

第52回サイエンス・カフェ札幌



コーヒーを片手に
科学の話をしよう

Science
Café
Sapporo
CoSTEP

第52回サイエンス・カフェ札幌
コミュニケーションする脳!
— 脳をカオスで語る —

日時：2010年7月24日(土) 午後4時30分～6時(開場：午後4時)
場所：sapporo55ビル1階インナーガーデン(紀伊國屋書店札幌本店正面入口前)
ゲスト：津田 一郎さん(北海道大学電子科学研究所 教授/複雑系数理科学)
定員：約100名
参加費：無料(申し込み不要。当日直接会場へお越し下さい)
*コーヒー等の飲み物は、会場内のコーヒーショップでお買い求めいただけます。
主催：北海道大学 CoSTEP

costep.hucc.hokudai.ac.jp design:N. Fujii

コミュニケーションする脳!
— 脳をカオスで語る —

— 目 次 —

北海道大学科学技術コミュニケーター養成プログラム (CoSTEP)	2
第 52 回サイエンス・カフェ開催	4
サイエンス・カフェ 一問一答.....	6

第 52 回サイエンス・カフェ札幌

日程：2010年7月24日（土）

16:30～18:00（開場 16:00）

会場：sapporo55 ビル 1 階インナーガーデン

（紀伊國屋書店札幌本店 正面入口前）

札幌市中央区北 5 条西 5 丁目

～開催に向けて～

私たちは一人ひとり考え方や感じ方が異なっています。それは、私たちがそれぞれ違う脳をもっていることと大きく関係しています。それにもかかわらず、コミュニケーションを通してお互いの思いや情報を共有し合うことができます。どうしてでしょうか？

今回のサイエンス・カフェ札幌では、北海道大学の津田一郎さんに、数理科学の観点から脳とコミュニケーションの関係についてお話をしていただきます。私たちがコミュニケーションを通して思いや情報を伝え合っているとき、脳内では神経細胞の複雑な相互作用が起こっています。津田さんは、この現象をカオスという数理科学的側面から解明する研究に第一線で取り組んでいます。

（第 52 回サイエンス・カフェ フライヤーより抜粋）

～当日の様子～

カフェではカオスという現象をシミュレーションした動画をいくつかお見せいただき、来場者の方々からも「非常に分かりやすい説明」と、好評でした。

今回のカフェでは通常とは少し趣向を変え、津田さんと来場者の方の距離が少しでも近くなる工夫を行いました。来場者の方々で 5～6 人の小グループを作ってください、津田さんのお話の内容について、互いに考えたことを話してもらおうという試みです。テーマは「ミラーニューロンがはたらいていると思われる身近な例について」。少人数のグループだったということもあり、非常に活発なディスカッションが生まれました。

また、通常のカフェに比べて、来場者の方々からたくさんの質問をいただきました。ホワイトボードは、恒例の質問カードで埋まり、挙手による質問も数多く、文字通り「津田さんとみなさんのやりとり」で作られたカフェとなりました。

（CoSTEP HP, 活動レポートより抜粋）

サイエンス・カフェ札幌

CoSTEP が紀伊國屋書店前で 2005 年 10 月から開いている「サイエンス・カフェ札幌」は、2010 年 11 月で 54 回目を迎えました。カフェでは、北海道大学などの研究者が、さまざまなトピックについてお話し、会場の皆さんの質問に答えたり、一緒にディスカッションしたりしています。多くの人の関心を集めるテーマを設定し、話題提供してくれる研究者を探すところから始まって、当日、ファシリテーターとして話が盛り上がるよう進行するところまで、イベントの企画運営、CoSTEP の受講生が実習授業として行っています。

日 時	年 6 回程度 原則として土曜日の午後 4 時 30 分～ 6 時（2010 年度）
会 場	sapporo55 ビル 1 階 INNER ガーデン （紀伊國屋書店正面入口前）
参加費	無 料

対話を生み出す工夫

イベントで、いかに話を盛り上げ、対話を生み出すか、受講生が教員とともに毎回さまざまな工夫をしています。質問カードの活用方法やファシリテーターの役割も、試行錯誤の中で改良を重ねてきました。

ファシリテーター

ゲストスピーカーの研究者の話をもっと横で聞きながら、分かりにくいところ、難しいところを聞き直したり、会場からの発言を促したりするなど、時間の配分を考えながら話の流れをつくっていきます。進行役のメインファシリテーターの他に、数人の「フロア・ファシリテーター」が、会場から質問カードを集めてディスカッションのために分類したり、ゲストと参加者の対話を直接うながしたりします。

質問カード

質問カードを使うことで、多くの参加者に意見や質問を出してもらうことができます。集めた質問カードは、会場に準備してあるホワイトボードに貼り出していき、どんな質問・意見が出たのかを参加者全員で共有できるようにします。

コミュニケーター養成の場としてのサイエンス・カフェ

- ・ CoSTEP 受講生が、企画立案や出演する研究者との交渉、当日の進行、会場運営などに取り組みます。
- ・ イベント制作のためのさまざまな活動を経験し、科学技術をめぐる双方向コミュニケーションの場を生み出すスキルを磨いています。

広報デザインの実習も

広報のためのポスターとチラシも、グラフィックデザイン実習の一環として、受講生が制作します。

* CoSTEP :

科学技術の専門家と市民との橋渡しをする人材を養成する教育組織。大学院修士課程レベルの2つのコースで約80人の受講生が学んでいます。

<http://costep.hucc.hokudai.ac.jp/>

開催の様子

スケジュール

16:30 ~ 津田さんのお話

16:55 ~ ディスカッション①

17:15 ~ 休憩

17:25 ~ ディスカッション②

17:55 ~ 津田さんのまとめ



開催直前まで続く打ち合わせ



満員御礼の会場



100名を越える参加者が耳を傾ける



参加者とのディスカッション



参加者から寄せられた沢山の質問
(P6 ~ P21 一問一答で回答しています)

コーヒーを片手に
科学の話をしよう



Science
Café
Sapporo
CoSTEP

第52回サイエンス・カフェ札幌

コミュニケーションする脳!?

