

領域略称名：多元計算解剖学  
領域番号：2607

令和元年度科学研究費助成事業  
「新学術領域研究（研究領域提案型）」  
に係る事後評価報告書

「医用画像に基づく計算解剖学の多元化と  
高度知能化診断・治療への展開」

(領域設定期間)

平成26年度～平成30年度

令和元年6月

領域代表者 (九州大学・学内共同利用施設等・名誉教授・橋爪 誠)

# 目 次

1. 研究領域の目的及び概要	11
2. 研究領域の設定目的の達成度	13
3. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況	16
4. 審査結果の所見及び中間評価の所見等で指摘を受けた事項への対応状況	17
5. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	19
6. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）	22
7. 研究組織（公募研究を含む。）と各研究項目の連携状況	27
8. 研究経費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	29
9. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度	33
10. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況	34
11. 総括班評価者による評価	35

**研究組織** (総：総括班、支：国際活動支援班、計：総括班及び国際活動支援班以外の計画研究、公：公募研究)

研究項目	課題番号 研究課題名	研究期間	代表者氏名	所属機関 部局 職	構成員数
X00 総	26108001 医用画像に基づく計算解剖学の多元化と高度知能化診断・治療への展開	平成26年度 ～ 平成30年度	橋爪 誠	九州大学・学内共同利用施設等・名誉教授	14
Y00 支	15K21716 多元計算解剖学モデルを核とした国際共同研究基盤の創成	平成27年度 ～ 平成30年度	橋爪 誠	九州大学・学内共同利用施設等・名誉教授	10
A01-1 計	26108003 多元計算解剖学における基礎数理	平成26年度 ～ 平成30年度	本谷 秀堅	名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授	7
A01-2 計	26108002 多元計算解剖学における形態情報統合の基盤技術	平成26年度 ～ 平成30年度	清水 昭伸	東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・教授	8
A01-3 計	26108004 多元計算解剖学における機能情報統合の基盤技術	平成26年度 ～ 平成30年度	佐藤 嘉伸	奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授	10
A02-1 計	26108006 多元計算解剖学モデルを利用した術前術中診断・治療支援システム	平成26年度 ～ 平成30年度	森 健策	名古屋大学・大学院情報学研究科・教授	9
A02-2 計	26108007 多元計算解剖学モデルを利用した腫瘍診断支援システム	平成26年度 ～ 平成30年度	仁木 登	徳島大学・大学院社会産業理工学研究部・特命教授・名誉教授	15
A02-3 計	26108005 多元計算解剖学モデルを利用した臓器・組織機能診断支援システム	平成26年度 ～ 平成30年度	藤田 廣志	岐阜大学・工学部・特任教授・名誉教授	14
A03-1 計	26108010 多元計算解剖学の外科における臨床展開	平成26年度 ～ 平成30年度	橋爪 誠	九州大学・学内共同利用施設等・名誉教授	8
A03-2 計	26108009 多元計算解剖学の画像	平成26年度 ～	木戸 尚治	山口大学・大学院創成科学研究科・教授	12

	診断における臨床展開	平成 30 年度			
A03-3 計	26108008 多元計算解剖学の生体 医工学における学術展 開	平成 26 年度 ～ 平成 30 年度	小林 英津子	東京女子医科大学・先端生命医科学 研究所 先端工学外科学分野・准教授	4
統括・支援・計画研究 計 11 件					
A01- KB001 公	15H01104 生体多元情報取得のため の粘弾性画像の高空間 分解能化手法の開発	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	菅 幹生	千葉大学・フロンティア医工学セン ター・准教授	1
A01- KB002 公	15H01105 マルチスケール解析に 向けた病理画像生成法 とMR画像との位置合 わせ手法の開発	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	大西 峻	千葉大学・フロンティア医工学セン ター・助教	1
A01- KB003 公	15H01108 多様な画像データベー スからの解剖学的ラン ドマーク点自動定義ア ルゴリズムの開発	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	花岡 昇平	東京大学・医学部附属病院・助教	1
A01- KB004 公	15H01119 ヒト器官形成期におい て分岐構造を有する器 官の3次元分枝パター ンを解析する	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	高桑 徹也	京都大学・医学系研究科・教授	1
A01- KB005 公	15H01123 遺伝子発現情報のクラ スタリングにもとづい た肺がん組織病理画像 の特徴抽出	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	小野 直亮	奈良先端科学技術大学院大学・情報 科学研究科・助教	1
A01- KB006 公	15H01125 肝小葉内の類洞－毛細 胆管の3次元ネットワ ークデザイン解析	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	昌子 浩登	京都府立医科大学・医学部(系)研究 科(研究院)・講師	1
A01- KB007 公	15H01126 生児脳の成長統計形状 モデル構築による子ど もの発達障害発症リス ク評価	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	小橋 昌司	兵庫県立大学・工学研究科・准教授	1

A01-KB008 公	15H01130 多重線形スパースモデリング法による多元医用データの解析	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	陳 延偉	立命館大学・情報理工学部・教授	1
A02-KB001 公	15H01101 脳局所特徴に基づく高精度脳MR I 画像解析技術の開発	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	伊藤 康一	東北大学・情報科学研究科・助教	1
A02-KB002 公	15H01106 5-A L A を用いた脳腫瘍手術中の定量的腫瘍イメージング技術	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	羽石 秀昭	千葉大学・フロンティア医工学センター・教授	1
A02-KB003 公	15H01113 X線動画イメージングによる胸郭運動ならびに肺機能評価の試み	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	田中 利恵	金沢大学・医薬保健研究域保健学系・助教	1
A02-KB004 公	15H01114 可視～近赤外域分光機能型超高分解能OCTイメージング	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	西澤 典彦	名古屋大学・工学研究科・教授	1
A02-KB005 公	15H01117 医用画像と電磁界解析の融合による脳刺激支援技術の開発	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	平田 晃正	名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・教授	1
A02-KB006 公	15H01118 乳房MR Iにおける病変形態と代謝・生理機能の解析に基づく高度知能化診断システム	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	中山 良平	立命館大学・理工学部・准教授	1
A02-KB007 公	15H01120 剪断波伝搬モデルに基づく定量的組織粘・弾性映像法の開発と肝線維化早期診断法の研究	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	椎名 毅	京都大学・医学系研究科・教授	1
A02-KB008 公	15H01129 マイクロフォーカスX線源を利用したX線暗視野法の開発と病理学への応用	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	安藤 正海	東京理科大学・研究推進機構総合研究院・教授	1
A02-KB009	15H01131 認知症診断のためのA	平成 27 年度 ～	木村 裕一	近畿大学・生物理工学部・教授	1

公	$\beta$ , 糖代謝, 脳形態変化, 血中成分の経時変化統合手法の構築	平成 28 年度			
A03- KB001 公	15H01102 正常から病態へ ～脳動脈瘤の発生に関する多元計算解剖学的アプローチ～	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	新妻 邦泰	東北大学・医工学研究科・助教	1
A03- KB002 公	15H01103 CTとMRIを融合させる多元型変形可能な膝臓手術シミュレーションソフトの開発研究	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	大城 幸雄	筑波大学・医学医療系・講師	1
A03- KB003 公	15H01107 生体組織の音響特性と構造的特徴の相互理解による質的迅速細胞診断	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	山口 匡	千葉大学・フロンティア医工学センター・教授	1
A03- KB004 公	15H01109 頭蓋顎顔面形態異常における計算解剖学と計算力学を用いた外科矯正手術支援	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	末永 英之	東京大学・医学部附属病院・特任講師	1
A03- KB005 公	15H01110 (廃止) 多元計算解剖学の応用による超精密眼球モデルの開発	平成 27 年度	原田 香奈子	東京大学・工学研究科・准教授	1
A03- KB006 公	15H01111 肝類洞血流調節因子と肝細胞機能の多次元計算解析～病理、生理、生化学、情報遺伝学～	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	工藤 篤	東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・講師	1
A03- KB007 公	15H01115 胸壁並行断面CT (オニオンスライスCT) による間質性肺炎のコンピュータ支援診断	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	岩野 信吾	名古屋大学・医学系研究科・准教授	1
A03- KB008 公	15H01116 マイクロCT画像による組織学的診断技術の確立	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	中村 彰太	名古屋大学・医学部附属病院・病院助教	1

A03- KB009 公	15H01121 ヒト初期胎児組織切片 からの三次元モデル作 成と発生学教育への応 用	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	山田 重人	京都大学・医学系研究科・教授	1
A03- KB010 公	15H01122 多元計算解剖モデルと 生体質感造形技術を融 合した高度知能化治療 支援システムの確立	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	杉本 真樹	神戸大学・医学系研究科・学術研究 員	1
A03- KB011 公	15H01124 脊柱管狭窄症診断のた めの X 線動画像からの 脊柱管変形のリアルタ イム計測手法の確立	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	加藤 博一	奈良先端科学技術大学院大学・情報 科学研究科・教授	1
A03- KB012 公	15H01127 共焦点内視鏡による消 化管神経叢異常の多元 的病因解析体系の開発	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	炭山 和毅	東京慈恵会医科大学・医学部・教授	1
A03- KB013 公	15H01128 未来予測手術具現化の ための脳機能データベ ース及び標準脳の作成	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	田村 学	東京女子医科大学・医学部・講師	1
A03- KB014 公	15H01133 トポロジーに着目した 心臓病理検体からの先 天性心疾患計算解剖モ デルの構築	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	原口 亮	兵庫県立大学・応用情報科学研究科・ 准教授	1
A01- KB101 公	17H05278 脳腫瘍の物性解析を目 的としたマルチモーダ ル・マルチスケール画 像位置合わせ手法	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	大西 峻	千葉大学・フロンティア医工学セン ター・助教	1
A01- KB102 公	17H05279 粘弾性画像化システム による疾患に伴う生体 組織の定量的評価	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	菅 幹生	千葉大学・フロンティア医工学セン ター・准教授	1
A01- KB103	17H05282 DCNNによる正常臓	平成 29 年度 ～	花岡 昇平	東京大学・医学部附属病院・放射線 科・助教	1

公	器の局所アピランス モデル作成手法の開発	平成 30 年度			
A01- KB104 公	17H05283 構造化励起光照明と圧縮センシングを用いる蛍光トモグラフィの高速化	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	佐久間 一郎	東京大学・大学院工学系研究科・教授	1
A01- KB105 公	17H05285 深層ニューラルネットワークを用いた細胞形態特徴抽出と疾患変異性形態特徴の可視化	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	宮脇 陽一	電気通信大学・情報理工学研究科・教授	1
A01- KB106 公	17H05288 心不全における心筋配向変化の多元計算解剖学解析—マイクロCTと組織標本の比較検討	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	秋田 利明	名古屋大学医学部・心臓外科・特任教授	1
A01- KB107 公	17H05289 がん細胞浸潤機構の解明に向けた多相構造体の力学場解析を実現する3D計測手法の開発	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	森田 康之	熊本大学・大学院先端科学研究部・教授	1
A01- KB108 公	17H05297 深層学習を用いたすい癌の病理組織画像からの細胞タイプ識別モデルの構築	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	小野 直亮	奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教	1
A01- KB109 公	17H05302 肝疾患における肝小葉内全体での形態変化の数理メカニズム解析	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	昌子 浩登	関西学院大学・理工学部・准教授	1
A01- KB110 公	17H05304 時空間統計的形状モデルを用いた発達障害発症リスク評価法の確立	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	小橋 昌司	兵庫県立大学・工学研究科・教授	1
A01- KB111 公	17H05307 ベイズ推定と生成関数展開を用いた拡散MR $q$ -space imaging	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	梅沢 栄三	藤田保健衛生大学・保健学研究科・准教授	1

A02- KB101 公	17H05276 脳MRI画像解析技術 とアルツハイマー病の 診断支援への応用	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	伊藤 康一	東北大学・情報科学研究科・助教	1
A02- KB102 公	17H05284 画像特徴量の自動生成 を用いた医用画像から の病変検出システムの 自動開発	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	根本 充貴	近畿大学・生物理工学部・講師	1
A02- KB103 公	17H05286 X線動画イメージング による胸郭・横隔膜運 動ならびに肺機能評価 の試み	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	田中 利恵	金沢大学・保健学系・准教授	1
A02- KB104 公	17H05290 スーパーコンピュータ を活用した多元計算解 剖学処理の大規模化・ 高性能化技術の創成	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	片桐 孝洋	名古屋大学・情報基盤センター・教 授	1
A02- KB105 公	17H05291 可視～近赤外域分光機 能型超高分解能光断層 顕微イメージング	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	西澤 典彦	名古屋大学大学院工学研究科電子工 学専攻・教授	1
A02- KB106 公	17H05293 医用画像に基づくオー ダーメイド脳磁気刺激 システムの開発	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	平田 晃正	名古屋工業大学・大学院工学研究科・ 教授	1
A02- KB107 公	17H05294 ヒト胎児脳神経系、骨 格器系の多元計算解剖 学的解析	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	高桑 徹也	京都大学・医学研究科・教授	1
A02- KB108 公	17H05295 超音波・光伝播モデル に基づく組織脂肪化・ 線維化の定量的評価と 肝疾患診断への応用	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	椎名 毅	京都大学・医学研究科・教授	1
A02- KB109 公	17H05299 多元ヒト脳図譜データ ベースによる脳深部刺 激療法支援システム	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	諸岡 健一	九州大学・システム情報科学研究院・ 准教授	1

A02- KB110 公	17H05301 呼吸筋機能解析のための 胸腹部骨格筋複合認 識技術の開発	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	神谷 直希	愛知県立大学・情報科学部・講師	1
A02- KB111 公	17H05303 生体組織の力学的時空 間特性(粘弾性)マイク ロ断層可視化システム の適用検討	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	佐伯 壮一	大阪市立大学・大学院工学研究科・ 准教授	1
A03- KB101 公	17H05280 画像診断の標準化と質 的リアルタイム病理診 断に向けた総合生体物 性モデルの構築	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	山口 匡	千葉大学・フロンティア医工学セン ター・教授	1
A03- KB102 公	17H05287 デプス画像を実時間で 生成可能なステレオ内 視鏡に基づく手術支援 ロボットの自律制御	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	西川 敦	信州大学・学術研究院繊維学系・教 授	1
A03- KB103 公	17H05292 超高精細胸壁並行断面 C Tと人工知能による びまん性肺疾患のコン ピュータ支援診断	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	岩野 信吾	名古屋大学・医学系研究科・准教授	1
A03- KB104 公	17H05296 ヒトにおける頭蓋顔面 形態形成および外鼻形 態進化の解析	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	山田 重人	京都大学・医学研究科・教授	1
A03- KB105 公	17H05298 時間軸と生体力学機能 軸を統合した多元計算 解剖モデルによる肺が ん切除術後の予測	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	陳 献	山口大学・創成科学研究科・教授	1
A03- KB106 公	17H05300 多元計算解剖学と固体 損傷力学の融合による 骨強度予測法の開発	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	東藤 貢	九州大学・応用力学研究所・准教授	1
A03- KB107 公	17H05305 治療選択をサポートす る、人工知能にもとづ く内視鏡診断支援シス	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	森 悠一	昭和大学・横浜市北部病院消化器セ ンター・助教	1

	テム				
A03- KB108 公	17H05306 標準脳機能アトラスの 投影による未来予測手 術の具現化	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	田村 学	東京女子医科大学・先端生命医科学 研究所先端工学外科・講師	1
A03- KB109 公	17H05308 脳腫瘍の人工知能によ る画像－分子遺伝学診 断技術の開発	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	木下 学	大阪大学大学院医学系研究科・脳神 経外科・講師	1
公募研究 計 62 件					

## 1. 研究領域の目的及び概要（2ページ以内）

研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募研究領域の着想に至った経緯、応募時までの研究成果を発展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

本領域の目的は、高精細医用イメージング技術と情報学の融合の成果である「計算解剖学」の多元化である。新学術領域「計算解剖学」では、大量の画像データに基づき正常な人体構造を統計的に記述した「計算解剖モデル」とその医用画像理解への利用に対して、数理的基礎論、基盤技術論、臨床応用論を構築するとともに、様々な診断・治療法の高度化を実現した。本領域では、その研究成果に立脚し、(1) 細胞レベルから臓器レベルまでの空間軸、(2) 胎児から死亡時までの時間軸、(3) 撮像モダリティ、生理、代謝などの機能軸、(4) 正常から疾患までの病理軸において、理論・手法・モデルおよびデータベースを発展させる。さらに、多元化した計算解剖モデルに基づき、単なる画像理解にとどまらない人体の総合的理解を目指し、早期発見や治療の困難な疾患に対する高度に智能化された診断・治療法への展開を行う。

### ① どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか。

- ・ **医用画像理解から人体の総合的理解へ**：計算解剖モデルによる医用画像理解は、従来の解剖学、画像診断学、外科学などの基礎・臨床医学の諸分野に大きなインパクトを与えつつある。同モデルを上記4つの概念において多元化することは、単なる画像の理解を超えた生命体としての人体の構造と活動の総合的理解につながり、先に挙げた医学の諸分野の発展を加速する。また、多元的かつ膨大な画像情報を扱う研究において、情報学や数理学、生体医工学などの関連分野の発展を促進し、大きな相乗効果が期待できる。
- ・ **高度に智能化された診断・治療法**：多元かつ膨大なデータに基づく数理統計モデルによるエビデンスは、従来のように医師の判断を補助し、高度化するのみならず、その能力を超えた判断を導き出し、高度に智能化された診断・治療法および関連研究を生み出す潜在力がある。

本研究領域の目指す人体の総合的理解は、データ・モデル・アルゴリズムの3要素に依存する。データの時空間、機能、病理の多元化に見合うモデル・アルゴリズムの水準向上のため、複雑・多様・変化する人体を数理的に取り扱えるモデルと、それをを用いた認識理解アルゴリズムを多様なデータを対象として新たな視点から組織的に開発する。これにより(1) 計算解剖学の学理の再構築と強化、(2) 高次元のモデリング技術と認識理解技術の基盤構築への貢献、(3) 高度な数理モデルに基づく新しい診断法・治療法の開発、これに伴う新しい数理理論、数理的手法の発展への貢献、(4) 生体シミュレーション、手術機器など医用生体工学への波及など幅広い分野の水準向上と強化につながり、特に医・理・工融合分野の学際研究を加速する効果が期待できる。

### ② 研究の学術的背景

計算解剖学では、正常成人の人体の臓器構造を統計的に記述した「計算解剖モデル」を構築することで高精度な医用画像理解を実現した。これは高精細な3次元情報であるX線CT画像の大量データの数理統計解析に基づいており、近年の医用イメージング技術の進歩と情報学の融合した成果である。その画像情報を最大限に有効活用する方法論は、X線CT画像のみならず病理細胞の光学顕微鏡画像、術中内視鏡画像、各種機能画像、過去の検査画像など、臨床で利用される様々な画像に対しても適用可能



図 計算解剖学の多元化による人体の総合理解

である。これらの多様な画像は、従来の計算解剖学の対象画像を(1) 空間、(2) 時間、(3) 機能、(4) 病理の4つの軸において多元化したものと見える。しかし、これらに対する個別モデルの構築ではなく、全ての多元情報を「多元計算解剖モデル」としてシームレスに融合させることにより、個別の画像理解にとどまらない人体の総合的な理解へと発展する可能性がある。同様に人体の総合的な理解を目的とする新しい学問領域としてPhysiome があげられる。Physiome がゲノム・タンパクから細胞、組織、そして臓器へとボトムアップで生命現象の理解を目指すのに対し、臓器形状の数理統計モデルを出発点として、これを上記4つの概念において多元化する計算解剖学のアプローチは相補的役割を果たすといえる。以下に各概念の多元化について具体的に示す。

(1) **空間軸**：顕微鏡画像、マイクロCT、マイクロMRなどの画像を対象に加え、階層構造を持つ人体構造のマクロ構造からミクロ構造までをシームレスに取り扱うことにより、計算解剖モデルによる人体の統計的記述を臓器レベルから細胞レベルまで到達させる。

