

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

NEWS LETTER

Vol. 3

Contents

- Research Report

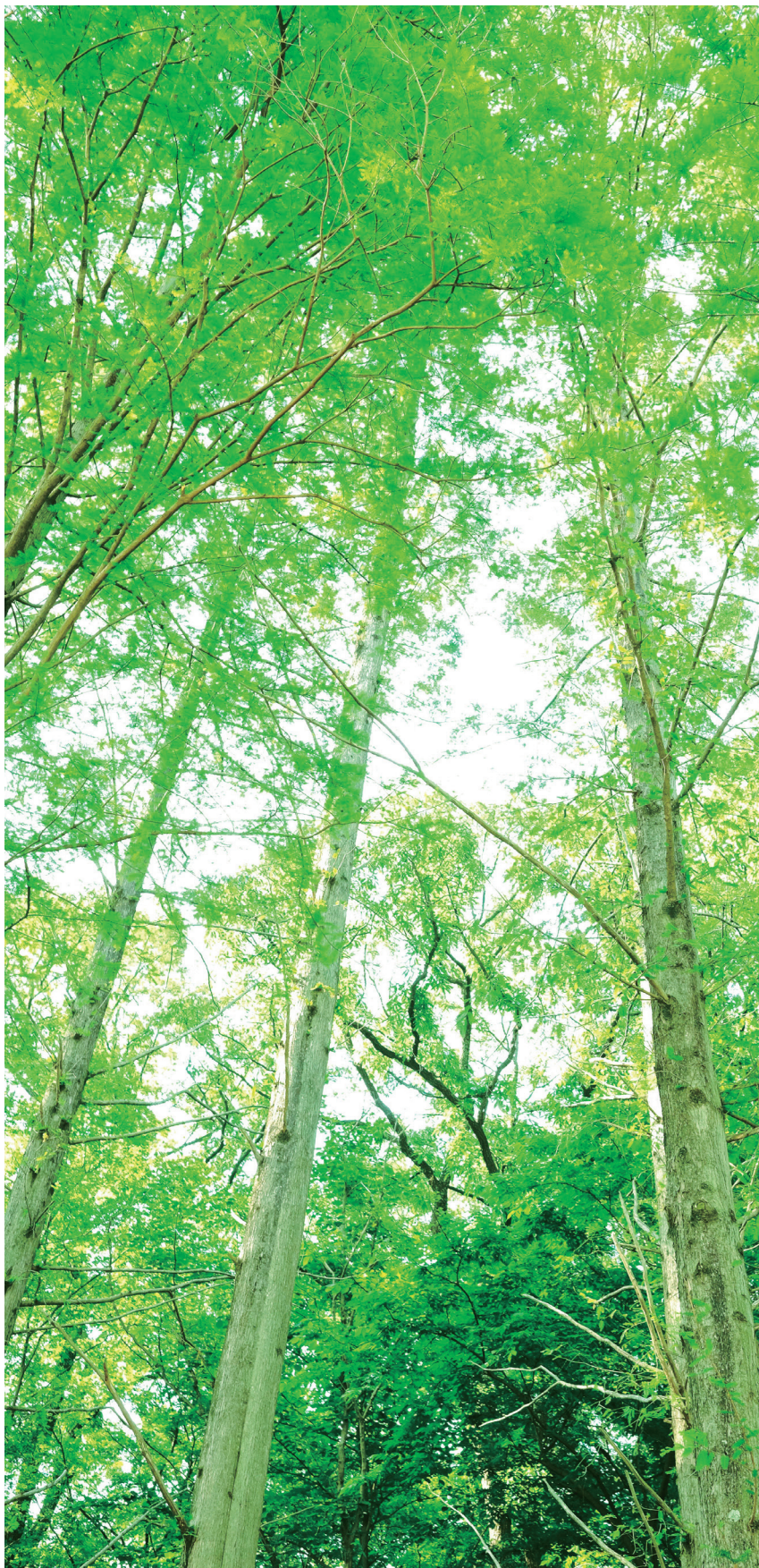
何してるの?なぜ?どうやって?ちょっと解りやすく
教えて!に研究者が応える

—「話す」ために「ああすればこうなる」を—

- 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**

「話す」ために「ああすればこうなる」を

サブ課題B

大阪大学歯学部附属病院 野崎 一徳
大阪大学大学院基礎工学研究科 吉永 司
大阪大学大学院基礎工学研究科 和田 成生
大阪大学歯学部附属病院 玉川 裕夫
(左から)



