

[パネル討論]

新学術領域「計算解剖学」何を指すか？何を期待するか？

小畑 秀文<sup>1</sup> 増谷 佳孝<sup>2</sup> 佐藤 嘉伸<sup>3</sup> 藤田 廣志<sup>4</sup> 仁木 登<sup>5</sup> 森 健策<sup>6</sup> 清水 昭伸<sup>7</sup>  
木戸 尚治<sup>8</sup> 橋爪 誠<sup>9</sup> 羽石 秀昭<sup>10</sup> 長谷川 純一<sup>11</sup> 佐藤 哲大<sup>12</sup>

1. 東京農工大学 2. 東京大学 3. 大阪大学 4. 岐阜大学 5. 徳島大学 6. 名古屋大学  
7. 東京農工大学 8. 山口大学 9. 九州大学 10. 千葉大学 11. 中京大学  
12. 奈良先端科学技術大学院大学

E-mail: 1. kobatake@cc.tuat.ac.jp, 2. masutani-utrad@umin.ac.jp, 3. yoshi@image.med.osaka-u.ac.jp,  
4. fujita@fjt.info.gifu-u.ac.jp, 5. niki@opt.tokushima-u.ac.jp, 6. kensaku@is.nagoya-u.ac.jp, 7. simiz@cc.tuat.ac.jp,  
8. kido@ai.csse.yamaguchi-u.ac.jp, 9. mhashi@dem.med.kyushu-u.ac.jp, 10. haneishi@faculty.chiba-u.jp,  
11. hasegawa@sist.chukyo-u.ac.jp, 12. tsato@is.naist.jp

あらまし 今年度よりスタートした文科省・科研費・新学術領域「計算解剖学」の達成目標や期待される成果について、領域のメンバーおよび領域メンバー以外の研究者により討論を行う。

キーワード 医用画像解析、文科省、科研費、大学間連携、新パラダイム、診断支援、治療支援

[Panel Discussion]

The Project "Computational Anatomy", funded by MEXT Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas: What is aimed at? What is expected?

Hidefumi KOBATAKE<sup>1</sup> Yoshitaka MASUTANI<sup>2</sup> Yoshinobu SATO<sup>3</sup> Hiroshi FUJITA<sup>4</sup>  
Noboru NIKI<sup>5</sup> Kensaku MORI<sup>6</sup> Akinobu SHIMIZU<sup>7</sup> Shoji KIDO<sup>8</sup> Makoto HASHIZUME<sup>9</sup>  
Hideaki HANEISHI<sup>10</sup> Jun-ichi HASEGAWA<sup>11</sup> Tetsuo SATO<sup>12</sup>

1. Tokyo University of Agriculture & Technology, 2. The University of Tokyo, 3. Osaka University, 4. Gifu University,  
5. University of Tokushima, 6. Nagoya University, 7. Tokyo University of Agriculture and Technology,  
8. Yamaguchi University, 9. Kyushu University, 10. Chiba University, 11. Chukyo University,  
12. Nara Institute of Science and Technology

E-mail: 1. kobatake@cc.tuat.ac.jp, 2. masutani-utrad@umin.ac.jp, 3. yoshi@image.med.osaka-u.ac.jp,  
4. fujita@fjt.info.gifu-u.ac.jp, 5. niki@opt.tokushima-u.ac.jp, 6. kensaku@is.nagoya-u.ac.jp, 7. simiz@cc.tuat.ac.jp,  
8. kido@ai.csse.yamaguchi-u.ac.jp, 9. mhashi@dem.med.kyushu-u.ac.jp, 10. haneishi@faculty.chiba-u.jp,  
11. hasegawa@sist.chukyo-u.ac.jp, 12. tsato@is.naist.jp

**Abstract:** A five-year project entitled "Computational anatomy for computer-aided diagnosis and therapy: Frontiers of medical image sciences" has started in July, 2009, which is funded by MEXT Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas. In this panel discussion, the panelists, including the investigators of the project and observers, will discuss what is aimed at and what is expected.

