音楽から探ることばの起源

「協調と制御」領域　岡ノ谷一夫

要旨

聞き慣れない外国語や初めて聞く音楽でも、しばらくするとメリハリがついて聞こえるようになる。これを分節化能力という。分節化能力のしくみと発達を知るため、音声を学習する鳥類であるジュウシマツをモデルに神経行動学的研究を行った。平行して、ヒト成人と乳幼児の脳波を測定し、音声分節化の発達を調べた。結果、音列の予測誤差が生じる部分で音声分節化が起こること、音声分節化には大脳皮質と大脳基底核で作るループ構造が関連していることがわかった。小鳥が歌を学ぶときにも、生まれたばかりの赤ちゃんが音楽を聴くときにも、同じような脳の活動によってひとつながりの音声がいくつかに区切られて処理されているのである。分節化能力は、動物の基本的な脳構造によって成立しており、ことばや歌、音楽を可能にしているのだ。

１．　研究のねらい

連続した音声を分節にわける能力は、言語を獲得する際にもっとも重要な能力のひとつである。分節化できなければ発話を単語にわけることができず、単語も文法も理解できないであろう。同様に、分節化の能力は音楽の鑑賞にも不可欠である。メロディーの切れ目がわからなければ、音楽はつまらない雑音になってしまうであろう。したがって、音声分節化は言語と音楽の共通基盤となる能力である。

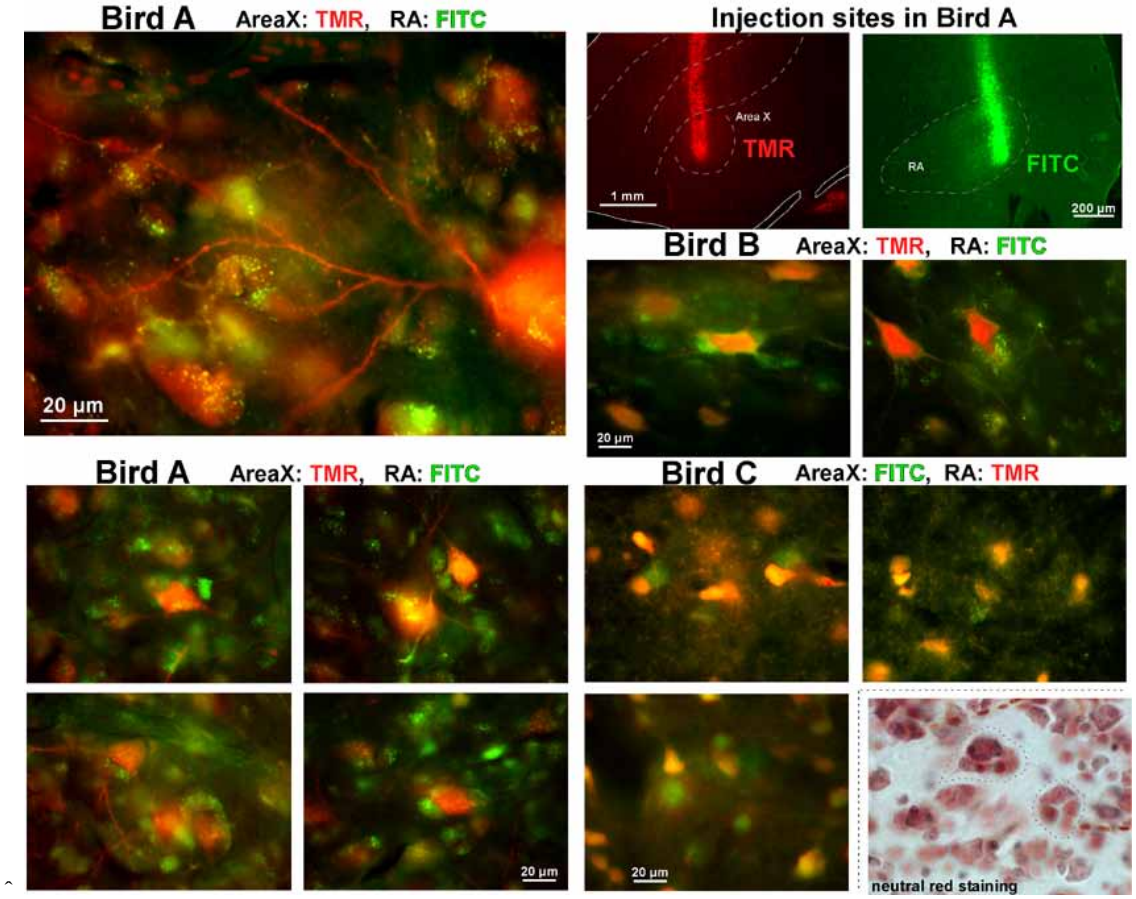
音声を学習によって獲得する数少ない動物種として小鳥がある。ジュウシマツなどの小鳥は、求愛のための歌を学習するが、歌は多くの要素からなる時系列で、複数の要素が分節をなしている。したがって、小鳥が歌をどのように分節化して学習するのか、その脳機構を深く理解し、ヒトが分節化を行う現象と対応づけをすることにより、音声分節化のしくみを理解できると考えた。