私たちの研究グループ（「話す」仕組みを物理学的に解き明かす研究）は、「話す」こと自体が困難な方々が「話したい」と願った時に、その願いを少しでも叶えるためにあります。どのようにすれば頭の中にある言葉を音にして相手に伝えられるのかを、直感的に理解することができれば、そのように舌を動かして息をすれば良いのだな、等と気づくことが出来るのではないかと希望を持っています。つまり、ホースに水が流れている時に、先の方を強い力で握れば「シュー」という音がでるように、「ああすればこうなる」ということを、「話したい」と願う方々に伝える取り組みです。

そのためにはまず、なぜ我々が「話せる」のかを解き明かす必要があります。
今回のレポートはその序章となるものです。

ホモ・サピエンスとネアンデルタール人の違いはほぼ首から上

我々自身を知ることは誰しもが興味をもつことです。そのため、類人猿とネアンデルタール人とホモ・サピエンスの違いについて考古学的資料に基づき、様々な研究がなされています。ホモ・サピエンスとネアンデルタール人との違いは首から上がほとんどです。

特に顕著なのはオトガイの有無であると言われていますが、その科学的な理由は分かっていません。後期石器時代に生き残ったホモ・サピエンスは、他の種よりも革新を行う傾向が強かったと推測されています。脳科学的には、ホモ・サピエンスの側頭葉は、ネアンデルタール人よりも20%程大きく(Lieberman, 2006)、知識を活用する上で重要な機能である記憶と言語に違いがあったと考えられています。

「話す」は、声道の形を変えて色々な音色の声を出すことから始まった？

「話す」機能の違いを調べる際に、現代科学者がしていることは、解剖学的な形態を調べ、現代人との違いを見つけることです。肺から唇にかけての空間の三次元的な形状（声道）の違いから、「話す」能力の程度を推測しています。類人猿とホモ・サピエンスでは口

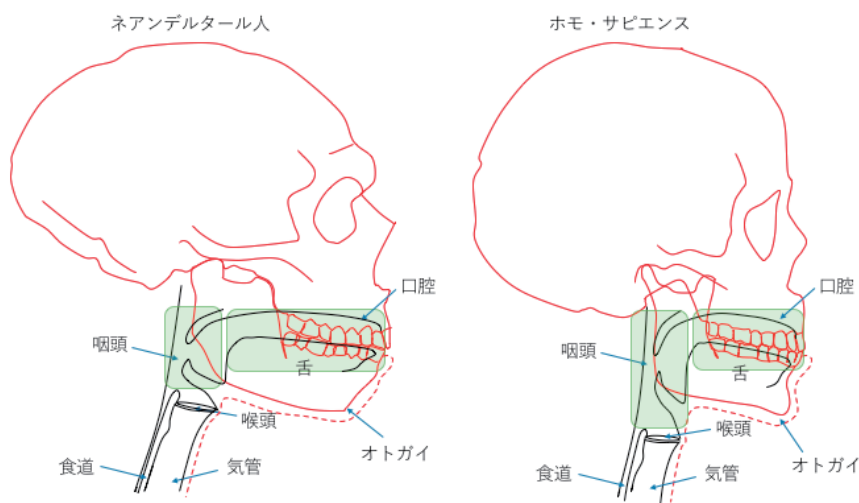


図1: ネアンデルタール人とホモ・サピエンスではオトガイ部の発達度合いが異なる。また、口腔部分と咽頭部分の体積の比率が異なる。ホモ・サピエンスでは口腔が前後に狭く、舌が折りたたんだ形となっており、複雑な動作に適していると思われる(Lieberman, 2015)。

