

ポスト「京」(スーパーコンピュータ「富岳」) 重点課題 2
個別化・予防医療を支援する統合計算生命科学

Vol. 16

NEWS LETTER

Contents

• Research Report

何してるの?なぜ?どうやって?ちょっと解りやすく
教えて!に研究者が応える

発音の不思議に流体力学と「京」で切りこむ

• Information

お知らせやイベント情報

INTEGRATED
COMPUTATIONAL
LIFE
SCIENCE
TO SUPPORT
PERSONALIZED AND
PREVENTIVE MEDICINE



ポスト「京」
重点課題2
個別化・予防医療を支援
する統合計算生命科学



■ Research Report

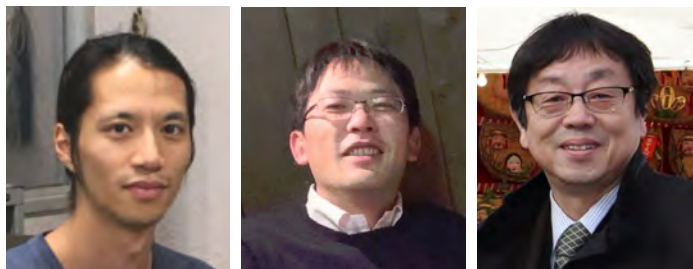
Subtheme **B**

発音の不思議に流体力学と「京」で切りこむ

サブ課題B

豊橋技術科学大学
大阪大学歯学部附属病院
大阪大学大学院基礎工学研究科

吉永 司
野崎 一徳
和田 成生
(左から)



みなさんは「す」と発音する時に、どんなことを意識していますか？舌の先端を前に出して口の先で狭めを作って、息を流して音を発生させて、と考えながら発音している人はいないと思います。ヒトは無意識に「す」と発音していても、口の中ではさまざまな現象が起こっています。流体力学という物理学の一分野では、この空気の乱れにより発生する音を空力音と呼んでいます。この音を発している口の中の空気の流れは、みんなが同じ「す」を発音していると思っても、みんな同じ口の形をしているわけではないので、少しずつ違った現象が起こっています。その様子がスーパーコンピュータ「京」によるシミュレーションにより明らかとなりました。

最近話題の音声研究

最近、音声に関する研究が注目を集めています。特に話題になっているのは、Google アシスタントや Amazon アレクサなど人工知能 (AI) と呼ばれるソフトウェアです。その性能が近年劇的に良くなり、AI スピーカーが人の呼びかけに対してほとんど違和感なく受け答えができるようになってきました。この AI の性能を良くした原因としては、深層学習 (ディープラーニング) と呼ばれる技術がコンピュータの性能向上とともに発展し、AI で使われている技術、音声認識や音声合成の精度が向上したからです。

音声認識は、人が話した音声に対して、何を話していたのかを推定する技術です。Google や Amazon ではさまざまな人がしゃべった大量のデータを処理することで、多変な発音やなまりが入っていたとしても、しゃべった人が意図した言葉を認識できるようになりました。

一方、音声合成では、ある人が話したデータ (原稿を読んだデータ) を大量に

処理して、合成することで、AI のプログラムが考えた返答を、人の発音として違和感なくスピーカーから出力することができます。この技術は Text-to-Speech とも言われ、インターネットで検索すれば、無料で利用できるウェブサイトがたくさん見つかります。そして、実際の人と話している声と区別がつかないといわれています。

しかし、これらの技術を医療に応用することを考えるとどうでしょうか。もちろん、まったく話せなくなった人 (筋萎縮性側索硬化症等で発声機能を失ってしまった人など) に対しては、患者さんの声を録音しておけば、キーボードで打った言葉をスピーカーに代わりに話してもらうことは可能になります [1]。一方、構音障害といわれる、特定の音がうまく発音できない障害が知られています。このような人にスピーカーをつけて特定の音だけスピーカーから発音してもらうなんてことはできません。この場合、言語聴覚士の人が患者さんの症状に応じてリハビリ治療を行う必要があります。

言語聴覚士のリハビリ

言語聴覚士の人は、患者さんはどの音が発音できないのか、そしてどのように音が発音できていないかを、患者さんと話しながら診ていきます。また、構音障害でもさまざまな種類があり、特に歯科医院を受診する患者さんの中には、器質性構音障害と言われ、口唇口蓋裂と言われるくちびるや歯茎に裂がある人や、鼻咽腔閉鎖機能不全と言われる口と鼻の空間の仕切りとして働いている弁が上手く機能せずに発音できない人などがいます。このような患者さんは、手術を行うことで器官を適切な形状に治すわけですが、治した後に患者さんがこれまで発音できなかった音を上手く発音できるとは限りません。