(2) **時間軸**：診断・治療時、死亡時などの限られた期間に加え、数年から生涯レベルのタイムスケールを対象とする。これにより胎児・乳幼児期の臓器の発達、疾患発生、治療予後などの生体シミュレーションに基づき、予防医学や予後予測による診断・治療の最適化までを扱う。

(3) **機能軸**：X線CT画像に加え、MRI、超音波画像、PETなどの異なる物理現象に基づき機能情報を得られるモダリティのデータを導入し、マルチフィジクスな情報として融合する。これにより計算解剖モデルを強化し、計算機による人体の総理解を目指す。

(4) **病理軸**：正常な臓器形状のみならず、病理構造における疾患の進行、悪性や良性に加えて変異や奇形など、様々なスケールを統計的に扱う理論およびモデルを構築する。これにより疾患の理解をさらに深め、より効果的な診断・治療法の創成につなげる。

#### 応募研究領域の着想に至った経緯

本領域の主要メンバーは、特定領域研究「多次元医用画像の知的診断支援」(2003-2006)において、世界にも類を見ない多臓器・多疾病診断支援システムのプロトタイプを開発した。事後評価:では「A+(期待以上の研究の進展があった)」であった。続いて実施した新学術領域研究「医用画像に基づく計算解剖学の創成と診断・治療支援の高度化」(2009-2013)では、おもに正常の成人を対象とし、体幹部のマクロ解剖を理解するための計算解剖学を創成し、それに基づく医療支援工学を実現した。2011年に実施された中間評価では:「A+(研究領域の設定目的に照らして、期待以上の進展が認められる)」であった。本領域では、これら優れた評価を獲得した本研究グループによる研究をさらに発展させる。ここでは、空間軸、時間軸、機能軸、病理軸の各方向へ、理論・モデル・手法およびデータベースを発展させ、計算解剖学を多元化する。従来の計算解剖モデルは、人体の特定の時空間スケール(成人のマクロ解剖)の解剖構造を対象とした。本領域では、これを多様な機能や疾病を自在に表現可能な多元計算解剖モデルへと進化させる。従来の計算解剖学の学理の再構築と強化により、基礎理論や臨床応用論などからなる多元計算解剖学を創出する。以上より、多元かつ精緻な数理統計モデルに基づき人体の総合的理解を進めることは、高度に知能化された診断・治療法の創成およびその関連研究につながり、周辺および関連分野の飛躍的な発展が期待されるとの認識に至り、本領域を発足させた。

なお、新学術領域研究「医用画像に基づく計算解剖学の創成と診断・治療支援の高度化」(2009-2013)の中間評価では、「基本的学理の構築の部分が若干明確ではない」との指摘があった。本領域ではそのことを鑑み、数理学の専門家を中心とした計画班を基礎領域に新たに設置し、システム化や臨床展開を行う他のグループの研究成果の数理的定式化を促進する体制を整えることにより、学理構築面を強化した。

## 2. 研究領域の設定目的の達成度（3ページ以内）

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか、また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らしての達成度合いについて、具体的に記述してください。必要に応じ、公募研究を含めた研究項目ごとの状況も記述してください。

### 研究期間内に明らかにしようとした項目とその達成度

臨床使用～研究レベルの各種医用画像に含まれる解剖・病理構造を対象とし、以下に取り組んだ。

- (a) **計算解剖モデルの多元化**：マルチスケール時空間、マルチフィジクス、病理を含む臓器組織の物性などの情報により計算解剖モデルを強化し、多元計算解剖モデルを確立した。
- (b) **高度に知能化された診断・治療法の創成**：多元計算解剖モデルを、生体シミュレーションなど高度な予測や判断に基づく診断アルゴリズム、および新しい治療機器の設計・開発に応用し、これまでにない診断・治療法を実現した。
- (c) **計算解剖学の学理の再構築と強化**：空間、時間、機能、病理の4つの概念において多元化されたデータを対象とすることに伴い、計算解剖学の学理の再構築と強化を図った。

### 領域における具体的な研究内容とその達成度

#### ●多元計算解剖学の基礎基盤(A01)

多元計算解剖モデルの構築と利用のための数理・方法論を担う。多元計算解剖学の柱となる、スケール、時間、モダリティ、病理の情報統合を実現する数理基礎・基盤を確立した。

#### ●多元計算解剖学のシステム化(A02)

多元計算解剖モデルを利用して、特にスケール、モダリティ双方のシームレス性を考慮した高度知能化を実現するシステム化技術の確立について大きな成果が得られた。病理診断から外科手術まで数百倍のスケールにわたる画像情報を統合し、医師が必要とする情報を的確に提示可能なシステムを実現した。

#### ●多元計算解剖学の高度知能化医療・医工学への展開(A03)

多元計算解剖学の「基礎基盤」「システム化」において開発された手法を臨床応用し、高度知能化診断、治療を実現した。さらに、医工学へと展開し高度知能化手術ロボットを実現した。

A01においては、多元計算解剖モデルの構築と解析を行うにあたり直面する数理的課題を洗い出し、基礎的な枠組みを確立した。さらに、多元計算解剖モデル初版を実現した。A02では、診断論理、治療意思決定方法論の定式化など、多元計算解剖モデルを利用した診断治療支援を行う上で必要となるロジックを確立した。また、具体的な診断治療支援基盤システムの実現を開始した。A03で症例データベースを構築し、基盤システムの臨床適用可能性の評価法を検討した。また、A01で検討された基盤的数理手法をA02へと展開すると共に、A03で収集されるデータを順次領域内で共有化した。

A01では、数理基盤・モデル構築法の評価と改良を行い、多元計算解剖学数理の体系化を行った。ここで具現化された多元計算解剖学数理は、A02、A03へと展開された。一方、A02は、臨床応用システムを様々な側面から発展させ、高度知能化臨床診断・治療システムを確立した。A03は、A02で開発されたプロトタイプシステムを順次用いながら、実臨床における評価や手術ロボットとの融合を強力に進めた。A03で得られた知見は、A01、A02へフィードバックされた。最終的には、高度知能化臨床診断・治療法の確立、ならびに多元計算解剖学の学問的確立を図った。

### 各計画研究の研究内容とその達成度

**A01 多元計算解剖学の基礎数理と基盤技術（達成度100%）**：A01においては、計算解剖モデルの多元化の基礎となる数理の研究を、情報工学者と数学者が連携して行なった。例えば、統計学的な計算モデルを中心とした情報科学的手法と、解析学的並びに幾何学的手法を中心とした数学的手法を統合した。A01により確立される数理的基礎は、多元計算解剖モデルの構築、ならびに多元計算解剖モデルを

利用する診断・治療法のそれぞれを高度化する際に有用なだけでなく、それらモデルと手法の全体を体系化することにより、空間、時間、機能、病理の各軸やそれらの組み合わせにおいて、以下に述べる期待通りの進展がみられた。

空間と機能の軸に関しては、マルチモダリティ画像間の解像度の不均一性の問題を数理的に正しく扱う方法を示した。他の複数の軸間の画像融合にも有益な理論であり、領域全体への波及効果は大きい。例えば、異なる染色画像を含む超大規模3次元病理画像の再構成や、3次元MR画像との画像融合の実現などに貢献した（A03-1との共同研究）。また、時間軸方向についても進展が見られ、入れ子や非重複などの制約を保ったまま複数器官の統計的変動をモデル化する方法を世界で初めて示し、形態がダイナミックに変化するヒト胚子のモデル化に成功した（Medical Image Analysis誌（IF5.356）に掲載。A02-KB107、A03-KB104との共同研究）。病理や空間軸に関しては、深層学習に基づく画期的な方法論が幾つか登場した。パソロジー・ハイライターと呼ばれる病変強調の方法や、病理画像上の $\mu\text{m}$ オーダーのマイクロ解剖とCT像上の $\text{cm}$ オーダーのマクロ解剖の間を結びつけるための超解像技術などである（A03-1との共同研究）。

異種情報を統合した臓器機能の多元計算解剖モデルの表現論、構築論、および応用論においても大きな進展が見られた。マイクロCT、遺体計測、凍結遺体高精細画像、臨床画像、臨床検査データを統合した多元データベースを構築し、筋骨格、腹部を対象として機能・病理モデルを構築した。具体的には、筋骨格では、骨密度（Scientific report誌（IF4.122）に掲載）、筋線維、筋附着部、骨格動態（Medical Image Analysis誌に掲載）、臥位・立位特性等の統合モデルを開発した（A02-KB103と共同）。腹部については、肝線維化進行モデルを構築した（A01-KB008と共同）。モデルを利用した臓器認識法も合わせて開発した（Medical Image Analysis誌に掲載）。

臨床からの知見と要請は、総括班が開催する数理支援WG などにより継続的に調査し、A01の計画班が開発した新たな多元計算解剖モデルと新たな画像処理アルゴリズムは、臨床支援WGなどを介して積極的に他班へと還元した。代表的なものには、3次元伝導特性を解析的に求めるアルゴリズムや、Diffusion MR画像のパラメータをロバストかつ高速に求めるアルゴリズムなどであり、革新的な診断・治療法の創出につながることが期待される。

A01では、空間、時間、機能、病理の各軸のモデル、およびそれらを統合するための基盤技術の確立が、当初の目標どおり達成され、達成度100%とした。

**A02 多元計算解剖学の応用システム（達成度120%）**：A02研究計画班では、A01によって開発される多元計算解剖モデルを基とし、術前診断、手術支援、あるいは、術中組織採取や顕微内視鏡などによる術中迅速診断、術後までを支援する智能化診断治療支援システムを開発した（Medical Image Analysis誌（IF5.356）に掲載）。多元計算解剖モデルを利用し、マイクロCTなど新たなモダリティで得られる画像を用い、空間・時間・機能・病理軸にまたがる多種多数の医用画像をシームレスに理解する手法を実現した（Medical Image Analysis誌等に掲載）。その結果に基づき術前術中に真に必要とされる情報を多元ナビゲーション可能な手法を実現した。そして、がんであるか否かなど、術前診断、術中診断、治療の過程において、意思決定を支援するに足る情報を自動生成・提示する手法を実現した（Annals of Internal Medicine誌（IF19.384）に掲載）。解剖学的組織名称など術野の構造理解に向けたメタ解剖構造自動認識とも融合させ、多元ナビゲーションに基づく診断治療支援システムへと発展させた。

また、健康寿命を短縮する危険度の高い悪性腫瘍（肺、大腸、肝臓）の早期発見とライフステージに応じた適切な治療管理による重症化予防を実現するためにA01、A03と連携した。多元計算解剖モデルによる肺・大腸・肝臓に発生するがんの本態解明に挑み、これに基づいて高度知能化した腫瘍診断支援システムを研究開発した。4次元CT、広視野 $\mu\text{CT}$ 、PET、MRIの最先端イメージングの画像情報を中心にして臨床・病理・遺伝子情報と効果的に融合してがんの本態解明を進めた。特に、3次元ミクロ

からマクロのマルチスケール肺構造と臨床・病理・遺伝子情報を関連付け肺の成長過程や病態を時空間において定量的に捉えて表現する手法を開発した。がんやCOPDの発病・進展過程を臨床・病理・遺伝子情報と関連付け数理統計的に解析した。この中でがんやCOPDの進展や予後に強く相関するイメージングバイオマーカーを発掘して早期発見と治療管理に導入した。この臨床システムを開発して共同研究機関における臨床研究によって有効性を示した。

さらにA01によって開発される多元計算解剖モデルを利用して、X線CT、MR、US、シンチグラム、PET/CT、Elastography、眼底写真等の各種モダリティの画像／診療情報の個別ならびにそれらのシームレスな統合化処理（Endoscopy誌（IF6.629）等に掲載）により、人体臓器の組織繊維化／機能診断、筋肉組織診断、骨形態・骨質診断、乳腺鑑別診断、血管系性状診断などを対象とした、新しい方法論に基づいた診断支援システムを研究・開発した（Medical Physics誌やIJCAR誌等、多数に掲載）。このため、(1) 各種モダリティ／特異性造影剤／放射性診断薬別の大規模データベース（DB）の構築、(2) DBに基づく開発モデルの統合化や改良・開発、(3) 形態・機能モデルを用いた診断支援システムの基礎エンジンの開発、(4) システム化と評価および汎用化、(5) ユーザインターフェースの開発と臨床応用とその実用化、を中心に、他の班とも密な連携を取りながら研究を進めた。

A02では多元計算解剖学と深層学習の融合により診断・治療支援基盤の確立が期待以上に進んだ。成果の一部は、内視鏡病理診断システムとしてオリンパス社より製品化され、臨床系のGastroenterology誌（IF20.773）に3本掲載された。当初の目標を超える成果が得られたので、達成度を120%とした。

**A03 多元計算解剖学の展開（達成度 100%）：**A01、A02 において開発された手法を臨床の場における診断、治療で応用するために、これまでにない数理統計に基づく診断法や治療法の開発をすすめ、その基盤技術を確立した。また、早期がんの発見、治療、それに関わる意思決定支援などの方法を確立した。さらに大量臨床画像および疾患情報を集約し、数理統計に基づく多元計算解剖モデルの構築と疾患解析への応用を進めた。A01、A02 で開発される多元計算解剖モデルにより術前に正確に推定された患者固有の解剖・病態・発生・機能（Gastroenterology 誌（IF20.773）に掲載）など高次元情報に加え、治療中のMRIや切除組織の病理像などからもたらされる癌の局所進展（Cancer Lett 誌（IF 6.491）に掲載）や転移などの経時的な情報も統合し、高次元の医療用知能化システムを構築するための基盤技術を開発した。臨床展開とその検証により得られた知見・問題点は、A01、A02 の各計画研究班にフィードバックし、多元計算解剖学の学問的昇華・社会還元を目指した。また、前述の4軸に基づいた医用画像症例の大規模な収集とデータベースの構築を行い、画像診断支援システムの臨床評価を行った。この臨床評価は、A03の「外科」、「生体医工学」の各班とも連携しながら研究を進めた。腹腔鏡下手術支援システムでは、多元計算解剖情報と術中生体情報との統合を目的とし、内視鏡画像による術具・患部位置計測機能に基づく手術ナビゲーションシステムを実現した（A03-1との共同研究）。膵臓がん治療に対して、膵臓ステープラーによる圧縮時の蛍光計測と反力計測および病理学的評価を組み合わせ、多元的な臓器性状に基づく力コントロールデバイスの開発を行った（A03-2との共同研究）。口腔外科手術支援システムにおいては、安全で正確な治療を実現するための、顔面神経等の位置を考慮した新たな安全機構を有する手術ナビゲーション・ロボットシステムを開発した（A01-3、A03-KB004との共同研究）。びまん性肺疾患の陰影分類や領域抽出に関するCADアルゴリズム（IJCAR誌に掲載）、経時差分画像を用いた結節性病変の検出や結節のすりガラス陰影領域抽出（IJCAR誌に掲載）などの肺病変に関するディープラーニングを用いた高精度なCADアルゴリズムの開発を行った。また、A01-2と共同でAi画像を用いた臓器テクスチャ情報に基づく死後経過時間の推定を行い、A01-3と共同で剖検臓器に対する三次元スキャナによる表面構造のデジタル画像取得やCT画像と融合したデジタル剖検肺モデルの作成を行った。

A03では、基盤技術の臨床および医工学展開が当初の目標どおり達成され、達成度 100%とした。

### 3. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況（1ページ以内）

研究推進時に問題が生じた場合には、その問題点とそれを解決するために講じた対応策等について具体的に記述してください。また、組織変更を行った場合は、変更による効果についても記述してください。

本領域では、年度末に開催される国際シンポジウムにおいて、国内外の諮問委員からの評価コメントを得ながら、研究を推進した。その際に指摘された問題点、およびそれらへの対応策について述べる。なお、研究期間を通して組織変更は行われなかった。

#### 問題点1：若手研究者の活躍が見えない（第2回国際シンポジウム、2年経過時）

諮問委員より、「研究の進展はみられるが、研究推進の担い手である若手の活躍がみえない」ことが問題点としてあげられた。すなわち、研究推進は、次世代の若手育成と一体となって進めるべきであり、研究進捗だけでなく若手育成の進捗を可視化することの重要性が指摘された。

#### 問題点1に対する対策：注目若手研究者を前面に出したシンポジウム構成

これに対応するため、総括班で検討し、第3回国際シンポジウムでは、各計画研究班の報告においては、各班の総合的な成果発表だけではなく、若手中心の企画にした。各班から“注目若手研究者”を選定し、その若手研究者が推進するトピックに焦点を絞って発表する形式にした。これにより、諮問委員が、若手育成の状況を適切に把握することができ、若手に直接アドバイスを与えることができた。特に、海外から著名な研究者を諮問委員として招いており、それ以後、若手と議論する機会が増えたことは貴重であった。同時に、若手が、次世代を担っているという自覚を得ることにつながり、諮問委員からのアドバイス（叱咤・激励も含む）も効果的に働き、**10. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況**で述べるような国際連携成果の増強につながった。

#### 問題点2：領域の目的を明確にするストーリーの欠如（第3回国際シンポジウム、3年経過時）

諮問委員より、「個々の計画研究での研究目的達成に向けての進展は認められるが、領域全体の意義、目的を明確にするようなストーリーがわかりにくい」という問題点があげられた。

#### 問題点2に対する対策：人体の部位別チームの領域横断的構成と連携

この問題点に対して、学理支援WG、総括班会議での討論を経て、以下の具体的対応策を講じた。

(1) 個別の多元計算解剖モデル(多元モデル)を論じるのではなく、医学的観点から人体の部位別に、脳、胸部、腹部、筋骨格、ヒトの一生涯という5つのチームを領域横断的に設定して、複数の多元モデルを活用するストーリーを構築し、領域の目的の明確な理解を促進することを目指した。さらに、このストーリーに基づいて、領域全体のすべてのプロジェクトを体系化するための学理を構築することを目指した。

(2) 5つの対象分野を支える統一した学理を構築する目的で、学理俯瞰図をチャート化した多元モデル学理テンプレートを策定し、5つの分野での成果を学理テンプレート上に体系化して示した。

以上の試みは、領域4年目より、年次国際シンポジウムにおいて公開され、最終年度には、大型ポスターとして発表した。これにより、学理構築の促進のみならず、計画研究、公募研究の研究班間の連携を加速させる効果が得られた。

#### 4. 審査結果の所見及び中間評価の所見等で指摘を受けた事項への対応状況（2 ページ以内）

審査結果の所見及び中間評価において指摘を受けた事項があった場合には、当該コメント及びそれへの対応策等を記述してください。

##### <審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況>

###### ●審査結果の所見における指摘事項

各計画研究は、それぞれの対象とする研究項目における過去の研究を発展させた内容が中心となっており、領域構成全体としての新規性は乏しい。このため、(1)適切な公募研究を組み入れることによって、計画研究の進展を加速させる領域運営、(2)研究者の増強、大量の画像データを処理するための技法開発、さらには学理の追及を目的とした基礎研究を行う体制のさらなる充実が求められる。

###### ●上記指摘事項への対応状況

上記指摘事項は、採択時におけるものであるが、これに対する対応は、研究期間全体にわたって継続的に行ってきた。以下に示す対応状況は研究期間全体に渡るものである。

(1-a) 平成 27 年度ならびに平成 29 年度の公募研究班募集では、各計画研究を強化・補完して発展させる目的で、「計画研究の取り組みに含まれていない挑戦的、萌芽的、分野横断的な理論研究、多様な分野の若手研究者による研究、そして計画研究者と共に、多元計算解剖学という新領域を拓こうとする研究者による意欲的提案を希望する」と趣旨を述べて公募したところ、平成 27 年度の公募では 30 件（A01：8 件、A02：9 件、A03：14 件、うち 1 件は採択後 ImPACT に採択され辞退）、平成 29 年度の公募では 31 件（A01：11 件、A02：11 件、A03：9 件）が本領域に加わるようになった。計画班 9 件に 61 件の公募班が加わり 70 件となることで、研究者の大幅な増強、基礎研究を行う体制のさらなる充実、多元計算解剖学に関する研究分野の多様化を図った。