２．　研究経緯と成果

Ａ．小鳥の音声分節化に関連する解剖学的構造

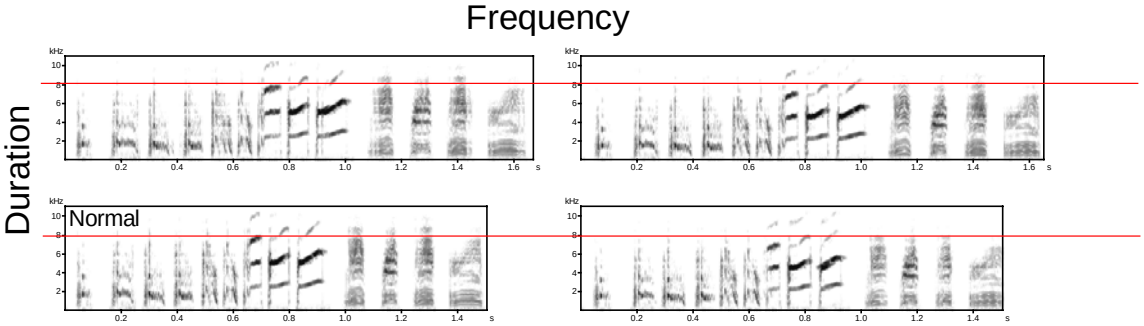
音声分節化を表象していると考えられる大脳神経核ＨＶＣは、大脳基底核Ｘと大脳運

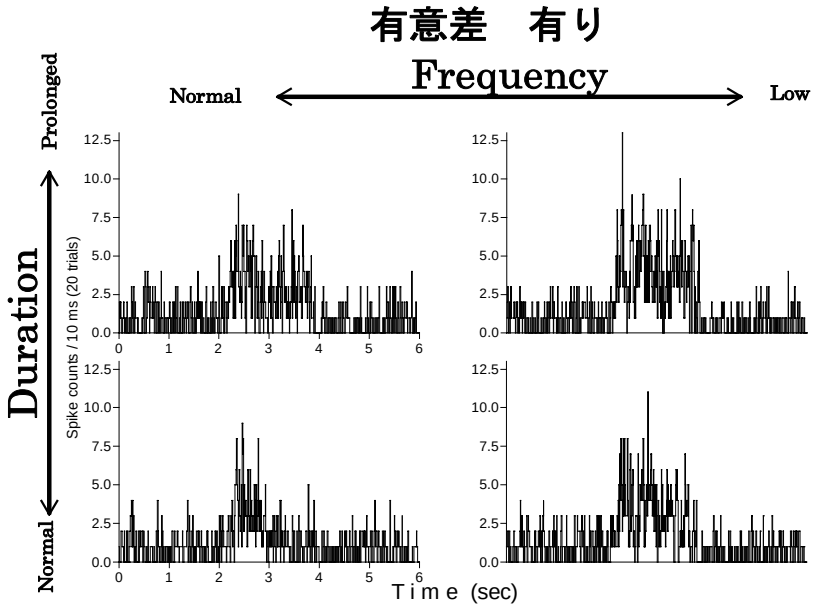
動神経核ＲＡとに投射している。ＨＶＣのどの部分からそれぞれの投射が出ているのかを知るため、ＲＡとＸとにそれぞれ標識物質を注入し、ＨＶＣの神経細胞の標識パターンを観察した。結果、下図にみるように、ＨＶＣ内ではＲＡへ投射するニューロンとＸへ投射するニューロンとが近傍に分布してクラスターを形成していた。このクラスター構造により、音節のチャンキングがなされていることが予想される。