そこで、言語聴覚士の人が舌の形をこうしてみてもかああしてみても動かして、リハビリ治療を行っていきます。例えば、発音が難しいと言われる/s/の発音では、口の先端で舌のすばみを作らないといけないのですが、ストロー等を用いてそ

■ Research Report

Subtheme **B**

の舌の形が作れるように訓練していきます。しかし、発音というのは口の中から出る空気の流れの振動から音として伝播するわけですが、口の中の空気がどうなっているのか、患者さんがどう口の形を作っているのか、どう変えたら上手く発音できるのかは簡単にはわかりません。

どうやって口の中の見えない空気の流れを調べるのか

そこで、スーパーコンピュータ「京」で行っている物理シミュレーションが活躍します。流体力学という空気の流れの法則を表す式を用いてシミュレーションを行うことで、口の中で空気がどのように流れ、音が出てくるのかを計算することができます。つまり、どのような口の形を作れば、どのような音が出てくるのか、正しい発音をするにはどのように舌を動かせば良いのかを調べることができます。

しかし、シミュレーションするといっても、そう単純ではありません。我々のグループではさまざまな試行錯誤の末、以

下に説明するような手法で、これまで予測が難しかった /s/ の発音に関して、より精度良く予測できることがわかってきました。その一部を紹介します。

まず、シミュレーションを行うには、口の形状を計測する必要があります。現在では CT や MRI などの医療機器の発展により、3次元の口腔形状を取得することが可能となりました。その中でも MRI は、CT や X 線画像のように被爆する恐れがなく、さまざまな撮像を試行錯誤できるため、発音の際の口の中の動態を調べるのに適していると言われています [2]。しかし、MRI では発音に重要な歯の形が計測できません。そこで、唇や舌を歯に押し当てることで、影絵のようにして歯の形を抽出しました (図 1(a-1))。そして、歯が写っていない状態で /s/ の発音も撮影します (図 1(a-2))。さらに、それぞれの表面形状を取り出し (図 1(b))、歯抜きの状態から歯の形状を計算することで、/s/ の発音形状が作れます (図 1(c))。

形状ができた次は、シミュレーションの計算を行う準備をします。得られた形

状だけではシミュレーションに必要な流体力学の式を計算できないので、計算するための格子を口の形に沿って切る必要があります。このとき、/s/ の発音では、口の先端から出るジェット気流の細かな乱れから音が発生します。なので、その細かな乱れを計算できるくらいに格子を細かくする必要があります [3]。今回の計算では、図 1(d) のように歯と唇の辺りを細かく格子を作り、1つの口腔形状につき約 4 千万点の格子を作りました。この格子 1 点 1 点につき、3次元の空気の流れと音の密度変化、温度の変化を計算します。結果、計算量は膨大になるので、スーパーコンピュータ「京」を使って計算を行っています。

口の形が違うのに同じ発音になるの？

上記の口腔形状の取得と計算格子の構築を、正しく発音できる 5 人の被験者に対して、2つの音素 /s/ と /sh/ で行いました。/s/ は日本語では「シ」以外のサ行の音で、/sh/ を使う「シ」だけは違っ

