象とした研究が進められている。これらの処理で必要となる3次元空間と2次元画像空間の射影関係を求めるためには、撮影カメラのパラメータが必要である。基本的なカメラキャリブレーション処理は、空間中に3次元位置が既知なランドマークを設置し、その観測位置との対応関係から射影変換行列を推定する強校正である。しかし、大規模空間に適用する場合、ランドマークの設置作業の手間が問題となる。一方、ランドマークを必要としない方法として弱校正がある。多視点画像間の対応情報からカメラ間の相対的な位置姿勢情報や内部パラメータを推定することが可能である。しかし、カメラが疎に配置されている場合、十分な対応点が得られず射影関係の推定精度が低下するという問題が存在する。我々が適用対象と考えている体育館などの大規模空間では、密にカメラを配置することが難しい場合が多く、疎に配置したカメラを高精度でキャリブレーションする手法の実現が望まれている。

本研究では、モバイルカメラで移動しながら撮影した映像と疎に配置したカメラの画像を統合することにより、密な多視点画像群を構築し弱校正の推定精度向上を実現する。

図 3-3-1 (a) に示すように、疎に配置した固定カメラによって複数視点画像を撮影する。同時に、固定カメラの間を固定カメラと同じ方向を向いた状態でモバイルカメラを移動させながらビデオを撮影する。ビデオをフレームに分割した補完画像と疎な多視点画像により、固定カメラを含む密な多視点画像群を獲得する。それらの画像群に対して弱校正を適用することにより、全ての多視点画像の射影変換行列を推定する。推定した射影変換行列から、疎な多視点画像に対応するものを抜き出すことにより、ランドマークを設置することなく疎に配置した固定カメラの高精度なカメラキャリブレーションを実現する。なお、推定精度を高めるためには、十分な対応点が検出される必要があることから、撮影空間中に対応点が十分に取れる程の画像特徴が存在することを提案手法適用の前提条件とする。また、弱校正はスケール不変であるため、大きさが既知の物体が撮影空間中に存在しているとする。図 3-3-1 (b) に示すように、弱校正座標系は、観測される対応点の分布に基づいて座標系が設定されるため、撮影毎に原点や各軸の方向が変化してしまう。異なる撮影データにおいて統一的な計測を実現するために、撮影空間の世界座標系を設定し、弱校正座標系から世界座標系へ変換する。

我々は、本手法の応用事例の一つとしてバドミントン選手の姿勢推定を検討している。撮影画像中での被写体の姿勢推定には Convolutional Neural Network (CNN : 深層学習) を利用した人物の骨格位置推定手法[1]を利用する。撮影した多視点カメラ画像に Convolutional Pose Machines [1]を適用した結果と、2 視点で撮影した画像から検出した骨格情報から 3 次元骨格位置を推定した結果を図 3-3-2 に示す。この際ステレオ処理に利用する射影変換行列は本提案手法を用いて推定したものである。図 3-3-2 より、良好に 3 次元骨格位置が推定されていることが確認できる。