Ｂ．小鳥の歌知覚と誤差の神経表象

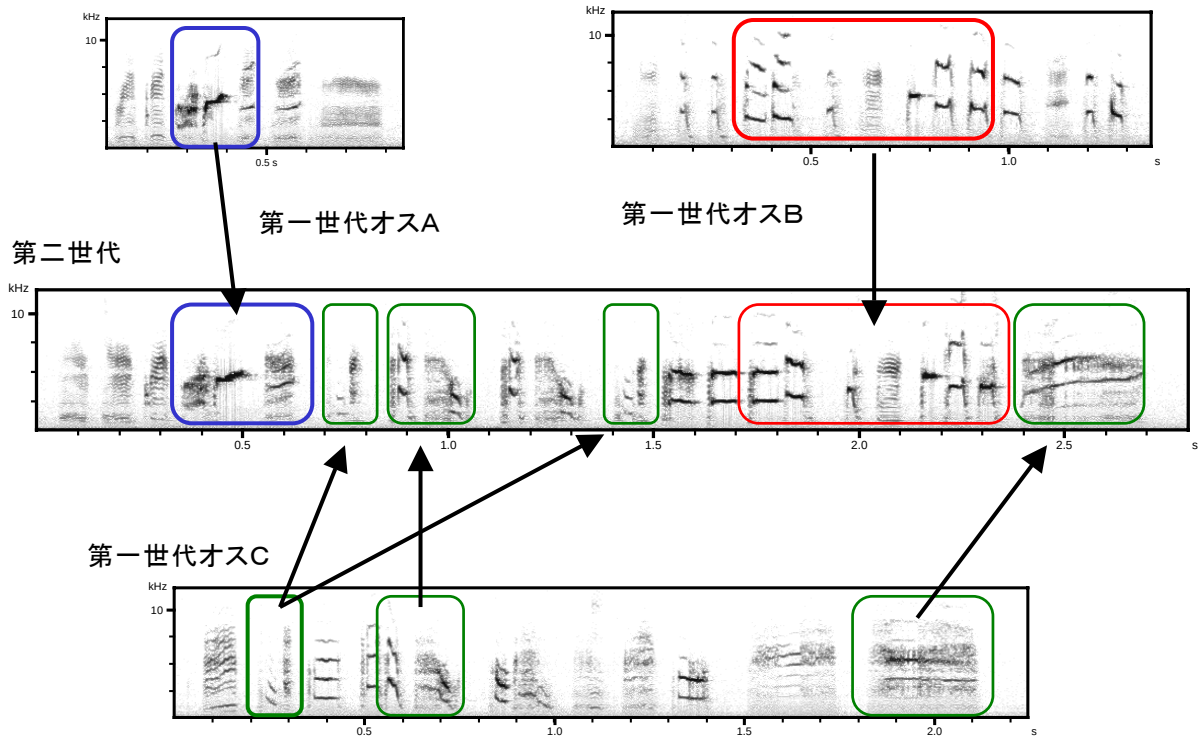
ジュウシマツが歌をうたう際、自分の歌の記憶と、自分でうたった結果とを照合させて歌を修正していると考えられる。そこで、鳥自身の歌を時間軸上または周波数軸上で変形させたものをつくり、その鳥に聴かせた際の大脳基底核の反応を記録した。結果、時間軸上での変形では差が出なかったが、周波数を１０％下げることにより、もとの歌に対する反応より強い反応が、大脳基底核およびその出力核から記録できた。この結果は、誤差情報と自己の歌への選択性とが重合して得られたものと解釈できる。