**Keyword:** Medical image analysis, MEXT, grant-in-aid for scientific research, inter-university collaboration, new paradigm, computer assisted diagnosis and therapy

## 1. まえがき

平成 21 年度から 5 年間の予定で、文科省科研費・新学術領域「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（略称：計算解剖学）」[1] がスタートした。新学術領域「計算解剖学」が、有意義な成果を得るための意見交換を行う場としてパネル討論が企画された。討論に先立って、以下に、本領域を推進する立場とオブザーバの立場の双方から、意見を示す。

以下では、まず、2 章において、領域代表から、領域全体のねらいが述べられる。3～5 章では、図 1 に示すように構成された各研究班の代表者がそれぞれの立場から目標を述べる。6 章では、オブザーバ的立場の研究者から、本領域に対する期待や要望が述べられる。それぞれの章、節には、各コメントの執筆者の名前が添えられている。

## 2. 何を目指すか？ — 領域全体のねらい —

### （小畑）

平成 21 年度から 5 年間の予定で研究を開始した文科省科研費新学術領域「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（略称：計算解剖学）」では、情報学の成果と高精細化した人体イメージング技術に立脚し、以下の研究開発を通して、従来の解剖学に情報学を融合させた新たな学問体系としての「計算解剖学」の創成をはかることを目的としている。

1. 臓器などの解剖学的構造の数理的記述である“計算解剖モデル”の構築
2. 計算解剖モデルを利用した計算機による“医用画像完全理解”の追究
3. 医用画像完全理解に基づく画像診断・治療支援、および基礎医学研究・教育への貢献

すなわち、人体の多様な形状・トポロジーを含む管腔臓器から実質臓器までの形状表現法、臓器の動態や機能の表現法、大局構造から微細構造に至る階層的表現法、および個体間の多様性の統計的表現法などを含む基礎理論を確立する。さらに、それを基礎にして臓器構造を高精度に認識・理解し、多疾病の早期診断支援、診断・治療の融合的支援を可能にするシステムを開発し、従来技術とは質的にも異なる高精度化をはかることを狙いとしたものである。これらの研究目標を確実に達成するために、計算解剖学基礎、計算解剖学応用、および計算解剖学臨床展開の 3 研究項目を設け、それらに合計で 8 つの計画班を配置している。また、本研究の狙いは広い範囲に及ぶことから、計画班でカバーできない部分は公募班によって研究を推進する計画である。

高精細化した人体イメージング技術により、生きた人体の内部構造が三次元的に高精細に画像化されるようになってきている。本研究の取組は、その高精細画像を用いて、“生きた人体の解剖”を画像上で実現する技術開発であり、それに立脚した臨床応用技術の開発と併せて、従来の解剖学を再構築するもので、臨床応用だけでなく医学教育へのインパクトも大きく、計算解剖学の医学への寄与は大きなものが期待できよう。

## 3. 何を目指すか？ — A01 基礎の立場から —

### 3.1. 計算解剖学・基礎数理班の役割（増谷）

当班は、「様々な解剖学的知識を計算解剖モデルとしていかに表現するか」、「計算解剖モデルと実データとの空間/時間写像をいかに決定するか」といった計算解剖モデルの構築と応用における基本的かつ本質的問題を取り扱う。具体的には、以下の 3 点の内容に関して数理的アプローチによる問題の解決を図る。

- (1) 解剖学的知識の計算機内表現としての計算解剖モデル
- (2) 空間的解剖構造認知の基礎となる解剖学的標識と画像特徴によるランドマーク
- (3) 解剖学的知識の実データへの写像のための人体空間の正規化と計算解剖モデルの更新