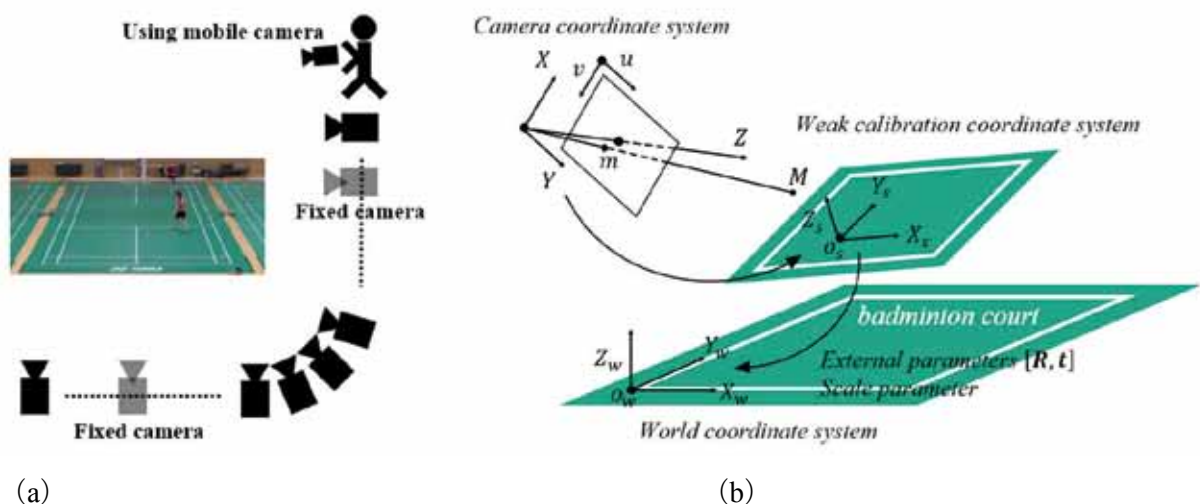


図 3-3-1 (a) 提案手法による撮影方式、(b) カメラ座標系、弱校正座標系、世界座標系の幾何学的関係

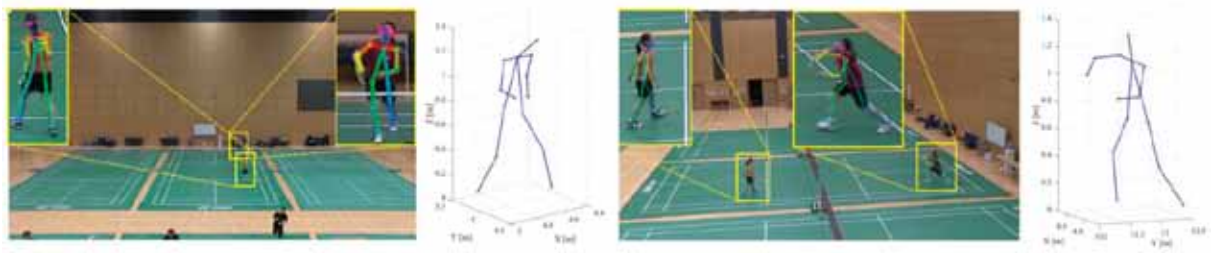


図 3-3-2 撮影画像に Convolutional Pose Machines [1]を適用して検出した 2 次元骨格情報とそこから推定される 3 次元骨格

- [1] Shih-En Wei, Varun Ramakrishna, Takeo Kanade and Yaser Sheikh, "Convolutional Pose Machines," Proc. The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) , pp. 4724-4732, 2016.

【4】 クラウドソーシングと 3 次元復元技術による世界遺産の予防的保存（矢戸、北原） 研究の概要

アンコール遺跡群に訪れる観光客は年間百万人を超える．多くの観光客が訪れるゆえに，観光客の移動によって発生する振動が建物の外観劣化に与える影響は大きな問題の一つである．また，遺跡の石材表面には，蘚苔類などの様々な生物が付着し，遺跡を劣化させる要因の一つとなっている．我々は，クラウドソーシングと 3 次元復元技術を利用したアンコール遺跡群の予防的保存プロジェクトに取り組んでいる．世界文化遺産であるアンコールトム・バイヨン寺院の予防的保存活動として，損傷個所の判定及び，損傷状態の可視化を目的とした研究開発について紹介する．



図 3-4-1 アンコール遺跡群の予防的保存活動の流れ

クラウドソーシングと 3 次元復元技術を活用したアンコール遺跡群の予防的保存活動計画の流れを、図 3-4-1 を用いて説明する。

1. 多視点映像撮影：対象物体（遺跡）を様々な角度から観測した多視点映像を撮影する。初期の撮影画像群は、あらかじめ手動で取得する。
2. 3 次元復元：撮影した遺跡の多視点画像群から被写体の 3 次元モデルを生成する。撮影画像群に Structure from Motion（SfM）を適用することで、遺跡の 3 次元形状を復元する。SfM は、画像間の対応点を探索することで、カメラの位置・姿勢と疎な点群を生成し、再投影誤差を最小化し、密な点群を生成する技術である。適用後、不要な点群を削除し、表面モデルを張り付けることで表面情報を有する 3 次元モデルを完成する。
3. 損傷個所予測：考古学者の見解や振動センサを活用し、損傷個所の判別を行う。クラウドソーシング処理のタスク生成に専門家の見解や振動センサ情報を活用し、処理効率を上げる。
4. クラウドソーシング：3.の予測結果に基づき損傷が必要な地点の撮影をインターネットでつながる不特定多数のクラウドワーカー（本システムでは情報端末を携帯した観光客を想定している）に依頼する。撮影画像が多様である程、高精度な 3 次元モデル生成が可能となるため、より多くのクラウドワーカーの協力を得る工夫が必要となる。
5. クラウドワーカーによる撮影：ワーカーは損傷個所の撮影を行う。撮影機器は携帯端末に搭載されたカメラなどの民生品を用いることが可能である。損傷個所に対して多様な角度からの撮影を指示し、網羅的な観測を実現する。
6. 3 次元再復元：5.で撮影された損傷個所の多視点画像群を用いて、被写体の 3 次元モデルを再構築する。対象とした画像の存在有無を調べ、エラー画像の除外処理を行う。損傷状態の可視化処理などの結果を専門家にフィードバックする。