(1-b) 計画研究の進展を加速させるために、平成 27 年 4 月公募班交付内定通知の直後より、合同のシンポジウムの企画・開催を公募研究採択後の 4 年間にわたり継続的に実施した。領域代表および総括班ワーキンググループからの呼びかけで、計画班の間だけでなく、計画班と公募班の間での共同研究を具体的に実現するよう指示を出すとともに、平成 27 年夏から 4 年間にわたり合同のサマーセミナーを開催し、各計画班および公募班との本領域で目指す研究、そのあり方を泊りがけで議論する検討会を開催した。これにより、計画研究の進展がさらに加速されるとともに、領域全体の一体的な有機的運営が加速されることになった。

(1-c) 公募研究班では、計画研究の取り組みに含まれていなかった全く新しい挑戦的、萌芽的、分野横断的な基礎的理論研究が採択されており、本領域独自の新しい学理の構築と本領域が目指す新しい学術的発展性のある研究成果が得られた。特に、今回の公募研究において世界トップの品質と症例数を誇る胎児 3D データや、死後変化に関するデジタルデータ、新しい原理によるイメージング技術、スーパーコンピュータによる大規模計算技術を持つ班員が加わったことは、当該新領域の顕著な学術的発展につながった。

(2-a) 国際活動支援班の採択は、わが国における弱点である数理分野に強い研究拠点を選び、ネットワーク形成を図ることで、本新学術領域が国際的に認知され、新しい学術的発展に大きく貢献できた。このことは、国際会議における MCA (多元計算解剖学の英文名称である Multidisciplinary Computational Anatomy) の頭文字をとったものを冠したセッションの設置につながった。多元計算解剖学の研究活動が広く世界的に知られるようになった。

(2-b) 「臨床応用へ傾倒しており、学理に乏しい」という留意事項に対して、数理支援 WG のみでなく学理全般の構築支援を担当する WG を設置し、特に数理面、臨床面から学問体系を構築する活動を積極的に行った。基礎数理を担当する A01 研究項目については、領域代表者、総括班、および計画班代表者と協議の上、特に数理面の強化を目的とした人材配置を実施した。A01 の重要な役割である数理基盤を担う研究者は、当初計画の微分幾何・情報幾何・離散最適化を専門とする A01-1 の 2 名に、研究分担者（清・東大・最適輸送問題・H27 年 4 月～）と連携研究者（横田・名工大・機械学習・H28 年 4 月～）、数理系ポスドク（浅井・広市大・非線形微分方程式・H27 年 2 月～）を追加した。さらに、領域全体への最新の数理関連の理論・手法を周知するセミナー等が企画され、H31 年 3 月までに 8 回の数理理論に関するセミナーを開催した。その結果、数理に重きを置いた新しい研究テーマが各計画班で創出されるに至っている。また、ビッグデータを扱うための人工知能の専門家として、連携研究者を 2 名（シモセラ、飯塚・早大・深層学習・H28 年 4 月～）を A01-1 に、医用画像処理における人工知能技術に関して世界的な有名な研究者（Roth・名大・人工知能・H28 年 8 月～）、研究分担者（庄野・

電通大・人工知能・H27年4月～)をA01-2に、研究分担者(大竹・奈良先端大・GPU計算・H27年4月～)をA01-3にそれぞれ追加した。これにより数理と人工知能の両面で大幅に人材強化された。また、A02-1の森は、国内有数の計算速度を持つスーパーコンピュータを有する名大情報基盤センター長に就任し(H28年4月～)、大量の画像データを扱う研究体制を整えた。

### <中間評価の所見等で指摘を受けた事項への対応状況>

#### ●多元計算解剖モデルの具体像や枠組の明確化・要素技術の相互接続関係

本研究領域は多元情報を「多元計算解剖モデル」としてシームレスに融合することを謳っており、個別の医用データやその分析・理解・診断支援技術を集積させるのみならず、多様なデータとその分析・処理技術をシームレスに繋げることが必要であり、本研究領域が提案する多元計算解剖モデルが果たす役割は極めて重要である。(3)今後、研究期間内において多元計算解剖モデルの具体像や枠組みをより明確にするとともに、それをベースに、多元計算解剖モデルを介した要素技術の相互接続や高度化を実現する取組を強化することが必要である。

#### 上記指摘事項への対応状況

(3) 多元計算解剖モデルを介した要素技術の相互接続や高度化を実現する取り組みを強化した。具体的には、WGを中心として、相互接続関係を明らかにし、その結果を基にして高度化する技術を実現した。加えて、計画班、公募班全員が参加するサマーワークショップを利用して、多元計算解剖モデルの具体像や枠組みをより明確にするための議論を、継続的に行ってきた。この中では、多元計算解剖モデルのあり方、要素技術の列挙とその接続関係などを明確にした。これらは総括班主導の下で実施され、とりまとめの成果は平成31年3月に実施した最終国際シンポジウムで発表した。

#### ●本研究領域としてどのような新しい学理の開拓が期待できるかの見通し

審査所見における指摘に対しての対応については、研究の進展を加速させるための「適切な公募研究を組み入れる」という指摘に対しては的確な対応がなされている。また、「学理の追求を目的とする基礎研究を行う体制の更なる充実が必要」との指摘に対し、学理構築支援ワーキンググループを設置し、体制を強化した点も評価できる。(4)これらの取組を通じ、本研究領域としてどのような新しい学理の開拓が期待できるかの見通しについては、より具体化することが望まれる。(5)残りの研究期間において、これまで蓄積してきた医用データやその分析・理解・診断支援技術等をベースに、多元計算解剖モデルでのこれらの位置付けや相互の関係を明らかにし、多様な多元計算解剖モデルに共通する基盤要素や新たなモデルを構築したり、複数モデルを連携させたりするための基盤技術とこれを支える学理をより明らかにしたりすることが必要である。

#### 上記指摘事項への対応状況

(4) 本研究領域としてどのような新しい学理の開拓が期待できるかの見通しについては、領域内で継続的に議論した。各計画班、公募班自体は多元計算解剖学の個々の要素に関する優れた学術的成果を有するが、それを俯瞰的に捉え、一つの学問領域として学理構築を図ることが重要である。領域発足当初から設置されていた学理WGの活動を一層強化するとともに、先述のように、サマーワークショップに代表される領域全員が参加する泊りがけのワークショップで重点的に議論し、その見通しを明らかにした。加えて、多元計算解剖学に関する教科書を出版し、本研究領域における学理を体系立てて整理し、具体化することができた。

(5) 領域全体の研究を俯瞰することで、これまでに蓄積してきた医用データやその分析・理解・診断支援技術等が、多元計算解剖モデルの構築においてどのように位置づけられ、また、どのように相互に関係するかを明確化するように試みた。この位置づけ整理の結果は、2019年3月に開催された第5回多元計算解剖学国際シンポジウムで、巨大ポスターとして整理し、単なる個々の研究の寄せ集めではなく、多元計算解剖モデルを中心とした一つの研究となるように相互関係を明らかにした。さらに、基盤技術やそれを支える学理が複数のモデルを連携させるうえでの役割を明確化した。これらの取り組みのために、総括班下の学理WGと融合WGを中心にとりまとめチームを発足させ、位置づけ、相互関係、学理が明らかになるように領域研究を推進した。

5. 主な研究成果（発明及び特許を含む）[研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理する]

（3 ページ以内）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果（発明及び特許を含む）について、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、図表などを用いて研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。記述に当たっては、**本研究課題により得られたものに厳に限る**こととします。

研究領域の設定目的に照らし、これまでに研究領域全体で十分な成果をあげた。なお、論文リストや特許の詳細は「6. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況」に示した。

●研究項目 A01 時間・空間・機能・病理の 4 軸に沿って計算解剖モデルを拡張するための基礎数理、実際のモデル構築や画像理解のためのアルゴリズム等、基盤技術の開発を中心とした研究を行った。

計画班

【A01-1 本谷班】複数の染色画像を含む超大規模 3 次元病理画像の再構成や MR 像との画像融合（A01-2、A03-1 と共同）、異なる染色画像間の変換のための基盤技術を開発した [A01\_Kugler18]。複数のモダリティ画像融合の際に問題となっていた解像度の不整合の問題を数理的に正しく扱う方法を開発した [A01\_Hosoya18]。3 次元の脳の電気特性を世界で初めて解析的かつ安定に解く方法や [A01\_Nara18]、脳の Diffusion MR 像のパラ

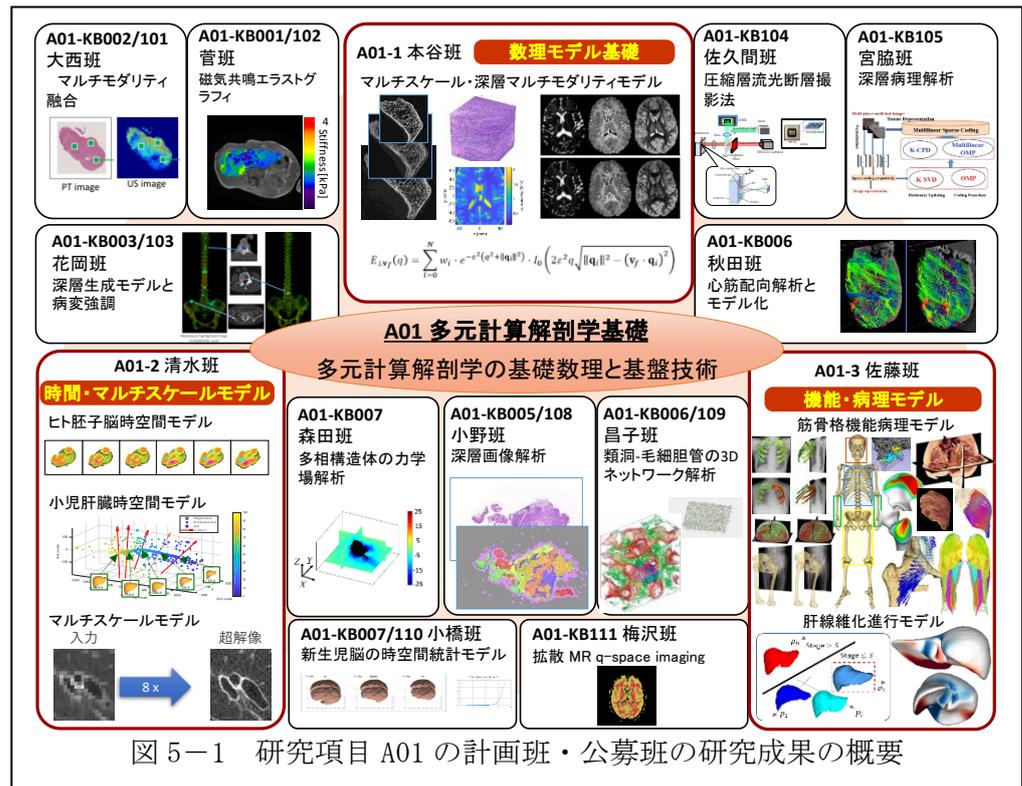


図 5-1 研究項目 A01 の計画班・公募班の研究成果の概要

メータ推定を深層学習を利用して高速かつ正確に行う方法 [A01\_Masutani19] を提案した。将来は、癲癇などの様々な疾患に対して、これらの新技術に基づいた革新的診断法の誕生が期待される。

【A01-2 清水班】器官のトポロジーの変化と、複数器官の間の入れ子や非重複の制約を同時に実現する方法を世界で初めて提案し、ヒト胚子の多元計算解剖モデルの構築に成功した [A01-2\_Saito19] (A01-KB004、A02-KB107、A03-KB009、A03-KB104 と共同)。少数のデータから精度よく統計モデルを構築する方法を開発した (A01-1、A01-KB004、A02-KB107、A03-KB009、A03-KB104 と共同) [A01-2\_Kishimoto17]。モデルと画像認識の同時最適化に世界で初めて成功した [A01\_Saito16]。その他、変化が大きい小児の器官の時空間統計モデルを構築する方法の提案 (米国の病院との国際共同研究)、死後 CT 像からの死因推定支援システムの開発 [A01\_Hirano15] (A03-2 と共同) 以外に、A01-KB003、KB007、KB103、KB010 と共同研究を進めそれぞれ成果を挙げた [A01\_Hanaoka19, 17]。

【A01-3 佐藤班】機能・病理を解剖モデルに統合するため、マイクロ CT、遺体計測、凍結遺体高精細画像、臨床画像、臨床検査データを統合した多元データベースを構築し、筋骨格、腹部を対象として機能・病理モデルを構築した。筋骨格では、骨密度 [A01\_Whitmarsh19]、骨格動態 [A01\_Hiasa19]、筋線維 [A01\_Otake18]、筋付着部 [A01\_Fukuda17]、臥位・立位特性 [A01\_Uemura17] 等の統合モデルを開発した (A02-KB103 と共同)。腹部については、肝線維化進行モデル [A01\_Hori15] を構築した (A01-KB008 と共同)。基盤となる臓器認識法も合わせて開発した [A01\_Okada15]。

公募班 公募班では、計画班がカバーしていない研究テーマとして、シミュレーション、イメージング、モデルに関する研究、具体的には粘弾性画像の高空間分解能化 (A01-KB001/102)、微分方程式に基づく解剖構造生成のシミュレーション (A01-KB006/109)、人工知能や機械学習を用いた画像解析

(A01-KB002/101、005/108、008、105)、新しい数理に基づく多元モデル(A01-KB003/103、004、007/110、104、106、107、111)などの重要な成果を得た。

●研究項目 A02 多元計算解剖モデルを用いた診断・治療支援を目的とし、具体的な臨床課題と結びついた応用システムを開発した。以下では代表的な成果を挙げる。

**計画班**

【A02-1 森班】診断・治療の過程で撮影される多元画像情報を多元計算解剖モデルに基づいて解析し、多元空間をシームレスにナビゲーションすることで診断・治療支援情報を提示する知能化診断治療支援システムの実現を目指し、その基盤となる機械学習技術を用いた解剖構造解析手法[A02\_Roth18-1,2] (A02-3、A01-1 と共同)、内視鏡自動診断システムの実現[A02-Mori18](A03-KB107 と共同)、手術ナビゲーションシステムの実現[A02\_Hayashi17、

A02\_Oda17-1]、メタ解剖構造自動付与手法[A02\_Kitasaka17]などの研究開発を行った。特に、多元スケールシームレスナビゲーションの実現を推進し、胸部リンパ節自動検出手法[A02\_Oda17-2] (A03-KB007/103)、微細構造からマクロスケールまでを対象とする診断治療支援技術の確立のための研究[A02\_Mori16、A02-Oda17] (A03-KB008/106)などの成果を挙げている。

【A02-2 仁木班】多元計算解剖モデルを用いて肺がんを中心に大腸がん、腎がんの本態解明に挑み、高度知能化した腫瘍診断支援システムの研究開発を推進した。大規模なマルチスケール CT 画像・臨床・病理・遺伝子情報データベース(画素サイズ 3 μm~600 μm)を構築した。マイクロからマクロのマルチスケール肺構造と臨床・病理・遺伝子情報を関連付けて肺の成長過程や病態の発症・進展機序を時空間において定量的に捉えて表現する手法の研究を進めた[A02\_Saito19]。特に、血管・リンパ系に焦点を当てた胸腹部臓器構造の精密解析法の開発を進めた。医学系の研究分担者と共同で腫瘍や COPD の病態解析の基礎研究を進めた[A02\_Goto18-1]。呼吸位相の異なる長期経年 CT 画像の肺のレジストレーション法を開発して肺気腫の進展の定量化法へ応用した(A01-1 と共同)[A02\_Suzuki15]。

【A02-3 藤田班】筋機能解析について、CT 画像上の筋骨格認識手法の開発や[A02\_Kamiya18] (A02-KB109 と共同)、超音波画像法による大腿四頭筋の筋量評価モデルを開発した[A02\_Watanabe17]。また、深層学習技術を利用した CT 画像の複数臓器自動抽出法を開発するとともに[A02\_Zhou17]、PET/CT 画像上の胸部結節の自動検出や CT 画像上の鑑別システムの高度化を行った[A02\_Onishi19][A02\_Teramoto16]。さらに、PET 画像の SUV 値の Z-score 解析と解剖学的標準化手法(正常モデル構築)を用いた定量分析[A02\_Takeda17]、がん検診で用いられる体幹部 FDG-PET 画像における糖代謝の標準化手順を明らかにした[A02\_Hara15]。

**公募班** 脳 MRI 画像から年齢を推定する手法(A02-KB001/101)、脳腫瘍手術中の定量的腫瘍イメージング技術の開発(A02-KB002)、胸郭運動ならびに肺機能評価法の開発(A02-KB003/103)、超高分解能光コヒーレンストモグラフィー用広帯域ファイバレーザー光源の開発(A02-KB004/105)、医用画像と電磁界解析の融合による脳刺激支援技術の開発(A02-KB005/106)、乳房 MRI における病変形態と代謝・生理機能の解析(A02-KB006)、剪断波伝搬モデルに基づく定量的組織粘・弾性映像法の開発(A02-KB007/108)、マイクロフォーカス X 線源を利用した X 線暗視野法の開発(A02-KB008)、認知症診断



図 5-2 研究項目 A02 の計画班・公募班の研究成果の概要

のためのAβ、糖代謝、脳形態変化、血中成分の経時変化統合手法の開発（A02-KB009）、深層学習を用いた病変検出（A02-KB102）、ハイパフォーマンスコンピューティング応用（A02-KB-104、A01-1 と共同）、新しい診断・治療支援システム（A02-KB109,110,111）などを推進させた。

●研究項目 A03 開発されたモデルとシステムを、実臨床における診断・治療に応用し、高度知能化手術ロボットへと展開した。

**計画班**

【A03-1 橋爪班】生体医工学的な立場から多元計算解剖モデルを生体シミュレーションに応用する手法を開発した。また、組織診など病理像のミクロな顕微鏡像からマクロな肉眼所見までも時間的、空間的情報とともにデータベースに組み込むことにより、がんの発見や治療に関わる意思決定支援の基盤技術となる細胞レベルの機能解析を行った[A03\_Kbe18], [A03\_Endo17], [A03\_Sada16], [A03\_Zheng15]。また、これまでの基盤技術を

基に、多元計算解剖モデルと内視鏡映像、病理像、解剖所見や各パラメータの経時的な変化等の情報を統合する手術シミュレーション・ナビゲーションプラットフォームの開発を進めた。

【A03-2 木戸班】びまん性肺疾患の陰影分類や領域抽出に関する CAD アルゴリズム[A03\_Atsumo19] [A03\_Mabu16] [A03\_Zhao15]、経時差分画像を用いた結節性病変の検出や結節のすりガラス陰影領域抽出などの肺病変に関する深層学習を用いた高精度な CAD アルゴリズム [A03\_Yoshino17] [A03\_Yokota16]の開発を行った。また、A01-2 と共同で Ai 画像を用いた臓器テクスチャ情報に基づく死後経過時間の推定を行い、A01-3 と共同で剖検臓器に対する三次元スキャナによる表面構造のデジタル画像取得や CT 画像と融合したデジタル剖検肺モデルの作成を行った [A03\_平野 15]

【A03-3 小林班】腹腔鏡下手術支援システムでは、多元計算解剖情報と術中生体情報との統合を目的とし、内視鏡画像による術具・患部位置計測機能に基づく手術ナビゲーションシステムを実現した（A03-1 と共同） [A03\_Ma18] [A03\_Wang15-2]。膵臓がん治療に対して、膵臓ステープラーによる圧縮時の蛍光計測と反力計測および病理学的評価を組み合わせ、多元的な臓器性状に基づく力コントロールデバイスの開発を行った（A03-2 と共同）。口腔外科手術支援システムにおいては、安全で正確な治療を実現するための顔面神経等の位置を考慮した新たな安全機構を有する手術ナビゲーション・ロボットシステムを開発し基本的性能評価を行った(A01-3、A03-KB004 と共同)[A03\_Ma19] [A03\_Wang17]。

**公募班** 多元計算解剖モデルを臨床および生体医工学へ展開するための臨床的研究や、画像情報と機能情報との多角的解析、新しい治療支援システムの開発等を行った。具体的には、多元計算解剖モデルを利用した実際の手術に有用な手術シミュレーション、ナビゲーションシステムの提案（A03-KB002、004、010、013/108、102、105、108）、多元計算解剖学的アプローチによる病態の発生メカニズムに関する基礎的検討（A03-KB001、006、012、014）、多元計算解剖学の診断への応用（A03-KB003/101、007/103、008、011、012、106、107、109）、教育への応用（A03-KB009）、発生学への応用（A03-KB104、A01-2 と共同）についての重要な成果を得た。

The figure is a grid of research project summaries for A03, organized into three main columns. A central blue oval highlights the theme: 'A03 臨床・医工学展開 多元計算解剖モデルを用いた 診断・治療・医工学支援'. Each cell contains a project ID, name, and a brief description of the research, often accompanied by a small image or diagram.