Research Report

Subtheme B

腔領域の空気の流れ方向の長さに明確な違いがあります。ネアンデルタール人とホモ・サピエンスの間にも同様の違いがあります。考古学的な研究では、流れ方向の口腔の長さが短くなり、喉頭（喉仏付近）が下降し、それによって咽頭付近の空間が上下に伸びたことで（図1）、舌の居場所が狭くなったため、その中心部付近で屈折し折りたたまれた状態になったと推測されています。この状態になったことによって、舌はより機敏に自由に動くようになった（Bastir et al., 2011）と考えられています。言い換えれば、舌を動力学的な平衡状態に置かれること（十円玉を机に立たせた時と同じような物理的状态）となったと推察されます。ただし、舌の居場所が狭くなったことにより、舌筋が適応して縮小した可能性も十分考えられます。

言葉を発生させるしくみについて研究する調音音声学の分野では、声道の形態である声帯と舌と上顎の間の狭窄の位置、そしてそれらの位置での声道断面積に代表される特徴の値が分かれば、その特徴からどのような音色の声が発生するかを予測できることが知られています（Stevens and House, 1955）。つまり、

ホモ・サピエンスは、声道の形態を多様に且つ機敏に変化させることで音素の組み合わせを生み出し、その結果、言語における単語から文節まで音による符号化に成功し、それによって意味情報の交換を行うことが出来るようになったと思われます。

声が出るしくみを知るため母音と子音の音源を探る

調音音声学では、母音と子音でその発生機構が異なることが知られています。母音の音源は声帯にありますが、子音には声帯が音源になる有声音とそうでない無声音があります。「さ」行や「は」行などの無声音の音源の正確な場所は、最近ようやくわかってきました。1990年代にアメリカのマサチューセッツ工科大学によって、簡単な木製の狭窄された円管と円管出口付近に設置した三日月状の障害板（歯に模した板）で構成された機械モデルで、「さ」行に近い音を発生することが示されました（Shadle, 1985）。一方で、前歯が欠けたり抜けたりすると、「さ」行が話にくいことは古くから知られており（Palmer, 1974）、

入歯等の制作では「さ」行を特別に意識した歯並びの方法が提案されています（Pound, 1951）。

このようなことから私たちの研究グループは、「さ」行を発音するには歯の裏の形態が重要な要素なのではないか、と考え、当時モータースポーツ分野で発達していた数値流体シミュレーションを口腔内での調音に取り入れました。その結果、上下前歯の隙間付近に流体から発生する音源（空力音源）がある可能性が示唆されました（Nozaki et al., 2005）。空力音源からどのような特徴を持った音が発生し、どのように口から外へ伝播するのかについて知るためには、さらなる技術的な向上が必要となりました。「さ」行は（周波数が）高い音なので、その音源は小さな渦になります。小さな渦の流れを計算機上で再現するためには、口の中の空間を少なくとも数億程度に区切る必要があります。2005年当時、そのような多くの計算用に空間を区切った格子（グリッド）を使った計算を行うことは非常に困難でした。このような難問はスーパーコンピュータ「京」の登場により解決することになりました。その結果については、次報をお待ち下さい。