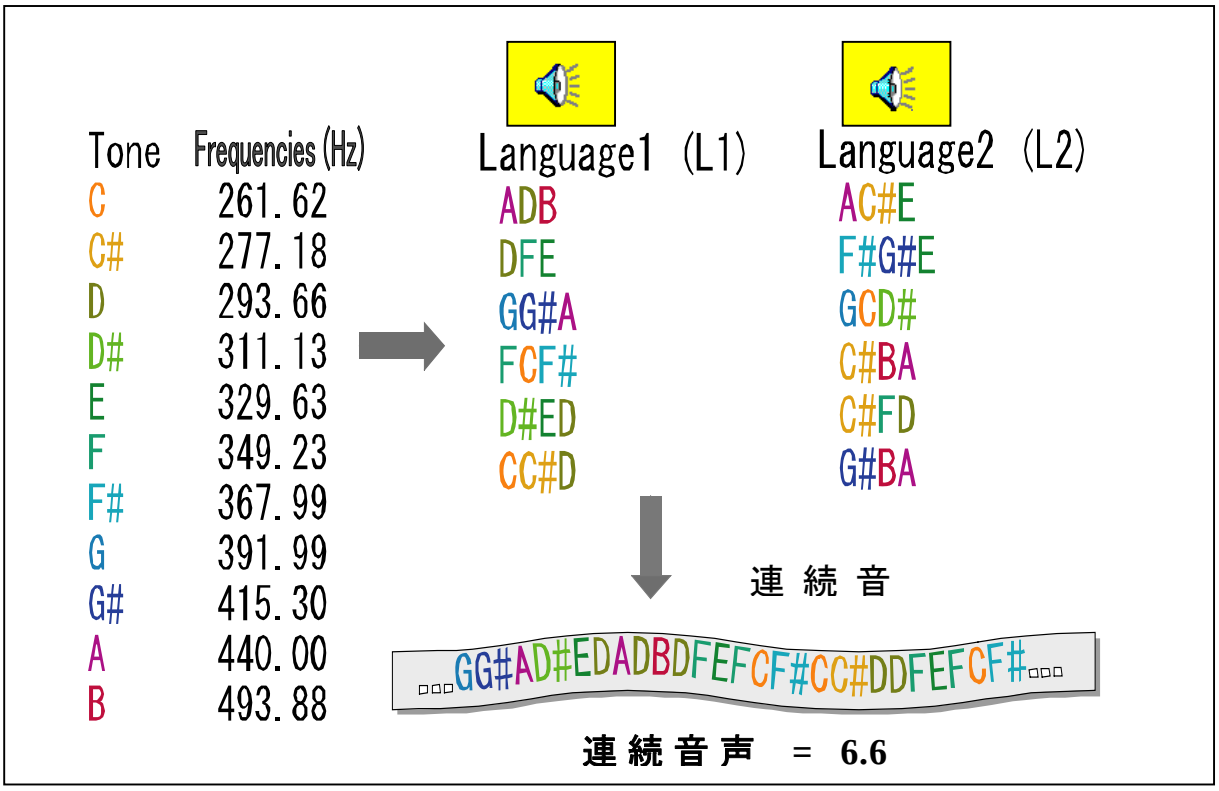
C．小鳥の歌学習にみられる分節化

ジュウシマツのヒナは父親の歌を手本に歌を学習する。しかし、自然環境においてはジュウシマツは複数の家族の巣が狭い範囲に密集しているため、手本となる歌は必ずしも父親の歌ばかりではない。この状況を実験室で再現し、歌学習の過程を観察した。このような環境で生育したヒナは、父親の歌ばかりでなく、近隣のオスの歌も学習していた。それぞれのオスから歌の一部を切り取り、それらを適当につなげて独自の歌を構成していることがわかった。この結果から、鳥は歌を学習する際に手本となる歌を分節化して聴いていることがわかった。

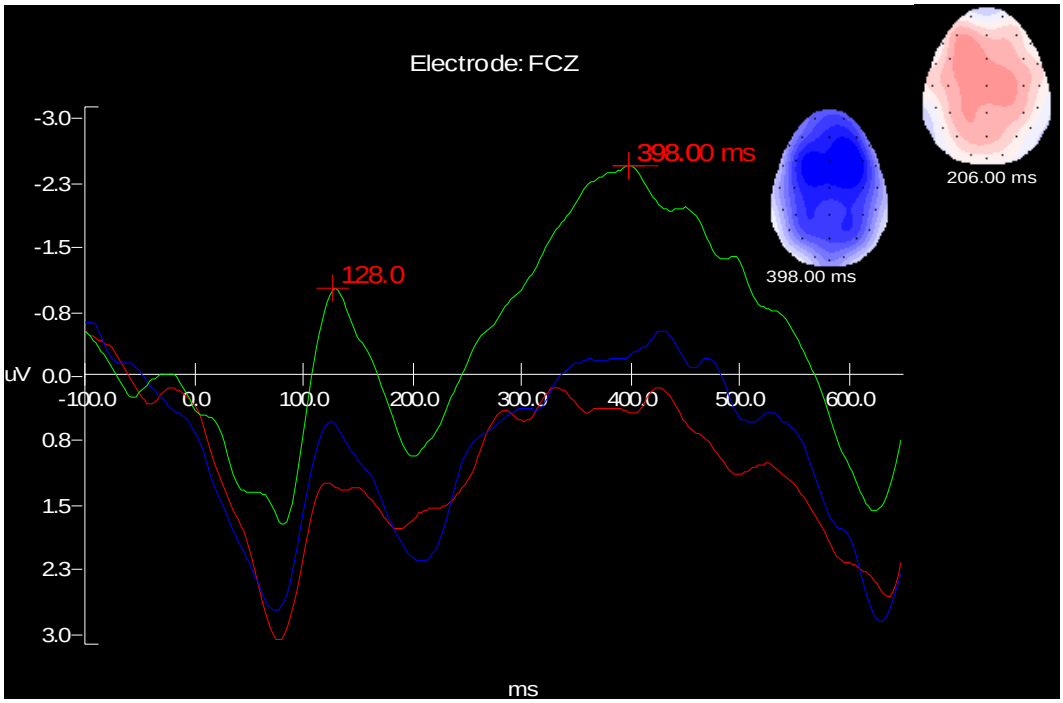


D．ヒト成人における音声分節化の脳指標

われわれが音声を分節化している際、どのような脳活動がみられるのだろうか。半音階から適当に３つの音を選んで組み合わせ「単語」とする。これらの単語をランダムにならべて聴かせると、区切れめのないメリハリのない音列にきこえるが、しばらくすると単語がまとまりとして聞こえるようになる。