- Column 1 (Left):**
  - A03-KB001 新妻班: 脳動脈瘤の発生に関する多元計算解剖学
  - A03-KB002 大城班: 膵臓手術シミュレーション
  - A03-KB006 工藤班: 肝細胞機能の多次元計算解析
  - A03-KB014 原口班: 先天性心疾患計算解剖モデルの構築
  - A03-KB003/KB101 山口班: 総合生体物性モデルの構築
  - A03-2 木戸班 (臨床展開-診断): びまん性疾患に対するCAD開発, 3Dスキャナを用いた剖検標本の表面構造デジタルデータ取得
- Column 2 (Center):**
  - A03-1 橋爪班 (臨床展開-治療): 多元計算解剖モデル創出のためのデータベース構築, 治療シミュレーション・ナビゲーションシステムの臨床展開
  - A03-KB102 西川班: デプス画像によるロボット制御
  - A03-KB007/KB103 岩野班: 肺疾患のコンピュータ診断支援
  - A03-KB009/KB104 山田班: 発生学および進化の解析
  - A03-KB105 陳班: 時間軸と生体力学機能軸を統合した肺がん予測
- Column 3 (Right):**
  - A03-KB106 東藤班: 個体損傷力学との融合による骨強度予測法
  - A03-KB107 森班: AIによる内視鏡診断支援
  - A03-KB013/KB108 田村班: 脳機能データベースおよび標準脳
  - A03-KB109 木下班: 人工知能による画像-分子遺伝学診断技術
  - A03-3 小林班 (医工学展開): 術具・患部位置計測機能, 臓器損傷を防ぐ力制御デバイス, 口腔外科手術支援用ロボットシステム

図 5-3 研究項目 A03 の計画班・公募班の研究成果の概要

## 6. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）（5ページ以内）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果の公表の状況（主な論文、書籍、ホームページ、主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。記述に当たっては、**本研究課題により得られたものに厳に限る**こととします。

- 論文の場合、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に記載し、研究代表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付し、corresponding author には左に\*印を付してください。
- 別添の「(2) 発表論文」の融合研究論文として整理した論文については、冒頭に◎を付してください。
- 補助条件に定められたとおり、本研究課題に係り交付を受けて行った研究の成果であることを表示したもの（論文等の場合は謝辞に課題番号を含め記載したもの）について記載したもののについては、冒頭に▲を付してください（前項と重複する場合は、「◎▲・・・」と記載してください）。
- 一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。

### 1. 主な論文

研究項目 A01 多元計算解剖学の基礎数理と基盤技術

A01-1 (計画・本谷) 計 106 件 (査読有 96 件、査読無 10 件)

- [A01\_Masutani19] Masutani Y, Noise Level Matching Improves Robustness of Diffusion MRI Parameter, Inference by Synthetic Q-Space Learning, IEEE 16th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI), Apr. 2019, 査読有
- [A01\_Yokota19] \*Tatsuya Yokota, Hidekata Hontani, Simultaneous Tensor Completion and Denoising by Noise Inequality Constrained Convex Optimization. IEEE Access 7: 15669-15682 (2019), DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2894622, 査読有
- [A01\_Yokota18] ◎▲\*Tatsuya Yokota, Burak Erem, Seyhmus Güler, Simon K. Warfield, Hidekata Hontani: Missing Slice Recovery for Tensors Using a Low-Rank Model in Embedded Space. CVPR 2018: 8251-8259, DOI: 10.1109/CVPR.2018.00861, 査読有
- [A01\_Kugler18] ◎▲\*Mauricio Kugler, Yushi Goto, Naoki Kawamura, Hirokazu Kobayashi, Tatsuya Yokota, Chika Iwamoto, Kenoki Ohuchida, Makoto Hashizume, Hidekata Hontani: Accurate 3D Reconstruction of a Whole Pancreatic Cancer Tumor from Pathology Images with Different Stains. COMPAY/OMIA@MICCAI 2018: 35-43, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00949-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00949-6_5), 査読有
- [A01\_Hosoya18] \*Kento Hosoya, Ryo Sasaki, Kaori Tanji, Hayato Itoh, Atsushi Imiya, Variational Method for Multiresolution Image Registration, Volume 310: Applications of Intelligent Systems, 157-168, 2018, DOI: 10.3233/978-1-61499-929-4-157, 査読有
- [A01\_Hanaoka17] ◎\*Hanaoka S, Shimizu A, Nemoto M, Nomura Y, Miki S, Yoshikawa T, Hayashi N, Ohtomo K, Masutani Y, Automatic detection of over 100 anatomical landmarks in medical CT images: A framework with independent detectors and combinatorial optimization, Med Image Anal. 2017 Jan;35:192-214, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.media.2016.04.001>, 査読有
- [A01\_Yokota17] \*Tatsuya Yokota, Hidekata Hontani: Simultaneous Visual Data Completion and Denoising Based on Tensor Rank and Total Variation Minimization and Its Primal-Dual Splitting Algorithm. CVPR 2017: 3843-3851, DOI: 10.1109/CVPR.2017.409, 査読有
- [A01\_Llado15] \*Xavier Lladó, Atsushi Imiya, David Mason, Constantino Carlos Reyes-Aldasoro, Kazuaki Aoki, Mineichi Kudo, Yu-Jin Zhang, Vasileios Argyriou: Corrigendum to 'Homage to Professor Maria Petrou' Pattern Recognition Letters, 54, 109, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2015.01.006>, 査読有
- [A01\_Hirano15] \*Yuta Hirano, Atsushi Imiya, Scale-Space Clustering on a Unit Hypersphere, CAIP(1), 2015, 186-197, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23192-1\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23192-1_16), 査読有
- [A01\_Nara18] \*T. Nara, M. Fushimi and K. Ariga, "A Series Expansion Method for Reconstruction of the Admittivity Around the Zero Point of the Electric Field in Magnetic Resonance Electrical Property Tomography (I)," SICE Annual Conference 2018, FrA03.3, Nara, Japan, 2018.9.14, 査読有
- [A01\_Kume18] ▲\*Kume, A. and Sei, T., On the exact maximum likelihood inference of Fisher-Bingham distributions using an adjusted holonomic gradient method, Statistics and Computing, Vol. 28, No. 4, 2018, 835-847. (doi:10.1007/s11222-017-9765-3), 査読有
- [A01\_Kitamura16] ▲\*Yoshiro Kitamura, Yuanzhong Li, Wataru Ito, and Hiroshi Ishikawa, "Data-Dependent Higher-Order Clique Selection for Artery-Vein Segmentation by Energy Minimization", International Journal of Computer Vision, vol 117, Issue 2, pp. 142-158, 2016. DOI: 10.1007/s11263-015-0856-3, 査読有

A01-2 (計画・清水) 計 25 件 (査読有 22 件、査読無 3 件)

- [A01\_Saito19] ◎\*Atsushi Saito, Masaki Tsujikawa, Tetsuya Takakuwa, Shigehito Yamada, Akinobu Shimizu: Level set distribution model of nested structures using logarithmic transformation, Medical Image Analysis, 2019 (accepted), 査読有 [IF5.356]
- [A01\_Hanaoka19] ◎\*S. Hanaoka, Y. Nomura, T. Takenaga, M. Murata, T. Nakao, S. Miki, T. Yoshikawa, N. Hayashi, O/Abe, A. Shimizu: HoTPiG: a novel graph-based 3-D image feature set and its applications to computer-assisted detection of cerebral aneurysms and lung nodules, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 2019, <https://doi.org/10.1007/s11548-019-01942-0>, 査読有
- [A01\_Kishimoto17] ◎▲\*M.Kishimoto, A. Saito, T.Takakuwa, S. Yamada, H.Matsuzoe, H. Hontani, A.Shimizu, "A Spatiotemporal Statistical Model for Eyeballs of Human Embryos," IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, Vol.E100-D, No.7, pp.1505-1515, 2017, <https://doi.org/10.1587/transinf.2016EDP7493>, 査読有
- [A01\_Saito16] ◎\*A.Saito, S. Nawano and A.Shimizu "Joint optimization of segmentation and shape prior from level-set-based statistical shape model, and its application to the automated segmentation of abdominal organs," Medical Image Analysis, Vol.28, pp.46-65, 2016, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.media.2015.11.003>, 査読有 [IF5.356]
- [A01\_Hasegawa16] ◎\*I. Hasegawa, A.Shimizu, A.Saito, H. Suzuki, H. Vogel, K. Püschel, A. Heinemann: Evaluation of post-mortem lateral cerebral ventricle changes using sequential scans during post-mortem computed tomography, International Journal of Legal Medicine, Vol. 130, issue 5, pp.1-6, 2016, doi:10.1007/s00414-016-1327-2, 査読有

A01-3 (計画・佐藤) 計 27 件 (査読有 26 件、査読無 1 件)

- [A01\_Hiasa19] ◎▲\*Y. Hiasa, Y. Otake, R. Tanaka, S. Sanada, Y. Sato. Recovery of 3D rib motion from dynamic chest radiography and CT data using local contrast normalization and articular motion model. Medical Image Analysis, 2019 Jan 1;51:144-56. doi: 10.1016/j.media.2018.10.002, 査読有 [IF5.356]
- [A01\_Whitmarsh19] ◎▲\*Whitmarsh T, Otake Y, Uemura K, Takao M, Sugano N, Sato Y. A cross-sectional study on the age-related cortical and trabecular bone changes at the femoral head in elderly female hip fracture patients. Scientific Reports, 2019 Jan 22;9(1):305. doi.org/10.1038/s41598-018-36299-y, 査読有 [IF4.122]
- [A01\_Otake18] ◎▲\*Otake Y, Takao M, Fukuda N, Takagi S, Yamamura N, Sugano N, Sato Y. Registration-Based Patient-Specific Musculoskeletal Modeling Using High Fidelity Cadaveric Template Model. In International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention 2018 Sep 16 (pp. 703-710). Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-00928-1\_79, 査読有
- [A01\_Uemura17] ◎▲\*K. Uemura, M. Takao, Y. Otake, K. Koyama, F. Yokota, H. Hamada, T. Sakai, Y. Sato, \*N. Sugano. Change in pelvic sagittal inclination from supine to standing position before hip arthroplasty. The Journal of arthroplasty. 2017 Aug 1;32(8):2568-73. doi: 10.1016/j.arth.2017.03.015, 査読有
- [A01\_Fatemeh17] ◎▲\*F. Abdolali, R.Zoroofi, M. Abdolali, F. Yokota, Y. Otake, Y. Sato, Automatic segmentation of mandibular canal in cone beam CT images using conditional statistical shape model and fast marching. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. 2017 Apr 1;12(4):581-93. doi: 10.1007/s11548-016-1484-2, 査読有
- [A01\_Fukuda17] ◎▲\*N. Fukuda, Y. Otake, M. Takao, F. Yokota, T. Ogawa, K. Uemura, R. Nakaya, K. Tamura, R. Grupp, A. Farvardin, M.

Armand, N. Sugano, Y. Sato. Estimation of attachment regions of hip muscles in CT image using muscle attachment probabilistic atlas constructed from measurements in eight cadavers. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. 2017 May 1;12(5):733-42. doi: 10.1007/s11548-016-1519-8, 査読有

- [A01\_Okada15] ©▲ T. Okada, M. Linguraru, M. Hori, R. Summers, N. Tomiyama, \*Y. Sato. Abdominal multi-organ segmentation from CT images using conditional shape-location and unsupervised intensity priors. Medical image analysis. 2015 Dec 1;26(1):1-8. doi: 10.1016/j.media.2015.06.009, 査読有 【IF5.356】
- [A01\_Hori15] ©▲ \*M. Hori, T. Okada, K. Higashiura, Y. Sato, Y. Chen, T. Kim, H. Onishi, H. Eguchi, H. Nagano, K. Umeshita, K. Wakasa, N. Tomiyama. Quantification of liver shape on CT using the statistical shape model to evaluate hepatic fibrosis. Academic radiology. 2015 Mar 1;22(3):303-9. doi: 10.1016/j.acra.2014.10.001, 査読有
- A01-KB008 (公募・陳)** 計 8 件 (査読有 7 件、査読無 1 件)
- [A01\_Foruzan16] © \* A.H. Foruzan and Y.-W. Chen, "Improved segmentation of low-contrast lesions using sigmoid edge model," Int. J. CARS, Vol.11, pp.1267-1283 (2016.7), 国際連携あり DOI: 10.1007/s11548-015-1323-x, 査読有 【IF:1.8】
- A01-KB108 (公募・小野)** 計 1 件 (査読有 1 件、査読無 0 件)
- [A01\_Ono18] ©V. A. Antonio, \*N. Ono, A. Saito, T. Sato, Md. Altaf-Ul-Amin, S. Kanaka. "Classification of lung adenocarcinoma transcriptome subtypes from pathological images using deep convolutional networks," International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol. 13, No. 12, pp. 1905-1913, doi.org/10.1007/s11548-018-1835-2, 2018, 査読有

## 研究項目 A02 多元計算解剖学の応用システム

**A02-1 (計画・森)** 計 117 件 (査読有 56 件、査読無 61 件)

- [A02\_Maeda19] © \* Y. Maeda, S. Kudo, Y. Mori, M. Misawa, N. Ogata, S. Sasanuma, K. Wakamura, M. Oda, K. Mori, K. Ohtsuka, "Fully automated diagnostic system with artificial intelligence using endocytoscopy to identify the presence of histologic inflammation associated with ulcerative colitis (with video)," Gastrointestinal endoscopy, Vol.89, No.2, pp.408-415, (2019/02) (First online: 27 September 2018) , doi: 10.1016/j.gie.2018.09.024, 査読有 【IF 7.204】
- [A02\_Ichimasa18] © \* K. Ichimasa, S. Kudo, Y. Mori, M. Misawa, S. Matsudaira, Y. Kouyama, T. Baba, E. Hidaka, K. Wakamura, T. Hayashi, T. Kudo, T. Ishigaki, Y. Yagawa, H. Nakamura, K. Takeda, A. Haji, S. Hamatani, K. Mori, F. Ishida, H. Miyachi, "Correction: Artificial intelligence may help in predicting the need for additional surgery after endoscopic resection of T1 colorectal cancer," Endoscopy, Vol.50, No.3, C2, (2018/03) doi: 10.1055/s-0044-100290, 査読有 【IF 6.629】
- [A02\_Ichimasa18] © \* Ichimasa K, Kudo SE, Mori Y, Misawa M, Matsudaira S, Kouyama Y, Baba T, Hidaka E, Wakamura K, Hayashi T, Kudo T, Ishigaki T, Yagawa Y, Nakamura H, Takeda K, Haji A, Hamatani S, Mori K, Ishida F, Miyachi H. "Artificial intelligence may help in predicting the need for additional surgery after endoscopic resection of T1 colorectal cancer," Endoscopy, Vol.50, No.3, pp.230-240 (2018/03) (First online : Dec 22, 2017), doi: 10.1055/s-0043-122385, 査読有 【IF 6.629】
- [A02\_Mori18] © \* Y. Mori, S. Kudo, M. Misawa, Y. Saito, H. Ikematsu, K. Hotta, K. Ohtsuka, F. Urushibara, S. Kataoka, Y. Ogawa, Y. Maeda, K. Takeda, H. Nakamura, K. Ichimasa, T. Kudo, T. Hayashi, K. Wakamura, F. Ishida, H. Inoue, H. Itoh, M. Oda, K. Mori. "Real-Time Use of Artificial Intelligence in Identification of Diminutive Polyps During Colonoscopy: A Prospective Study," Annals of Internal Medicine, Vol.169, No.6, pp.357-366, (2018/09/18) (First online: 14 August 2018) (doi: 10.7326/M18-0249), 査読有 【IF 19.384】
- [A02\_Chen18] ©▲ \* L. Chen, P. Bentley, K. Mori, K. Misawa, M. Fujiwara, D. Rueckert "DRINet for Medical Image Segmentation," IEEE Transaction on Medical Imaging, Vol.37, No.11, pp.2453-2462, (2018/10/18) (First online: 10 May 2018) (doi: 10.1109/TMI.2018.2835303), 査読有
- [A02\_Misawa18] © \* M. Misawa, S. Kudo, Y. Mori, T. Cho, S. Kataoka, A. Yamauchi, Y. Ogawa, Y. Maeda, K. Takeda, K. Ichimasa, H. Nakamura, Y. Yagawa, N. Toyoshima, N. Ogata, T. Kudo, T. Hisayuki, T. Hayashi, K. Wakamura, T. Baba, F. Ishida, H. Ito, R. Holger, K. Mori, "Artificial Intelligence-Assisted Polyp Detection for Colonoscopy: Initial Experience," Gastroenterology, Vol.154, No.8, pp.2027-2029, (2018/06) (First online: 11 April 2018) (doi: 10.1053/j.gastro.2018.04.003), 査読有 【IF 20.773】
- [A02\_Roth18-1] ©▲ \* H. R. Roth, H. Oda, X. Zhou, N. Shimizu, Y. Yang, Y. Hayashi, M. Oda, M. Fujiwara, K. Misawa, K. Mori, "An application of cascaded 3D fully convolutional networks for medical image segmentation," Computerized Medical Imaging and Graphics, vol.66, pp.90-99 (2018/06) (First online: 16 March 2018) (doi: 10.1016/j.compmedimag.2018.03.001)
- [A02\_Roth18-2] ©▲ \* H. Roth, C. Shen, H. Oda, T. Sugino, M. Oda, Y. Hayashi, K. Misawa, K. Mori, "A Multi-scale Pyramid of 3D Fully Convolutional Networks for Abdominal Multiorgan Segmentation," MICCAI 2018, LNCS 11073, pp.417-425, Granada conference centre, Granada, Spain, (conference: 2018/09/16-20), 査読有
- [A02\_Takeda17] © \* K. Takeda, S. Kudo, Y. Mori, M. Misawa, T. Kudo, K. Wakamura, A. Katagiri, T. Baba, E. Hidaka, F. Ishida, H. Inoue, M. Oda, K. Mori, "Accuracy of diagnosing invasive colorectal cancer using computer-aided endocytoscopy," Endoscopy 2017, Vol.49, No.8, pp.798-802, (2017/08) (First online: 04 May 2017) (doi:10.1055/s-0043-105486), 査読有 【IF 6.629】
- [A02\_Oda17-1] ©▲ \* M. Oda, H. Kondo, T. Kitasaka, K. Furukawa, R. Miyahara, Y. Hirooka, H. Goto, N. Navab, K. Mori, "Robust colonoscope tracking method for colon deformations utilizing coarse-to-fine correspondence findings," International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol.12, No. 1, pp.39-50, (2017/01) (First Online: 18 July 2016) (doi:10.1007/s11548-016-1456-6), 査読有
- [A02\_Karasawa17] ©▲ \* K. Karasawa, M. Oda, T. Kitasaka, K. Misawa, M. Fujiwara, C. Chu, G. Zheng, D. Rueckert, K. Mori, "Multi-atlas pancreas segmentation: Atlas selection based on vessel structure," Medical Image Analysis, Vol.39, pp. 18-28, (2017/07) (First Online: 31 March 2017) (doi:10.1016/j.media.2017.03.006), 査読有 【IF5.356】
- [A02\_Kitasaka17] © \* T. Kitasaka, M. Kagajo, Y. Nimura, Y. Hayashi, M. Oda, K. Misawa, K. Mori, "Automatic anatomical labeling of arteries and veins using conditional random fields," International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol.12, No.6, pp.1041-1048, (2017/06) (First Online: 08 March 2017) (doi:10.1007/s11548-017-1549-x), 査読有
- [A02\_Hayashi17] © \* Y. Hayashi, K. Misawa, K. Mori, "Optimal port placement planning method for laparoscopic gastrectomy," International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol.12, No.10, pp.1677-1684, (2017/10) (First Online: 07 March 2017) (doi: 10.1007/s11548-017-1548-y), 査読有
- [A02\_Oda17-2] ©▲ \* M. Oda, N. Shimizu, H. R. Roth, K. Karasawa, T. Kitasaka, K. Misawa, M. Fujiwara, D. Rueckert, K. Mori, "3D FCN Feature Driven Regression Forest-Based Pancreas Localization and Segmentation," MICCAI 2017, 3rd Workshop on Deep Learning in Medical Image Analysis, LNCS 10553, pp.222-230, September 14 2017, 20th International Conference, Quebec, Canada (2017/09), 査読有
- [A02\_Wang17] ©▲ \* C. Wang, M. Oda, Y. Hayashi, K. Misawa, H. Roth, K. Mori, "Motion Vector for Outlier Elimination in Feature Matching and Its Application in SLAM Based Laparoscopic Tracking," MICCAI 2017, Computer Assisted and Robotic Endoscopy and Clinical Image-Based Procedures, LNCS 10550, pp.60-69, September 14 2017, 20th International Conference, Quebec, Canada (2017/09), 査読有
- [A02\_Meng17] ©▲ \* Q. Meng, H. Roth, T. Kitasaka, M. Oda, J. Ueno, K. Mori, "Tracking and Segmentation of the Airways in Chest CT Using a Fully Convolutional Network," MICCAI 2017, LNCS 10434, pp.198-207, September 11-13 2017, 20th International Conference, Quebec, Canada (2017/09), 査読有
- [A02\_Oda17] ©▲ \* H. Oda, H. Roth, K. K. Bhatia, M. Oda, T. Kitasaka, T. Akita, J. Schnabel, K. Mori, "TBS: Tensor-Based Supervoxels for Unfolding the Heart," MICCAI 2017, LNCS 10433, pp.681-689, September 11-13 2017, 20th International Conference, Quebec, Canada (2017/09), 査読有
- [A02\_Mori16] © \* Y. Mori, S. Kudo, P. Wai, Y. Chiu, R. Singh, M. Misawa, K. Wakamura, T. Kudo, T. Hayashi, A. Katagiri, H. Miyachi, F. Ishida, Y. Maeda, H. Inoue, Y. Nimura, M. Oda, K. Mori, "Impact of an automated system for endocytoscopic diagnosis of small colorectal lesions: an international web-based study," Endoscopy 2016, Vol.48, No.12, pp. 1110-1118, (2016/08) (doi:10.1055/s-0042-113609), 査読有 【IF 6.629】
- [A02\_Kanavati16] © \* F. Kanavati, T. Tong, K. Misawa, M. Fujiwara, K. Mori, D. Rueckert, B. Glocker, "Supervoxel classification forests for estimating pairwise image correspondences," Pattern Recognition, Vol.63, pp.561-569, (2017/03) (First Online: 22 September 2016) (doi:10.1016/j.patcog.2016.09.026), 査読有
- [A02\_Misawa16] © \* M. Misawa, S. Kudo, Y. Mori, H. Nakamura, S. Kataoka, Y. Maeda, T. Kudo, T. Hayashi, K. Wakamura, H. Miyachi, A. Katagiri, T. Baba, F. Ishida, H. Inoue, Y. Nimura, K. Mori, "Characterization of Colorectal Lesions Using a Computer-Aided Diagnostic System for Narrow-Band Imaging Endocytoscopy," Gastroenterology, Vol.150, Issue 7, pp.1531-1532.e3, (2016/06) (First Online: 09 April 2016) (doi:10.1053/j.gastro.2016.04.004), 査読有 【IF 20.773】