— 脳をカオスで語る —



日 時：2010年7月24日(土) 午後4時30分～6時 (開場：午後4時)

場 所：sapporo55ビル1階インナーガーデン (紀伊國屋書店札幌本店正面入口前)

ゲスト：津田 一郎さん (北海道大学電子科学研究所 教授/複雑系数理科学)

定 員：約 100 名

参加費：無料 (申し込み不要。当日直接会場へお越し下さい)

*コーヒー等の飲み物は、会場内のコーヒーショップでお買い求めいただけます。

主 催：北海道大学 CoSTEP

costep.hucc.hokudai.ac.jp

design:N. Fujii



問 1

意識的または無意識どちらでもミラーニューロンは働くのか？

回答 1

ミラーニューロンは意識的な運動（随意運動）に対して働くと言われています。

問 2

2-1. あくびがうつることはミラーニューロンと関係するか？（脚を組むことも）

2-2. あくびはミラーニューロンの働きか。一緒にいる人があくびをするとあくびがうつる一酵素濃度が低いと判断してあくびをすると聞いたことがあるが…

2-3. ミラーニューロンが働く範囲は？人、猫、生物以外も？

回答 2

これは人によって意見が分かれるようです。カフェ終了後に、自閉症児ではあくびの伝染が少ないという報告（2007年）があるのであくびは認知的な活動、特に感情移入に関係するのではないかという説があることを教えてくれた人がいましたが、私の知り合いのアメリカ人の脳科学者もこの説に近いことを2000年前後に言っていました。しかし、認知とのかかわりに関しては不明なことが多く、現在ではまだ一つの説にすぎません。また、誰かがあくびをするとその周りの酸素が不足しそれであくびが誘発されるという説もあります。あくびの伝染は哺乳動物（犬や猫を観察してください）の他には爬虫類や鳥類でも観察されています。いずれにせよ、あくびは意識的な行為のマネとは考えにくいと思われるので、ミラーニューロンとは直接的な関係はないだろうと私は考えています。感情調節に関係する神経伝達物質であるドーパミンやアセチルコリンがあくびと関係するという報告がありますので、自閉症児に関する報告はこれら神経伝達物質の異常と関係するかもしれませんが、これも単に推測の域を出ません。

むしろ脚を組むことの伝染は意識的なマネとして働く場合はミラーニューロンと関係があるかもしれませんね。

問 3

3-1. イカとヒトの動画の違いは性質の違いによるものなのか？

3-2. 人の脳の動画がカオス的になるのはどういうメカニズムによるのか？

回答 3

この違いはそれぞれの神経回路網（ニューラルネット）を構成している個々の神経細胞（ニューロン）の性質の違いから来ています。この性質の違いはニューロンにあるイオンチャンネルの種類の違いに依っています。これを数学的に定式化するとニューロンの方程式に違いが出てきます。さらにこの違いは方程式の解の変化（分岐と言います）の違いをもたらします。つまり、方程式の違い、分岐の違いがイカとヒトの動画の違いになって表れているのです。ヒトの場合は数学的にはサドル・ノード分岐とホップ分岐が絡み合うことでカオスが生成されます。直感的に言うと、神経細胞の活動状態（電位）が振動状態になり、その振動の位相が大きな幅で変動することで振動の位相だけでなく振幅まで

もが不規則に変化するようになってカオスが発生するのです。

問 4

共感とはどういう事なのか？

お互いイメージしていることが同じかどうかは厳密にはわからないのでは？

だとしたら、お互いが分かり合えた、共感のイメージを持ったと思ったら、それは共感してたということなのか？そして、脳波が同期することがあるのは上記のようなことなのか？

あとでもっと話してみたら、実は分かりあえていなかったというときでも、分かり合えたと思っていたときに脳波が同期しているのか？

回答 4

共感するとは、お互いの意味構造に一致する部分を見いだせることではないかと思います。誤解と言うのも相互理解、共感にとって大事な機能です。誤解、つまりずれを見出すことではじめて何が同じなのかが分かるという側面があるからです。脳波の同期に関しては、今調べているところなので確定的なことは言えませんが、我々の新学術領域「伝達創成機構」と言うプロジェクトでは、共感を覚えたときに（たとえそれが後で誤解と分かったことであっても）脳波のある周波数帯域が同期するという作業仮説のもとに研究を行っています。人は異なったものでも上位概念を持ち出して同じクラスに入れてしまって同一視します。つまり、違うものを同じだと思える能力を持っています。また、同時に同じものだと思っていたものに違いを見出すこともできます。この二つの能力があって理解が深まっていきます。共感と誤解についてもこれと類似の関係があります。

問 5

心＝脳というお話がありましたが、心に強いストレスを受け続けた場合、脳に障害が出てしまうのですか？

また、治療などでその心が元気になった場合、一度傷ついた脳は回復しますか？

回答 5

心に強いストレスを受けた場合、何らかの変化が脳に起きると考えられています。それはぱっと見てすぐにわかるような変化ではないことが多いようです。ストレスを受けなくとも脳は常に変化しています。代謝レベルでは常に物質の交代があります。RNA も変化していきます。合成されたたんぱく質のレベルでも変化がおこります。さらには、ニューロン間の結合（シナプスと言います）の度合いが変化します。すると、神経回路網の構造が変化します。新しいニューロンも生まれてこのネットワークに参加します。するとまた、神経回路網が変化します。使われるシナプスは強くなり、使われないシナプスは弱くなっていきます。つまり神経回路網は常に変化しているのです。脳は構造としては神経回路網であり、そこで電気信号が行き交い化学物質が反応して情報処理を行っています。こういった状態で強い一定のストレスを受ければ、脳は特殊な変化をし始めると考えられます。また、脳は修復能力を持っています。脳の構造そのものが完全に元と同じということは日常的にもありえませんが、上の意味で心が癒えたあとに脳が物質の集合体として完全に元に戻ることは論理的にはありえません。しかし、機能は元に戻るのです。機能を回復させるために脳は構造的な変化を自ら起こしているのです。心＝脳という言い方の意味するところは、脳の動的なプロセスが機能であり、脳の機能を我々は心と呼んでいるということです。私は個人的には数学が心と呼ばれているものを最もよく表現していると思っています。数学は人の心の動きそのものなのです。数の概念も意識と記憶の相互作用によって生まれるのです。