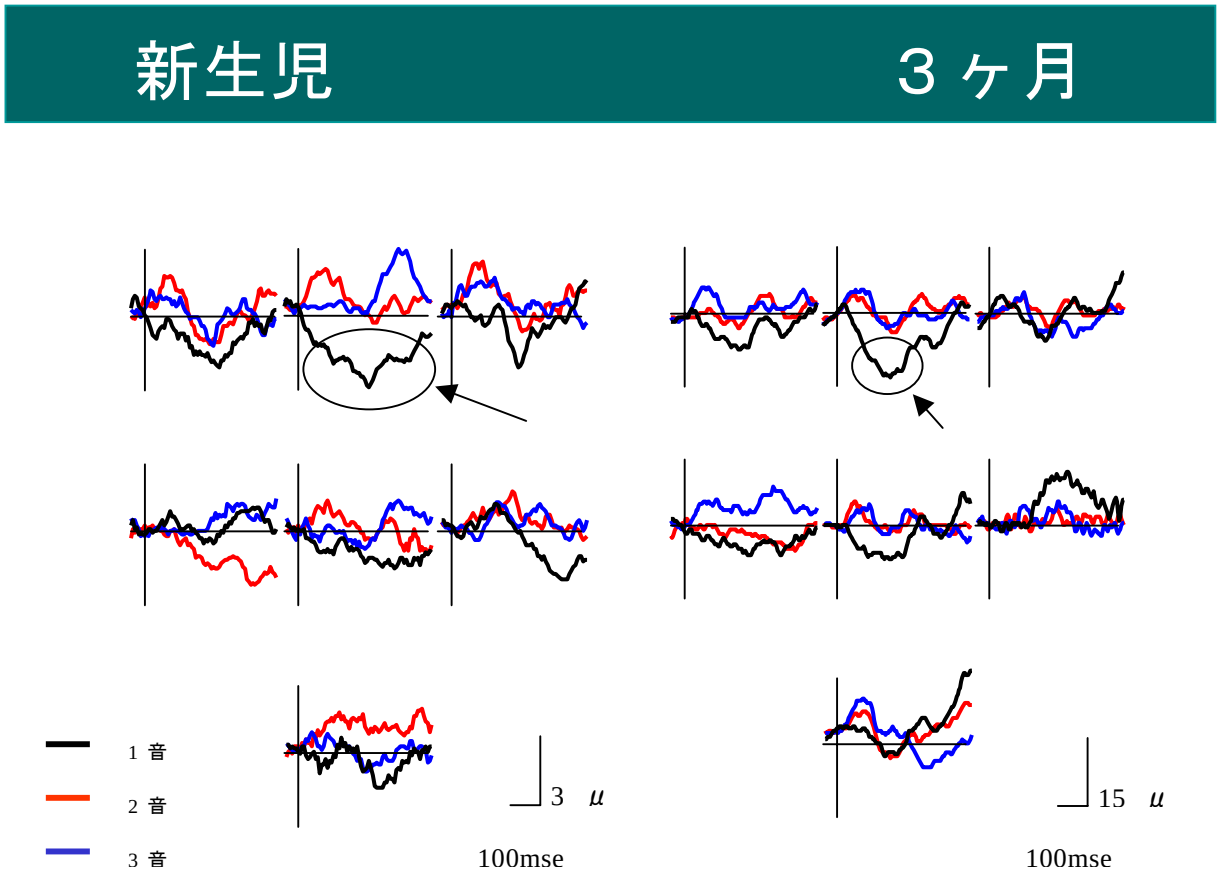


この間に、脳波を記録して分節化の過程の脳活動の指標とした。前帯状皮質上にあたる電極から得られた電位は、３つの音の第一番目にのみ特異的な陰性波を示した。刺激の性質から、第一音がわかるとそれに続き２音、３音は予測がつく。しかしその後の４音目（すなわち３音組の第一音）は予測できない。この電位は、音系列の予測がはずれたときに得られるものと考えられる。このことから、音系列予測ができないことが、分節化の手がかりとして利用されることがわかった。



E．音声分節化の発達

ではこのような能力はヒトの発達過程においてどの時点で獲得されるのであろうか。新生児から１歳までの乳幼児について、成人と同様に脳波を指標とした分節化能力の発達をしらべた。この研究は千葉県立こども病院の水野克己医師との共同研究である。結果、生後２週間以内の新生児においてすでに音声分節化に対応する脳波が得られることがわかった。われわれ人間は、統計的な情報にもとづき連続音声を分節化する能力をもって生まれてくるのである。この能力が基盤となり、言語やそのほかのコミュニケーション能力が発達してゆくのであろう。