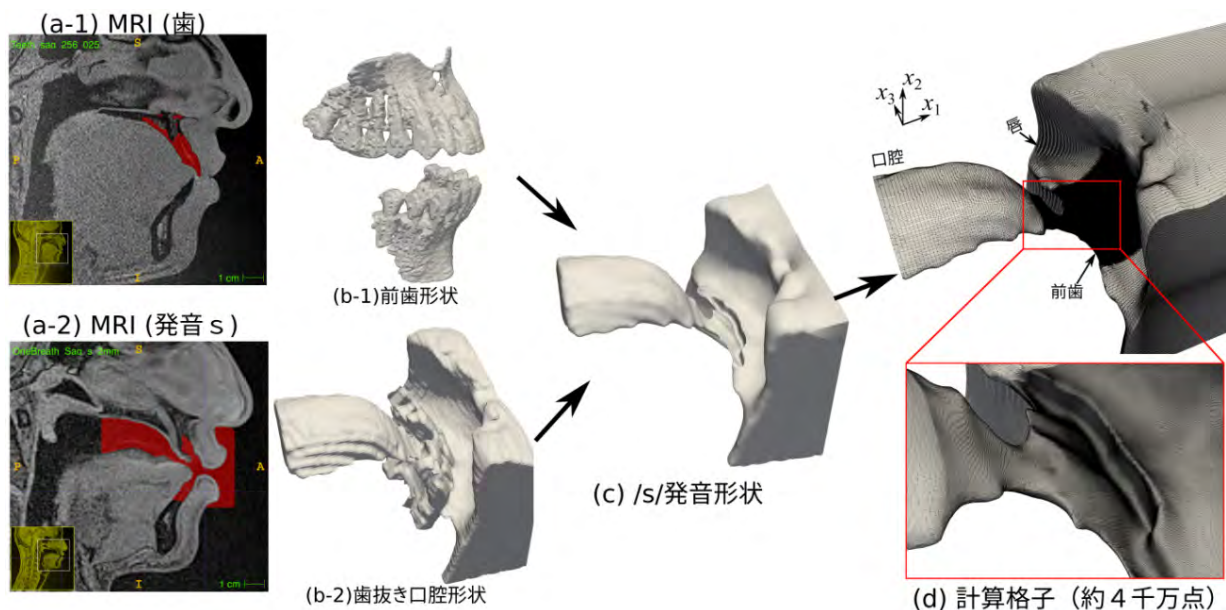


図1: 発音/s/の口腔形状の取得と計算格子の構築

■ Research Report

Subtheme **B**

た口の形で発音していて、この2つの音の区別が難しいとされています。シミュレーションの結果を図2と図3に示します。それぞれの結果は、口の中央を縦に切った断面（矢状面）での気流の速さを色で示しています。

それぞれの口の形で、赤の早い流速が舌と上顎の狭い隙間で生まれ、それが唇に行くにつれてゆっくりとなり、細かな渦の乱れが発生している様子がわかります。また、人によって唇や舌の形が違うにもかかわらず、みんな同じように上の歯の歯茎の辺りで赤い気流が乱れている様子が確認できました。これは、幼児のときに親の発音を聞いて学習し、親と同じ発

音ができるように、舌を動かして調整していった結果だと考えられます。しかし、詳しいメカニズムを明らかにするには、さらに舌の筋肉と学習を組み合わせたシミュレーションを行う必要があります。

発音の不思議—口腔形状と音程の関係性

また、図2と図3を見比べてもらうと、それぞれの被験者で口の形が少しずつ変わっているのがわかると思います。これは、例えば「すし」と発音してもらうとわかるのですが、舌の先端が少し後ろ側に移動することで、下前歯と舌の先の間

空間ができて口の形が変わります。口先の空間が広がるので、音としては低い音に変化します。人はこの違いを聞き取って「すし」と「す (/su/)」と「し (/shi/)」の違いをちゃんと認識することができます。

それでは、この5人のシミュレーションから出てきた音の違いを見てみましょう。図4の(a)には5人の/s/ (b)には5人の/sh/のスペクトルを示しています。スペクトルでは、各周波数での音の大きさを見ることができます。このスペクトルを見ると2 kHzから20 kHzまで非常に高い周波数の音が出ていることがわかります（ピアノの真ん中のラで440 Hz）。また、そのスペクトルの形も人によってさまざまだと