具体的には、医用画像理解を始めとする様々な応用に耐えうる計算解剖モデルの表現形式の体系化を行った上で、計算解剖モデル利用による基盤技術の確立、他項目の研究班への提供を同一項目内の他班と共同して行うことが目標である。

実際的な場面を想定すると、新規の医用画像データ入力があった際、様々なモダリティ、撮影条件、解像度、撮影範囲であっても、画像理解（撮像範囲および解像度の限界までの解剖構造の認識）を頑健に行うことができることが要求される。このような技術を確立するには、どのような前駆的知識が必要であり、どのように表現、整理、分類されていけばよいか、といった観点に立つ必要がある。まず、臓器形状の主成分表現などの前駆知識の利用に基づく領域抽出法に代表される、これまでに報告された様々な既存の要素技術が、上記の過程の上で、どのように役立つか、また何が足りないかを理論的、時には実験的に明らかにすることが重要である。

上記のように、当班は領域全体においては基盤技術を支えるための実験的検証を含めた基礎理論の構築を担当する。しかし、基盤技術および基礎理論の実効性のためには、領域全体の目標に含まれる診断支援、治療支援などの様々な応用を強く意識することが必要で

あり、最終的には学理の構築につながるような領域全体を俯瞰する視点も求められていると考えている。

### 3.2. 計算解剖学プラットフォーム構築に向けて

(佐藤嘉)

近年の人体イメージング技術の高度化に伴い、日常診療において、3次元画像あるいはその時系列として、膨大な個体数の生きた人体解剖構造が、日々、デジタルデータとして蓄積されている。筆者は、本領域の大きな目標の一つは、このデータを最大限活用するための計算解剖学プラットフォームの構築とその公開であると考えている。具体的には、複雑なプログラミングを行うことなくユーザの使用画像データ・目的に適した臓器セグメンテーション・解剖学的同定ツールを構築するためツール(メタツール)、大量個体群データから統計的・数理的な解剖構造モデル(統計アトラス)を構築するツール、人体解剖や疾患の共通性と多様性の解析を行うためのツールを装備したソフトウェアを開発する。さらに、基本的な解剖構造モデル(統計アトラス)を予めシステムに用意(ビルトイン)し、また、解剖構造モデルなどのデータ形式標準化を合わせて進める。これらにより、医用画像解析を専門としない医学研究者や工学研究者が、医用画像に基づく診断・治療支援研究や大量個体群データに基づくマクロ解剖構造・機能分布の定量評価などの研究に、容易に参入し、迅速かつ客観評価を容易に行える形で推進できる基盤を構築する。本プラットフォームを用いることで、臨床医を含む多くの医学研究者、あるいは、工学研究者の様々な発想が、人体解剖デジタルデータの無限の可能性を引き出すことを促進するきっかけとなることを目指す。本計画班では、技術基盤の開発を中心に、この目標に向けて貢献をしていきたいと考えている。

### 3.3. 計算解剖モデルの構築(藤田)

解剖学的構造の理解は医学の基礎中の基礎であると言っても過言ではなく、それは一般の画像診断に限らず、外科手術・治療においても医師が必ず把握すべき重要な情報である。現在の臨床現場では、医師の目で解剖学的構造が確認されるのみであり、全体構造の定量的な計測および比較は困難である。

本研究では、これまでの研究成果、開発環境、および協力体制などを活用して、人体の解剖学的構造を数理的に記述するモデル(「計算解剖モデル」と呼ぶ)の構築を実現する。計算解剖モデルの使用目的はいくつかあるが、人体に固有な解剖学的構造を、例えば体幹部 X 線 CT 画像において、完全に理解するために使用することがあげられる。よってこのモデルの実現によ

り、異なる患者の解剖学的構造の定量的な表現や比較をすることが可能となる。具体的には、大規模な画像データベースを用いて、正常人体(計算解剖モデル上における平均的な解剖学的構造)と個人差(平均的な解剖学的構造からの変動)を把握し、異常が発生するとき(例えば、救急医療における患者)の人体の変異(出血部位)を一括で自動検出することを目標とする。