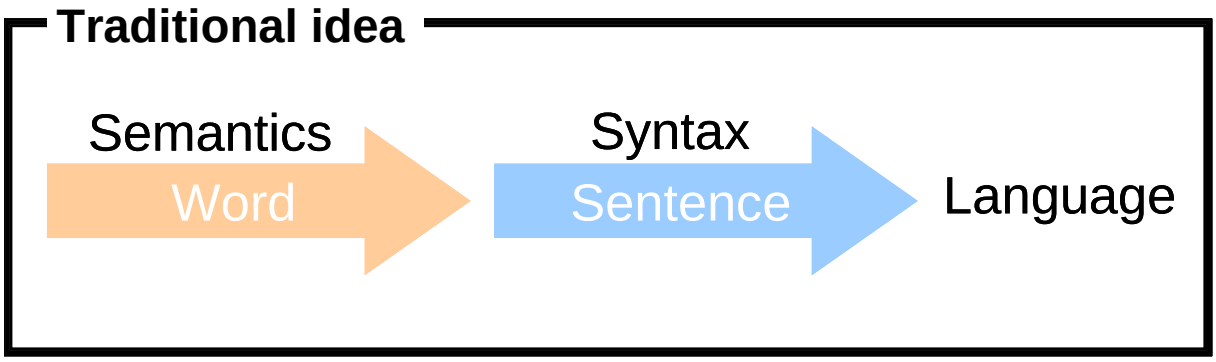
３．　今後の展望

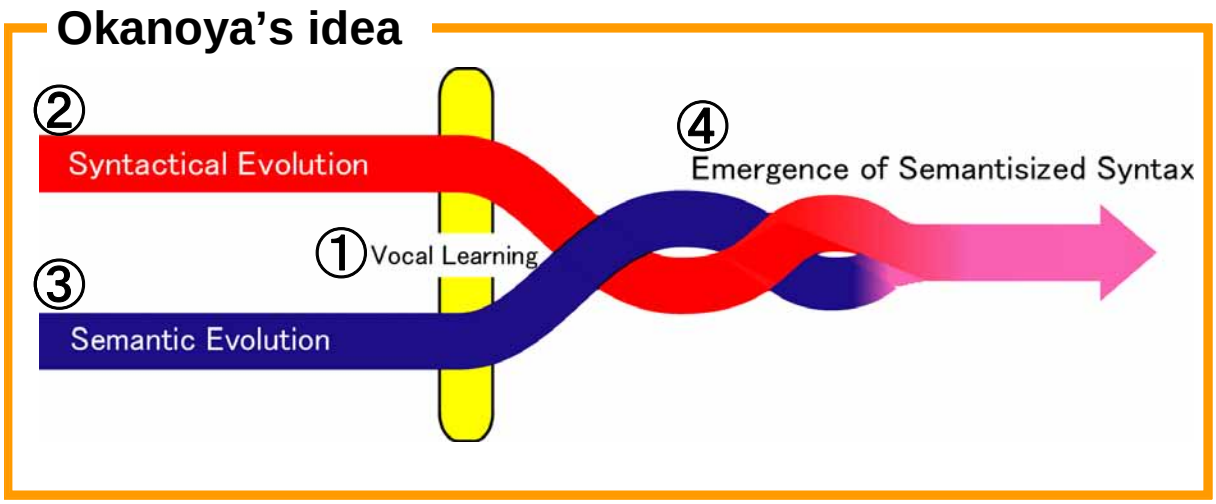
さきがけ研究２１の成果により、音声分節化能力が生得的な基盤をもつこと、また、音声分節化は、大脳皮質と大脳基底核のループ構造により可能になることが理解できた。

従来の考えでは、言語の発生過程で単語をあやつる能力がまず作られ、それをもとに単語を組み合わせて使う能力が芽生えて、言語となったとされている。さきがけ研究の成果が示すことは、音列と状況との相互的な分節化が言語の基盤となっているという考えである。この考えにもとづくと、言語の生物学的な起源を研究するためには４つの主題がある。まず、新たな音声パターンを学習するためのしくみを理解すること。音声学習の問題である。つぎに、形式的な文法を獲得するためのしくみとその進化史を理解すること。今回のさきがけ研究においては、この主題に関して成果を得た。さらに、音声と意味との対応がどのようについてシンボル表象が可能になるのかを理解すること。最後に、形式的な文法能力と、シンボル表象の融合過程について理解すること、である。

以上を指導的なプログラムと考え、言語起源の生物学を構築してゆくのがこれからの

私の目標となる。





発表リスト

著書

岡ノ谷一夫 (2003). 小鳥の歌からヒトの言葉へ. 岩波科学ライブラリー92, 岩波書店.

岡ノ谷一夫 (2004). 動物のコミュニケーション行動とことばの起源。大津・波多野(編)、「認知科学への招待」、第１０章、pp141-158. 研究社。

論文

Abla, D., Katahira, K. & Okanoya, K. On going segmentation of continuous auditory

stream: evoked brain potentials correlate with the degree of learning. Submitted for publication.

Katahira, K., Abla, D. & Okanoya, K. Neural processing of intended sound and auditory feedback during musical performance. Submitted for publication.

Okanoya, K. (2004). Functional and structural pre-adaptations to language: Insight from comparative cognitive science in to the study of language origin. Japanese Psychological Research, 46, 207-215.

Tokimoto, N. & Okanoya, K. (2004). Spontaneous construction of “chinese boxes” by Degus (Octodon degu): A rudiment of recursive intelligence? Japanese Psychological Research, 46, 255-261.

Okanoya, K. (2004). Song syntax in Bengalese finches: proximate and ultimate analyses. Advances in the Study of Behaviour, 34, 297-346.

Okanoya, K. (2004). Bengalese finches: A window to the neurobiology of birdsong syntax. Annals of the New York Academy of Sciences, 1016, 724-735

Nakamura, K. Z. & Okanoya, K. (2004). Neural correlates of song complexity in Bengalese finch high vocal center. NeuroReport, 15, 1359-1363.

Kobayasi, K. I & Okanoya, K. (2003). Sex differences in amplitude regulation of distance calls in Bengalese finches, Lonchura striata var. domestica. Anim. Biol., 53, 173-182.