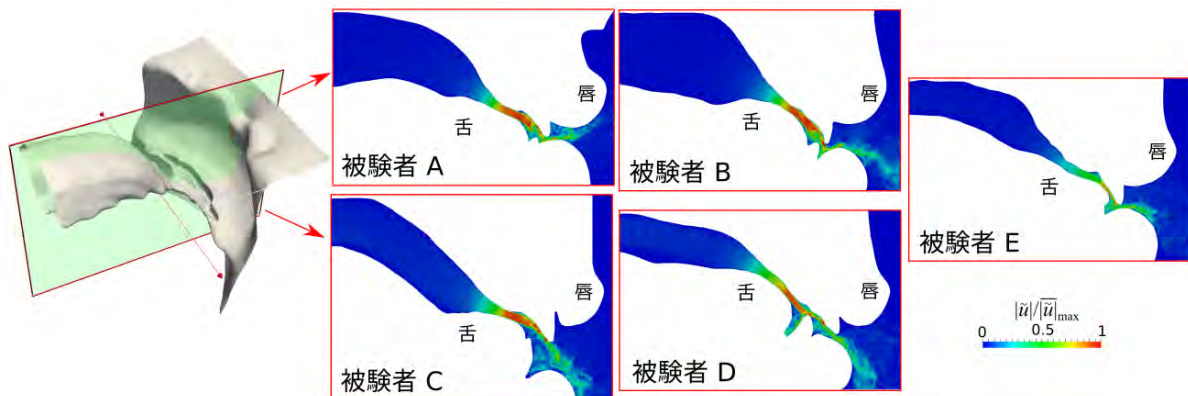


図2: 被験者5人の/s/発音の気流

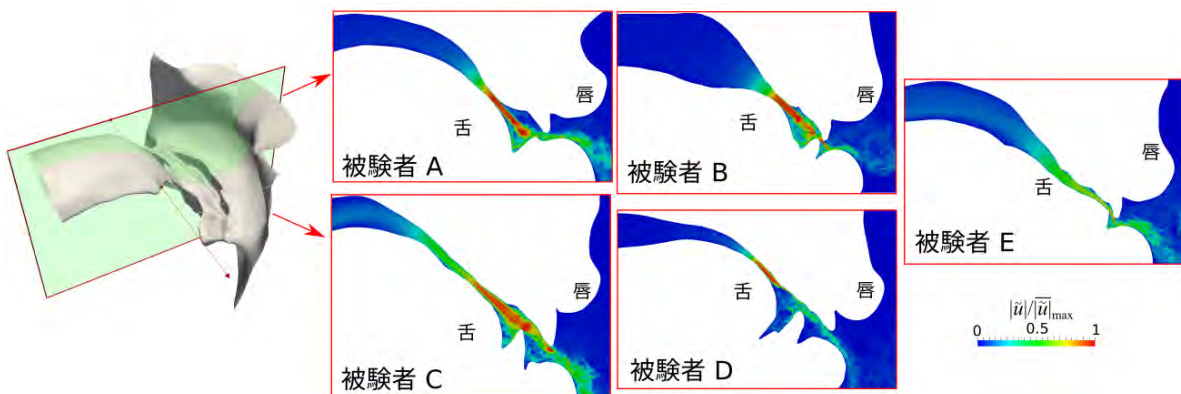


図3: 被験者5人の/sh/発音の気流

■ Research Report

Subtheme **B**

ということがわかります。人によっては/s/の音が他の人の/sh/のような音になったり、その逆に/sh/を発音していても/s/のような音になったりする人もいます(図4(b)の被験者Dなど)。つまり、上手く/s/と/sh/を区別して発音するには、その人の中で/s/と/sh/の音の相対的な差があればいい(/s/は高い周波数の音を大きく、/sh/は低い周波数の音を大きくする)ということがわかります。また、今回のシミュレーションで、その音の差は、舌と下前歯の空間の体積の差によって生み出せることが明らかになりました。

構音障害の治療への貢献に向けて

正常に発音できる被験者でのシミュレーションに続いて、現在、構音障害をもつ被験者の口腔形状を取得し、シミュレーションを行う予定を立てています。また、構音障害のリハビリに貢献するには、口の中の現象を患者さんに見てもらうのも大事だと考えています。そのため、大阪大学サイバーメディアセンターの大規模可視化システムを利用することで、3次元没入型の装置の中で口の中の気流と音を見る試みを行っています(図5) [4][5]。

このような装置を上手く使うことができれば、言語聴覚士と構音障害の患者さんの理解に繋がり、リハビリ治療に貢献できると考えています。今後、流体力学という物理に基づいたシミュレーションで、音声研究にどこまで役に立てるかご期待下さい。