- [A02\_Mori16] © ▲ \* K. Mori, "From macro-scale to micro-scale computational anatomy: perspective of the next 20 years," *Medical Image Analysis*, Vol.33, pp.159-164, (2016/10) (First Online: 30 June 2016) (doi:10.1016/j.media.2016.06.034), 査読有【IF5.356】
- [A02\_Hayashi16] © ▲ \* Y. Hayashi, K. Misawa, D. Hawkes, K. Mori, "Progressive internal landmark registration for surgical navigation in laparoscopic gastrectomy for gastric cancer," *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, Vol.11, No.5, pp.837-845, (2016/05) (First Online: 25 January 2016) (doi:10.1007/s11548-015-1346-3), 査読有
- [A02\_Hayashi16] © \* Y. Hayashi, K. Misawa, M. Oda, D. Hawkes, K.Mori, "Clinical application of a surgical navigation system based on virtual laparoscopy in laparoscopic gastrectomy for gastric cancer," *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, Vol.11, No.5, pp.827-836, (2016/05) (First Online: 01 October 2015) (doi:10.1007/s11548-015-1293-z), 査読有
- [A02\_Wang16] © ▲ \* C. Wang, M.Oda, Y. Hayashi, Y.Yoshino, T.Yamamoto, A. Frangi, and K.Mori, "Tensor-Based Graph-Cut in Riemannian Metric Space and Its Application to Renal Artery Segmentation," *MICCAI 2016, LNCS 9902*, pp.353-361, 10/18 (October 17-21 2016, Intercontinental Atheneum, Greece, ATHENS (2016/10)), 査読有
- [A02\_Oda16] © ▲ \* M.Oda, N. Shimizu, K. Karasawa, Y. Nimura, T. Kitasaka, K. Misawa, M. Fujiwara, D. Rueckert, and K. Mori, "Regression Forest-Based Atlas Localization and Direction Specific Atlas Generation for Pancreas Segmentation," *MICCAI 2016, LNCS 9901*, pp.556-563, 10/20 (October 17-21 2016, Intercontinental Atheneum, Greece, ATHENS (2016/10)), 査読有
- [A02\_Matsuzaki15] © ▲ \* T. Matsuzaki, M. Oda, T.Kitasaka, Y.Hayashi, K. Misawa, K.Mori, "Automated anatomical labeling of abdominal arteries and hepatic portal system extracted from abdominal CT volumes," *Medical Image Analysis*, Vol.20, No.1, pp.152-161, (2015/02) (First online: 15 November 2014) (doi:10.1016/j.media.2014.11.002), 査読有【IF5.356】
- [A02\_Luo15] © \* X. Luo, Y. Wan, X. He, and K. Mori, "Observation-driven adaptive differential evolution and its application to accurate and smooth bronchoscope three-dimensional motion tracking," *Medical Image Analysis*, 24(1), pp. 282-296, (2015/08) (First Online: 17 January 2015) (doi:10.1016/j.media.2015.01.002.), 査読有【IF5.356】
- [A02\_Tong15] © \* T. Tong, R. Wolz, Ze. Wang, Q. Gao, K. Misawa, M. Fujiwara, K. Mori, J. Hajnal, and D.Rueckert, "Discriminative Dictionary Learning for Abdominal Multi-Organ Segmentation," *Medical Image Analysis*, 23(1), pp.92-104, (2015/07) (First Online: 05 May 2015) (doi:10.1016/j.media.2015.04.015), 査読有【IF5.356】
- [A02\_Kanavati15] \* F.Kanavati, T.Tong, K. Misawa, M. Fujiwara, K. Mori, D.Rueckert, and B. Glocker, "Supervoxel Classification Forests for Estimating Pairwise Image Correspondences Machine Learning in Medical Imaging," *LNCS 9352*, pp.94-101, *MICCAI 2015, 10/5*(October 5th to 9th, 2015 in Munich, Germany, Philharmonic Hall (Gasteig) Munich) (2015/10), 査読有
- [A02\_Karasawa15] \* K. Karasawa, M. Oda, K.Mori, and T. Kitasaka, "Structure specific atlas generation and its application to pancreas segmentation from contrasted abdominal CT volumes," *MICCAI 2015 Workshop on Medical Computer Vision: Algorithms for Big Data*, 10/9 (October 5th to 9th, 2015 in Munich, Germany, Philharmonic Hall (Gasteig, Munich) (2015/10), 査読有
- [A02\_Luo14] © \* X. Luo, K. Mori, "Real-time bronchoscope three-dimensional motion estimation using multiple sensor-driven alignment of CT images and electromagneticmeasurements," *Computerized Medical Imaging and Graphics*, VOL.38, NO.6, pp.540-548, (2014/09) (First Online: 23 June 2014) (doi:10.1016/j.compmedimag.2014.06.013), 査読有
- [A02\_Luo14] \* X. Luo, U. Jayarathne, A. Jonathan McLeod and K.Mori, "Enhanced Differential Evolution to Combine Optical Mouse Sensor with Image Structural Patches for Robust Endoscopic Navigation," *MICCAI 2014, Part II, LNCS 8674*, pp. 340-348, 9/16 (Massachusetts Institute of Technology, MA, USA, September 14-18, 2014) (2014/09), 査読有
- [A02\_Wang14] \* Z. Wang, K. Bhatia, B. Glocker, A. Marvao, T. Dawes, K. Misawa, K. Mori, and D. Rueckert, "Geodesic Patch-based Segmentation," *MICCAI 2014, Part I, LNCS 8673*, pp. 666-673, 9/15 (Massachusetts Institute of Technology, MA, USA, September 14-18, 2014) (2014/09), 査読有
- [A02\_Oda14] \* M. Oda, T. Kitasaka, K. Furukawa, O. Watanabe, T. Ando, Y. Hirooka, H. Goto, and K. Mori, "Automated method for reconstructing fragmented luminal regions of intestine," *Proceedings of MICCAI 2014 Workshop on Abdominal Imaging: Computational and Clinical Applications, LNCS 8676, 9/14* (Massachusetts Institute of Technology, MA, USA, September 14-18, 2014) (2014/09), 査読有
- A02-2 (計画・仁木)** 計 66 件 (査読有 64 件、査読無 2 件)
- [A02\_Saito19] K. Saito, S. Ohnishi, S. Fuketa, Y. Kawata, N. Niki, K. Umetani, H. Sakai, Y. Nakano, T. Okamoto, H. Itoh, "Pulmonary blood vessels extraction from dual-energy CT images using a synchrotron radiation micro-CT," *Proc.SPIE Medical Imaging*, Vol.10953, pp.109530G, 2019, 査読有
- [A02\_Goto18-1] Kenichi Goto, Emiko Ogawa, Kaoruko Shimizu, Hironi Makita, Hidenobu Suzuki, Yoshiki Kawata, Noboru Niki, Masaharu Nishimura and Yasutaka Nakano, "Relationship of annual change in bone mineral density with extent of emphysematous lesions and pulmonary function in patients with COPD," *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, Vol.13, 639-644, 2018, 査読有
- [A02\_Imura17] S.Imura, S.Yamada, Y.U.Saito, S.Iwahashi, Y.Arakawa, T.Ikemoto, Y.Morine, T.Utsunomiya, M.Shimada, "MiR-223 and stathmin-1 expression in non-tumor liver tissue of patients with hepatocellular carcinoma," *Anticancer Research*, Vol.37, pp.5877-5883, 2017, 査読有
- [A02\_Saruwatari16] K.Saruwatari, S.Ikemura, K.Sekihara, T.Kuwata, S.Fujii, S.Umemura, K.Kirita, S.Matsumoto, K.Yoh, S.Niho, H.Ohmatsu, A.Ochiai, H.Kohrog, M.Tsuboi, K.Goto, G.Ishii, "Aggressive tumor microenvironment of solid predominant lung adenocarcinoma subtype harboring with epidermal growth factor receptor mutations," *Lung Cancer*, Vol.91, pp.7-14, 2016, 査読有
- [A02\_Morine15] Y.Morine, M.Shimada, "The value of systematic lymph node dissection for intrahepatic cholangiocarcinoma from the viewpoint of liver lymphatics," *Journal of gastroenterology*, Vol.50, pp.913-927, 2015, 査読有【IF 20.773】
- [A02\_Suzuki15] ▲ Hidenobu Suzuki, Ryuji Mizuguchi, Mikio Matsuhiro, Yoshiki Kawata, Noboru Niki, Yasutaka Nakano, Hironobu Ohmatsu, Masahiko Kusumoto, Takaaki Tsuchida, Kenji Eguchi, Masahiro Kaneko and Noriyuki Moriyama, "Quantitative assessment of smoking-induced emphysema progression in longitudinal CT screening for lung cancer," *Proceedings of SPIE*, 査読有, Vol.9414, pp.94142O-1-6, 2015.
- [A02\_Zhu14] Zhu, T. Utsunomiya, T. Ikemoto, S. Yamada, Y. Morine, S. Imura, Y. Arakawa, C. Takasu, D. Ishikawa, I. Imoto, M. Shimada, "Hypomethylation of long interspersed nuclear element-1 (LINE-1) is associated with poor prognosis via inactivation of c-MET in hepatocellular carcinoma," *Ann Surg Oncol*, Vol. 21, pp.729-735, 2014, 査読有
- A02-3 (計画・藤田)** 計 111 件 (査読有 59 件、査読無 52 件)
- [A02\_Onishi 19] © ▲ Y. Onishi, \* A. Teramoto, M. Tsujimoto, K. Saito, H. Toyama, K. Imaizumi, and H. Fujita, "Automated pulmonary nodule classification in computed tomography images using a deep convolutional neural network trained by generative adversarial networks," *BioMed Research International*, Vol.2019, Article ID 6051939, 9 pages, doi:10.1155/2019/6051939, 2019, 査読有
- [A02\_Kamiya 18] ▲ \* N. Kamiya, J. Li, M. Kume, H. Fujita, D. Shen, and G. Zheng, "Fully automatic segmentation of paraspinal muscles from 3D torso CT images via multi-scale iterative random forest classifications," *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, Vol.13, No.11, pp.1697-1706, doi:10.1007/s11548-018-1852-1, 2018, 査読有
- [A02\_Zhou 17] ▲ \* X. Zhou, R. Takayama, S. Wang, T. Hara, and H. Fujita, "Deep learning of the sectional appearances of 3D CT images for anatomical structure segmentation based on an FCN voting method," *Medical Physics*, Vol.44, No.10, pp.5221-5233, doi:10.1002/mp.12480, 2017, 査読有
- [A02\_Takeda17] © ▲ K. Takeda, \* T. Hara, X. Zhou, T. Katafuchi, M. Kato, S. Ito, K. Ishihara, S. Kumita, and H. Fujita, "Normal model construction for statistical image analysis of torso FDG-PET images based on anatomical standardization by CT images from FDG-PET/CT devices," *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, Vol.12, No.5, pp.777-787, doi:10.1007/s11548-017-1526-4, 2017, 査読有
- [A02\_Watanabe17] © ▲ \* T. Watanabe, H. Murakami, D. Fukuoka, N. Terabayashi, S. Shin, T. Yabumoto, H. Ito, H. Fujita, T. Matsuoka, and M. Seishima, "Quantitative sonographic assessment of the quadriceps femoris muscle in healthy Japanese adults," *Journal of Ultrasound in Medicine*, Vol.36, No.7, pp.1383-1395, doi:10.7863/ultra.16.07054, 2017, 査読有
- [A02\_Teramoto16] © ▲ \* A. Teramoto, H. Fujita, O. Yamamoto, and T. Tamaki, "Automated detection of pulmonary nodules in PET/CT images: Ensemble false-positive reduction using a convolutional neural network technique," *Medical Physics*, Vol.43, No.6, pp.2821-2827, doi:10.1118/1.4948498, 2016, 査読有
- [A02\_Muramatsu16] © ▲ \* C. Muramatsu, K. Horiba, T. Hayashi, T. Fukui, T. Hara, A. Katsumata, and H. Fujita, "Quantitative assessment of mandibular cortical erosion on dental panoramic radiographs for screening osteoporosis," *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, Vol.11, pp.2021-2031, doi:10.1007/s11548-016-1438-8, 2016, 査読有
- [A02\_Hara15] © ▲ \* T. Hara, T. Kobayashi, S. Ito, X. Zhou, T. Katafuchi, and H. Fujita, "Quantitative analysis of torso FDG-PET scans by using anatomical standardization of normal cases from thorough physical examinations," *PLOS ONE*, Vol.10, No.5, e0125713, doi:10.1371/journal.pone.0125713,

2015, 査読有

**A02-KB002 (公募・羽石)** 計 1 件 (査読有 1 件、査読無 0 件)

[A02\_Taniguchi15] ©▲H. Taniguchi, No. Kohira, T. Ohnishi, H. Kawahira, Mikael von und zu Fraunberg, Juha E. Jääskeläinen, M. Hauta-Kasari, Y. Iwamoto, \*H. Haneishi: Improving Convenience and Reliability of 5-ALA Induced Fluorescent Imaging for Brain Tumor Surgery, MICCAI 2015, Part 3, LNCS 9351 pp. 209-217, The 18th International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Interventions, Philharmonic Hall, Munich, Germany (2015.10.5-9), DOI: 10.1007/978-3-319-24574-4\_25, 査読有

**A02-KB103 (公募・田中)** 計 8 件 (査読有 3 件、査読無 5 件)

[A02\_Tanaka18] ▲\*K. Tanaka, T. Tani, N. Nitta, T. Tabata, N. Matsutani, S. Muraoka, T. Yoneyama, S. Sanada, "Pulmonary function diagnosis based on respiratory changes in lung density with dynamic flat-panel detector imaging: An animal-based study," Investigative Radiology, Vol.53, No. 7, pp.417-423, doi: 10.1097/RLI.0000000000000457, 2018, 査読有 【IF 6.224】

**A02-KB105 (公募・西澤)** 計 3 件 (査読有 3 件、査読無 0 件)

[A02\_Nishizawa1] ©\*N. Nishizawa, H. Kawagoe, M. Yamanaka, K. Mori, and T. Kawabe, "Wavelength dependence of ultrahigh-resolution optical coherence tomography using supercontinuum for biomedical imaging," IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol.25, p.7101115, doi:10.1109/JSTQE.2018.2854595, 2019, 査読有

**A02-KB106 (公募・平田)** 計 7 件 (査読有 7 件、査読無 0 件)

[A02\_Tamas18] ▲\*J. Gomez-Tames, A. Hamasaka, I. Laakso, \*A. Hirata, Y. Ugawa, "Atlas of Optimal Coil Orientation and Position for TMS: A Computational Study," Brain Stimulation, Vol. 11, No. 4, pp.839-848, (2018), 査読有 【IF 6.120】

[A02\_Aonuma18] ©▲S. Aonuma, J. Gomez-Tames, I. Laakso, M. Tamura, Y. Muragaki, \*A. Hirata, "A high-resolution computational localization method for transcranial magnetic stimulation mapping," NeuroImage, Vol. 172, pp.85-93, (2018), 査読有 【IF 5.426】

[A02\_Tames18] ▲J. Gomez-Tames, I. Laakso, Y. Haba, \*A. Hirata, D. Poljak, K. Yamazaki, "Computational Artifacts of the In-situ Electric Field in Anatomical Models Exposed to Low-Frequency Magnetic Field," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 60, No. 3, pp.589-597, 2018, 査読有

**A02-KB108 (公募・権名)** 計 1 件 (査読有 1 件、査読無 0 件)

[A02\_Shiina 15] \*T. Shiina, K.R. Nightingale, et al, "WFUMB Guidelines and Recommendations for Clinical Use of Ultrasound Elastography PART 1: Basic Principles and Terminology," Ultrasound in Medicine. & Biology, Vol.41, No.5, pp.1126-1147, doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2015.03.009, 2015, 査読有

**A02-KB109 (公募・諸岡)** 計 1 件 (査読有 1 件、査読無 0 件)

[A02\_Morooka19] K. Morooka, R. Matsubara, S. Miyauchi, T. Fukuda, T. Sugii, R. Kurazume, "Ancient Pelvis Reconstruction From Collapsed Component Bones Using Statistical Shape Models," Machine Vision and Applications, Vol.30, Issue 1, pp.59-69, doi: 10.1007/s00138-018-0972-5, 2019, 査読有