上述した流れを繰り返すことで、対象とする世界遺産の損傷個所の判別及び損傷状態の可視化を実現し、予防的保存活動を実現する。

本研究では、アンコールトム・バイヨン寺院の支柱の損傷状態の可視化として、撮影タイミングの異なる画像の重畳手法を提案する。現在、表面に掘られたレリーフなどの形状劣化の要因調査として、遺跡と同じ材質の石に様々な薬剤を塗布し、目視確認作業によって蘚苔類の繁殖経過の観察を行っているが、撮影タイミングの異なる画像を重畳することによって、詳細な繁殖経過の観察だけでなく分析までもが期待できる。しかし、パノラマ画像生成手法や、多視点画像群を用いた 3 次元モデルは平均的な情報にまとめられることから、パノラマ画像やレンダリング画像は低解像度となり、繁殖経過の観察や分析に役立つ解像度とはならない問題がある。また撮影タイミングの異なる画像の対応点情報からホモグラフィ変換を施し、画像を重畳するとズレが生じる。これは、実写画像 2 枚の撮影位置はほぼ同じであったとしても、日照や 3 次元的な見え方の変化の影響を受けた特徴点の誤対応が要因である。そ

ここで、本研究では、撮影タイミングの異なる画像の重畳における特徴点の誤対応の問題を、複数の撮影画像と撮影画像に対応した被写体の 3 次元モデルのレンダリング画像を用いることで解決を図る。

はじめに、同じ被写体に対して日時の異なる撮影を実施する。この場合、撮影画像の位置はほぼ同じとする。次に、あらかじめ用意した様々な角度から被写体を撮影した画像群と、日時の異なる複数の撮影画像を含めた画像群に **Structure from Motion (SfM)** を適用することで、被写体の 3 次元モデルを生成し、テクスチャを張り付けた 3 次元モデルを生成する。生成した 3 次元モデルに多視点カメラの位置姿勢情報を取得し、取得した位置と同じ位置にバーチャルカメラを設置する。設置したバーチャルカメラへ 3 次元モデルをレンダリングする。例えば、撮影画像が 2 枚の場合、実写画像は 2 枚に対して、バーチャルカメラにレンダリングされた画像 2 枚が生成される。この 4 枚の画像を用いて撮影タイミングの異なる画像を重畳する。実写画像 1、2 とバーチャルカメラへレンダリングされた画像 1、2 のそれぞれの画像特徴量を算出し正対応ペアを求める。求めた正対応情報より、ホモグラフィ変換を施すことによって、実写画像 1 は、バーチャルカメラのレンダリング画像 1 へホモグラフィ変換できる。同様に、実写画像 2 は、バーチャルカメラのレンダリング画像 2 へホモグラフィ変換できる。同様に、バーチャルカメラのレンダリング画像 1 へホモグラフィ変換した画像は、バーチャルカメラのレンダリング画像 2 へホモグラフィ変換できる。以上の処理により、実写画像の変換画像は、バーチャルカメラのレンダリング画像 2 上へ重畳できる。図 3-4-2 に示すように、2 枚の入力画像と提案手法による出力結果を比較すると、違和感なく入力画像が重畳されていることがわかる。このように提案手法は、異なるカメラ位置や異なる日照条件による画像の重畳処理に有効であることが分かった。



図 3-4-2 左：入力画像 1（2016 年 12 月撮影）、中央：提案手法による出力結果、右：入力画像 2（2017 年 8 月撮影）

【5】 フレーム補間処理を用いた非同期多視点映像の滑らかな切り換え手法（北原、中央）

研究の概要

近年、被写体を様々な角度から撮影する多視点映像を用いた自由視点映像技術の研究が盛んに行われている。自由視点映像では映像閲覧者が見たい位置から被写体を観察することが可能であり、従来の単眼カメラを用いて撮影された映像と比べ、被写体の状態や距離感のような空間的認識がしやすいという特長を有するため、映画などの映像産業やスポーツ科学などの応用分野で注目が集まりつつある。

本研究では、自由視点映像技術のなかでも、より高品質映像が提示可能であるバレットタイム映像を取り扱っている。バレットタイム映像は、様々な視点から撮影した映像をカメラの位置関係に従って順番に切り換えながら提示することで視点移動感を与えることができる。しかしサッカースタジアムのような大規模空間において多視点映像を撮影する場合、全てのカメラを同期しながら撮影するには膨大な労力と機材が必要となる。そして、高速で移動する被写体を撮影した非同期多視点映像を用いて生成したバレットタイム映像では、視点切り換えの際に同期ズレの影響によって被写体の観測位置が画像上でブレたようになり、観察者に違和感を与える一因となる。

本研究では非同期多視点映像から生成されたバレットタイム映像中で観察されるブレを、フレーム補間処理を用いて低減することにより、滑らかな視点切り換え映像の生成法を提案する。