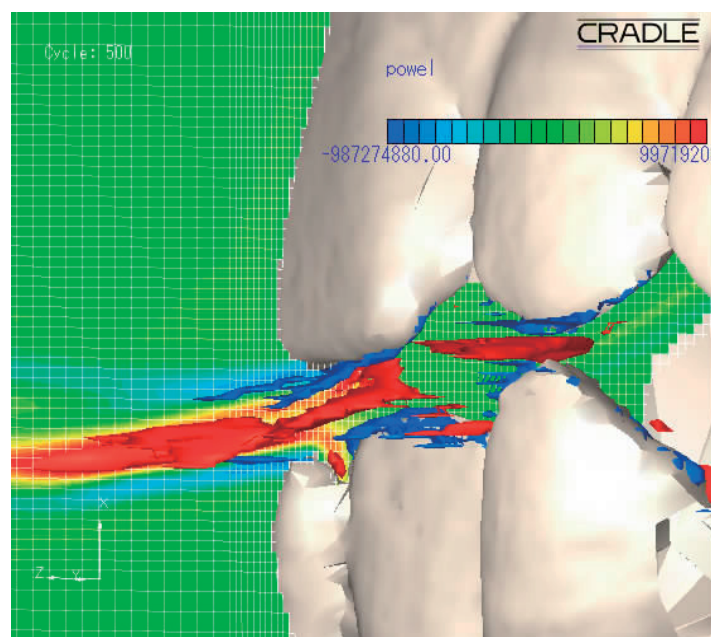


図2: 歯科歯列模型を用いた有限体積法乱流シミュレーションにより、流れのベクトルと渦度との外積の勾配（パウエル音源）を正（赤）負（青）で可視化した。前歯の裏側から切端にかけてパウエル音源が分布していることが分かる（Nozaki et al., 2005）。

Research Report

Subtheme B

音源の特定が難しい「さ」行に着目し、発音を模擬する機械モデルを構築

研究を進める中で、複雑な三次元形状である歯並び(歯列)を正確に考慮しなければ「さ」行を発音することは出来ないのか、という疑問が生じました。実際には腹話術師や歯科矯正が必要な患者も、「さ」行に近い音を出すことができます。では、どこまで歯列が異なっても同じ「さ」行と聞き取ることができるのでしょうか。

この疑問を解消するため、ホモ・サピエンス(著者)の実際の声道の特徴量(声道データにどのような特徴があるかを数値化したもの)として中舌部、最狭窄部、下顎前歯部、上顎前歯部、口唇部の5箇所での断面積を算出し、図3に示すような単純な機械モデルを構築しました。この機械モデルは、舌を模擬した構造物を流れ方向に移動させることで「さ」行の音を模擬できます(Yoshinaga et al., 2017)。本当の声道とはたった5点での断面積と縦横比しか一致していないにもかかわらず!

この結果から、今後さらに調査を進めなければなりませんが、母音に限らず子音も首の長さ、顔の形、顎の大きさ、そして歯の形が人によってそれぞれ違っていても、おそらく、我々が「さ」行と聞き取ることのできる声を出すことが出来るであろうことが想像できます。

先述のように、ネアンデルタール人はこの機械モデルで表現した舌部分の移動を容易には実現できなかったであろうと思われます。口腔領域の長さや咽頭領域の長さの関係が、発音にどの程度影響するのかについても今後の研究が待たれます。