また、計算解剖モデルの実現によって、人体内部において臓器の存在する位置と範囲の精密な推定が可能となり、より精度の高い放射線治療などへの応用が期待できる。さらに、他の画像モダリティ(MRI, PET, 超音波画像, 眼底写真など)に関連する研究にも活用でき、様々な計算機支援診断システムの構築や性能向上に貢献されると期待できる。

## 4. 何を指すか? — A02 応用システム開発の立場から —

### 4.1. 計算解剖に基づく診断支援(仁木)

本計画班では、計算解剖モデルを応用したコンピュータ支援診断システムの研究開発を行い、計算解剖モデルの基礎研究を行う A01 班と臨床展開を担う A03 班の研究成果を相互にフィードバックし、領域内研究の有機的な結合により計算解剖学の学理構築を図る。このため本研究では、CT, MRI, PET/CT のマルチモダリティ画像情報による体幹部の形態・機能情報の計算解剖モデルを利用して胸腹部の主要疾患(がん(肺がん, 胃がん, 肝がん, 大腸がん), 慢性閉塞疾患(COPD), 心血管・リンパ節疾患, 骨粗鬆症)を対象にした存在診断・鑑別診断を支援するコンピュータ支援診断システムを研究開発する。この推進のため、(1)大規模マルチモダリティ画像データベースの構築, (2)画像診断装置の特性評価と汎用性, (3)大規模マルチモダリティ画像データベースによる計算解剖モデルの構築, (4)計算解剖モデルを用いた超高性能存在診断・鑑別診断エンジンの研究開発, (5)高機能柔軟診断用ユーザインターフェイスの研究開発に取り組む。十分な臨床評価によって実証し、医師の診断能の飛躍的な向上を可能にする診断支援技術として臨床現場で活用されることを目指す。

### 4.2. 計算解剖学の診断治療分野における応用と新学術領域における融合的研究支援(森)

新学術領域「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」では、人体の解剖構造をコンピュータ上において高度にモデル化し医用画像を完全に理解すると同時に、それらを利用した診断・治療支援する手法を体系づけ開発研究することが重要なポ

イントとなる。たとえば、本段落の筆者（森健策）が担当する研究課題「計算解剖モデルに基づく診断・治療の融合的支援」では、本学術領域において総合的に開発される計算解剖モデルを基にして、診断から治療に至る過程を融合的に支援する手法を開発する。計算解剖モデルとそれを利用した臓器解析技術に基づく画像解析手法を診断から治療まで幅広く利用することで、医師が最も必要としている情報を的確かつ実時間で表示可能な手法を実現するものである。ここでは、計算解剖モデルに基づいた種々の認識・理解結果を高度に開始化する技術の開発が不可欠となってくる。

さらに、領域全体の研究成果を融合する基盤技術の実現も不可欠である。計算解剖学が漠然としたものにならないようにするためにも、「実装」の観点から領域内の研究を横断的につなぐ技術の開発と提供が極めて重要と考える。本学術領域には、筆者が主査を務める融合的支援 WG が設置され、計算解剖モデル記述とその利用方法の標準化、医用画像処理プラットフォーム基盤の開発と提供活動などを行っている。

#### 4.3. 計算解剖モデルに基づくオートプシー・イメージング支援（清水）

本班は、計算解剖モデルを利用したオートプシー・イメージング（Autopsy imaging: Ai）[2]用の診断支援（Ai-CAD）システムの開発と臨床展開を目的とする。日本は剖検率 3 パーセント以下の死因不明社会である。Ai は死因検索の切り札として導入されたが、読影医への負担が極めて大きく、計算機による支援が強く求められている。本研究では、世界で初めて Ai センター[3]が設置された千葉大学と共同で Ai-CAD の研究を進める。具体的には A01 において作成された計算解剖モデルをベースに死亡後の計算解剖モデルを開発し、それを用いて支援システムを設計する。特に死体の場合には、生体にはありえない大きな変形が含まれていることもしばしばあり、そのような場合にも解剖構造を正しく理解できることが重要となる。そこで、単にモデルを利用するのみに止まらず、死後画像固有の問題を解くために計算解剖モデルを拡張する。その後、拡張した計算解剖モデルを用いて支援システムの高度化をはかり、臨床展開を進める。なお、計算解剖学の学理構築に関しては、計算解剖モデルの構築論と応用論を担当する。