提案手法は主に二つの処理によって構成される。一つ目は、各視点においてフレーム補間処理を用いて連続する前後フレーム間に複数枚の補間画像を生成する処理である。はじめに初期補間画像に見え方の手がかりとして、入力画像間で被写体の対応情報を一組だけ与える。与えられた対応情報からモーションブラーが生じたような画像を作成する。これにより、初期補間画像において観測されるべき画像中心付近に、被写体の見え方の手がかりを与えることができる。モーションブラーを付与した初期補間画像から生成された補間画像は、モーションブラー上の全体にサッカーボールの情報が生成される問題が残る。そこで内挿距離に応じて被写体と背景のブレンディング比率をこちらの正規分布を用いて決定する。以上の処理により、図 3-5-1 左に示すように、各多視点カメラにおいて連続する前後フレーム間で高速で移動する被写体に対してフレーム補間処理を行う際、被写体間に手がかりとなる情報を、正規分布に基づき重み付けした初期補間画像を用いることで、補間処理結果が向上したことを確認した。

二つ目は、生成された補間画像のうち、被写体の観測位置の変化の少ない画像を選択することで切り換え時の違和感を低減したバレットタイム映像を生成する処理である。図 3-5-1 右に示すように、切り替え画像の選択法として、まず多視点カメラの入力画像と補間画像の全

てにおいて，被写体の画像上での観測座標を取得する．取得した観測座標から算出される二つのベクトルのなす角は，小さいほど 3 点の座標が一定の曲線状に存在する．従って，評価値が小さいほど被写体の観測位置の変化が小さく，滑らかな画像切り換えになることから，評価値の最小のものを切り替え画像として採用する．このように，視点移動時の被写体の観測位置の変化が最も小さくなるような補間画像を選択することにより，滑らかな視点切り換えのバレットタイム映像を生成することが可能となった．図 3-5-2 左は撮影した多視点画像の切り換えによるバレットタイム映像，図 3-5-2 中央は従来手法を適用した処理結果を示し，図 3-5-2 右は提案手法を適用した処理結果を示す．画像を切り換える際，従来手法では観測位置（サッカーボール）の軌跡が大きくブレているが，提案手法ではそれが解消されていることがわかる．3 点の観測座標から求めた角度の合計を最小にすることで，全ての観測座標が統一感のあるものになり，より滑らかな切り換えが実現されていることがわかる．

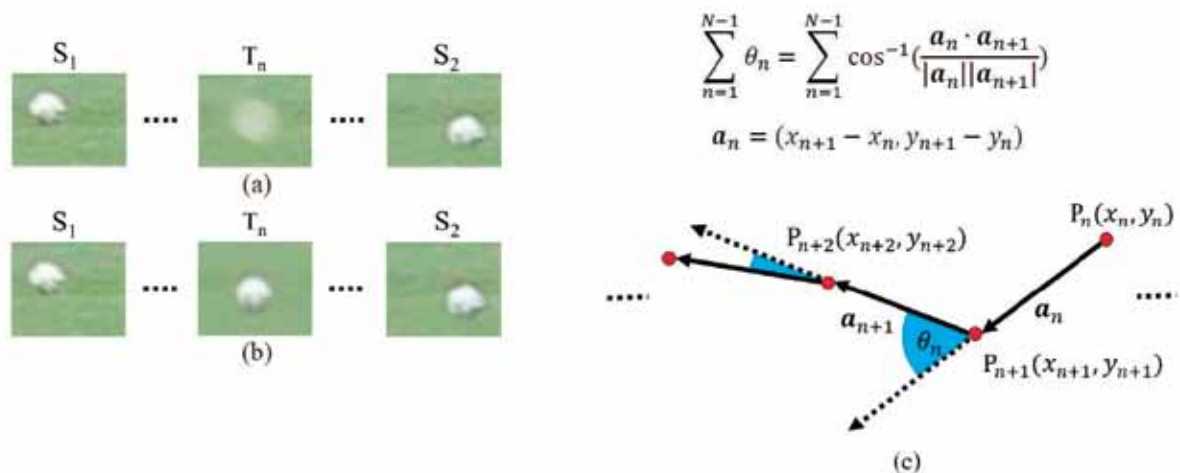


図 3-5-1 左：提案手法を適用した補間画像，右：切り換え画像選択手法



図 3-5-2 左：撮影した多視点画像の切り換えによるバレットタイム映像，中央：従来手法を適用した処理結果，右：提案手法を適用した処理結果

【6】 画像再構成処理を用いた疑似ドリーイン映像の生成手法（北原、宍戸）**研究の概要**

本論文では、多視点映像に対して 3 次元復元処理に基づいた画像再構成処理を施すことで、運動視差の再現可能な疑似ドリーイン映像の生成手法を提案する。ドリーとは、ドリーと呼ばれる台車にカメラを載せ、レール上を走らせながら撮影を行う技法であり、台車を被写体に近づけながら撮影した映像がドリーイン映像である。ドリーインによって撮影された映像（以降、ドリーイン映像と呼ぶ）は、運動視差の再現が可能であり、その結果、視聴者に奥行きを知覚させ、高い没入感を与えることができる。しかし、屋外大規模空間におけるスポーツ競技を対象とする場合、選手が移動する範囲（フィールド）内に入り込んでの撮影は現実的ではなく、ドリーイン映像の撮影が困難である。本研究では、フィールドの外側に固定した複数台のカメラで撮影した多視点映像を用いてドリーイン映像と同等の視覚効果を生み出す映像生成の実現を目的としている。