問 6

外からの電氣的な刺激で人の行動や感情に方向付けできる？他にも方向付けできる刺激はある？

回答 6

Neuroprosthesis (神経機能代替) という方法は人工網膜のように神経の一部を機械で置き換えてその機能を代替させるのですが、これがうまくいくためには神経細胞の信号がどのような情報を担っているかという符号化の問題が解決されていなくてはなりません。人工網膜はまだ実用化にまでは至っていません。この方法がうまくいけば、外部刺激によって脳機能の回復が可能になります。USA やドイツなどでは、電極を脳に埋め込んで外部から電気信号を流し、脳を直接刺激して神経伝達物質の放出量を制御し、病気の症状を抑えるという方法も実践されています。たとえば、パーキンソン病から来る手の震えなどをこういった方法で抑えることが試みられています。

問 7

- 7-1. コミュニケーション場面以外で、脳波と感情の対応関係が認められる例はありますか？
- 7-2. 脳波を見れば、言葉がなくても相手をどう思っているかわかるのでしょうか？
- 7-3. 現在の脳科学では脳波を測定することによって、人の思考がどの程度わかるのか？例えば、喜怒哀楽など。もし、上記のように脳波測定によって、感情などがわかるならば動物や虫などの感情も理解出来ないのか？
- 7-4. コミュニケーションの最中に、脳波が同期するお話があったが、この人の脳の動きを使えば、人と人は言葉を使わず、互いに理解することが可能でしょうか？

回答 7

人の思念を脳波で測定しそれを解析することで外部の機械などを思った通りに制御する方法が開発されています。BMI (Brain-Machine Interface) と呼んでいます。昔に比べて脳波測定も精密化し、脳波の様々なパターンが人の思念や感情と関係づけられるようになってきました。言葉を発声しなくても思っているだけでそれを相手に伝えることもこの技術を使うことで可能になると考えられます。テレパシーを科学的に行う方法はすでに開発されつつあるのです。動物や虫の脳活動に対して同じ手法はある程度使えるかもしれません。ただし、他の動物や虫の場合はその脳活動が彼らのどのような感情と対応するのかを知る手だてでは限定されます。つまり、行動と直結したものしか対応はつけられません。人は自分が今どんな気持ちかを言葉で表現できるので、感情と脳波の直接対応が可能になるのです。

問 8

スポーツ選手等がリラックスするときにある脳波を出せるように自分をコントロールするという話を聞いたことがあります。任意の波長の脳波を意識的に出すことはどこまで可能なのでしょうか？

回答 8

上の BMI 技術と関係しますが、かなりの程度可能だと思われます。関連するものとして、かなり昔からバイオフィードバックという概念が知られていて、実際簡単な装置も開発されていました。私も 30 年ほど前に東京大学工学部の南雲研究室のバイオフィードバック装置を借りて試したことがあります。指にサックをはめて、指の表面電位の測定装置につなぎます。装置にはメーターがついていて、それを見ながら電位が上がるように思い続けると (私の場合は血流が勢い良く流れることをイメージ

していました) 実際に上げられるようになります。同様に、下げるように思い続けると下げることができます。個人差が大きく、私は5分くらいで、自由にメーターの位置を制御できるようになりましたが、友人はまったくできませんでした。これはバイオフィードバックの典型例です。自分の体内の状態を目で見てモニターしてそれをもう一度脳に戻し、脳の体内への指令を変化させます。その結果がまたメーターの形で見えるのですから脳の指令と実際の指の電位の誤差を知ることができ、それを徐々に小さくしていくことができるのです。現代では、このようなバイオフィードバックのときの脳波を測定し、脳波のどの周波数帯域がどのような指令と関係しているかという対応がかなりつけられるようになって来ました。BMI はまさにバイオフィードバックの現代版です。スポーツ選手のメンタルトレーニングもこういった測定に基づいて定量化され、それを選手が意識すると効果は格段に上がると考えられます。

問 9

デジャブ(正夢)というのは、ただの勘違いなのでしょうか？

回答 9

デジャブとは既視感のこと。現実に関わったことが過去においてすでに経験して記憶に残っていると感じる感覚。正夢とは実際に起こったことを過去において夢で見たと感ずる感覚。この二つは区別可能です。デジャブは現実の経験と記憶の関係。正夢は現実の経験と夢の関係。科学的にはまだ解決されていない問題です。デジャブの場合、現実の経験を意識するより速く記憶過程が働き、意識したときにはすでにそのことが記憶にあるから過去に経験したことだと感じるという説があります。残念ながらまだ証明されていません。ただの勘違いだとしても、そのメカニズムを知ることが科学研究なのです。

問 10

脳波について： 喧嘩をしているときはコミュニケーションが活発になっていると思うのですが、脳波はどのようにになっているのでしょうか？

回答 10

人に関してはまだ測った人はいないのではないのでしょうか。こおろぎやゴキブリが喧嘩をしているときの神経の活動がどうなっているかという研究はあります(北大電子研の青沼先生の研究室で行われています)が、脳波の研究ではありません。

問 11

認知症になる人とならない人は脳のどの部分に関係がありますか？

回答 11

この問題はまだ十分には解決されていません。少し糸口が見えてきたくらいでしょうか。認知症はさまざまなタイプがありますので、その原因も一つには特定できませんが、仮にアルツハイマー型認知症の場合は、もっとも関係する脳の部位は海馬です。βアミロイドという物質が神経細胞に付着することで神経細胞が働かなくなることが関係があるといわれています。他の認知症ではまた他の脳の場所が関係してくるでしょう。しかし、実際認知症になるかならないかの判断は難しく、その判断がで

きるような脳の場所は分かりません。認知症の最大リスクは年齢だと言われていますが、若年性認知症もありますから難しい問題ですね。

問 12

人間と猫の脳は前頭葉の有無しか違いがないため、猫は人間の情緒を察知すると読んだことがあるのですが本当ですか？

回答 12

猫にも前頭葉はあります。猫の脳は基本的な構造は人間と大きくは変わっていません。しかし、これが猫が人間の情緒を察知する理由だというのは少々乱暴な議論だと思われます。同じ人間でも他人の情緒を察知できない人もいますし。一般に犬や猫の家禽は人間と歴史的に長い付き合いがあります。また人間は人間に居心地が良いように環境を変えてきました。家禽もそのように遺伝子改良してきました。そういう意味では、犬も猫も人間の行動パターンをより良く学習する個体が選択されてきたと考えてよいでしょう。情緒も行動パターン的一种です。