#### 5. 何を指すか？ — A03 臨床展開の立場から —

#### 5.1. 計算解剖モデルの診断支援とオートプシー・イメージング支援応用（木戸）

本計画班の目的のひとつは、「計算解剖学基礎」の各計画班が開発した基盤技術と、「計算解剖学応用」の各計画班が開発した支援システムに対する臨床展開をおこなうことである。具体的には、開発された支援システムを用いて、正常症例や異常症例を含む症例データベースを用いた臨床評価をおこなうことを予定している。臨床評価の結果、支援システムやその基礎となる基盤技術において重要なデータを得ることができ、このようなデータを支援システムや基盤技術にフィードバックすることによりさらなる改良と精度向上をうながすことができると考えられる。

本計画班のもうひとつの目的は、正常画像や疾患画像などの生体画像にオートプシー・イメージング画像も加えた、個人の「生涯画像」に対するアプローチを試みることである。オートプシー・イメージング画像に対する臨床側の関心は最近高まっているが、関心を持つ複数の施設と本計画班が共同で CT や MRI などの画像収集と病理・解剖・法医学的な情報を含むデータベースの構築をおこなう。収集データはオートプシー・イメージング画像に対する診断支援システムの構築や評価をおこなうために利用するが、さらに計算解剖モデルの学理構築のために必要となる解剖学的情報を提供することにも利用する。

#### 5.2. 計算解剖モデルに基づく低侵襲治療支援（橋爪）

研究項目 A03「計算解剖学応用」の一班として、計算解剖モデルに基づく低侵襲治療支援システムを開発し、領域全体の研究成果を臨床展開・社会還元する。研究項目 A01 と A02 で開発される計算解剖モデルにより正確に推定された患者固有の解剖・病態に加え、治療中の診断情報（OpenMRI・超音波検査・組織診）も統合する。操作関心領域・危険領域・悪性腫瘍の局所進展やリンパ節転移を、系統解剖情報とともにリアルタイムに術者に呈示することにより、必要最低限の侵襲で安全に治療を支援するナビゲーションシステム（＝低侵襲治療支援システム）を開発し、臨床展開・社会還元を実現する。臨床展開で得られた知見・問題は、A01、A02 の各計画班にフィードバックし、計算解剖学の学問的昇華を目指す。本システムは外科医のトレーニングシステム・医学生の教材としても有用性が極めて高く、教育シミュレーションへの応用も視野に入れる。

## 6. 何を期待するか？

### 6.1. 「患者不在」と「研究者間のなれ合い」は厳に慎むべし（長谷川）

パネル討論の資料ということなので、以下、質問形式で述べさせていただきます。

質問 1) 国家の莫大な税金を投入する以上、この領域の研究成果の最終受益者は「一般市民」や「患者」でなければならない。彼らに対してどのような形で見える貢献を果たそうとしているのか？開発成果をいつどのような形で実稼働させるのか？内部の研究者、関係者の自己満足（論文執筆、環境整備）で終わる危険性はないのか？

質問 2) 「医用画像完全理解」を唱っているが、「完全」とはどういう意味か？「完全」に対する研究代表者間の共通理解はなされているのか？また、その観点から、医学側グループと工学側グループの連携は十分取れるのか？あるいは、主導権はどちらが取るのか？