多視点映像を解析することにより任意の視点からの見え方を再現する手法として、Image-Based Modeling and Rendering（IBMR）技術がある。被写体の 3 次元モデルを復元することで実際にはカメラを配置することが不可能な視点位置からの見え方を再現することができるため、3 次元モデルを撮影したドリーイン映像の生成も可能である。しかし、多視点カメラのキャリブレーション誤差や同期ズレ、照明条件の変化や日照変動などによる見え方の変化などの影響により、生成された 3 次元モデルには復元誤差が含まれることが多く、結果として、3 次元モデルを用いて生成されるドリーイン映像の品質が低下することが懸念される。

撮影映像の品質を維持しつつ視点移動感を再現可能な手法として、バレットタイムがある。バレットタイムは、等間隔に配置した複数台の固定カメラで撮影した多視点映像を、配置の順に連続的に切り替えることにより、視点を移動しているような視覚効果を再現する手法である。視点移動方向は、カメラを配置した方向に限定されるという問題が存在したが、被写体（注目物体）の 3 次元位置を推定することにより、デジタルズームをした状態でのバレットタイム映像生成を実現し、疑似的にはあるが、前後方向の視点移動を可能とした。これにより、屋外大規模空間などで被写体と離れた場所から撮影を行った場合でも、細部の情報まで観察することが可能となった。しかし、デジタルズームにより生成された画像は、被写体の観測サイズは変化するものの、実際にカメラを前後に移動した時の見え方の変化（運動視差）が再現されないため、実際に撮影空間に入りこんでいくような没入感のある見え方は再現困難である。

本研究では、複数台の固定カメラから撮影した多視点映像に 3 次元情報の復元処理と画像再構成処理を適用することで疑似的なドリーイン映像を生成する手法を提案する。はじめに、屋外大規模空間において複数の固定カメラを用いて多視点映像を撮影する。多視点映像の対応点情報から多視点カメラのキャリブレーション及び 3 次元点群の生成を行い、3 次元モデ

ルを復元する．復元した 3 次元モデルの空間内において，多視点カメラ中のある 1 台をドリーインし（以降このカメラをドリーインカメラと呼ぶ），その位置姿勢を推定する．多視点映像で観測されている 3 次元点群を 3 次元モデルから抽出し，その点群をドリーインカメラで撮影する映像上に投影することでドリーインカメラのデプスマップを生成する．生成したデプスマップを用いて多視点映像を変換することによりドリーインカメラから観測される見え方を再現する．デプス情報が欠落している領域は，見え方の再現が困難である．本手法では，再構成処理によって画像中から欠損領域と見え方が類似したパターンを検出し，それを使って穴埋め処理を行うことで，視覚的連続性を保った高品質な映像を生成する．

図 3-6-1 上段は，デジタルズーム映像，図 3-6-1 中段は，IBMR 映像，図 3-6-1 下段は，提案手法による疑似ドリーイン映像を示す．本シーケンスにおいて，提案手法を適用した場合，疑似ドリーイン映像が生成されていることが確認できる．

デジタルズーム映像と IBMR 映像を比較すると，デジタルズーム映像は，運動視差の再現が不可能であり，奥行きを把握することはできない（図 3-6-1※1）．一方で，IBMR 映像は，運動視差の再現が可能であり，奥行きが把握できる（図 3-6-1※2）．次に，IBMR 映像と提案手法による疑似ドリーイン映像を比較すると，提案手法による疑似ドリーイン映像は，IBMR 映像と同様に，運動視差の再現が可能であり，奥行きが把握できる（図 3-6-1※3）．次にデジタルズーム映像と IBMR 映像と提案手法による疑似ドリーイン映像の画像品質を比較すると，図 3-6-1 最下段に各手法の拡大図を示す．デジタルズーム映像と提案手法による疑似ドリーイン映像の選手の画像品質は同等に高品質であることが確認できる．一方で，IBMR 映像の選手の画像品質は，3 次元情報の復元精度に依存するため，画像品質が低い．従って，提案手法による疑似ドリーイン映像（図 3-6-1※3）は，デジタルズーム映像（図 3-6-1※1）のように画像品質が高い．また，IBMR 映像（図 3-6-1※2）のように，3 次元情報を基に運動視差が再現された画像であるため，空間内を移動しているような没入感を得ることに成功している．さらに，IBMR 映像（図 3-6-1※2）よりも，提案手法は，元の多視点画像の画素値をそのままマッピングし，欠損領域に対して再構成処理を施しているため，画像品質が保たれている．

