

音大生・音楽家のための 脳科学入門講義

工学博士 田中 昌司【著】

コロナ社

ま え が き

私はこれまで多くの音大生や音楽家の方に実験に参加していただいて、そうした方々の脳の特徴や演奏に関わる脳活動などを調べてきました。どなたも研究にたいへん興味を示して快く協力してくださり、楽しく実験をさせていただきました。そして、いつも終了後の雑談に花が咲きました。そんな中で、多くの音大生や音楽家の方が脳のことをもっと知りたいと思われていることを知りました。本当にたくさんの質問をいただきました。脳科学の入門書を薦めたこともありましたが、専門用語や説明の仕方による壁があることも感じていたので、音大生や音楽家の皆さんにわかりやすい入門書を書こうという思いに至りました。

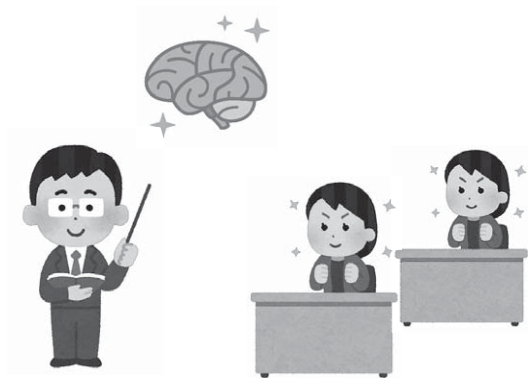
本書は講義形式にしました。書名に「講義」とつくと、中には堅苦しいイメージを抱かれる方もいらっしゃるかもしれませんが、そうしたことはありません。出席もとりませんし、試験もありませんので、気楽にお読みいただければと思います。講義は、質問や感想としてその場でフィードバックされるほうがやりやすいものです。そのため、この講義では黙って話を聞くというスタイルではなくて、いつでも発言できるような対話的な雰囲気をつくりたいと思い、仮想的な質問と回答を入れました。実際に受けた質問も多く含まれています。本書の構成上、脳科学の基礎的な事項の説明から始めて、後に進むにつれて音楽との関係が深まります。待ちきれない方は後半を先に読んでいただいても構いません。また、本書は「音大生・音楽家のための」と書名につけているものの、一般の方々や音大以外に所属する大学生、さらには高校生にも楽しんで読んでいただける内容になるように心掛けました。

本書でこれから学ぶのは「脳科学」という学問です。その名のとおり脳に関する科学（サイエンス）ですが、脳は思考や感情を司っているので、ほかの多くの学問領域にまたがる学際的な学問であるという特徴を持っています。哲学

や心理学，行動学などとも密接な関係があり，一つの学問分野の枠に収まらない独特の領域を形成しています。また，最近は実験技術や実験データの解析技術が飛躍的に進歩して，研究のフロンティアが急速に拡大しています。特に脳イメージング法の目覚ましい発展に支えられて，今日の脳科学はとてもエキサイティングなサイエンスになっています。それでも，知りたいことが依然未知のままであるものもたくさんあります。現在進行形のサイエンスとして，そのような部分も楽しんでいただけたら幸いです。

2021年2月

田中 昌司



目 次

第 1 講 脳の進化と構造

1.0 講義の前に	2
1.1 脳の進化	3
1.1.1 脳の誕生	3
1.1.2 連合野	5
1.1.3 知性の誕生	5
1.2 脳の構造	6
1.2.1 大脳皮質	6
1.2.2 前頭葉	7
1.2.3 前頭前野	7
1.2.4 運動野	7
1.2.5 頭頂葉	8
1.2.6 側頭葉	9
1.2.7 後頭葉	9
1.2.8 小 脳	9
1.2.9 大脳基底核	10
1.2.10 視 床	11
1.2.11 脳 幹	11
第 1 講を終えての Q&A	11

第 2 講 感覚・知覚

2.1 視 覚	14
---------------	----

2.2 聴覚	16
2.2.1 聴覚野	16
2.2.2 マガーク効果	18
2.3 体性感覚	19
2.4 味覚・嗅覚	20
2.5 内臓感覚	20
第2講を終えての Q&A	21