質問 3) 本領域では「AI 医療」が研究の大きな柱の一つとして認められている。しかし、海堂尊氏の講演などを聞く限り、AI 医療に対する社会的理解（遺族側よりむしろ既存医療組織側）はまだ十分とは言えない。その理解促進あるいは啓蒙を進める上で、本領域での研究成果をどう利用するか、あるいは、どのような成果を出せばよいかの見通しは立っているのか？

### 6.2. モデル構築法の確立に期待する（羽石）

本領域の目標や全体像を十分に把握しているとは言いがたいが、パネル討論に招待いただいたこの機会に、領域ホームページなどの情報から内容を推察し、筆者なりに考えたところを述べてみる。

人体の任意の部位の物理的・生理的諸特性を、任意の時空間分解能で収集する装置はもちろん存在しない。この意味で医用画像収集はいつも断片的である。従来の医用画像診断はこの断片的な情報に基づき、これに医師の経験や知見を加えて行われてきたと言える。これに対し、各種の医用画像や解剖学情報の膨大な集積から統計モデルを構築し、これを利用して、収集したデータ以上に詳細な人体情報を推測し診断・治療等に生かしていくことが、本領域の基本的な考え方と捉えている。たとえば PET の再構成などにおいて、部位の濃度分布に関する事前情報を導入しベイズ則に従って画質を向上させるアプローチなども、同じ方法論とみなせるであろう。これらは妥当なアプローチと考えられる一方で、統計的な信頼性に対する検証が常に求められるところである。筆者自身、胸部の呼吸由来変動をモデル化して各種医用応用を展開したいと考えている。この際、理想的には個人差までも表現できる動的

解剖学的モデルを構築したいと考えているがその道は容易ではない。このアプローチにしたがって、与えられた5年間という期間で完璧なモデルが完成する、というのではないであろう。むしろ、モデル構築の方法や手順を整理し、また数学的表現の基本的な形態を確立し、期間終了後も、その流れの中でモデルの高精度化を行う道筋を作ることを本領域に期待したい。

### 6.3. 計算解剖学の進展に期待すること（佐藤哲）

新学術領域「計算解剖学」何をを目指すか？何を期待するか？このテーマのパネル討論に参加する機会を頂き、ホームページを見た限りの情報から期待することについて述べよとのご指示を受けました。何を期待されているかについて研究概要などの説明を読みましたが、プロジェクト開始当初ゆえの問題なのか具体的な内容が掴めず、何を期待して良いのか思い悩んでしまいます。昨今の情勢を鑑みますと、大規模研究プロジェクトへはアカウンタビリティが今まで以上に強く求められているよう思います。プロジェクトにご関係される先生方はもちろん、医用画像の分野で研究をしている我々以外の方々にも、端的に「計算解剖学」とは何かが容易に理解されるような説明が必要なのではないでしょうか。何が期待できるかは、その基本や前提が理解された後に自然と産まれてくると考えます。ページ終段で述べられている「期待される成果」も、全てが真に実現可能であれば大変意義深いと思われませんが漠然としており、大きく捉えすぎの感が否めません。これもまた具体的な説明ではないように見受けられます。これらプロジェクトの具体性について当日の討論を通じて明らかにしていただき、「期待する」ことがいくつもありたいと思います。

## 7. むすび

パネル討論「新学術領域・計算解剖学」に向けて、本領域を推進する立場の研究者、および、オブザーバ的な立場の研究者のコメントを示した。以上を議論の開始点として、パネル討論における有意義な議論が期待される。

## 文 献

- [1] <http://www.comp-anatomy.org/>
- [2] 江澤英史：100万人のオートプシー・イメージング(Ai)入門，篠原出版新社，2005
- [3] 山本正二：オートプシーイメージング(Ai)センターの設立と現状，日獨医報，Vol.53，No.3/4，pp.116-129，2008