問 13

ミラーニューロンが働くのは視覚や聴覚の情報に対してだけですか？ 記憶や夢のなかの体験(作られた情報)に対してはどうですか？

回答 13

ミラーニューロンは最初サルで発見されましたが、自分がある意識的な動作をしたときに活動が活発になるニューロンが、他のサルが自分と同じ動作をしているときにも活動が活発になることから、まるで活動が鏡に映したようだという意味でミラーニューロンと名づけられました。従って、相手の動作を見たときに反応するわけです。運動と視覚の連合です。その後、サルで視聴覚ミラーニューロンが発見されました。物を割る行為に反応するニューロンが、物が割れる音を聞いただけで反応するのです。ヒトの脳にも類似の働きをするニューロンシステム(複数種類の神経回路網からなっている)があることが分かり、ミラー(ニューロン)システムと呼ばれています。しかしその後人のミラーシステムは視覚・運動連合や聴覚・運動連合に限らずもっと広範囲の意味でコミュニケーションとかかわりのあるシステムとして理解されるようになりました。つい最近のことです。人のミラーシステムは前頭葉、頭頂葉、側頭葉にわたる広範囲の脳の連絡に関係しています。脳の中の長距離相互作用のシステムですからさまざまな機能の関係性や連合に関係します。自分と他人の区別の認識にも関係しています。ミラーニューロンそのものは今のところ視覚や聴覚と行為との関係を表現すると理解されていますが、ヒトのミラーシステムはさまざまな感覚と行為の連合に関係していると考えられています。

問 14

脳を切り取って、生きている手術で、死亡との違いは？

回答 14

質問の意味がよくわかりませんでした。回答不能です。すみません。

問 15

脳活動の何を数理科学しているのか？

回答 15

脳活動を数学的に表現する方法はいくつかあります。例えば、物理の力学に端を発していまや数学のひとつの大きな分野になった力学系という分野がありますが、そこでの方法も脳活動を記述するのに使えます。このとき脳活動とは、ミクロなレベルでは分子の反応系であったり、イオンチャンネルの状態であったりです。またそれらが総合して一個一個のニューロンの電位が決まりますのでこれも脳のミクロレベルでの活動状態です。さらに、このニューロンが結合して集まったニューラルネットのマクロな電位状態（一個一個のニューロンの電位の平均値）は脳活動のマクロな状態を表します。その中間にメゾスコピックと呼ばれるダイナミックなレベルがあります。ミクロな状態もマクロな状態も、またメゾスコピックな状態も力学系の手法という数学の一方法で表すことができます。私たちが研究しているのはこのような量です。

問 16

激しいカオスとは何か？

回答 16

普通カオスに秩序があると認識できるのはカオスの次元が低い場合です。ここで次元というのは普通私たちが住んでいる3次元、平面の2次元、直線の1次元といった次元を集合（ものの集まり）に対して拡張したもので、カオス運動を表す曲線（軌道ということが多い）の集合としての次元です。これは1, 2, 3のような自然数ではなく、2.45とか5.36といった非整数で表されます。激しいカオスというのはこの次元が大きいものことです。数十次元とか数百次元と数万次元とかのカオスです。つまり、カオスには違いないがその運動の中に秩序状態を見出すことが難しいもののことを言っています。

問 17

カオスを(数学的に)定義することはできているか？

回答 17

カオスは数学的にきちんと定義できています。カオスのどの性質を強調するかによって複数の定義の仕方があります。

問 18

カオスを分類・類別できるか？

回答 18

上の意味で次元の低いカオスに関してはそのトポロジー（位相）から分類はできています。次元が高くなるとまだ分類ができるほど研究が進んでいません。高次元の一つの特徴はいろんな状態を遷移する遷移現象ですが、その一つとして私たちが1990年前後に提唱したカオスの遍歴という概念があ

ります。今、世界的にこの概念が注目されていて、数学的研究も始まりましたし、脳科学への応用にも注目が集まっています。しかし、高次元の場合はこれからの問題が多いですね。

問 19

今、正直頭がカオスです。脳で餅つき？ どういう点ですか？

回答 19

カオスを生み出す典型的な操作が餅つきの操作（薄くして広げて、折りたたんで、という操作の繰り返し）です。脳に餅つきがあるわけではありませんが、脳の活動状態を数学的に調べると餅つき変換と類似の変換が神経活動によって生成されていることが分かってきたのです。

問 20

20-1. “天才”は存在するか？

20-2. 他より卓越している人間は脳の構造が違うのか？それとも学習方法（努力）？

回答 20

“天才”をどのように定義するかにもよりますが、誰も考え付かないようなことを発見したり作ったりする人であると仮に定義しますと、明らかに天才はいます。天才という言葉は天賦の才もしくはその才を与えられた人というのがもともとの意味合いでしょうが、上の定義からするとあまり遺伝しないように思われます。私は誰でも天賦の才をそれぞれ授けられていると思っています。それを磨き才能を発揮するチャンスに恵まれ本人もそのように努力するかどうかで実際に天才になるかどうかが決まるのだと思います。アインシュタインの脳の一部、頭頂葉下部小葉は他の人に比べ発達していたと言われています。ここはイメージを働かせるときに重要な場所として知られていますので、アインシュタインは想像力が抜群だったのでしょう。しかし、これが生まれつきそうだったのか、彼の学習の仕方やその後に行った教育の結果なのかどうかは分かりません。仮にアインシュタインが大変想像力豊かな脳をはじめから持っていたとしても、彼の小さいころに知的刺激を与え続けたヤコブ叔父さんがいなかったら、話し相手になって一緒に議論をしていた大学の友人たちがいなかったら、最初の妻になった数学の得意なマレーバ・マリクさんがいなかったら、特許局に勤めず順調に大学の助手になっていたら、あのような三つの革命的な研究成果（特殊相対性理論、ブラウン運動の理論、光電効果の理論）を1905年に一度に発表できたかどうか。ちなみにノーベル賞は光電効果の理論によってです。また、ブラウン運動の理論はカオス理論と大いに関係があります。