小林耕太，奥村哲，谷淳，岡ノ谷一夫 (2003). 鳥の歌学習の脳内機構，神経進歩，47, 653-666.

Kobayasi, K. I. & Okanoya, K. (2003). Context-dependent song amplitude control in Bengalese finches. NeuroReport, 14, 521-524.

Yamada, H. & Okanoya, K. (2003). Song syntax changes in Bengalese finches singing in a helium atmosphere. NeuroReport, 14, 1725-1729.

岡ノ谷一夫 (2003). 身体的「知」の進化と言語的「知」の創発, (認知科学テュートリアル第４回）人工知能学会誌, 18, 392-398..

Hihara, S., Yamada, H., Iriki, A. & Okanoya, K. (2003). Spontenous vocal differentiaion of coo-calls for tools and food in Japanese monkeys. Neurosci. Res., 45, 383-389.

Yodogawa, Y., Nishiumi, I., Saito, D. & Okanoya, K. (2003). Characterization of eight

polymorphic microsatellite loci from the Bengalese finch (Lonchura striata var. domestica). Molec. Ecol. Notes., 3, 183-185.

Ikebuchi, M. Futamatsu, M. & Okanoya, K. (2003) Sex differences in song perception in Bengalese finches as measured by caridac response. Anim. Behav., 65, 123-130.

Okanoya, K. (2002) Sexual display as a syntactical vehicle: A sexual selection origin of birdsong and human language. In: A. Wray (ed.). Transition to Language, pp 46-63, Oxford: Oxford University Press.

片平健太郎、Dilshat Abla、岡ノ谷一夫（2002）　楽器演奏時における聴覚フィードバックを用いたエラー制御－事象関連電位による検討－. 日本音響学会聴覚研究会資料、32, 247-252.

森坂匡通、岡ノ谷一夫（2002）　ジュウシマツのメスは複雑な歌を好むか？－行動学的指標を用いた研究. 日本音響学会聴覚研究会資料、32, 253-258.

小林耕太、岡ノ谷一夫（2002）　周波数に依存する鳥類大脳基底核の反応変化：歌の維持に関わる機能. 日本音響学会聴覚研究会資料、32, 259-264.

学会発表

2002

Hihara, S., Yamada, H., Okanoya, K. & Iriki, A. Spontaneous vocal “naming” of tools and food by Japanese monkeys. 4th Annual Conference of Japanese Society for Language Sciences.

Okanoya, K. & Yamada, H. Sexual display as a syntactical vehicle: convergence of complex vocal behavior in finches, whales, and humans. 4th Annual Conference of Japanese Society for Language Sciences.

中村、岡ノ谷、聴覚経験がジュウシマツ雌の聴覚神経系に与える影響、第 25 回日本神経科学大会プログラム・抄録集。

小林、岡ノ谷、鳴禽類の歌制御系を対象とした大脳基底核-皮質ループにおける誤差信号の検出、第 25 回日本神経科学大会プログラム・抄録集。

Dilshat, A., 片平、岡ノ谷、連続音声の分節化に伴う事象関連電位、第 25 回日本神経科学大会プログラム・抄録集。

岡ノ谷、鳥の歌知覚における種差と性差、第 62 回日本動物心理学会

中村、岡ノ谷、ジュウシマツにおける歌直接制御神経核の聴覚反応特性とその階層性、

第 62 回日本動物心理学会

小林、大竹、岡ノ谷、ハダカデバネズミの音声レパートリーと生息環境における音響特性、第 62 回日本動物心理学会

高橋、池渕、山田、岡ノ谷、学習を規定する生得的基盤：ジュウシマツの里子実験による研究、第 62 回日本動物心理学会

菅、岡ノ谷、ジュウシマツにおけるさえずりまたは歌の聴覚的分節化の検討、第 62 回日本動物心理学会

関、岡ノ谷、ジュウシマツの視聴覚複合刺激弁別における性差、第 62 回日本動物心理学会

時本、岡ノ谷、齧歯目デグーにおける発声の自発的制御、第 62 回日本動物心理学会

日原、入来、山田、岡ノ谷、道具訓練ニホンザルにおける発生の自発的分化、第 21 回日本動物行動学会

関、岡ノ谷、ジュウシマツの視聴覚複合刺激弁別における性差、第 21 回日本動物行動学会

中村、岡ノ谷、ジュウシマツの歌の要素音は脳内でどのように符号化されているのか？第 21 回日本動物行動学会

田村、池渕、岡ノ谷、キンカチョウの求愛歌とメスの“あいづち”、第 21 回日本動物行動学会

高橋、池渕、山田、岡ノ谷、歌学習を規定する生得的基盤：ジュウシマツ家禽種と野生種間の里子実験、第 21 回日本動物行動学会

菅、岡ノ谷、ジュウシマツの歌の分節構造は知覚単位と一致する、第 21 回日本動物行動学会

小林、岡ノ谷、ジュウシマツは歌の維持をどのように行っているか？第 21 回日本動物行動学会

時本、岡ノ谷、デグー（齧歯目）の情動的・自発的発声制御、第 21 回日本動物行動学会

吉田、山田、岡ノ谷、ハダカデバネズミ糞中ステロイドホルモンの抽出、第 21 回日本動物行動学会

山田、山口、岡ノ谷、小笠原海域におけるザトウクジラの歌の個体差、第 21 回日本動物行動学会

岡ノ谷、認知プロセスにおける表象の創出と統合（討論）、第 21 回日本基礎心理学会

2003

Takahashi, M. Ikebuchi, M. Yamada, H. & Okanoya, K. Syntactical Development of Mating Songs in Bengalese finches. IUBS-TAIB Symposium on Biology of Learning.