第3講 脳の記憶システムと学習

3.1 短期記憶	24
3.2 ワーキングメモリー	24
3.3 長期記憶	25
3.4 意味記憶	27
3.5 エピソード記憶	27
3.6 H.M.	29
3.7 手続き記憶（スキルの記憶）	33
第3講を終えての Q&A	34

第4講 運動制御と演奏

4.1 運動制御	38
4.2 感覚フィードバック	39
4.3 内部モデル	39
4.4 空間認知	40
4.5 認知制御	41
4.6 プランニング	42
4.7 メタ認知	43

第4講を終えての Q&A	44
--------------------	----

第5講 感情

5.1 感情とは	48
5.2 感情の脳部位	50
5.3 感情のコントロール	51
5.4 報酬	52
5.5 音楽による感情	53
5.6 音楽の効果	54
第5講を終えての Q&A	57

第6講 共感

6.1 心の理論	62
6.2 社会脳	63
6.3 ミラーニューロン	64
6.4 心の痛み	68
6.5 共感	71
第6講を終えての Q&A	72

第7講 情景

7.1 情景の構築	74
7.2 マインド・ワンダリング	75
7.3 メンタル・タイムトラベル	76
7.4 デフォルトモード・ネットワーク	77
7.5 審美性	80

7.6 音楽は脳でつくられる	81
7.7 失音楽症	81
第7講を終えての Q&A	83

第8講 音楽家の脳

8.1 構造的な特徴	86
8.1.1 心の目で見ると	86
8.1.2 音楽のシンタックス	87
8.1.3 楽器の演奏	87
8.1.4 演奏スキルのネットワーク	89
8.2 ネットワーク	90
8.3 絶対音感	93
8.4 音楽家のワーキングメモリー	95
8.5 音楽家の視覚	96
8.6 イメージ演奏実験	97
8.7 創造性	99
第8講を終えての Q&A	100

引用・参考文献	103
講義の後で	111
索引	114

脳の進化と構造

- ♪：私は脳科学にはとても興味がありますが、どこから勉強していくのがよいのでしょうか？
- ◇：まず脳がどのような構造になっているのかを知るのがよいと思います。
- ♪：意識や心も脳のはたらきだといいますが、どういうことでしょうか？
- ◇：私たちの脳は長い時間をかけた進化の賜物です。脳の重さは体重の約 2% にすぎませんが、体全体の約 20% のエネルギーを消費します。それだけ多くの仕事をしているということが出来ます。構造も複雑ですが、無秩序に複雑化したわけではなくて、シンプルな設計原理に基づいてつくられている素晴らしい臓器です。そこから意識や心が生まれました。



いきなり意識や心に向かうのは無謀です。脳科学は生物学的な知識の上に構築された壮大な学問体系なので、焦らず一つ一つを楽しみながら学んでいってください。初めに、さまざまな脳の本を読みたいという方のために、読みやすい本を紹介しておきます。

- (1) ラリー・スクワイア, エリック・カンデル 著, 小西史朗, 桐野豊 監修: 記憶のしくみ (上・下), ブルーボックス, 講談社
- (2) フロイド・ブルーム ほか著, 中村克樹, 久保田競 監訳: 新・脳の探検 (上・下), ブルーボックス, 講談社
- (3) 理化学研究所脳科学総合研究センター 編: 脳科学の教科書(神経編・こころ編), 岩波ジュニア新書, 岩波書店
- (4) 理化学研究所脳科学総合研究センター 編: 脳研究の最前線(上・下), ブルーボックス, 講談社