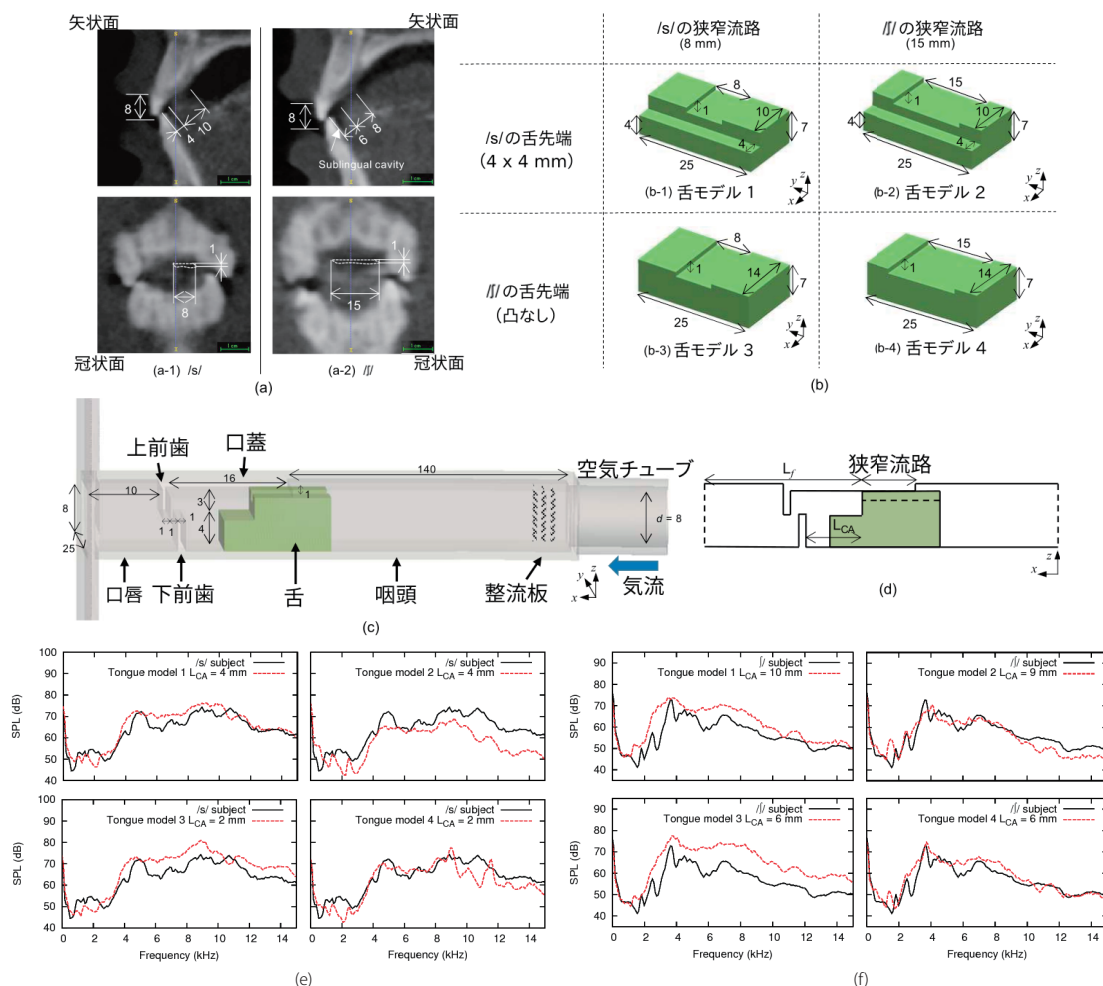


図3: 「さ」行の「す」と「し」について、それぞれ複雑な口腔形状を主要な5点での声道断面積を参考に構築した矩形モデルで、実形状の気道モデルと同様の音響スペクトル*を発生させることに成功した(Yoshinaga et al., 2017の図を一部改変)。

(a)被験者の/s/(a-1)と/j/(a-2)のCTによる縦断面像と横断面像。白い部分が歯や骨で黒い部分が空気のある部分を示している。これらの画像を参考に(b)のように舌を単純形状化した。この単純化舌モデルを(c)に示す四角柱のような矩形管内に挿入した。この舌モデルを前後(図中x軸)させることにより(e)や(f)に示すような音響スペクトルの特徴をもった音が発生した。(e)と(f)において赤点線と黒実線が最も類似しているケースがそれぞれみられる。「す」と「し」の発音時には、舌を数ミリ程度前後に移動すること等が必要であることを示した。

音響スペクトル*: 音圧や音の強さなどを周波数の関数やグラフにして示したもの

■ Research Report

Subtheme **B****口腔、鼻腔、咽頭部をフル活用して発話するのは唯一ホモ・サピエンス**

ホモ・サピエンスが発話するには、言語を司る側頭葉で学習した言語の法則性に従って任意に言葉を形成し、舌下神経や迷走神経などの脳神経を介して筋収縮命令を行っていると考えられています。その発話に関する命令セットは、舌を動かすだけでなく、鼻と口腔を隔てる蓋のような軟口蓋や、喉頭蓋の開閉も行います (Zemlin, 1998)。「さ」行を発音するときには、図4のように鼻咽腔閉鎖機能とよばれる口腔と鼻腔に通じている気道のうち、鼻腔へ通じる道を閉鎖する運動が行われています (Nozaki et al., 2016)。