謝辞

ATR-Promotions BAICの島田育廣博士には、本研究のMRIの撮影全般に協力いただきました。ここに感謝申し上げます。

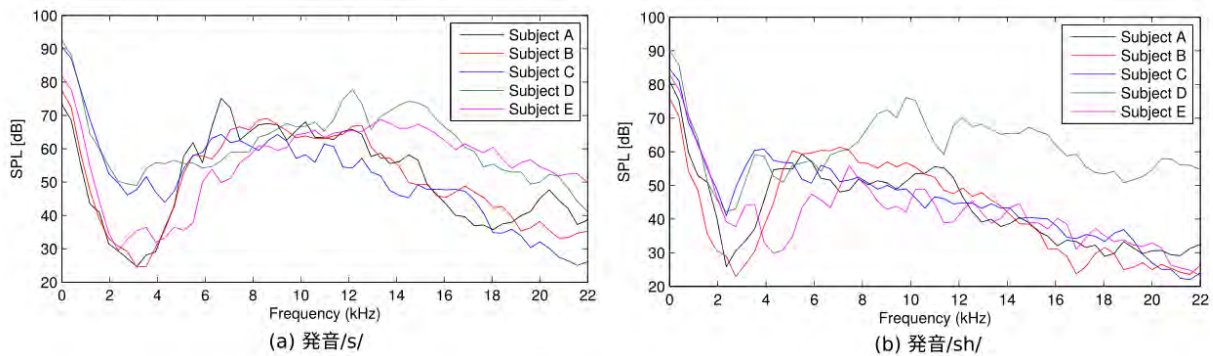


図4: シミュレーションで予測した(a)/s/と(b)/sh/の音のスペクトル

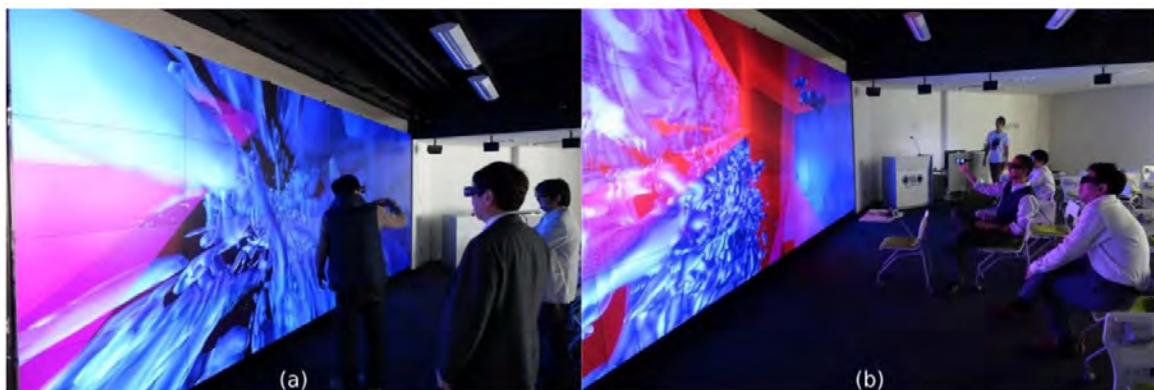


図5: 大規模可視化システムでの3次元没入型可視化 [5]

<参考文献>

- [1] 山岸 順一、音声の障がい者のための最先端音声合成技術、*情報管理*、vol.57, no. 12, 2015.
- [2] 北村達也、正木信夫、MRI観測を基礎にした音声生成系研究の進展、*日本音響学会誌* 62巻5号2006.
- [3] Yoshinaga, T., Nozaki, K., and Wada, S. "Experimental and numerical investigation of the sound generation mechanisms of sibilant fricatives using a simplified vocal tract model," *Physics of Fluids*, 30, 035104, 2018.
- [4] 吉永司、野崎一徳、安福健祐、木戸善之、下條真司、和田成生、空力音響シミュレーションで大規模可視化システムを用いた摩擦音発音の可視化、*NICOGRAPH2017*, pp.056-059, 2017.
- [5] http://vis.cmc.osaka-u.ac.jp/cat_gallery/usercase08/

Information

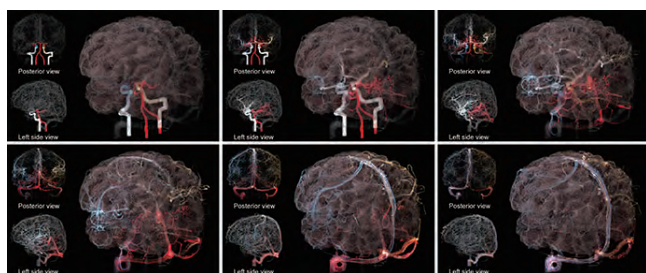
News & Events

受賞報告：第24回計算工学講演会グラフィックスアワード優秀賞と特別賞を受賞

サブ課題B研究グループが、第24回計算工学講演会にてグラフィックスアワード優秀賞と特別賞 (Meshman) 賞を受賞しました。グラフィックスアワードとは、計算工学講演会論文集に掲載された論文のコンピュータグラフィックスコンテンツの中で優秀と認められたものに授与される賞です。作品は、全脳血管モデルを使って「京」で計算した結果を可視化した画像 (静止画) です。血液が、頸動脈と椎骨動脈から入り脳全体に行きわたり、頸静脈から出ていく過程をシミュレーションしています。この画像と映像版は、当ウェブサイト「ギャラリー」ページで公開しています。