以上の結果から，本手法により生成した画像は運動視差を再現することができ，デジタルズームよりも高い没入感を呈示できている．



図 3-6-1 上段：デジタルズーム映像，中段：IBMR 映像，下段：提案手法による疑似ドリー
イン映像，最下段：各手法の拡大図

4. 教育

桑野 秀豪	博士（工学）	映像・音声認識・自然言語処理によるメタデータ生成の作業コスト削減に関する研究
今井 健太	修士（工学）	歩行支援に向けた歩行可能領域の深度カメラによる検出と音による提示
釜坂 一步	修士（工学）	歩行者ナビゲーションのための単眼カメラを用いた位置推定方式
北村 誠之	修士（工学）	発達教育支援に着目した多視点映像閲覧インターフェース
志村 直樹	修士（工学）	多視点映像を用いた不特定人称視点映像の閲覧方式

Rojas Ferrer Cesar Daniel	修士（工学）	READ-THE-GAME skill training with full body immersive VR（全身没入型 VR による試合を読む技術の習得）
積田 貴幸	修士（工学）	競泳プール映像における泳者情報分析

今井 美里	学士（工学）	VR スキーシミュレータにおける風と臨場感の関係
小河 原 洸 貴	学士（工学）	事前歩行時の回転角速度に応じた歩行記録に基づく誘導インタフェース
小林 洸陽	学士（工学）	3 次元被災状況マップ生成のためのクラウドソーシングプラットフォームの構築
竹内 音	学士（工学）	全方位バレットタイム映像の生成と提示
野原 直翔	学士（工学）	投球映像中のボール握りからの球種識別の検討

集中講義など

北原格，放送大学 面接授業，「専門科目：情報 体育・スポーツと映像情報処理」（日本体育大学 角田先生と共同開講）

5. 受賞、外部資金、知的財産権等

受賞

1. The 2nd CREST Research Area Meeting 2017, Intelligent Information Processing Systems Creating Co-Experience Knowledge and Wisdom with Human-Machine Harmonious Collaboration, Best Poster Award - 1st Place, Hidehiko Shishido, “Proactive Preservation of World Heritage by Crowdsourcing and 3D Reconstruction Technology”, (2018/3/15)

外部資金

1. 科研費・基盤（B）「経路撮影に基づく歩行者・パーソナルモビリティナビゲーション基盤の構築」代表者：亀田能成 2017 年度 468 万円
2. JST 戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）「多世代視覚障害者移動支援システムにおける画像技術の社会実装」代表者：産総研 関喜一（研究担当者：亀田）2017 年度 143 万円
3. 科研費・基盤研究（A）「体工連携によるスポーツ科学イノベーション」（2015-2018 年度）代表者：高木英樹（研究分担者：亀田）2017 年度 13 万円。

4. 科研費・基盤 (B) 「不特定人称視点映像を用いたコミュニケーション型教示映像メディア」代表者：北原格 2017 年度 650 万円
5. 共同研究・2501 株式会社「多視点映像処理に基づく次世代映像メディアに関する研究開発」代表者：北原格 2017 年度 250 万円
6. 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）2017 年度 1200 万円
7. 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、「ソーシャル・イメージング：創造的活動促進と社会性形成支援」代表：鈴木健嗣（研究分担者：北原）2017 年度 200 万円
8. 科研費・基盤研究 (A) 「強震動と液状化の複合作用を受けるライフラインネットワークの被害推定システムの開発」 (2016-2019 年度) 代表者：庄司学 (研究分担者：北原) 2017 年度 65 万円
9. 科研費・基盤研究 (B) 「アンコール遺跡群における予防的保存に資する劣化・変形・環境観測システムの構築」 (2016-2019 年度) 代表者：川村洋平 (研究分担者：北原) 2017 年度 10 万円
10. 学術指導 2501 株式会社「自由視点映像撮影・生成システムの実証実験における学術的知見・実践経験を活かした学術指導」 (北原) 2017 年度 50 万円
11. JSPS CREST AIP チャレンジ「疎に配置した多視点カメラ映像における 3 次元骨格位置の推定手法」 (宍戸) 2017 年度 100 万円
12. 科研費・若手研究 (B) 「人工知能を活用したスポーツ選手映像における関節位置の可視化」 (宍戸) 2017 年度 403 万円

知的財産権

(種別、氏名、課題名、年月日)

1. 特許、北原格・宍戸英彦、「画像処理装置、画像表示装置及び画像処理プログラム」、2017.9.25
2. 特許、北原格・宍戸英彦、「撮像システム、撮像方法」、2017.8.7