舌運動による口腔形状の変化が共鳴の特性をより複雑にしている

ネアンデルタール人はホモ・サピエンスと比較して遥かに単純な言語体系しか持っていなかったとされていますが、解剖学的に推測可能な範囲を拡張し、物理的要因として声道断面面積を頭蓋骨から算出し、声道内の共鳴現象の特性を調べた研究があります (Boë et al., 2009)。

母音に関しては声道での共鳴の特性が分かれば、およそどのような声で話していたかを推測できます (Stevens and House, 1955)。ただし、「さ」行などの子音は口腔形状が舌運動によって複雑に変化し、共鳴の特性も複雑なものとなります。また母音とは違って、口腔

内を流れる空気の流れの変化が音源となる子音は、音源自体の特定が難しいのです。

ヒトがなぜ話せるか、その一部を物理的な観点から解き明かすためには、口腔と咽頭空間の体積比が大きな要因と思われますが、さらに複雑な言葉を話すためには、舌運動の言語機能に関する発達が不可欠です。今後、舌運動の物理的詳細について調査を進める予定です。

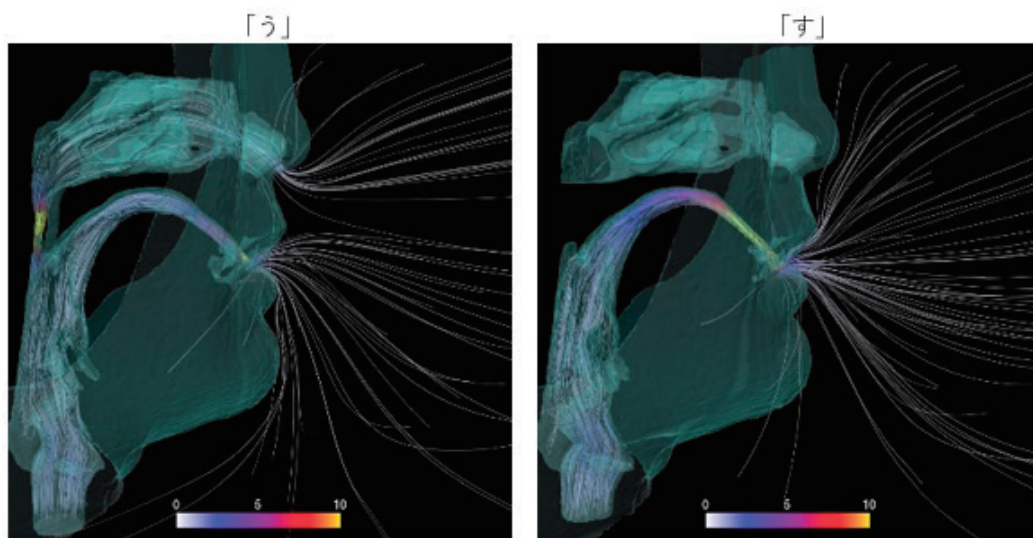


図4：鼻咽腔閉鎖機能による気道の流路へ変化。

「う」発音時には鼻腔に気流が発生している。「す」のときには口腔のみに速い気流が発生する (Nozaki et al., 2016の図を一部改変)。

<参考文献>

- Bastir, M., et al. (2011). Evolution of the base of the brain in highly encephalized human species. *Nature Communications* 2:588.
- Boë L.J. et al. (2009). Ability of reconstituted fossil vocal tracts to produce speech Phylogenetic and ontogenetic considerations. *ISSP2009*:313-320.
- Franciscis RG. (1999). Neandertal nasal structures and upper respiratory tract "specialization". *Proc Natl Acad Sci* 96:1805-1809.
- Lieberman P. (2006). *Toward an evolutionary biology of language*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Nozaki K., et al. (2005). The first grid for the oral and maxillofacial region and its application for speech analysis. *Methods Inf Med* 44(2):253-256.
- Nozaki K., et al. (2016). Velopharyngeal closure function strategy in articulation: Mechanical dynamics modeling of air flow in vical tract. In *Proc of IEEE BIBE 2016*:198-203.
- Pound E. (1951). Esthetic dentures and their phonetic values. *J Prosthet Dent* 1:98-111.
- Palmer JM. (1974). Analysis of speech in prosthodontic practice. *J Prosthet Dent* 31:605-614.
- Stevens, K. N., and House A. S. (1955). Development of a quantitative description of vowel articulation. *Journal of the Acoustical Society of America* 27:401-93.