問 21

天才と呼ばれる人たちも、ミラーニューロンが働いているのか？僕が考えるに、そういう人たちは“先天的に”何が与えられるものがあるって、うまい人の真似をしなくても（ミラーニューロンが働かなくても）できるのではないかな？

回答 21

天才といわれる人も人の真似から入ることが多いでしょう。一般に、学問の場合（特に理系の学問の場合）は先人の行った研究成果を古代ギリシャから近代に至るまで学校教育の現場で習いますが、そのとき先人のやったことを再現できるように勉強していきます。どんな天才もこのプロセスをはずす

ことはないと思います。まずはまねをして同じことができるようになることが次の飛躍のためには必要です。おそらく、スポーツの天才もそうではないでしょうか。過去や現在の偉大なプレイヤーのまねをしてみることで優れたものを体現できるようになり、それが次のステップである独自性の発達につながっていくのではないのでしょうか。囲碁の天才もはじめの段階では定石をすべて再現できるようにしているはずで。絵画の天才も若いころはひたすらデッサンを繰り返します。また他の天才画家の絵の模倣も試みたりすると聞いています。むろん例外はいつも存在します。数学者のラマヌジャンははじめから特殊な才能が開花していた例です。おそらく脳の構造が一部特異的に発達していたのでしょう。素数で会話をする自閉症の兄弟の脳も特異な部分があったのだと思われます。

問 22

“興味”はどこからくるか？また脳の構造に関係しているか？

回答 22

興味の脳部位はまだ特定されていませんが、関連する部分は分かってきています。大脳辺縁系と呼ばれる部分は感情や価値判断とも深く関係しています。また、大脳基底核には報酬と関係する線条体と呼ばれる部分があります。ここはドーパミンを放出しますが、このドーパミンが満足感や喜びと関係があるといわれています。物質としてはドーパミンのほかにセロトニンやアセチルコリンなどが感情や意欲と関係していることが分かっています。これらは主に大脳基底核から放出されますが、その影響は脳全体に及んでいます。

問 23

コミュニケーション能力が低いとされている人が多くなっている現代(子供の中で)それはトレーニングなどでよくなると思いますか？また、どうすればうまくコミュニケーションを図れるようになると思いますか？

回答 23

コミュニケーションに関係する脳の活動を私たちのプロジェクトでは解明しようとしていますが、そのメカニズムが明らかになれば改善の方法も分かってくるでしょう。しかし、脳に特別な障害がないのであれば、たいいてい人はコミュニケーション能力を持っているはずで。そうでないと人類は進化しなかったと考えられるからです。ヒトには世代のオーバーラップがあります。哺乳類や鳥類は同じく世代のオーバーラップがあります。これは進化的には大変大きな意味をもっています。この間に親の文化を子供に伝達することが可能だからです。サケを典型として多くの魚類では子供の誕生を待たずに親は死にます。たくさん卵を産んでおけばサケが生き残る確率は高まりますので、親の遺伝子は子供に伝達されます。しかし、鳥類や哺乳類は子供の数は少ないので、ほったらかしにすれば種の絶滅の危険にさらされます。そこで世代のオーバーラップが意味を持つわけです。おもしろいことに、ヒト以外で子供に教育をする動物は現在までに知られていません。サルは子供に教育はしないようです。簡単な動作は子供が親の真似をします。ミラーニューロンが働くのでしょう。サルや鳥類での世代のオーバーラップは主に子供にえさを与え、さらには敵から子供を守ることで、子供を成長させ子供の独り立ちを可能にすることだと考えられます。それに対してヒトは親が赤ちゃんのまねをしてあげたり、共同注意といって子供が見ている同じ物体に親が視線を移したりしながら、親が子供とコミュニケーションを図ることで教育していきます。さらにヒトの場合は学校教育でも教育を受けます。一個人が学んだことは遺伝子として子孫には伝わりませんが、世代のオーバーラップによって効率よく

親の世代の知識や知恵が子供世代に伝達されていくのです。教育やその原点であるコミュニケーションが遺伝子の代わりをしているのです。コミュニケーションでは自分を他人に預けるという気持ちが大変重要になります。自分のルールをかたくなに守ってそれだけに従っても他人とはコミュニケーションは取れません。自分を投げ出すことが必要なのです。脳科学がもっと進歩すればどうすれば自分を他人に預けられるかも分かってくるでしょう。今はまだ分かりませんが、そういった気持ちが大切だということを教えてあげるだけでもちょっとした効果はあるのではないのでしょうか。

問 24

記憶とはなんですか？物質ですか？また記憶する、とはどのようなことですか？

回答 24

記憶とは過去の経験の痕跡や未来に対する思いや計画の痕跡、さらには現在の作業に関する痕跡です。しかし、思い出さなければ記憶していたと認識できませんから、思い出す過程を含めて記憶過程と考えるべきでしょう。最近では、未来に対する記憶を展望的記憶とか未来記憶と呼んでいます。また現在進行中の作業に関するものを作業記憶と呼んでいます。タルビングによると、記憶は宣言的記憶と手続き記憶にわかれ、後者は運動記憶や操作の順序に関係したものです。前者はさらに意味記憶とエピソード記憶に分かれます。意味記憶は知識に関する記憶で、エピソード記憶は個人的な経験に関する記憶です。さらに、それぞれのカテゴリーに対して、おおざっぱに短期記憶と長期記憶があります。長期記憶は記憶が完全に固定化された状態であり、ニューロン間の結合に関係した受容体の状態がRNAなどに固定化されたものではないかと言われてはいますが、詳細はまだ解明されていません。固定化される前の状態は全て短期記憶と言って差し支えないと思います。学者によっては中期記憶と短期記憶を分ける人もいますが、その本質的メカニズムが理解されていないので、便宜的なものと考えの方がよいでしょう。短期記憶で有名なのはジョージ・ミラーのマジックナンバー7(プラスマイナス2)です。誰かに電話をかけるとき7ケタくらいならメモを見ないで一瞬覚えてかけられます。人間は物事を数個のカテゴリーに分けて扱うことが多いですが、短時間にこのような数個のカテゴリー分けが行われます。さらに、階層的になった文章も数階層なら一瞬にして意味をつかめます。最近では、これらのうち作業をするときに一瞬記憶しておく脳の場所が特定されています。前頭葉にあるのですが、この場合はワーキングメモリー（作業記憶）という言葉が使われています。短期記憶は神経回路を経ぐる電流の状態だと言われてはいます。神経回路の様々なダイナミックな状態が記憶と関係あるという仮説があります。このダイナミックな状態が数学的に表現できる場合があって、その場合は記憶はアトラクターとかアトラクター痕跡と言った概念で表現されます。