# 研究項目と研究班の構成

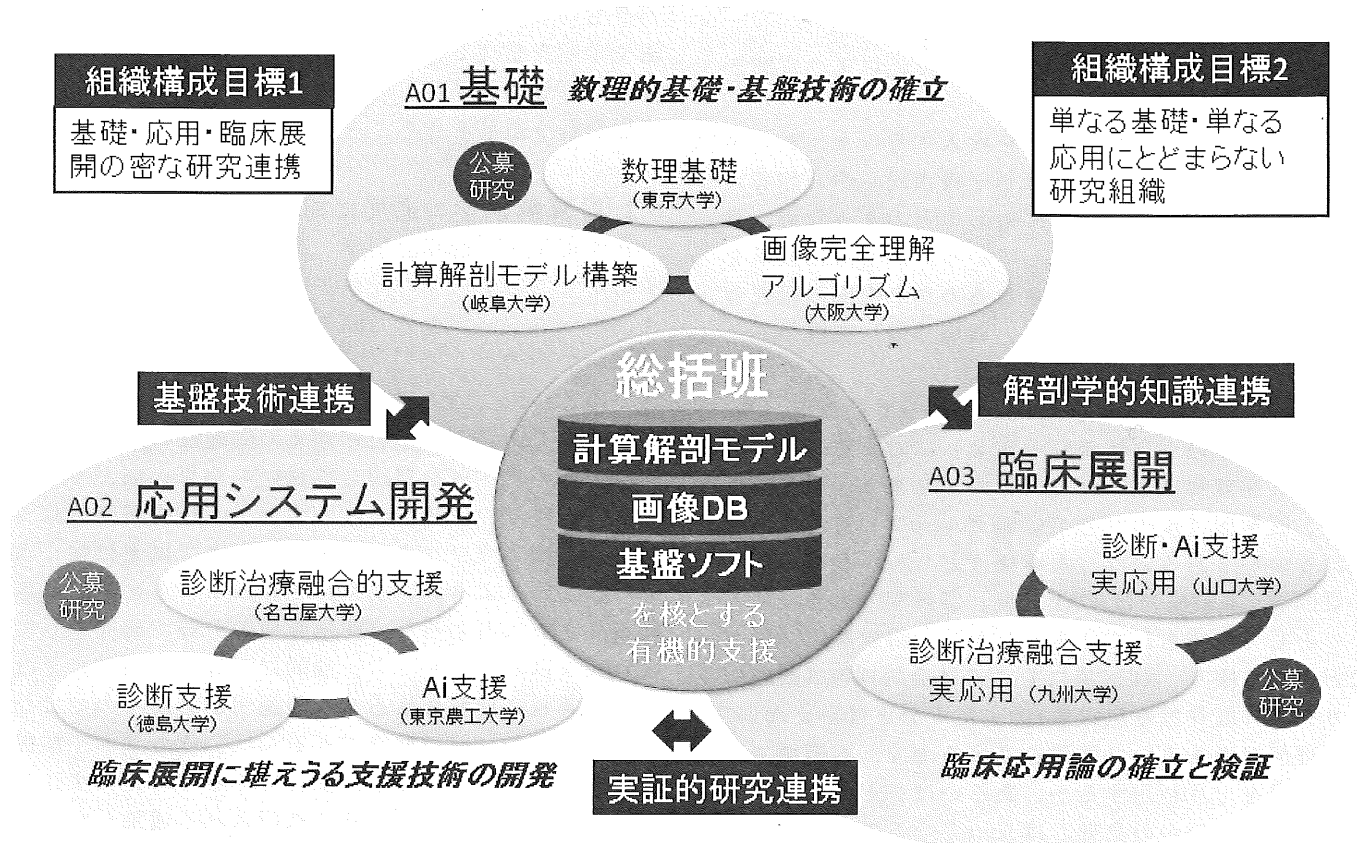


図1 新学術領域「計算解剖学」における研究項目と研究班の構成