**A02-KB110 (公募・神谷)** 計 4 件 (査読有 2 件、査読無 2 件)

[A02\_Kamiya19] ©▲\*N. Kamiya M. Kume, G. Zheng, X. Zhou, H. Kato, H. Chen, C. Muramatsu, T. Hara, T. Miyoshi, M. Matsuo and H. Fujita, "Automated Recognition of Erector Spinae Muscles and Their Skeletal Attachment Region via Deep Learning in Torso CT Images," Computational Methods and Clinical Applications in Musculoskeletal Imaging, pp.1-10, doi: 10.1007/978-3-030-11166-3\_1, 2019, 査読有

#### 研究項目 A03 多元計算解剖学の高度知能化医療・医工学への展開

**A03-1 (計画・橋爪)** 計 289 件 (査読有 269 件、査読無 20 件)

[A03\_Kibe19] ▲S. Kibe, \*K. Ohuchida, Y. Ando, S. Takesue, H. Nakayama, T. Abe, S. Endo, K. Koikawa, T. Okumura, C. Iwamoto, K. Shindo, T. Moriyama, K. Nakata, Y. Miyasaka, M. Shimamoto, T. Ohtsuka, K. Mizumoto, Y. Oda, M. Nakamura. Cancer-associated acinar-to-ductal metaplasia within the invasive front of pancreatic cancer contributes to local invasion. Cancer Lett., 2019 Mar 1;444:70-81. 査読有 【IF 6.491】

[A03\_Okumura18] ▲T. Okumura, \*K. Ohuchida, S. Kibe, C. Iwamoto, Y. Ando, S. Takesue, H. Nakayama, T. Abe S. Endo, K. Koikawa, M. Sada, K. Horioka, N. Mochidome, M. Arita, T. Moriyama, K. Nakata, Y. Miyasaka, T. Ohtsuka, K. Mizumoto, Y. Oda, M. Hashizume, M. Nakamura. Adipose tissue-derived stromal cells are sources of cancer-associated fibroblasts and enhance tumor progression by dense collagen matrix. Int J Cancer. 2019 Mar 15;144(6):1401-1413. doi: 10.1002/ijc.31775. Epub 2018 Oct 10. 査読有 【IF 7.36】

[A03\_Koikawa18] ▲K. Koikawa, \*K. Ohuchida, Y. Ando, S. Kibe, H. Nakayama, S. Takesue, S. Endo, T. Abe, T. Okumura, C. Iwamoto, T. Moriyama, K. Nakata, Y. Miyasaka, T. Ohtsuka, E. Nagai, K. Mizumoto, M. Hashizume, Nakamura M Basement membrane destruction by pancreatic stellate cells leads to local invasion in pancreatic ductal adenocarcinoma. Cancer Lett. 2018 Jul 1;425:65-77. doi: 10.1016/j.canlet.2018.03.031. Epub 2018 Mar 23. 査読有 【IF 6.491】

[A03\_Kawano17] T. Kawano, M. Murata, J. Kang, J. Piao, S. Narahara, F. Hyodo, N. Hamano, J. Guo, S. Oguri, K. Ohuchida, M. Hashizume. Ultrasensitive MRI detection of spontaneous pancreatic tumors with nanocage-based targeted contrast agent. Biomaterials. 2018 Jan;152:37-46. doi: 10.1016/j.biomaterials.2017.10.029. Epub 2017 Oct 20. 査読有 【IF 8.806】

[A03\_Koikawa17] ▲K. Koikawa, \*K. Ohuchida, S. Takesue, Y. Ando, S. Kibe, H. Nakayama, S. Endo, T. Abe, T. Okumura, K. Horioka, M. Sada, C. Iwamoto, T. Moriyama, K. Nakata, Y. Miyasaka, R. Ohuchida, T. Manabe, T. Ohtsuka, E. Nagai, K. Mizumoto, M. Hashizume, M. Nakamura. Pancreatic stellate cells reorganize matrix components and lead pancreatic cancer invasion via the function of Endo180. Cancer Lett., 2018 Jan 1;412:143-154. doi: 10.1016/j.canlet.2017.10.010. Epub 2017 Oct 20. 査読有 【IF 6.491】

[A03\_Endo17] ▲S. Endo, K. Nakata, \*K. Ohuchida, S. Takesue, H. Nakayama, T. Abe, K. Koikawa, T. Okumura, M. Sada, K. Horioka, B. Zheng, Y. Mizuuchi, C. Iwamoto, M. Murata, T. Moriyama, Y. Miyasaka, T. Ohtsuka, K. Mizumoto, Y. Oda, M. Hashizume, M. Nakamura: Autophagy is required for activation of pancreatic stellate cells, associated with pancreatic cancer progression and promotes growth of pancreatic tumors in mice. Gastroenterology, 152, 1492-1506, 2017 査読有 【IF 20.773】

[A03\_Sada16] M. Sada, \*K. Ohuchida, K. Horioka, T. Okumura, T. Moriyama, Y. Miyasaka, T. Ohtsuka, K. Mizumoto, Y. Oda, M. Nakamura Hypoxic Stellate Cells of Pancreatic Cancer Stroma Regulates Extracellular Fiber Organization and Cancer Cell Motility, Cancer letter, 372(2):210-8, 2016 査読有 【IF 6.491】

[A03\_Zheng15] Zheng B, Ohuchida K\*, Cui L, Zhao M, Shindo K, Fujiwara K, Manabe T, Torata N, Moriyama T, Miyasaka Y, Ohtsuka T, Takahata S, Mizumoto K, Oda Y, Tanaka M. TM4SF1 as a prognostic marker of pancreatic ductal adenocarcinoma is involved in migration and invasion of cancer cells. Int J Oncol., 47(2):490-8, 査読有 2015

**A03-2 (計画・木戸)** 計 51 件 (査読有 36 件、査読無 15 件)

[A03\_Atsumo19] ©▲A. Atsumo, \*S. Mabu, S. Kido, Y. Hirano, T. Kuremoto. "Analysis of the effects of transfer learning on opacity classification of diffuse lung diseases using convolutional neural network" Proc. SPIE 11050, International Forum on Medical Imaging in Asia 2019, 1105017-1-5, https://doi.org/10.1117/12.2521229, 2019, 査読有

[A03\_Yoshino17] ©▲Y. Yoshino, T. Miyajima, H. Lu, J. K. Tan, \*H. Kim, S. Murakami, T. Aoki, R. Tachibana, Y. Hirano, S. Kido, "Automatic classification of lung nodules on MDCT images with the temporal subtraction technique", International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol.12, No. 10, pp.1789-1798, https://doi.org/10.1007/s11548-017-1598-1, 2017, 査読有

[A03\_Mabu16] ©\*S. Mabu, M. Obayashi M, T. Kuremoto, N. Hashimoto, Y. Hirano, S. Kido, "Unsupervised class labeling of diffuse lung diseases using frequent attribute patterns," International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol.12, Issue.3, pp 519-528, https://doi.org/10.1007/s11548-016-1476-2, 2016, 査読有

[A03\_Yokota16] ©▲横田 佳祐, \*金 亨燮, タン ジュークイ, 石川 聖二, 橋 理恵, 平野 靖, 木戸 尚治, 青木 隆敏, "画像特徴を用いた LIDC データベースからのすりガラス状候補陰影の検出法" 映像情報メディア学会誌, 70 巻, 8 号, https://doi.org/10.3169/itej.70.J178, 2016, 査読有

[A03\_平野 15] ©▲\*平野 靖, 時安 俊一, 徐 睿, 橋 理恵, 木戸 尚治, 齊藤 篤, 清水 昭伸: 死後 CT 像のテクスチャ解析による死因推定, Med Imag Tech, Vol.33, No.4, pp.177-184, https://doi.org/10.11409/mit.33.177, 2015, 査読有

[A03\_Zhao15] ©▲W. Zhao, R. Xu, Y. Hirano, R. Tachibana, \*S. Kido, "A Sparse Representation Based Method to Classify Pulmonary Patterns of Diffuse Lung Diseases," Computational and Mathematical Methods in Medicine, vol. 2015, Article ID 567932, 1-11, doi:10.1155/2015/567932, 2015, 査読有

**A03-3 (計画・小林)** 計 20 件 (査読有 20 件、査読無 0 件)

- [A03\_Hosoi19] ◎\*I. Hosoi, E. Kobayashi, S. Chang, T. Matsumoto, Q. An, E. Anzai, Y. Ohta, I. Sakumai, Development of intraoperative plantar pressure measuring system considering weight bearing axis, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol.14, No.2, pp.385-395, DOI:10.1007/s11548-018-1862-z, 2019, 査読有
- [A03\_Ma19] ◎▲\*Q. Ma, E. Kobayashi, J. Wang, K. Hara, H. Suenaga, I. Sakuma, K. Masamune, "Development and preliminary evaluation of an autonomous surgical system for oral and maxillofacial surgery", The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, accepted, DOI: 10.1002/rcs.1997, 2019, 査読有
- [A03\_Ma18] ◎▲\*L. Ma, H. Kiyomatsu, K. Nakagawa, J. Wang, E. Kobayashi, I. Sakuma, "Accurate vessel segmentation in ultrasound images using alocal-phase-based snake", Biomedical Signal Processing and Control, Vol.43, pp.236-243, https://doi.org/10.1016/j.bspc.2018.03.002, 2018, 査読有
- [A03\_Wang17] ◎▲\*Junchen Wang, Hideyuki Suenaga, Liangjing Yang, Etsuko Kobayashi and Ichiro Sakuma, "Video See-Through Augmented Reality for Oral and Maxillofacial Surgery International", Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, Vol.13, No.2, DOI: 10.1002/rcs.1754, 2017, 査読有
- [A03\_Wang15] ◎\*J. Wang, H. Suenaga, H. Liao, K. Hoshi, L. Yang, E. Kobayashi, and I. Sakuma, "Real-time computer-generated integral imaging and 3D image calibration for augmented reality surgical navigation", Computerized Medical Imaging and Graphics, Vol.40, pp.147-15, doi:10.1016/j.compmedimag.2014.11.003, 2015, 査読有
- [A03\_Wang15-2] ◎\*J. Wang, E. Kobayashi, I. Sakuma, "Coarse-to-fine dot array marker detection with accurate edge localization for stereo visual tracking, Biomedical Signal Processing and Control", Vol.15, pp.49-59, doi:10.1016/j.bspc.2014.09.008, 2015, 査読有
- [A03\_Yang15] ◎\*L. Yang, J. Wang, T. Ando, H. Yamashita, I. Sakuma, T. Chiba, E. Kobayashi, "Vision-based endoscope tracking for 3D ultrasound image-guided surgical navigation" Computerized Medical Imaging and Graphics, Vol.40, pp.205-216, doi:10.1016/j.compmedimag.2014.09.003, 2015, 査読有

**A03-KB001 (公募・新妻)** 計 3 件 (査読有 3 件、査読無 0 件)

- [A03\_Sugiyama16] ◎\*S.I. Sugiyama, K. Niizuma, K. Sato, S. Rashad, M. Kohama, H. Endo, T. Endo, Y. Matsumoto, M. Ohta, T. Tominaga, "Blood Flow Into Basilar Tip Aneurysms: A Predictor for Recanalization After Coil Embolization," Stroke, Vol.47, No.10, pp.2541-2547, doi:10.1161/STROKEAHA.116.013555, 2016, 査読有 [IF 6.239]

**A03-KB107 (公募・森)** 計 16 件 (査読有 16 件、査読無 0 件)

- [A03\_Mori18] ◎▲Y. Mori, S. Kudo, M. Misawa, Y. Saito, H. Ikematsu, K. Hotta, K. Ohtsuka, F. Urushibara, S. Kataoka, Y. Ogawa, Y. Maeda, K. Takeda, H. Nakamura, K. Ichimasa, T. Kudo, T. Hayashi, K. Wakamura, F. Ishida, H. Inoue, H. Itoh, M. Oda, K. Mori, et al. Real-time use of artificial intelligence in identification of diminutive polyps during colonoscopy: a prospective study. Ann Intern Med., 169(6): 357-366. 2018 査読有
- [A03\_Misawa18] ◎M Misawa, S. Kudo, Y. Mori, T. Cho, S. Kataoka, A. Yamauchi, Y. Ogawa, Y. Maeda, K. Takeda, K. Ichimasa, H. Nakamura, Y. Yagawa, N. Toyoshima, N. Ogata, T. Kudo, T. Hisayuki, T. Hayashi, K. Wakamura, T. Baba, F. Ishida, H. Itoh, H. Roth, M. Oda, K. Mori. Artificial intelligence-assisted polyp detection for colonoscopy: initial experience. Gastroenterology. pii: S0016-5085(18)30415-3., 2018 Apr 10. 査読有 [IF 20.773]
- [A03\_Maeda18] ◎Y. Maeda, S. Kudo, Y. Mori, M. Misawa, N. Ogata, S. Sasanuma, K. Wakamura, M. Oda, K. Mori, K. Ohtsuka. Fully automated diagnostic system with artificial intelligence using endocytoscopy to identify the presence of histologic inflammation associated with ulcerative colitis (with video). Gastrointest Endosc., 2018 Sep 27. [Epub ahead of print] 査読有
- [A03\_Ichimasa18] ◎K. Ichimasa, S. Kudo, Y. Mori, M. Misawa, S. Matsudaira, Y. Kouyama, T. Baba, E. Hidaka, K. Wakamura, T. Hayashi, T. Kudo, T. Ishigaki, Y. Yagawa, H. Nakamura, K. Takeda, A. Haji, S. Hamtani, K. Mori, F. Ishida, H. Miyachi. Artificial intelligence may help in predicting the need for additional surgery after endoscopic resection of T1 colorectal cancer. Endoscopy., 2018 Jan 17. 査読有
- [A03\_Takeda17] K. Takeda, S. Kudo, Y. Mori, M. Misawa, T. Kudo, K. Wakamura, A. Katagiri, T. Baba, E. Hidaka, F. Ishida, H. Inoue, M. Oda, K. Mori. Accuracy of diagnosing invasive colorectal cancer using computer-aided endocytoscopy. Endoscopy., 2017 May 4. [Epub ahead of print] 査読有

**2. 書籍**

- [X00\_Hashizume] 橋爪誠編著、多元計算解剖学の基礎と臨床への応用、誠文堂新光社、2018.

**3. ホームページ** <http://www.tagen-compana.org>

**4. 主催シンポジウム**

- [X00-Sympo19] 第 5 回多元計算解剖学国際シンポジウム, 2019/3/4-5, 九州大学コラポステーション I2 階視聴覚ホール
- [X00-Sympo18] 第 4 回多元計算解剖学国際シンポジウム, 2018/3/2-3, 東京大学本郷キャンパス工学部 2 号館 1 階 213 講義室
- [X00-Sympo17b] 平成 29 年度 新学術領域研究「多元計算解剖学」シンポジウム, 2017/4/21, 名古屋大学 ES ホール
- [X00-Sympo17a] 第 3 回多元計算解剖学国際シンポジウム, 2017/3/8-9, 奈良県文化会館
- [X00-Sympo16] 第 2 回多元計算解剖学国際シンポジウム国際シンポジウム, 2016/2/11-12, 名古屋大学野依記念学術交流館
- [X00-Sympo15] 第 1 回多元計算解剖学国際シンポジウム国際シンポジウム, 2015/2/15, 九州大学ウエストウイング臨床大講堂

**5. 多元計算解剖学セミナー**

計 42 回

**6. 多元計算解剖学ニュースレター**

累計 No.11

**7. アウトリーチ活動**

- [O\_A02\_Mori19] 森健策、小田昌宏、林雄一郎、VR 手術シミュレーション、健康未来 Expo'19, 2019/3/30-2019/4/7 (第 30 回日本医学会総会に関連するイベントであり延べ 1620 名が体験した。平成 30 年度と平成 31 年度にまたがる開催である)
- [O\_A02\_Mori19] 森健策、小田昌宏、林雄一郎、名古屋市科学館特別展「血液ツアーズ『人体大解明の旅』、2019/3/6-2019/6/2 (平成 30 年度と平成 31 年度にまたがる開催である)
- [O\_A02\_Mori18] JSPS ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～KAKENHI 「機械学習と 3D プリンタで臓器モデルを作ろう！ー医用画像処理の体験」 森健策 (名古屋大学・大学院情報学研究所・教授), 2018/8/23-24 (日本学術振興会のホームページにおいて事例紹介として写真とともに掲載されている)
- [O\_A02\_Mori17] JSPS ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～KAKENHI 「3D プリンタと VR を使って臓器モデルを作ろう！ー医用画像処理の体験」 森健策 (名古屋大学・大学院情報学研究所・教授), 2017/8/22-24
- [O\_A02\_Hashizume17] JSPS ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～KAKENHI 「外科手術の現在は？そして将来はどうなるの？」 橋爪誠 (名古屋大学・大学院情報学研究所・教授), 2017/8/5
- [O\_A02\_Mori16b] JSPS ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～KAKENHI 「3D プリンタを使って臓器モデルを作ろう！ー医用画像処理の体験」 森健策 (名古屋大学・大学院情報学研究所・教授), 2016/8/18-19 (日本学術振興会のホームページにおいて事例紹介として写真とともに掲載されている)
- [O\_A02\_Mori16a] 森健策、平成 28 年度第 5 回かがくゼミナール「立体臓器モデルを作ろう」2016/12/23, 名古屋市科学館理工館 3 階 創造のひろば

## 7. 研究組織（公募研究を含む。）と各研究項目の連携状況（2ページ以内）

領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、総括班研究課題の活動状況も含め、どのように研究組織間の連携や計画研究と公募研究の調和を図ってきたか、組織図や図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。

### 研究項目の構成

本領域は、多元計算解剖学の強固な学術基盤を構築するため、基礎数理、実装・システム化、臨床・医工学応用の3つを柱とし、これらに対応した、A01「多元計算解剖学の基礎数理と基盤技術」、A02「多元計算解剖学の応用システム」、A03「多元計算解剖学の展開」の3つの研究項目を設定した（図1）。

A01は、多元計算解剖学の基礎を成す多元計算解剖モデルの表現法を数理的ならびにデータ工学的に取り扱うための研究に焦点を置き、A02はA01で実現される多元計算解剖モデルおよび基盤技術を実臨床応用可能にするための実装・システム化技術を開発することを主眼とした。A03では、モデル構築に必要な臨床データベースをA01、A02に提供するとともに、両項目で実現されるモデルとシステムを、実臨床における診断、治療に応用することを目的とした。各研究項目に対して、それぞれ3つの計画研究を設定するとともに、計画研究とは異なる新たな視点や異分野の手法に基づく斬新な取り組みにより領域全体を加速する研究を様々な分野から広く公募し、H27-28年度の前期およびH29-30年度の後期について、各項目10件程度の公募研究課題を採択した。以上により、各項目は前期および後期でそれぞれ15件程度の計画研究・公募研究より構成され、各班が項目内および項目間で有機的な連携を行い、研究を推進した。