海外には面白い書名(と内容)の本を書く方が多いので、日本で手に入る訳本をいくつか紹介します。

- (1) デイヴィッド・イーグルマン 著, 大田直子 訳: あなたの脳のはなし — 神経科学者が解き明かす意識の謎 —, ハヤカワ文庫 NF, 早川書房
- (2) マイケル・ガザニガ 著, 小野木明恵 訳: 右脳と左脳を見つけた男, 青土社
- (3) ハロルド・クローアーズ 著, 吉田利子 訳: 失語の国のオペラ指揮者 — 神経科医が明かす脳の不思議な働き —, 早川書房
- (4) オリヴァー・サックス 著, 高見幸郎, 金沢泰子 訳: 妻を帽子とまちがえた男, ハヤカワ文庫 NF, 早川書房
- (5) オリヴァー・サックス 著, 大田直子 訳: 音楽嗜好症(ミュージコフィリア) — 脳神経科医と音楽に憑かれた人々 —, ハヤカワ文庫 NF, 早川書房

- (6) アントニオ・ダマシオ 著, 田中三彦 訳: デカルトの誤り—情動, 理性, 人間の脳—, ちくま学芸文庫, 筑摩書房
- (7) V・S・ラマチャンドラン, サンドラ・ブレイクスリー 著, 山下篤子 訳: 脳のなかの幽霊, 角川文庫, 角川書店
- (8) V・S・ラマチャンドラン 著, 山下篤子 訳: 脳のなかの幽霊, ふたたび, 角川文庫, 角川書店
- (9) アンジェリーク・ファン・オムベルヘン 著, ルイーゼ・ベルディユース 絵, 藤井直敬 監修, 塩崎香織 訳: 世界一ゆかいな脳科学講義, 河出書房新社

もちろんほかにも面白い本はたくさんあります。講義の中でも紹介していますが、すべて巻末の引用・参考文献リスト[†]にまとめてあります。その中で、ノーデンゲンさんの『「人間とは何か」はすべて脳が教えてくれる』を読むと、イントロダクションにつきのようなことが書いてあります。「古代エジプトでは王が亡くなると、来世での復活のために、亡骸に香油が塗られ防腐処理がほどこされました。その時、心臓はていねいに扱われ遺体に戻されたのですが、脳は捨てられました。鼻から棒を突っこんで脳を粥状になるまでかき回し、体外に取り出したのです。つまり、脳はゴミ扱いでした。人を人たらしめているのは脳なのだとわかるまで、長い長い時間が必要でした。」

それでは、数千年後の私たちが理解している脳についての講義を始めます。

1.1 脳の進化

1.1.1 脳の誕生

地球上に生物が誕生したのは約 40 億年前と考えられています。ニューロン (neuron) と呼ばれる神経細胞 (図 1.1) がつながり外部の情報の処理を行う

[†] 巻末の文献は、著者（あるいは編者・監修者など）の姓・ラストネームの五十音順、アルファベット順で掲載している。

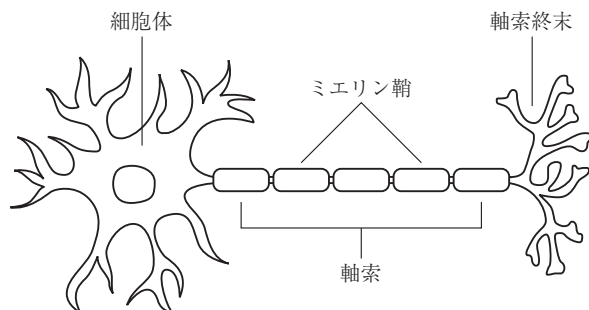


図 1.1 ニューロン

器官を**神経系** (nervous system) と呼びますが、生物は長い間神経系を持っていませんでした。神経系の登場は5億年から6億年ほど前だと推測されています (ダマシオ：進化の意外な順序)[†]。哺乳類が出現したのが約2億年前、そして最初的人类が400万年ほど前にアフリカで生まれました。たいへん長い道のりです。生物の進化とともに神経系も進化しました。私たちの体には神経系が張り巡らされていますが、頭部には特に数多くのニューロンが集まっている**脳** (brain) があります。