問 25

脳も老化していくのでしょうか？→脳のしわが浅くなり、ツルンとしていくようなイメージなのですが→記憶力が低下する現象からのイメージです。その場合、老化をストップさせることは可能なのでしょうか？

回答 25

脳も体の一部ですから当然老化します。最もひどい老化が痴呆です。高齢化が進むと老化が大きな社会問題になりますが、老化によってガンか痴呆かの何れかになる可能性が高まります。脳の老化の目に見える原因は脳の委縮です。神経細胞の数が減っていき、また細胞間のシナプス結合が弱くなったり、結合がなくなっていったりして、これが極端な数の減少をまねくと委縮になります。日常的に、結合

は増えたり減ったりしますし、結合の強さも変化します。一般に、よく使われる結合は強化され、使われないものは弱くなっていきます。脳のしわは、たくさんの脳細胞を狭い空間に閉じ込める合理的な方法によって生み出されたものです。しわが浅くなるほどであれば委縮は相当進んでいます。ふつうはそこまでにならなくても老化現象は現れます。記憶力が悪くなったとか、人の名前が出てこないとか、判断力が鈍くなったとか、反応が遅くなったとかです。これはある意味で致し方ない現象です。誰にでも訪れる事です。しかし、ちょっとした努力でこの程度の老化は遅らせたり回復させたりすることは可能です。さまざまな刺激を脳に与えるようにすることが一番です。歳をとっても、いろんなジャンルの本を読んだり、運動をしたり、おしゃべりをしたり、ゲームをしたりすればかなりの程度このような老化は防げられると思われれます。人の名前が出てこないときは頑張っ出てくるまでいろんな刺激を使って思い出す努力をすることが大事です。自分で思い出すことができる方法を見つけることも大事です。一件脳とは関係ないように見えますが、脳の血管がしっかりしている人はなかなかボケないと言われています。丈夫な血管を持っている人は脳細胞の新陳代謝が活発に行われるからかもしれません。

問 26

真似るとミラーニューロンが働くとのことですが、ペットボトルを取ることを他人が真似しても、何も感じないのですがどういう事でしょうか？

回答 26

人の場合は広範囲なミラーシステムが働くのです。それを脳が感じることは普通はありません。脳の中で行われている膨大な情報処理をいちいち感じないようにできているのも進化上は重要なことのように思われます。

問 27

ミラーニューロン： 教室や試験中など、誰かが咳をすると連鎖していく気がする。

回答 27

これは一種の安心感からくるものでしょう。他人が咳をしたときには自分がしてなくても同じ脳の領域（ミラーシステム）が活性化されるでしょう。そうすると自分もしたくなるという事はあり得ますが、それ以上にその場の緊張した雰囲気なブレイクしてよいのだという安心感から来るのではないかと思います。コンサートの楽章と楽章の間のちょっとした時間などの観客の咳払いも似たようなものではないかと思えます。

問 28

どうしたら、(何をしたら)賢くなれますか…創造性、柔軟性が欲しいです。

回答 28

興味を持って勉強することを続けることです。集中と継続。先人の偉大な業績を再発見できるようになるまで勉強することです。良いものに(人を含め)多く触れることです。自分の現在の力より少しレベルの高いことを勉強するように。その繰り返しです。

問 29

脳のどの場所にあってもニューロンの働き自体は同じなのですか？

回答 29

ニューロンにはいくつかの種類があって、それらの働きは異なっていますが、それらが他のニューロンと切り離されていればどの場所でもむろん同じ活動をします。しかし、他のニューロンとつながってネットワークの中で個々のニューロンはその働きを表に現すので、ネットワークの構造が違えば同じ種類のニューロンでも働きは異なります。人間も同じですね。同じ人でも違うグループの中では役割が異なるでしょう。

問 30

ひとりで思考しているときや読書している時もコミュニケーション時と同じように働きますか？(共感していたら)

回答 30

一人で思考しているときとコミュニケーションをしているときでは基本的に脳活動は異なっていると私たちは考えていますが、まだ明確な証明はありません。しかし、一人で思考しているときでも、仮想的な誰かを想定してその人との仮想問答を行うようにして思考を進めることがあります。このような時はコミュニケーションのときとかなり似た活動になるのではないかと想像しています。

問 31

ミラーニューロンは影響共鳴しあうのでしたら会話で”社交辞令”などでは使われてそうですか？それともストックから取り出している感じですか？

回答 31

質問の意味を十分理解できていませんが、社交辞令のようなときは別の脳の働きがあるのではないのでしょうか？社交辞令で関係する可能性があるのは感情などと関係する大脳辺縁系などかもしれません。さらに社交辞令は案外深い論理を刺激するかもしれません。社交辞令と分かっている冷静な部分と、それでもまあほめられればうれしいといった単純な感情の発露が複雑に入り組んだ反応になるかもしれません。

問 32

中国雑技団など自分が同じことをできない行動を見た時もミラーニューロンは発火するのか？

回答 32

厳密に言えば、異なる行動にはミラーニューロンは反応しないはずですが、雑技団などの空中ブランコの動作にも我々が日常的に行う動作が含まれています。たとえば、鉄棒でぶら下がる動作や、ブランコをこぐ動作は類似の動作ですから、雑技団の演技を見てミラー（ニューロン）システムは働く可能性はあると思います。

問 33

33-1. ミラーニューロンについて 必ずしも真似ではないけれど実は同期している、という行動(行動パターン)はあるのですか？

お酒を飲むと互いに相槌ばかり打ってしまうのはミラーニューロンの発火が活発になっているためですか？(まさか…)