6. 研究業績

(1) 研究論文

A) 査読付き論文

1. Takashi Kamiyama, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, and Itaru Kitahara, “Improvement of Badminton-Player Tracking Applying Image Pixel Compensation,” ITE transaction on Media technology and applications (2017/4)
2. 笹井 翔太, 亀田 能成, 大田 友一, 神原 誠之, 萩田 紀博, “自動走行車両搭乗者のストレス軽減を目的とした死角領域と車両制御情報の可視化”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 (2017/6)
3. Hidehiko Shishido, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, and Itaru Kitahara, “Visual Tracking Method of a Quick and Anomalously Moving Badminton Shuttlecock”, ITE Transactions on Media Technology and Applications (2017/7)
4. Issey Takahashi, Mika Oki, Baptiste Bourreau, Itaru Kitahara, Kenji Suzuki, “FUTUREGYM: A Gymnasium with Interactive Floor Projection for Children with Special Needs”, International Journal of Child-Computer Interaction (2017/12)

B) 査読無し論文

(2) 国際会議発表

A) 招待講演

該当なし

B) 一般講演（査読有）

1. Cesar Daniel Rojas Ferrer, Itaru Kitahara, and Yoshinari Kameda, “Read-The-Game Skill Evaluation by Analyzing Head Orientation in Immersive VR,” 2017 3DTV Conference 2017 (2017/6)
2. Hidehiko Shishido, Aoi Harazaki, Yoshinari Kameda, and Itaru Kitahara, “Smoothly Switching Method of Asynchronous Multi-View Videos Using Frame Interpolation,” 2017 3DTV Conference 2017 (2017/6)
3. Kenta Imai, Itaru Kitahara, and Yoshinari Kameda, “Detecting Walkable Plane Areas by Using RGB-D Camera and Accelerometer for Visually Impaired People,” 2017 3DTV Conference 2017 (2017/6)
4. Kazuho Kamasaka, Itaru Kitahara, and Yoshinari Kameda, “Image Based Location Estimation for Walking Out of Visual Impaired Person,” The 14th Association for the Advancement of Assistive Technology in Europe Conference 2017 (2017/9)
5. Hidehiko Shishido, Yamanaka Kazuki, Yoshinari Kameda, and Itaru Kitahara, "Pseudo-Dolly-In Video Generation Combining 3D Modeling and Image Reconstruction," ISMAR 2017

Workshop on 13th: Workshop on Highly Diverse Cameras and Displays for Mixed and Augmented Reality (HDCD4MAR2017), pp.327-333, (2017/10).

6. Hidehiko Shishido, Itaru Kitahara, "Calibration Method for Sparse Multi-view Cameras by Bridging with a Mobile Camera," International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA2017), 6 pages, (2017/11).
7. Koyo Kobayashi, Hidehiko Shishido, Yoshinari Kameda, and Itaru Kitahara, "A Method to Generate Disaster-Damage Map by Using 3D Photometry and Crowd Sourcing," The First IEEE Workshop on Human-Machine Collaboration in BigData (HMDData2017), pp.4397-4399, (2017/12)
8. Hidehiko Shishido, Yutaka Ito, Youhei Kawamura, Toshiya Matsui, Atsuyuki Morishima, Itaru Kitahara, "Proactive Preservation of World Heritage by Crowdsourcing and 3D Reconstruction Technology," The First IEEE Workshop on Human-Machine Collaboration in BigData (HMDData2017), pp.4426-4428, (2017/12).
9. Chun Xie, Hidehiko Shishido, Yoshinari Kameda, and Itaru Kitahara, "A Calibration Method for Large-Scale Projection Based Floor Display System," poster, IEEE VR, (2018/3)

C) 一般講演（査読無）

1. Yuta Nagumo, Itaru Kitahara, and Yoshinari Kameda, "Location Estimation from Pre-Recorded Video Taken by Omnidirectional Cameras," Asia-Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR) 2017, 1 page, (2017/2)
2. Chun Xie, Kenji Suzuki, Yoshinari Kameda, and Itaru Kitahara, "An Automated Calibration Method for Large Scale Projector-Camera System," Asia-Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR) 2017, 2017.2017/7/2-4, Beijing, China.

(3) 国内学会・研究会発表

A) 招待講演

1. 北原格, 車載 AR 提示を用いた車両搭乗者の快適性の操作, 技術情報協会セミナー“ヘッドアップディスプレイの AR 表示技術と最適な設計方法”, 2017/5.
2. 北原格, 多視点映像メディア技術に基づいた研究開発事例の紹介, URCF 超臨場感映像 WG: 医工連携の最前線とその周辺技術, 2017.11
3. 北原格, PoTS スポーツ科学の創出, 第 3 回 PoTS 映像学シンポジウム～新しい映像学が切り拓く地平の展望と課題～, 2018/3