脳は筋肉や臓器に働きかけると同時に、全身のセンサーからの信号を受けてモニタリングを行っている巨大なシステムあるいはネットワークです。すべての膨大な情報を集中的に処理している私たちの脳は、超ビッグデータを処理することができる驚異的なデータセンターであるといえます。いまでこそ流行語になっているビッグデータやデータセンターですが、私たちは現在の最新技術で構築されつつあるものなど足元にも及ばない優れたシステム (脳) を持っているのです。脳を「情報処理システム」として捉えて、認知機能や心のはたらきのメカニズムを探究する学問を、特に**認知脳科学** (cognitive brain science) と呼ぶことがあります (嶋田：認知脳科学)。

[†] 引用文献について、日本語の文献は「著者名、書名」、英語の文献は「著者名、発行年」で示す。

1.1.2 連合野

人間の脳は表面がほとんど**大脳皮質** (cerebral cortex) でおおわれています。そして、大脳皮質にはニューロンがびっしり埋め込まれています (概算で100億個以上)。そこに体中のセンサーからの膨大な量の信号が集まる仕組みになっています。この情報の集中化はさらに大脳皮質の面積を拡大することになり、それにつれて階層化が進みました。すなわち大脳皮質のある機能を担うエリアとほかの機能を担うエリアとの間に上下関係ができたのです。それが最も明確に認められるのが視覚関連領域で、具体的な視覚情報処理を行うエリアに対して、統合的な視覚情報処理を行うエリアはより上の階層に属します。さらに上の階層は視覚情報処理の枠を超えて、ほかの情報との統合を行うようになります。この階層にある領域は**連合野** (association area) と呼ばれます。上位の階層ほど多くの情報が集まることになり、「脳をコントロールする脳」という構図ができあがりました。会社の組織のようですね。規模が大きくなるにつれてこのような組織化が有効に機能したのだと考えられます。

1.1.3 知性の誕生

ニューロンの活動からはじまって、コミュニケーションし合うニューロン集団あるいはネットワークの規模が拡大し、脳のシステム化が進み、脳が処理できる情報の量や種類が増えていきました。それにもなって知性と呼ばれる能力 (考えたり、判断したり、想像する力) が洗練されていきました。脳の中では無数のニューロンが電気パルスを出して交信し合っているのですが (塚田: 芸術脳の科学), そのことから絵を観て感動したり、音楽を聴いて涙するような心のはたらきを直接説明することはおそらくできません。

脳の進化は量的拡大だけではなくて、構造的にも機能的にも質的な変化をともなうものでした。しかし、その過程でどのようにして意識が生まれたかとか、心はどこにあるのかといったような問題は、多くの研究者が研究しているにもかかわらず、明快な答えはまだ得られていません。本も多数出版されていますが、数ある中から3冊の啓蒙書を紹介します。ウィリアム・カルヴィンという

索引

【あ】		刈り込み	90	視覚野	9
アクション	65	感覚フィードバック	9	指揮者	7
【い】		眼窩前頭皮質	99	自己	78
一次運動野	8	感情仮説	51	視床	11
一次視覚野	9	【き】		失音楽症	81
意味記憶	26	記憶の固定化	26	失感情症	49
意味記憶化	31	逆向性健忘	29	失語症	81
【う】		嗅覚	20	自動化	10
ウィリアムズ症候群	71	共感	59	シナプス可塑性	25
運動視覚	9	恐怖条件付け	50	自閉症	56, 67, 71
運動制御	9, 15	【く】		シミュレーション	10
運動前野	8	空間認知	8, 40	視野	15
運動野	7	【け】		社会性	57
【え】		楔前部	41	社会脳仮説	63
エピソード記憶	26	【こ】		周波数スペクトル	17
演奏スキル	45	高次運動野	8	周波数地図	16
【お】		高次視覚野	9	受容器	19
オキシトシン	56	後頭葉	6	情景	74
音楽トレーニング	44	後部上側頭溝	62	上側頭回	94
音楽療法	54	心の痛み	68	上頭頂小葉	7
音源定位	17	心の知能	63	小脳	9
【か】		心の理論	62	自律神経系	56
階層化	5	コーディング	14	シルビウス溝	7
外側前頭前野	41	古典的条件付け	27	神経系	4
海馬	9	【さ】		神経細胞	3
角回	78	座標変換	40	神経美学	80
歌唱てんかん	84	【し】		身体反応	48
下前頭回	86	幸せホルモン	56	身体表現	66
カタルシス	59	ジェームス・ランゲ説	49	シントックス	87
下頭頂小葉	7	視覚関連領域	5	心的イメージ	74
悲しみ	53, 69	視覚情報処理	5	【す】	
				睡眠	35
				スキルの学習	10
				ストレス	20