33-2. 知人と歩く際に歩調が一致するのはミラーニューロンの影響でしょうか？

回答 33

お酒の場合は共感しやすくなっているのでしょうかね。相槌を打っているときには共感という働きが現れるためにミラーシステムは関係していると思われます。自然と歩調が合う場合はミラー(ニューロン)システムは関係しないと思われますが、おそらく脳波のある周波数帯域では同期が起こっている可能性はあります。

問 34

勉強すると脳のシワが増えるというのは本当ですか？

回答 34

脳のシワは胎児や赤ちゃんのときに比べると成人はシワが多いわけですが、これは個体発生において大体ヒトなら似たようなシワの構造になります。むろん、シワのより方などは個人差がありますが、それよりはむしろ種の違いの方が大きいです。体の大きさと頭蓋骨の大きさが大体決まりますが、一定体積の容器にそれより大きな容積の柔らかいものを詰めようとするとシワがよりますね。ヒトは他の動物に比べ、体の大きさに比べて脳が大きくなりすぎたのでシワがよっているのです。勉強をしてシワが増えることはありません。勉強をするとニューロン間の結合が強化されると考えられます。つまり、ニューロンのネットワーク構造が変化していくのです。これが変化しても細胞数が増えるわけではありませんので、脳の容積はほとんど変化しません。ニューロンの結合部分であるシナプスが少し大きくなったり、新しいシナプスができたりしますから、その分容積は多少は増えますが、逆に無駄になったシナプスは減っていきますので、この構造変化で脳の容積が大きくなることはまず考えられないことです。

問 35

一見ランダムな現象をカオスによる現象か本当にランダムな現象かを判別するにはどのような方法があるか？

回答 35

これは非常に本質的な質問です。学問的には大変レベルの高い質問です。カオスは決定論的な規則や方程式から生み出されるランダム現象です。「本当にランダムな現象」という質問の意味を、原因に不確定性がある確率現象であると理解することにします。そのようなノイズとみなせる現象は仮に決定論的な要因に分解したとすると無限個の要因があるとして記述されます。ですから、統計的な分布関数を求めて、そのもとでの物理量の平均値やそれからのずれを求めたりします。このときも、たいていは2次のずれである分散や標準偏差を求めることが多いのですが、1次の統計量である平均と2次の統計量である分散だけでは元のランダムノイズの性質を完全に記述したことにはなりません。これ

は近似です。元と同じ情報はさらに3次、4次、5次・・・と無限個の統計量をすべて考えたときに得られます。それに対して、カオスであるならば、その原因は有限個の変数によって与えられます。ある実験データが与えられてこれがカオスかノイズかを判断する場合、ある次元を持った空間にデータを埋め込むことで判定できることがあります。カオスなら、ある有限次元の空間に埋め込めますが、ノイズはそうは行かず、どんな有限次元の空間にも収まりません。悩ましいのは、無限次元であることをこのような実験的方法では証明できないことです。そこに理論モデルの意義があります。現象に対する理論を作ってその理論の予測するところが無限次元ならノイズ、有限次元ならカオスと判断できるからです。数学的理論の重要性はこんなところにもあるわけです。例えば、蛍光灯の出す光は白いですね。これはありとあらゆる波長の光が均等に混ざっているから白く見えるのです。そういうわけでこれを白色雑音（ホワイトノイズ）と呼ぶのです。それに対してレーザーのようなコヒーレントな光は発生する電磁波の波長が一定に保たれています。レーザー光と物質を相互作用させてカオスにすることができます。しかし、このときのカオスレーザーは蛍光灯の光のような白色ではありません。

問 36

カオス現象に対して数学的モデルを立てるとき、そのパラメータをどうやって決めることができるのか、またそのパラメータが適当であることをどうやって判定するか？

回答 36

これはかなり専門的な質問ですね。少し専門的に答えます。カオス的な現象が実験で観測されている場合は、カオス成分を抽出するいろんな方法があります。それらを適用して、もしもある種のカオスの現象を支配している関数形が推定でき、かつ異なる実験条件（パラメーターを制御して実験を行う）で得られた関数形とを比較することで、実験を制御したパラメーターとカオス現象を支配しているパラメーターを対応付けることができます。そうやって得られたパラメーターを分岐パラメーターとみなして分岐構造を調べ、実験パラメーターのどの値でどんな現象が得られるかを予測することができます。実験を行い、予測通りの結果が得られれば、推定したパラメーターは適切であるということができます。

問 37

37-1. “どうき”とはどういう意味で漢字ではどう書きますか？

37-2. 脳波が同期するとはどういう事か？（ α 波、 β 波が同じ波形を描くのか、それとも、他人の波形ともう一人の波形が同じ波形を描くのか）

37-3. 同期するってことと、まねをするということは同じような現象に思えるんですが、そのような違いがありますか？

回答 37

37-1. 「同期」と書きます。これはわずかに異なる周波数で振動している異なる振動状態を結合するなりして相互作用させた場合、同じ周波数に引き込まれて、同調して振動する状態（引き込み）、もしくは同じ周波数だが位相が異なる振動状態が結合などにより互いに同じ位相で振動するようになる状態（シンクロ）を言います。

37-2. 「同期」の定義は上を見てください。脳波の同期とは次のようなことです。ひとつの脳の中でも局所脳波同士が同期することがあります。また二人以上の人々が会話などを行っている時の脳波をみると、 α 波が同期していたり、 θ 波が同期していたりときざまな周波数帯域の波が同期することが知られ

ています。私たちはこの様子をもっと詳しく調べて、コミュニケーションとのかかわりを明らかにしたいと考えています。

37-3. たしかに感覚的には近い感じがしますね。まねをするときにほんとに脳の活動状態が同期するかどうか、まだ確立されていないことなので、私たちも大変興味を持っています。

問 38

計画変更に対応する脳の部位について、アスペルガー症候群や自閉症の症状のひとつに、いつも通りの行動をしないとパニックになるという話を聞いたことがあるが、それもその部位に異常があるのか？