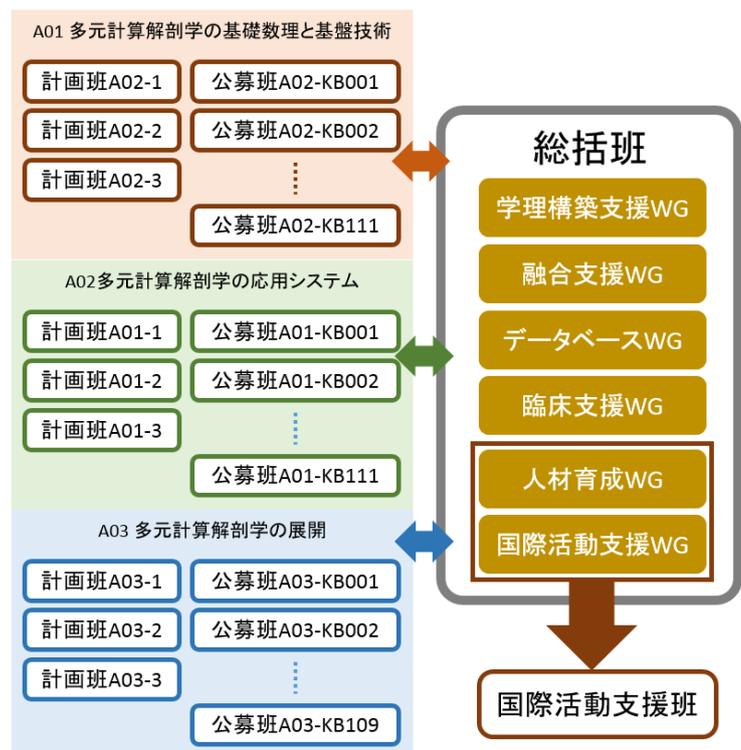


図1 研究項目および計画班・公募班および総括班等の構成

### 連携の推進方法

本領域では、総括班およびその直轄のワーキンググループ（WG）を始め、各班が有機的な連携をとりつつ、強力に研究を推進する体制を整備した。その全体構造は図1のとおりであるが、特に以下に挙げた4つの項目による連携推進を進めた。

#### (1) 総括班の主導とWGの設置

実効性のある連携の実現のため、領域代表を含む各計画班代表者を中心として設置した総括班が主導的な役割を果たした。具体的には、領域の「研究ゴール」を「様々な対象に対する多元計算解剖モデルの構築から診断・治療への展開」と設定し、実際の臨床応用を想定した「シナリオ」を作成するなど、領域全体における研究の方向性を定めた。同時に、領域全体を俯瞰しながら項目内・項目間の連携をとりつつ研究を行い、年4回の総括班会議を開催して各研究項目の進捗状況を確認した。また、そのための組織として総括班内に以下の6つのWGを設置し、WG間でも連携をとりつつ研究を推進した。

- 学理構築支援WG：新しい学問領域としての多元計算解剖学の学理確立の支援ならびに全体を統合する活動を主導的に行った。
- 融合支援WG：領域内で共通利用可能なソフトウェア基盤を開発するとともに、クラウド型共有基盤により、その提供を行った。
- データベースWG：マルチモダリティ、マルチスケールの画像データを収集・統合し、配布した。
- 臨床支援WG：領域内における臨床課題を整理し、主導的に探究し、その解決法を領域全体に周知した。
- 人材育成WG：若手研究者の育成を主眼とした合宿形式のサマースクールを年一回開催し、領域内外のシニア研究者による講演や特定のテーマに関する討論を行った。

●国際活動支援 WG：海外の研究者との交流およびこれを発展させた共同研究を推進するために設定した。なお、国際共同研究加速基金によりこれをさらに強力に推進し、国際活動支援班を設定した。

(2) 公募班に対するメンター制度

様々な分野から広く公募を行ったため、公募班の研究者は比較的若手の研究者が多く、また異分野であるため多元計算解剖学の中核をなす医用画像の解析やモデリング、診断・治療支援の研究背景や最新の状況に必ずしも精通していないことがある。そのため、基本的に同研究項目内の計画班の研究者から研究分野の近い「メンター」を選定し、各公募班に割り当てた。これにより計画研究と公募研究の有機的連携が図られた。

(3) 項目横断型組織の形成

本領域は学術的基礎のみならず、実際の医療への貢献すなわち応用を重視しているが、研究成果の最終的な出口となる様々な疾患に対する診断・治療法は、対象となる部位や疾患に大きく依存する。そのため、脳、胸部、腹部、筋骨格などの部位・疾患別の構成に加え、数理基礎および生涯モデルを加えた6つの分野について項目横断型組織を関連する計画班および公募班により形成して密に連絡を取りながら研究を推進した。表1に組織構成を示す。また、その成果のまとめは2017年度および2018年度（最終）の国際シンポジウムにおいて発表を行った。図2に胸部領域（呼吸器の診断・治療）の項目横断型組織による最終成果まとめの例を示す。胸部領域における多元計算解剖モデルの構築（モデリング）から診断・治療までの臨床応用を広くカバーしている。

表1 項目横断型組織に参加した計画班・公募班

項目横断型組織	A01項目		A02項目		A03項目	
	計画班	公募班	計画班	公募班	計画班	公募班
脳神経領域	A01-1	A01-KB101 A01-KB105 A01-KB110 A01-KB111		A02-KB101 A02-KB102 A02-KB106 A02-KB109		A03-KB108 A03-KB109
胸部領域	A01-2	A01-KB103 A01-KB106	A02-1 A02-2 A02-3	A02-KB103 A02-KB105	A03-2	A03-KB008 A03-KB103 A03-KB105
腹部領域	A01-1 A01-3	A01-KB102 A01-KB108 A01-KB109	A02-1		A03-1 A03-3	A03-KB101 A03-KB102 A03-KB107 A03-KB108
筋骨格領域	A01-1 A01-3	A01-KB008	A02-3	A02-KB103 A02-KB110 A02-KB111	A03-1 A03-3	
数理基礎	A01-1 A01-2 A01-3		A02-1 A02-3	A02-KB104 A02-KB107		A03-KB104
生涯モデル	A01-1 A01-2	A01-KB004 A01-KB110		A02-KB107	A03-2	A03-KB009 A03-KB104

※公募班のうち赤字は前期（H27-28）、青字が後期（H29-30）

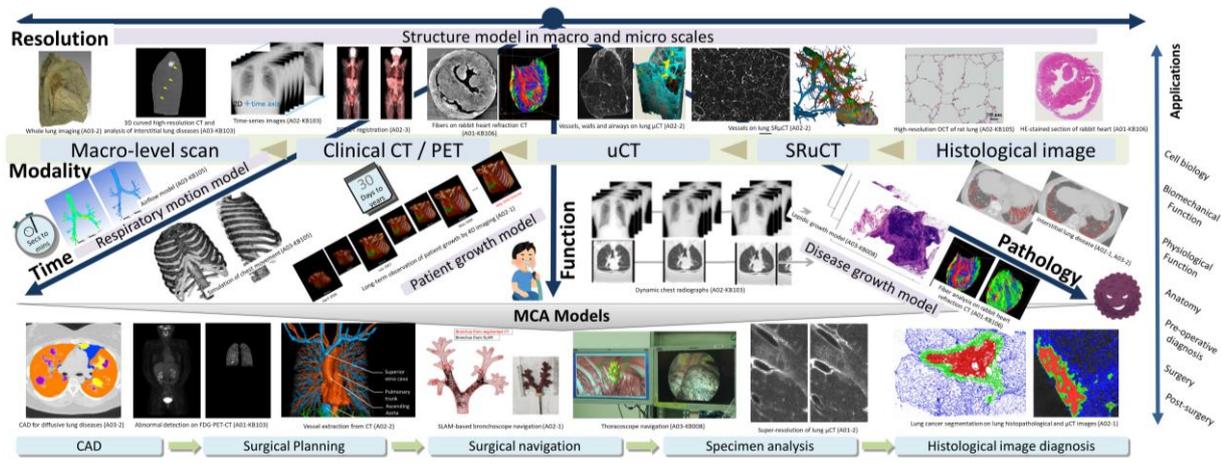


図2 項目横断型組織による成果まとめの例（胸部領域：呼吸器の診断・治療）

(4) 国際共同研究の加速

人材育成支援 WG および国際活動支援 WG の連携により、新たに国際共同研究加速基金を獲得し、海外へ若手研究者の長期および短期の派遣および招聘を行った。具体的には、国際活動支援班を新たに設置し、各研究項目に対する31海外拠点を設定した。国際活動支援班主導のもと、領域内研究者と海外研究者とのマッチングを行った。その拠点を中心とした派遣および招聘を行うとともに共同研究を推進した。共同研究成果の一部は、業績リストに記載されている。

主に、[A01\_Yokota18], [A02\_Chen18], [A02\_Kamiya18], [A02\_Aonuma18], [A01\_Fatemeh17], [A02\_Oda17], [A03\_Kawano17], [A03\_Yoshino17], [A01\_Hasegawa16], [A01\_Forzuzan16], [A02\_Kanavati16], [A02\_Wang16], [A01\_Llado15], [A01\_Okada15], [A02\_Kanavati15], [A02\_Taniguchi15]、など。

## 8. 研究経費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む。）（1 ページ以内）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について記述してください（総括班における設備共用等への取組の状況を含む。）。

### (1) 研究領域内で共有する設備・装置の購入、実験資料の作成と活用

総括班経費および計画班経費で導入した装置と、それを用いて作成した実験試料の活用などについて説明する。

**a) イメージング装置の導入** 本領域研究において空間、時間、機能、病理の4軸に沿ったデータベースの構築を進めているが、特に病理軸においてはこれまでデジタル化されたデータベースはほぼ皆無であった。高額なイメージング装置を総括班経費および計画班経費を用いて導入することで病理軸に沿った新たな基盤技術の構築のためのデータベースの整備を進めた。

九州大学に新たに設置した高速スライドスキャナー（Axio Scan.Z1）は切除された膵腫瘍の連続切片HE画像などの染色画像のデジタル化に用い、これまでに数千枚の画像を蓄積した。その際、MR像やCT像も併せて撮影した。これらのデータは領域内で共有され、MR像、CT像、病理像に基づく多元計算解剖モデル構築に活用され、例えばMR像より病理像を予測可能とする研究の進展が見られた。

名古屋大学に設置した卓上型マイクロフォーカスX線CTシステム（inspeXio SMX-90CT Plus）は、領域内の研究者から持ち込まれた各種組織像の解析に使われた。肺伸展固定肺、心臓固定標本、FFPE（ホルマリン固定パラフィン封入）ブロックでも高精度に胃壁、および胃癌組織の構築を認識できる超微細画像データベースを構築することができた。これらのデータも、領域内の計画班、公募班で共有され、これらの画像を用いた研究論文が数多く報告されている。研究期間全体では、約145万枚のマイクロCT像が撮影された。代表的な部位におけるスキャン数としては、肺領域286スキャン、心臓領域270スキャン、胃領域109スキャン、膵臓領域136スキャンである。ここで、1スキャンには500-2000枚程度の画像が含まれる。加えて、マイクロCT画像を用いた多元計算解剖学の研究成果発表を見た研究者から、マイクロCTの利用やスキャン依頼が数多く寄せられ、マイクロCT装置を核とした独自の研究領域が広がった。マイクロCT画像データベースの一部は、現在一般公開をしており、関連する研究分野へも影響を与えた。

山口大学に設置したボディスキャンシステム（Artec社製3Dスキャナボディー）を用いることで、肺標本を形状・色情報を含めて3次元的に撮影するとともに、その内部はマイクロCTなどを用いて撮影することで多元計算解剖モデルの構築に役立てた。得られたデータは領域内で広く活発に利用された。

### b) 実験資料の作成と活用

東京大学に設置した光造形装置一式（DigitalWax 028J-Plus）は、多元計算解剖モデルに基づく手術ロボット開発に用いられるほか、ロボットの制御法に関する研究に欠かせない、実物の臓器とほぼ等価な力学特性を持つ模型の構築に貢献した。また、領域内で共有することで、医学教育などのその他の研究目的のためにも活用された。

九州大学では、本領域研究の中核研究を支える実験資料として、小動物であるマウス（ヒト膵癌と非常に類似した病理学的形態を示す自然発生膵癌モデルマウス）のマイクロMR像、マイクロCT像、病理像のデータベースを構築した。これに対応するために、マウス用のMRI用撮像アダプタ、imaging shuttle kit、MRI用体温調整システムを購入した。それらに加え、ヒト組織、マウス組織、ブタ組織の数千枚におよぶ病理ブロックの連続薄切、HE染色、各種抗体による免疫染色を行ったデータなど、世界でも例を見ない貴重なデータベースに発展した。これらの試料の準備から撮像までを九州大学で一元的に管理して進めることで、研究費を効率的に使用できた。

### (2) 研究領域内で共有する設備・装置の運用

設備の効率的運用や事故の防止のため、設備の管理と運用は設置機関のみが行い、領域内の利用希望者は設置場所に赴き、設置機関の管理者が認める専任の担当者が原則として撮影などの作業に従事した。特にX線マイクロCT装置のように撮影に特別な資格が必要な装置の運用にあたっては、法令ならびに大学が定める内規に則って運用する必要がある。そのため、本領域研究を始めるために、森・小田（共にA02-1）はエックス線作業主任者の資格を取得した。担当者には撮影などの業務による負担集中を招いたが、領域全体としては、装置の効率的かつ安全な運用を実現することができた。

作成された資料の内、複数機関で共有可能な資料を対象に、領域横断的な使用を積極的に推奨した。そのために、総括班において領域内の共有の資料の運用状況を把握・管理するとともに、サマワークショップなどの機会を利用して宣伝等を継続的に行うことで利用促進を図り、研究費の効果的使用を達成した。

研究費の使用状況 ((1), (2), (3) を合わせて3ページ以内)

(1) 主要な物品明細 (計画研究において購入した主要な物品 (設備・備品等。実績報告書の「主要な物品明細書」欄に記載したもの。) について、金額の大きい順に、枠内に収まる範囲で記載してください。)

年度	品名	仕様・性能等	数量	単価 (円)	金額 (円)	設置(使用)研究機関
26	卓上型マイクロフォ ーカスX線CT システム	inspecio SMX- 90CTPlus	1	14,990,400	14,990,400	名古屋大学
	光造形装置	DigitalWAX 028J- PLUS	1	9,990,000	9,990,000	東京大学
	高次元医用画像 処理用高性能計算サー バー一式	Intel Xeon E7- 4890v2, 3TB メモリ	1	9,115,200	9,115,200	東京農工大学
	スライト <sup>ス</sup> キャナ AxioScan. Z1 一式	独国カルツァイスマイクロ スコピ <sup>ス</sup> 社製	1	7,000,000	7,000,000	九州大学
	MRI 用アクセ サリ 一式	独国ブルカー・ハ <sup>ス</sup> イ ン社製	1	4,860,000	4,860,000	九州大学
	Mouse Imaging Shuttle Kits 一式	米国ハ <sup>ス</sup> キンエルマー社製	1	3,888,000	3,888,000	九州大学
27	ZEN ソフトウェア SlideScan 拡張 <sup>ス</sup> パッケージ	独国カルツァイスマイクロ スコピ <sup>ス</sup> 社製	1	3,909,600	3,909,600	九州大学
	ディープラー ニングマシン	Univ corei7 5960X 他※生協モデル名 (Solution Server 3048E73-S424WRB- HWR)	1	3,815,640	3,815,640	東京農工大学
28	ワークステー ション	DeepLearning BOX	1	2,998,000	2,998,000	岐阜大学
	SNP Genotyping 試薬一式(300 検体×12SNP)	Thermo Fisher Scientific 社製 TaqMan SNP Genotyping Assay, DNA Genotek 社製 Oragene DNA (OG-500)	1	2,400,000	2,400,000	徳島大学
29	—	—	—	—	—	—
30	ハイパフォーマンス・コン ピューター一式	CPU:Xeon E5-2680 v4	1	3,099,600	3,099,600	東京農工大学

(2) 計画研究における支出のうち、旅費、人件費・謝金、その他の主要なものについて、年度ごと、費目別に、金額の大きい順に使途、金額、研究上必要な理由等を具体的に記述してください。

注) 旅費については複数名の金額を合算して計上。

【平成26年度】

・旅費

1. MICCAI2014に参加(アメリカ、ボストン)(山口⇄ボストンの交通費、宿泊費)496,510円 A03-2班
2. IWAITandIFMIA2015に参加(台湾、台南)(東京⇄台南の交通費、宿泊費)439,091円 A01-2班
3. MICCAI2014に参加(アメリカ、ボストン)(奈良⇄ボストンの交通費、宿泊費)402,420円 A01-3班
4. SPIE2015に参加(アメリカ、オランダ)(徳島⇄オランダの交通費、宿泊費)308,850円 A02-2班
5. RSNA2014に参加(アメリカ、シカゴ)(名古屋⇄シカゴの交通費、宿泊費)272,505円 A02-1班

・人件費・謝金

1. 研究員A 2,966,408円 A02-2班
2. 研究員B 2,281,436円 A02-1班
3. 研究員C 2,552,213円 A02-3班
4. 研究員D 1,320,510円 A02-2班
5. 研究員E 1,254,005円 A03-1班
6. 研究員F 1,253,710円 A01-1班
7. 研究員G 902,558円 A03-2班
8. 研究員H 828,524円 A03-3班

【平成27年度】

・旅費

1. SPIE2016に参加(アメリカ、サンディエゴ)(山口⇄サンディエゴの交通費、宿泊費)542,490円 A03-2班
2. CARS2015に参加(スペイン、バルセロナ)(東京⇄バルセロナの交通費、宿泊費)484,100円 A01-2班
3. MICCAI2015に参加(ドイツ、ミュンヘン)(名古屋⇄ミュンヘンの交通費、宿泊費)455,420円 A02-1班
4. Shape2015(スイス、バーゼル)およびMICCAI2015(ドイツ、ミュンヘン)に参加(名古屋⇄バーゼル、ミュンヘンの交通費、宿泊費)387,900円 A01-1班
5. John's Hopkins Universityでの実験(アメリカ、ボルチモア)(奈良⇄ボルチモアの交通費、宿泊費)371,217円 A01-3班

・人件費・謝金

6. 研究員A 6,655,467円 A02-3班
7. 研究員B 6,196,669円 A01-1班
8. 研究員C 5,986,505円 A02-2班
9. 研究員D 5,606,119円 A03-2班
10. 研究員E 4,272,403円 A03-3班
11. 研究員F 3,792,443円 A01-3班
12. 研究員G 3,142,071円 A03-1班
13. 研究員H 1,461,364円 A02-2班

【平成28年度】

・旅費

1. CARS2016に参加(ドイツ、ハイデルベルグ)(東京⇄ハイデルベルグの交通費、宿泊費)816,997円 A01-2班
2. CARS2016に参加(ドイツ、ハイデルベルグ)(名古屋⇄ハイデルベルグの交通費、宿泊費)511,415円 A02-1班
3. RSNA2016に参加(アメリカ、シカゴ)(山口⇄シカゴの交通費、宿泊費)478,560円 A03-2班
4. VISAPP2017に参加(ポルトガル、ポルト)(名古屋⇄ポルトの交通費、宿泊費)345,160円 A01-1班
5. John's Hopkins Universityでの実験(アメリカ、ボルチモア)(奈良⇄ボルチモアの交通費、宿泊費)339,450円 A01-3班
6. SPIE2017に参加(アメリカ、オランダ)(岐阜⇄オランダの交通費、宿泊費)297,493円 A02-3班

・人件費・謝金

1. 研究員A 6,708,074円 A02-3班

2. 研究員 B 6,064,283 円 A03-2 班
3. 研究員 C 4,403,760 円 A02-2 班
4. 研究員 D 4,128,385 円 A02-1 班
5. 研究員 E 3,794,984 円 A01-3 班
6. 研究員 F 3,380,887 円 A03-1 班
7. 研究員 G 789,868 円 A02-2 班

【平成 29 年度】

・旅費

1. CARS2017 に参加 (スペイン・バルセロナ) (福岡⇄バルセロナの交通費、宿泊費) 1,204,730 円 A03-1 班
2. CARS2017 に参加 (スペイン・バルセロナ) (東京⇄バルセロナの交通費、宿泊費) 971,820 円 A03-1 班
3. WCTI2017 及び CARS2017 に参加 (スペイン・バルセロナ) (山口⇄バルセロナの交通費、宿泊費) 679,400 円 A03-2 班
4. MICCAI2017 に参加 (カナダ、ケベック) およびクイーンズ大学 (カナダ、オンタリオ)、John's Hopkins University (アメリカ、ボルチモア) との共同研究打ち合わせ (奈良⇄ケベック、オンタリオ、ボルチモアの交通費、宿泊費) 583,351 円 A01-3 班
5. MICCAI2017 に参加 (カナダ、ケベック) (名古屋⇄ケベックの交通費、宿泊費) 536,990 円 A02-1 班
6. SPIE2018 に参加 (アメリカ、ヒューストン) (岐阜⇄ヒューストンの交通費、宿泊費) 310,520 円 A02-3 班
7. CARS2017 に参加 (スペイン・バルセロナ) (名古屋⇄バルセロナの交通費、宿泊費) 290,740 円 A01-1 班