- Shadle CH. (1985). The acoustics of fricative consonants. Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 194 pp.
- Yoshinaga T., et al. (2017). Effects of tongue position in the simplified vocal tract model of Japanese sibilant fricatives /s/ and /ʃ/. *J Acoust Soc Am* 141(3):EL314.
- ダニエル.E. リーバーマン (2015) 人体600万年史<上>, 早川書房.
- Zemlin WR. et al., (1998). 言語聴覚学の解剖生理, 医歯薬出版株式会社.

■ Information

News & Events

サブ課題A 小川誠司教授と宮野悟教授が、平成 28 年度上原賞を受賞

小川誠司教授と宮野悟教授が、上原記念生命科学財団が実施する平成 28 年度上原賞を受賞しました。この受賞は、「長年にわたる共同研究を通じて、広範ながん種における網羅的なシーケンス解析によるがんのゲノム・エピゲノム異常の全容解明に大きく貢献した」として、「先端ゲノミクスによる癌の分子基盤の解明」の業績が高く評価されたものです。

上原賞は、生命科学、特に健康の増進、疾病の予防、および治療に関する、東洋医学や基礎医学、臨床医学の諸分野の研究において、顕著な功績をあげ、引き続き活躍中の研究者に対して贈られます。

贈呈式は、3 月 10 日に大正製薬本社「上原記念ホール」にて執り行われました。

ATL：成人 T 細胞白血病リンパ腫



「ATL における遺伝子異常の解明」の研究では、全ゲノムシーケンスデータの解析に「京」を使用した。

サブ課題C 杉浦清了教授が、平成 28 年度中谷賞大賞を受賞

杉浦清了教授が、中谷医工計測技術振興財団から平成 28 年度中谷賞大賞を授与されました。中谷賞は、生体に関する医工計測技術分野における技術開発の飛躍的な発展を期し、顕著な業績をあげた研究者に贈呈されます。

今回、杉浦清了教授は「生体の多階層の計測データを統合し新たな情報を生み出す心臓シミュレータ "UT-Heart" の開発」のテーマで受賞しました。心臓シミュレータ "UT-Heart" は、病院で取得した心電図、心エコー、CT データ等を用いて、コンピュータ上で患者個別の心臓を擬似的に再現する医療機器プログラムです。革新的な医工計測技術の開発とその結果をシミュレーションによって統合するという新しい医療技術分野の開拓とその実用化に向けた顕著な功績が評価されました。

贈呈者に対する式典は、2 月 24 日にマンダリンオリエンタル東京グランドボールルームにて執り行われました。



贈呈式の様子
中谷医工計測技術振興財団ホームページより

ロゴができました!

私たち重点課題 2 は、がんをはじめ、循環器系、神経系などの「人」の疾患に対して、その病態の理解と効果的な治療を探索的研究をしています。ロゴでは、その「人」をモチーフにしたデザインで、私たちの活動を礎に個別化医療や予防医療によって「人」が元気になる様子を表現しています。

ロゴマーク中央にある ICLS は、プロジェクト名である「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) の略になっています。



ホームページでも絶賛紹介中



文部科学省 ポスト「京」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@hgc.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」の後継機となるポスト「京」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、ポスト「京」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。