○ 優秀賞・特別賞 (Meshman賞) とともに

- 作品名: 医用画像と数値モデルを組み合わせた脳血管網モデリングと全脳循環血流場の数値計算
- 論文名: 全脳循環血流場の大規模並列シミュレーション
- 著者: 石田 駿一 (神大)・北出 宏紀 (阪大)・伊井 仁志 (首都大学東京)・今井 陽介 (神大)・和田 成生 (阪大)



グラフィックスアワード優秀賞および特別賞受賞作品

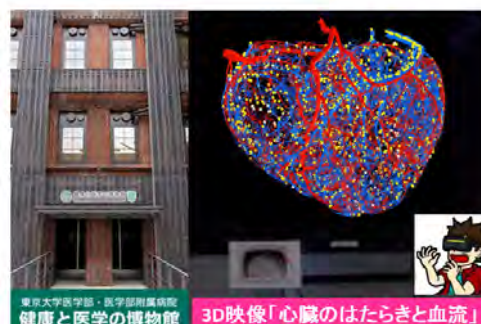
UT-Heartの3D映像、「健康と医学の博物館」にて展示中

平成31年4月にリニューアルオープンした東京大学医学部・医学部附属病院「健康と医学の博物館」は、人体のしくみや構造、最新の健康・医療情報、医学や医療開発の歴史等を公開している博物館です。現在開催中の企画展「医療の今

を知る」では、5つのテーマを設けて、現在の医学・医療の最新トピックを紹介しています。その中の企画展Dにおいて、UT-Heartの3Dシミュレーション映像「心臓のはたらきと血流」が展示されています。短い映像ですが、心臓の拍動や冠循環により心筋に血液が行きわたる様子は、3Dならではの躍動感があります。お近くにお越しの際はどうぞ体験ください。

○ 博物館情報

- 開館時間: 10:00 ~ 17:00 (最終入場: 16:30)
- 休館日: 毎週水曜日※水曜を含め祝日は開館、年末年始
- 入場料: 無料
- Web: <https://mhm.m.u-tokyo.ac.jp/>



(左図) 博物館の外観 (右図) 冠動脈に入った血液が、7~8拍で微小循環を経て右心房に戻る様子

International Conference on Biomechanics and Medical Engineering (ICBME2019)

- 日程: Sep 20-23, 2019
- 場所: Catamaran Resort & Spa, San Diego, CA, USA
- WEB: <http://www.icbmeconf.com/>

○ Paper

- Title: Inverse Estimation of 3-D Traction Stress Field of Adhered Cell based on Optimal Control Technique using Image Intensities
- Author: Satoshi Ii, Keisuke Ito, Naoya Takakusaki, Naoya Sakamoto



文部科学省 ポスト「京」(スーパーコンピュータ「富岳」) 開発事業

重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関するアプリケーション開発・研究開発

重点課題2 個別化・予防医療を支援する統合計算生命科学

Integrated Computational Life Science to Support Personalized and Preventive Medicine

■ 問い合わせ先

国立大学法人東京大学医科学研究所 ヒトゲノム解析センター DNA情報解析分野
ポスト「京」重点課題2 個別化・予防医療を支援する統合計算生命科学 事務局

〒108-8639 東京都港区白金台 4-6-1 TEL: 03-5449-5615 FAX: 03-5449-5442

E-mail: icls-office@hgsc.jp URL: <http://postk.hgc.jp/>



ポスト「京」重点課題は、国家基盤技術としてスーパーコンピュータ「京」の後継機となる「富岳」を活用し、国家的に解決を目指す社会的・科学的課題に戦略的に取り組み、世界を先導する成果の創出を目指す文部科学省の事業です。重点課題2「個別化・予防医療を支援する統合計算生命科学」は、東京大学医科学研究所を代表機関として、スーパーコンピュータ「富岳」によって初めて実現できる「情報の技術」、「物理の原理の応用」、そして「ビッグデータの活用」により、病態の理解と効果的な治療の探索法の研究を行い、その成果を個別化・予防医療へ返す支援基盤となる統合計算生命科学を確立することを目的としています。