2004

Okanoya, K. Hihara, S. Tokimoto, N. Tobari, Y. & Iriki, A. Complex vocal behavior and cortical-medullar projection. 1st International Workshop on Emergence and Evolution of Linguistics.

岡ノ谷、加藤、高橋、戸張、鳥の歌文法を司る遺伝子群の探索、2004 年度特定「ゲノム」4 領域合同班会議

時本、岡ノ谷、齧歯目デグーの音声レパートリーー音響特性および発声文脈を用いた分類ー、2004 年日本音響学会聴覚研究会

Abla, D. Okanoya, K. Neuro-behavioral correlates of on-going sequence learning, 34th Annual Meeting of Society for Neuroscience.

Okanoya, K. Hihara, S. Tokimoto, N. Tobari, Y. Iriki, A. Complex vocal behavior and cortical-medullar projection Evolution of Language Ｖ.

岡ノ谷、高橋、工藤、小鳥の歌とヒト発声のチャンキング、第 15 回発達心理学会

相馬、高橋、岩見、長谷川、岡ノ谷、ジュウシマツにおける性的二型、第 23 回日本動物行動学会

吉田、小林、岡ノ谷、ハダカデバネズミの接触声は文脈に応じて変化する、第 23 回日本動物行動学会

高橋、池渕、山田、岡ノ谷、ジュウシマツの里子となったコシジロキンパラに”里帰り”が与える影響、第 23 回日本動物行動学会

関、岡ノ谷、歌鳥の社会行動誘発中枢における視覚応答の欠如、第 27 回日本神経科学会・第 47 回日本神経化学会合同大会

Okumura, T. Okanoya, K. & Tani, J. Input output connections and neural activities in the HVC of Bengalese finches、第 27 回日本神経科学会・第 47 回日本神経化学会合同大会

戸張、奥村、谷、岡ノ谷、ジュウシマツの大脳歌産生システムの雌雄差、第 27 回日鱒_経科学会・第 47 回日本神経化学会合同大会

Abla, D. Okanoya, K. On-going sequence learning: evidence from event-related potentials study、第 27 回日本神経科学会・第 47 回日本神経化学会合同大会

関、岡ノ谷、歌鳥の社会行動誘発中枢における視覚応答の欠如、第 81 回日本生理学会：若手の会チューデントサイエンティストプログラム

加藤、岡ノ谷、ジュウシマツの高次発声中枢における自己歌と逆再生歌の反応差、第 81 回日本生理学会：若手の会チューデントサイエンティストプログラム

Okumura, T. Okanoya, K. Tani, J. Neural mechanism of complex bird song in Bengalese finches; Input-output connections and neural activities in the HVC、第 81 回日本生理学会プログラム・抄録集

増田、片平、Abra、岡ノ谷、音楽熟練者における聴覚表象の形成、第 9 回認知神経科学会抄録集

Takahshi, M, Ikebuchi, M. Yamada, H. & Okanoya, K. Temporal domain dynamics of the song development in Bengalese finches. 7th International Congress of Neuroethology.

Katahira, K. Abla, D. Masuda, S. & Okanoya, K. Auditory Feedback and Mental Representation of Musical Notes in Fluent Piano Players. 7th International Congress of Neuroethology.

Tobari, Y. & Okanoya, K. Sex Differences in Song Control Circuitry in Bengalese Finches. 7th International Congress of Neuroethology.

加藤、岡ノ谷、ジュウシマツの高次発声中枢における自己歌と逆再生歌の反応差、第 64 会日本動物心理学会

時本、岡ノ谷、齧歯目デグー(Octodon degu)の音声コミュニケーションレパートリーー音響特性および発声文脈を用いた分類ー、第 64 回日本動物心理学会

田村、池渕、岡ノ谷、キンカチョウの求愛時の発声相互作用、第 64 回日本動物心理学会

関、小林、岡ノ谷、ジュウシマツの視覚弁別学習における歌制御系神経核破壊の影響、第 64 回日本動物心理学会

高橋、池渕、山田、岡ノ谷、ジュウシマツの歌発達過程における時間パラメータの変化、第 64 回日本動物心理学会

Takahashi, M. Ikebuchi, M. Yamada, H. & Okanoya, K. Innate constraints of song learnability International Conference on Bird and Environment.

Okanoya, K. Neuroecology of song complexity in Bengalese finches. International Conference on Bird and Environment.