【せ】	
生命維持	11
セイリエンス・	
ネットワーク	21, 69
脊 髓	8
舌状回	96
絶対音感	93
セルフコントロール	42
セレンディピティ	67
宣言型記憶	26
前向き健忘	29
センサー	4
線条体	89
前帯状皮質	41
前頭前皮質	7
前頭前野	7
前頭頭頂ネットワーク	88
前頭葉	6
【そ】	
創造性	100
側坐核	52
側頭頭頂接合部	62
側頭葉	6
ソマティック・	
マーカー仮説	48
【た】	
帯状回	50
体性感覚	19
体性感覚野	7
大脳基底核	10
大脳皮質	5
大脳皮質・基底核・	
視床ループ回路	33
大脳辺縁系	50
他 者	78
短期記憶	24
【ち】	
知 性	5
中後頭回	96
中心溝	7
聴覚野	9

聴覚連合野	16
長期記憶	24
【て】	
手続き記憶	26
デフォルトモード・	
ネットワーク	78
電気パルス	5
【と】	
頭頂弁蓋	91
頭頂葉	6
頭頂連合野	8
島皮質	41
ドーパミン	52
【な】	
内臓感覚	20
内側眼窩前頭皮質	80
内側前頭前野	41
内側側頭葉	29
内部モデル	9
【に】	
二次視覚野	9
ニューロン	3
認知症	56
認知制御	41
認知的再評価	51
認知脳科学	4
【ね】	
音 色	17
【の】	
脳	4
脳 幹	11
脳内表現	38
ノスタルジア	54
【は】	
背外側前頭前野	98
パーキンソン病	10
バレエダンサーの脳	89
半空間無視	15

【ひ】	
非言語コミュニケーション	66
皮質脊髄路	8
尾状核	89
非宣言型記憶	26
ピッチ	17
【ふ】	
不 安	57
フィードバック	8
フィードバック制御	39
フィードフォワード	
制御	39
腹側運動前野	64
符号化	14
ブライミング	26
プランニング	42
ブローカ野	87
プロソディー	51
【へ】	
扁桃体	50
【ほ】	
報 酬	10
報酬回路	52
紡錘状回	75
補足運動野	8
【ま】	
マインド・ワンダリング	75
マダーク効果	18
【み】	
ミエリン鞘	94
味 覚	20
ミラーニューロン	64
【め】	
メタ認知	43
メンタル・タイム	
トラベル	76

【も】		【よ】		【れ】	
モチベーション	10	葉	6	連合野	5
モニタリング	4	【り】		【わ】	
		臨界期	93	ワーキングメモリー	24
【英字】		H.M.	29		
fMRI	65	MRI	65		
		VBM	86		

— 著者略歴 —

1980年 名古屋大学工学部電気電子工学科卒業
1982年 名古屋大学大学院工学研究科修士課程修了（電気電子工学専攻）
1985年 名古屋大学大学院工学研究科博士課程修了（電気電子工学専攻）
工学博士
1986年 上智大学講師
1989年 上智大学助教授
1998年 イェール大学客員研究員
2000年 上智大学教授
現在に至る
2005年 コロンビア大学客員教授

音大生・音楽家のための脳科学入門講義

Introductory Lecture of Brain Science for Music College Students and Musicians

© Shoji Tanaka 2021

2021年4月28日 初版第1刷発行



検印省略

著者 田中昌司
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 壮光舎印刷株式会社
製本所 株式会社 グリーン

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-07825-1 C3040 Printed in Japan

(新井)



＜JCOPY＞ < 出版者著作権管理機構 委託出版物 >

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構（電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。