B) その他の発表

1. 今井 健太, 北原 格, 亀田 能成, RGB-D カメラと加速度センサを併用した歩行可能な平面領域の検出, 第 20 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2017), 4 pages, 2017/7.
2. 志村 直樹, 亀田 能成, 北原 格, 撮影方向が異なる多視点映像の閲覧方式, 第 20 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2017), 4 pages, 2017/8.
3. 宍戸 英彦, 北原 格, 疎に配置した多視点カメラのキャリブレーション手法, 第 20 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2017), 4 pages, 2017/8.
4. 北村 誠之, 宍戸 英彦, 亀田 能成, 北原 格, 提示デバイスの位置姿勢情報を用いた多視点映像閲覧インタフェース, 日本バーチャルリアリティ学会第 22 回大会論文集, 1E1-06, 2017/9.
5. 竹内 音, 宍戸 英彦, 亀田 能成, キム ハンソン, 北原 格, 全方位カメラを用いたバレットタイム映像生成法, 日本バーチャルリアリティ学会第 22 回大会論文集, 1G1-01, 2017/9.
6. 小河原 洸貴, 北原 格, 亀田 能成, 事前撮影映像に基づく視覚障害者の歩行誘導インタフェースの検討, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.117, no.252, pp.1-5, 2017/10.
7. 関井 駿, 宍戸 英彦, 亀田 能成, 飯塚 太郎, 上松 芳則, 北原 格, 単眼映像を用いたバドミントン選手の位置推定法, 映像情報メディア学会スポーツ情報処理研究会, ITE-ME2017-118, 2017/11.
8. 坂村 祐希, 富田 瑛智, 宍戸 英彦, 亀田 能成, 原田 悦子, 北原 格, 疑似搭乗体験システムを用いた自動走行車両の速度感と安心感の調査, 第 15 回 ITS シンポジウム 2017, 2-C-01, 2017/12.
9. 謝 淳, 宍戸 英彦, 亀田 能成, 鈴木 健嗣, 北原 格, 大規模 Projector-Camera システムに適したキャリブレーション手法, HCG シンポジウム 2017, 8 pages, 2017/12.
10. 志村 直樹, 宍戸 英彦, 亀田 能成, 鈴木 健嗣, 北原 格, Xth Person View: 多人称視点を連続的に閲覧可能な観察システム, HCG シンポジウム 2017, 8 pages, 2017/12.
11. 釜坂 一步, 北原 格, 一刈 良介, 興梠 正克, 蔵田 武志, 亀田 能成, カメラベース位置推定手法への PDR の統合及び音声インタフェースの検討, HCG シンポジウム 2017, 5 pages, 2017/12.
12. 今井 健太, 北原 格, 亀田 能成, RGB-D カメラを用いた歩行安全領域の検出と提示方法の検討, HCG シンポジウム 2017, 5 pages, 2017.
13. 今井 美里, 北原 格, 亀田 能成, スキーシミュレータにおける臨場感と風の関係映像情報メディア学会スポーツ情報処理次元研究会 技術報告, 2018/2.

14. 野原 直翔, 北原 格, 亀田 能成, 投球映像中のボール握りの違いによる球種識別の検討, 映像情報メディア学会スポーツ情報処理次元研究会 技術報告, 2018/2.
15. 宍戸 英彦, 河崎 衣美, 伊藤 豊, 川村 洋平, 松井 敏也, 森嶋 厚行, 北原 格, クラウドソーシングと 3 次元復元技術による世界遺産の予防的保存, 電子情報通信学会 技術研究報告 PRMU, vol.117, no.442, pp.77-82, 2018/2.
16. 南雲 悠太, 宍戸 英彦, 北原 格, 亀田 能成, 広視野画像と深度画像を利用した経路誘導のための性能評価, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.117, no.485, pp.5-9, 2018/3.
17. 積田 貴幸, 宍戸 英彦, 北原 格, 亀田 能成, 競泳プール映像における泳者位置とストローク数の推定, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.117, no.485, pp.11-16, 2018/3.
18. 小河原 洸貴, 宍戸 英彦, 北原 格, 亀田 能成, ステレオ音と振動提示による視覚障害者誘導インタフェース, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.117, no.485, pp.17-22, 2018/3.

(4) 著書、解説記事等

宍戸 英彦, ISMAR2017 ショート速報 [MR・AR], 一般財団法人光産業技術振興協会 国際会議速報 H29-No.33, 2017/10.

7. 異分野間連携・国際連携・国際活動等

北原 格

イギリスのサリー大学との MoU 締結に主導的役割を果たした.

オーストラリアのカーティン大学との MoU 締結に主導的役割を果たした.

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生委員会委員長

北原 格

筑波大学全学共通教育計算機システム WG 委員
システム情報工学研究科広報委員長

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・バーチャル環境基礎 研究専門委員会 委員長
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 委員

北原 格

電子情報通信学会和文論文誌 D 編集幹事
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
日本バーチャルリアリティ学会 SIG-MR 研究会幹事
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 委員

11. その他

該当なし