回答 38

異常といっていいかどうかは分かりませんが、その部分の脳の働きがそれらの人では異なっているという報告があります。

問 39

なぜ脳に興味を持ったのですか？

回答 39

私の場合は、カオスを解明する過程で脳に興味を持つようになりました。モチベーションは抽象的なので、理解してもらえるように説明できるかどうかは分かりませんが、次のようなことがきっかけです。大学、大学院での専門は物理です。物理の理論はそれが本質的になればなるほど生命的といえるようなビビッドなものです。カオスに出会ったときに、生命の躍動感を感じました。ここには何か従来の物理や数学とは違うものがある、と感じました。それでカオスの研究にのめり込んだのですが、やればやるほど不思議さが先行しました。博士号のための論文を準備しているときに、関連する本や論文を手当たり次第に読みました。全科学史の中で今自分がやっているカオスの研究を位置づけようと必死で取り組みました。あるとき、ふと思ったのですが、カオスを理解するにはカオスそのものの研究だけでは足りないのではないかと。それに加えてカオスを理解するとはどういうことか、カオスを観察する（できる）とはどういうことか、そういったカオス研究自体よりもメタなレベルも併せ考えて初めて理解に到達できるのではないかと。カオスを研究している私の志向性や思考、感覚、感情を理解したとき初めてカオスそのものを理解できるのではないかと。カオスには何かそういう深いものがあるような気がしました。カオスを計算するとは？カオスを観察するとは？では計算不可能とは？認識可能性とは？記述可能性とは？またそれらが不可能であるとは？こういったことを考えて脳の働きに興味を持ったのです。カオスはいろんな意味での不安定性を持っていますが、私は新たに記述不安定性という概念を導入して、以上のことを定式化しようとしていました。実際、脳の研究を始めてみると、面白いことに脳の活動状態はカオス的であり、カオス状態の中で、あるいはそれを使って、仕事が行われていることに気がきました。まさにカオスは脳と切り離すことができない形で宇宙に存在しているのです。直観は当たっていたのですが、しかしこうなると、果して脳の研究を行うことでほんとにカオスを理解できるのだろうか、と疑問がわいてきます。脳の働きを理解するためにはカオスを理解しなければなりません。今度は立場が逆転してしまいました。それで私は今両方の研究を‘同時に’行っているのです。記述不安定性が私の研究の指導原理です。

問 40

人の身体運動は外部環境の影響を受けて発現が変化をされると考えられていますが、一方で同じ環境下でも異なる動きをしたり、スポーツ選手がよく言われる”ZONE：ゾーン”の状態に入り、まわりの不必要な情報を遮断して優れたパフォーマンスを達成できたりします。脳は外部からの情報をどうやって / 何故？ 選択しているのでしょうか？

回答 40

難しい問題ですが、本質的です。ひとつだけに絞ってコメントします。進化的には早い段階で出来上がったと思われませんが、予測という能力が脳には備わっています。単に外界の刺激に反応するだけでは、神経系の遅れによって環境変化に素早く対応できません。これは時に生命を危険にさらすこととなりますから、刺激が感覚器に入って脳で判断し運動系へ受け渡すまでに生じる遅れ（人の場合ですと、0.1秒から0.2秒はかかると言われています）をカバーして外界の変化に素早く対応する方法が脳に組み込まれなければなりません。これが予測です。感覚系と運動系の関係を先取りするように学習が進行しなければなりません。たとえば、時計の秒針をずっと眺めていると、ちゃんと動いているように知覚しますが、しばらく、注意を他に向けておいていきなり時計の秒針を見ると、秒針はしばらく止まって見えます。これが感覚刺激が脳に入って知覚するまでの遅れ時間を表しています。注意深く秒針を見たときに止まって見えないのは、脳が予測して早く反応しているからです。どこにどのように注意を向けるかは志向性と呼ばれています。これによって選択が可能になります。志向性によって能動的になることで、外界の情報を選択することができるのです。

問 41

41-1. 男脳（理性）と女脳（感情）のカオス的違いは？（発生予防、後天的 etc）

41-2. 人間と他の動物での違い、類似性は？（オス・メス）

回答 41

カオス的違いについては、今のところ研究がありませんので、わかりません。男女の脳の違いについては現在さまざまなレベルでの研究がなされていますので、あと5年から10年するとかなり理解が進むでしょう。

問 42

津田先生が1万個のニューロンをシミュレートされるときには一個のニューロンあたり何個のニューロンとつなげられますか？ また、接続数はスモールワールド性をもたせますか？

回答 42

当日お見せしたシミュレーションでは、1個のニューロンは上下左右4個のニューロンとつながっています。コンピューター上でシミュレーションするときにはさまざまな結合の仕方でも調べています。上の例では最近接相互作用だけを考慮していますが、どのニューロンも他のすべてと結合させることもありますし、ランダムに結合させることもあります。脳のニューロンの結合はスモールワールドというよりはスケールフリーに近いと言われています。つまり、特徴的な結合の長さがなくて、どんな結合もそれなりにありうるのです。ただし、平均すると1個のニューロンはだいたい1万個のニューロ

ンと結合しています。大脳皮質だけでも約100億個のニューロンがありますので、全てが結合しているわけではありません。

問 43

言葉に対する脳の反応はシミュレート可能でしょうか？また、そのことによってほとんどの言語で基本音節の長さが一致することは説明できるのでしょうか？

回答 43

言葉を介したコミュニケーションも私たちの「新学術領域研究」でのプロジェクトで行っています。脳の反応はシミュレート可能です。言語に見られる種々の普遍構造を力学系などの数理モデルで理解しようという研究も始まっていて、上記プロジェクトでも試みています。何年か経つとはっきりしたことが言えるようになるかもしれません。

問 44

共感しあうと気持ちが良いなるしコミュニケーションがうまくいった気になり、気分も落ち着いてくるのが不思議です。

回答 44

そうですね。それを科学したいですね。

第 52 回サイエンス・カフェ札幌
(CoSTEP 主催)

(2011 年 2 月 28 日発行)

< 領域代表 >

津田 一郎
所属 北海道大学電子科学研究所
住所 060-0812 札幌市北区北 12 条西 6 丁目

< 事務局 >

水原 啓暁
所属 京都大学大学院情報学研究科
住所 606-8501 京都市左京区吉田本町
TEL / FAX 075-753-3147
Email hmizu @ i.kyoto-u.ac.jp

平 厚子
所属 北海道大学電子科学研究所
住所 060-0812 札幌市北区北 12 条西 6 丁目
TEL / FAX 011-706-2413
Email singaku-jimu @ math.sci.hokudai.ac.jp