・人件費・謝金

1. 研究員 A 6,901,513 円 A02-3 班
2. 研究員 B 6,566,327 円 A02-1 班
3. 研究員 C 4,163,415 円 A02-2 班
4. 研究員 D 3,727,152 円 A03-3 班
5. 研究員 E 3,796,843 円 A01-3 班
6. 研究員 F 3,380,887 円 A03-1 班
7. 研究員 G 2,062,908 円 A03-3 班
8. 研究員 H 993,615 円 A02-2 班

【平成 30 年度】

・旅費

1. Computer Assisted Radiology and Surgery (ベルリン・ドイツ) (CARS2018) に参加 (福岡⇄ベルリンの交通費、宿泊費) 869,300 円 A03-1 班
2. RSNA2018 に参加 (アメリカ、シカゴ) (名古屋⇄シカゴの交通費、宿泊費)、787,250 円 A02-1 班
3. MICCAI2018 に参加 (スペイン、グラナダ) (東京⇄グラナダの交通費、宿泊費)、774,421 円 A01-2 班
4. MICCAI2018 に参加 (スペイン、グラナダ) (奈良⇄グラナダの交通費、宿泊費)、610,467 円 A01-3 班
5. MICCAI2018 に参加 (スペイン、グラナダ) (山口⇄グラナダの交通費、宿泊費)、536,790 円 A03-2 班
6. IWBI2018 に参加 (アメリカ、アトランタ) (岐阜⇄アトランタの交通費、宿泊費)、364,840 円 A02-3 班
7. MICCAI2018 に参加 (スペイン、グラナダ) (名古屋⇄グラナダの交通費、宿泊費)、348,390 円 A01-1 班
8. SPIE2019 に参加 (アメリカ、サンディエゴ) (徳島⇄サンディエゴの交通費、宿泊費) 252,020 円 A02-2 班

・人件費・謝金

1. 研究員 A 6,831,115 円 A02-3 班
2. 研究員 B 3,796,843 円 A01-3 班
3. 研究員 C 3,374,782 円 A03-1 班
4. 研究員 D 3,097,983 円 A03-3 班
5. 研究員 E 2,769,216 円 A02-2 班
6. 研究員 F 1,149,594 円 A02-1 班

(3) 最終年度 (平成 30 年度) の研究費の繰越しを行った計画研究がある場合は、その内容を記述してください。

該当なし

## 9. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度（1 ページ以内）

研究領域の研究成果が、当該学問分野や関連分野に与えたインパクトや波及効果などについて記述してください。

多元計算解剖学の成果が当該学問分野や関連分野に与えたインパクトや波及効果としては以下のものがある。（文献色分け凡例：[A01\_Eg19]：IF>5, [A02\_Eg19]：IF>10, [A03\_Eg19]：IF>20）

### (1) 「多元計算解剖学」の世界的な拡散・浸透

本領域の研究活動の意義が世界的に認識され、Multidisciplinary Computational Anatomy の呼称が当該学問分野に広まった。例えば毎年多数の医用画像に関する指導的研究者が参加する MICCAI (Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention) などの top conference で大きく取りあげられ、国際会議 CARS (Computer Assisted Radiology and Surgery) では同名の特別セッションが設けられた。

### (2) 新しいモダリティの開発と既存モダリティ高性能化

超高解像度超音波イメージングやMRによる3次元電気特性分布イメージングなどの技術を確立・発展させることにより新たなモダリティを創出した。これら成果の一部は逆問題の数理的側面を整備・拡充することにより確立したものである。また、拡散MRIなど既存モダリティ画像撮影の高速・頑健化にも成功した。画像モダリティの新規創出や既存モダリティの改良は、画像工学における大きな成果である。また、これら成果は患者体内の計測可能な物理量を増やすことを通じて医学に大きな影響を与える。画像再構成プログラムの一部はwebで世界に公開している。

### (3) 空間軸/時間軸/機能軸/病理軸を跨がる画像群の統合法の体系化と拡張

上記各軸を跨がる画像群を統合するために、従来の非剛体画像位置合わせ法や写像法を、多元画像に対応させるために撮像法と併せて体系化した。そして多元計算解剖モデルの構築に必要な新たなデータ統合の手法を開発した[A01\_Hanaoka17]。臓器分割[A01\_Saito16]や3次元病理画像の再構成、縦断データのない画像群からの成長モデルの構築[A01\_Saito19]、分解能の大きく異なる複数モダリティ画像からのシームレスな画像提示や多元計算解剖モデルの構築が可能となった。以下に述べる多元計算解剖モデルもこれら成果に基づき実現された。

### (4) 多元計算解剖モデルの実現

画像群統合法に基づき、膵癌腫瘍の連続薄切切片の位置合わせによる大規模・多染色の3次元病理顕微鏡画像の再構成、胚子の高精細MR画像群の統合による胚子成長のモデル構築、CT/Cadaver画像群の統合による筋骨格モデルの構築などを実現した。これらは順に、膵癌腫瘍の成長の解析[A03\_Sada16][A03\_Endo17][A03\_Kawano17][A03\_Koikawa17][A03\_Koikawa18][A03\_Kibe19]、人発生の経時変化統計モデルの構築[A03\_Sugiyama16][A03\_Okumura18]、筋骨格の形態・連結構造と歩行機能の統合解析など、基礎医学に有用な多元計算解剖モデルを提供した。

### (5) 次世代のシームレス画像提示・ナビゲーション・診断支援システムの実現

空間分解能の大きく異なる肺野の画像群を統合し、大局的マクロ構造からミクロ構造までをシームレスに提示するシステムを実現した。また、術前の患者のCT画像などを解析し、術中に撮影する画像と実時間で統合提示する次世代ナビゲーションシステムを実現した。さらに、深層学習を利用することによりCT画像に基づくびまん性肺疾患の診断[A02\_Tanaka18]やPET/CT画像に基づく癌診断、超拡大内視鏡による腫瘍性ポリープの診断[A02\_Maeda19][A02\_Ichimasal8][A02\_Takeda17]や脳外科手術のための検査支援[A02\_Tamas18][A02\_Aonuma18]などを支援するシステムを構築し[A02\_Mori16]、大幅に性能を改善した。これらは術中の患者・医師双方にとっての安全・安心を大きく改善するシステムであり、医学分野に与えたインパクトは大きい。特に超拡大内視鏡による診断支援システムは薬事承認され、臨床に大きなインパクトを与えた[A03\_Mori18][A02\_Misawa16][A02\_Misawa18]。

### (6) 次世代の手術ロボットシステムの構築

術中の鉗子など医療器具と生体の相対位置やインピーダンスなどの実時間計測[A03\_Wang15-2]と、生体の物理特性を含む多元計算解剖モデルを組み合わせ、内視鏡手術やロボット手術のナビゲーションのためのプラットフォームを実現した。これは手術器具の各操作が生体に及ぼす影響・リスクを予想するために不可欠のものであり、手術のリスク低減により安全性を格段に向上させる。今後の手術のあり方を変革しうる大きな貢献である。

### (7) 死後時間推定システムの構築

データ駆動型のアプローチにより時間軸を跨がる死後の生体の多元計算解剖モデルを構築し、死後時間推定を行うシステムを実現した。世界的に先駆的なシステムであり、法医学などにも大きなインパクトを与えた[A03\_平野15]。

## 10. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況（1 ページ以内）

研究領域内での若手研究者育成の取組及び参画した若手研究者（※）の研究終了後の動向等を記述してください。  
※研究代表者・研究分担者・連携研究者・研究協力者として参画した若手研究者を指します。

### 1. 若手研究者の育成の取組

領域内に若手研究者チームを組織し、若手の自主運営により、主に大学院学生の教育を目的とした若手サマースクール（2回）、および国際的研究者を目指す次世代リーダー会（4回）が開催された。総括班主催のサマータクワークショップ（4回開催）においても、若手セッションを設けて、若手からの本領域への提言、自身の研究者としての将来構想等を議論した。

若手が早期の段階から国際的な研究経験を積むことは特に重要であり、国際活動支援班による若手の海外派遣を積極的に行った。本領域において、米国では、Harvard Medical School\*、Johns Hopkins University\*、National Institute of Health\*、Children's National Medical Center\*、Cornell University、Duke University、欧州では、University College London (UCL)\*、Imperial College London (ICL)\*、King's College London (KCL)\*（以上、英国）、Technical University of Munich\*（ドイツ）、University of Bern\*（スイス）などへの海外派遣を行った。上記のうち、“\*”印を付した施設は、国際活動支援班申請時に拠点施設として指定しており、申請時の提案に沿った派遣を行えた。

若手の成長の評価指標として、世界のトップ研究者が目標とする研究発表の場におけるプレゼンスが特に重要と考え、本領域の中心をなす医用画像処理において一流研究者の登竜門とみなされているトップジャーナル、トップ国際会議に焦点を絞り、若手の成長を評価した。多元計算解剖学は、広範囲の学術領域を包含するが、コアとなる分野（主にA01,A02をカバー）での評価が最重要と考えた。なお、情報系では、トップ国際会議論文は厳格なフルペーパー査読が行われ、高く評価されている。以下で対象とする国際会議 MICCAI の論文は、医学生物系のジャーナル論文にも多数引用されている。

医用画像処理におけるトップジャーナル Medical Image Analysis 誌 (IF 5.356)での、本領域若手の発表は、領域開始後 10 件（うち国際共同 4 件）であった。開始前 5 年間では 7 件（うち国際共同 1 件）であった。

トップ国際会議 MICCAI (International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention)での領域開始後の発表は 16 件（うち国際共同 10 件）であった（領域開始前の 5 年は 12 件（うち国際共同 4 件））。医用に限らない画像処理のトップ会議である CVPR (IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition)での発表は 2 件（うち国際共同 1 件）であった（開始前 5 年は 0 件）。以上をまとめると、トップ国際会議 (MICCAI,CVPR)については、領域開始前 5 年の 12 件（うち国際共同 4 件）から、開始後 18 件（うち国際共同 11 件）に増加した。

トップジャーナル・国際会議を合わせると、5 年間の成果は、本領域開始前後で、19 件から 28 件に増加し、その中で国際共同研究の割合は 26%（5 件）から 58%（15 件）に増加した。発表件数だけでなく、国際共同研究の件数の増加が顕著であった。若手の海外派遣が実を結んだと言える。これらトップジャーナル・国際会議に関して、Medical Image Analysis 誌の招待論文 1 本以外、本領域から出た論文のすべての筆頭著者は若手であった。若手の貢献度は特に高かったといえる。

### 2. 参画した若手研究者の研究終了後の動向

若手研究者の本領域の研究期間中および終了後の昇進、異動、就職の状況を以下に示す。

- (1) 講師、室長からの異動：東北大・教授就任。大島商船高専・准教授就任。兵庫県立大・准教授就任。
- (2) 助教からの異動：京都府立医大・講師に就任、さらに関西学院大・准教授に就任。東大・特任講師に就任。金沢大・准教授就任。
- (3) ポスドクからの異動：滋賀大・准教授に就任。愛知県立大・助教に就任、さらに同・講師を経て同・准教授に就任。中国北京航空航天大学・准教授就任。福岡工業大学・准教授就任。近畿大・講師に就任。東大・特任助教就任。NVIDIA（AI で特に影響力のある国際企業、世界的な産学連携で医用画像処理研究をリード）に就職。
- (4) 博士課程修了者の就職先：東京農工大・助教、信州大・助教、三重大・助教、奈良先端大・助教、九大・助教、NII ポスドク、名大・ポスドク、阪大・ポスドク、学振特別研究員（2 名）等に就任。博士取得者は 28 名であった。
- (5) 博士課程単位取得退学者の就職先：阪大・特任助教、総務省 NICT・研究員等に就任。

特に、本領域で成果をあげたポスドクが、大学教員や世界的企業などへ着実にステップアップする例が目立っており、本領域への参画が若手のキャリア形成に効果的であったと考える。

## 11. 総括班評価者による評価（2ページ以内）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

### 総括班評価者による評価体制 (Advisory Committee)

以下に示す、海外2名、国内4名、計6名に評価をお願いした。そのうち工学系3名、医学系3名であった。国際的視野、工学、医学をバランスよく組み合わせた評価体制を整えた。

- **Nicholas Ayache: INRIA Sophia Antipolis-Mediterranee, Professor** (工学系)
- **David Hawkes: University College London, Professor** (工学系)
- 伊関洋 (早稲田大学) **Hiroshi Iseki: Waseda University, Professor** (医学系)
- 安藤裕 (埼玉メディカルセンター) **Yutaka Ando: Saitama Medical Center, Director** (医学系)
- 長谷川純一 (中京大学) **Junichi Hasegawa: Chukyo University, Professor** (工学系)
- 掛地吉弘 (神戸大学) **Yoshihiro Kakeji: Kobe University, Professor** (医学系)

海外2名は、医用画像処理の世界的権威である。Ayache 教授は医用画像処理のトップジャーナルである *Medical Image Analysis* 誌を創設し、現在も編集長を務めている。医用画像と生命科学・情報科学の融合領域に特に造詣が深い。Hawkes 教授は、英国 UCL 医用画像処理センターのセンター長であり、医用画像の先端技術臨床実用化の第一人者である。国内の評価者は、医学系に重点をおき、コンピュータ外科、医療情報学、画像処理、内視鏡外科の専門家に依頼した。

第1回国際シンポジウムから、年度末の国際シンポジウムで、毎回、評価をいただき、若手育成や領域全体のストーリーの必要性など、本領域への建設的批判がなされた。これらの評価を研究推進に反映させ、最終年度の第5回シンポジウムにおいて、研究内容やシステム全体に対するコメントを以下の如く頂いた。計画班および公募班に対して、相互の共同研究や全体として取り組むべき方向性の決定と積極的推進、さらに若手育成や海外拠点との国際共同研究の推進に対して良く統括して運営されており、結果として多元計算解剖学のコンセプトが新しい領域として国内外に認識され、普及していることを高く評価された。

### 研究領域に対する評価コメント

- **Nicholas AYACHE: INRIA Sophia Antipolis-Mediterranee, Professor-**

It has been a pleasure to attend this final symposium, as well as all the previous ones. During the past 5 years, I have seen the emergence of a strong scientific community on MCA in Japan, whose topics of research contribute to the advances of the international MICCAI community of researchers (research in Medical Image Computing and Computer Assisted Interventions). I have seen Outstanding work both at individual level AND among collaborative teams, Progress on focused AND multidisciplinary activities (mathematics, informatics, biology, medicine, etc.), World class results on methods AND applications, Innovative publications in national AND international conferences/journals, Important outreach activities, in particular to attract young researchers and even children, and to establish international collaborations. I believe that all participants can be proud to be part of the MCA adventure. In order to keep the momentum created by MCA, it is a good idea to create a dedicated Scientific Society, and also an English version of the book on MCA. **As I mentioned during the meeting, we could also envisage a special issue of the Medical Image Analysis journal to present some of the major achievements of MCA.**

(特筆すべき点は、太字部の *Medical Image Analysis* 誌への多元計算解剖学特集号の企画提案である。)

- **David Hawkes: University College London, Professor -**

(全体コメント) This was the 5th and final consortium of the project “Multidisciplinary Computational Anatomy” and as such represents the major achievements of this large and comprehensive consortium. Over the last 5 years it has become clear that internationally the emphasis has changed from work in individual silos in the areas of computational anatomy to a more comprehensive multi-disciplinary approach. This consortium has had a significant role in this change of emphasis. I congratulate Professor Hashizume and the other Principal Investigators on this project for their achievements not only in the science delivered but also in coordinating effectively such a large, complex and diverse consortium. This short report follows the structure of the proceedings and the consortium by concentrating on the featured topics of mathematical methods for MCA modelling, brain MCA modelling, musculo-skeletal MCA modelling, lifetime MCA modelling, chest MCA modelling and abdominal MCA modelling.

(A01-1 へのコメント) The work on mathematical methods has matured significantly in the last 12 months with completion of a significant piece of work on modelling the pancreas and the development of tumours within it. This and other work nicely demonstrates how the consortium has brought together a wide range of disciplines to achieve their results. Other projects included an analytic method for MR-based

electrical property determination by imaging, mathematical problems in diffusion MRI analysis for MCA, longitudinal and multimodal analysis of volumetric medical data, integration of higher-order information from noisy and multi-modal data, extension and evaluation of shape models, and sequential structures of statistical manifolds. Productive international collaborations have been set up with Boston's Children's Hospital, Cornell University and UCL in London. The latter linking to the work on modelling of neuronal structures using diffusion MRI analysis. This work has resulted in 12 journal publications and a significant number (56) of conference papers.

(Hawkes 教授は、他の 8 つの計画班にも A01-1 同様に詳細なコメントをしているが、割愛する。)

- **Junichi Hasegawa: Chukyo University, Professor-**

Prof. Hashizume, Thank you very much for your organization of the 5th International Symposium which is the last one, by the project MCA. This year, every group has made a progress individually. The performances of almost all groups were good as expected and some ones better than expected. Also, research collaborations between groups were performed much more deeply and frequently than in the past years. Three years ago, I gave you following comments. MCA can be characterized by a very big space (4-dimensional space) spanned by temporal, spatial, functional and pathological axes, but the number of research subjects in the project is only 40. So, MCA should have a good STORY which could explain the final goal of the project, also could inform easily other peoples the significance of the project. In this symposium, I found (discovered) the answers to my comments. Yes, the BIG POSTER is it. Each of BIG POSTERs is a sectional view of the 4-dimensional space of MCA. Because one way to understand an original space is to see many of its sections, a set of BIG POSTERs can be a STORY for MCA. The BIG POSTER has not only big size, but also big CONTENTS. Finally, I hope all researches in the project to continue making further progresses and collaborations for the coming years. (長谷川教授からは、領域開始時には、領域全体のストーリーの欠如について建設的批判があったが、最終シンポジウムでは一定の評価をいただいた。)

- **Hiroshi Iseki: Waseda University, Professor-**

I think that all projects can be achieved approximately as planned cooperation between the planned research groups and public research groups were achieved. There is much clinically useful research in A03.

- **Yoshihiro Kakeji: Kobe University, Professor-**

Each group has made great achievement for five years. Since many outcomes are milestones, the evaluation of each project from various viewpoints and constructive opinions are demanded. It seems to be important to find promising points to develop each research work in the future. From the viewpoint of one Gastrointestinal tract surgeon, I would like to mention some impression and request in each axis. For Mathematical area, I could not understand Gaussian formula. However, I thank you for your constructing seamless model from many various data. As patients are so heterogenous, it is important for us to pick up only one point data when it is necessary. Please continue to create very useful software for our clinical users. For Brain area, functional analysis can be handled in these days. For neurosurgeon, MCA helps to perform very fine surgery, sometimes microsurgery. For neurologist, MCA helps to reveal many functional state of neurological disorder, such as, Alzheimer's disease, autism, or metabolic disorder. For Lifetime MCA modeling, I expect the predictive model of individuals. If one patient has some special gene mutation, she or he will suffer from some disease sometime in her life. We doctors would like to know when is the best time to treat in her life, surgery or medical care? For Musculoskeletal model, it seems to be important to know the loss of function in diseases or after the resection of organ by surgery. To what extent can we operate, aggressive surgery or minimal invasive surgery? Quality of life in patients are so important in this aging society. For Chest area, it has critical organs, respiratory function and circulation. MCA modeling helps us to treat severe pneumonia, dyspnea, or myocardial infarction with quick decision what is the best choice. Deep learning has a great effect also in emergency cases. For abdominal area, acoustic analysis by ultrasound was interesting. Abdominal cavity contains many solid organs, which is suitable for biomechanical analysis. Even in microlevel cancer invasion, biomechanical analysis of interaction between cancer cells and microenvironment is a new insight of cancer research. This big project will surely continue to grow more and more, and give many benefits to clinical medical treatment.