

「生物基礎」の授業をとおして伝えたいこと

久谷 眞理子

1. はじめに

多くの卒業生が音楽を通じて社会貢献をしていることが示すように、本校には将来優れた演奏家や作曲家をめざす生徒が全国から集まってくる。中学校を卒業したばかりの生徒が、遠くふるさとを離れ、都会でひとり暮らしを始めることも少なくない。音楽が大好きで、音楽に自己実現を求め、喜びと希望に胸をふくらませて入学してくる本校生徒のために、筆者には授業を通して何ができるかを考えている。本校の生徒は芸術的感性とともに、困難を乗り越えて目標を達成するためのたくましい精神と身体機能を兼ね備えていなければならないと推察される。筆者は生徒が自分自身の身体のことを知ることが何よりも大切であると考えている。自分の身体のマカニズムを知っていれば、自分なりに課題を乗り越え、自分がこうしたいと思う音楽を奏でることができるヒントが得られるのではないか。そこで「演奏中のわたしのからだのしくみ」という冊子を作成し、教材として「生物基礎」の授業で展開してみた。

2. 理科教育の果たす役割

理科教育は、われわれが生きている環境のなかで起こっている現象から問題を的確につかむ能力を育てることに貢献しなければならない。また、現象を支配している科学的法則をひとりひとりに十分に理解させ、それによって問題の本質をつかむ能力の育成に貢献しなければならない。人類は石油を燃やさない別の方法で電力を生み出す方法を開発してきた。石油が変わるものとして原子核エネルギー・太陽エネルギー・地熱エネルギーが挙げられるが、この原子核エネルギーにつきまわっていた安全性、核廃棄物の処理に問題が現実には起こってしまった。福島第一原子力発電所の事故である。原子核エネルギーや、原子力発電のしくみ、すなわち科学的法則を正しく理解してメリットとデメリットを把握していなければ、この問題に対して自分自身の考えを持つことはできない。また、ヒトゲノム解読の結果、あらかじめ遺伝子を診断することにより病気の原因となる可能性の遺伝子を持つていたことを知れば、病気の子供が可能になり、発病する前に対策がとれるようになってきた。しかし、治療法のない病気の場合は、不治の病であることをあらかじめ知ることになってしまう。

「知らないでいる権利をどのように守るのか」など、重要な問題となる。胎児の出生前診断、遺伝子治療、遺伝子組み換え食品、脳死移植など、しっかりと科学的知識の基礎の上に自分の考えを積み上げなければならない事例を挙げれば枚挙にいとまがない。

3. 音楽高校における理科教育のありかたを考える

本校1年次は「科学と人間生活」を2単位履修する。主に物質の科学、熱や光の科学、地球の科学を学ぶ。物質の科学では原子や分子について、熱や光の科学では波動をとりあげ、音についての基礎を学ぶ。地球の科学では日本列島の成り立ちや地震について学ぶ。2年次では1年次の科学の基礎のもとに「生物基礎」を2単位履修する。3年次に理科の履修はない。これは平成24年度からの高等学校理科新課程カリキュラムである。普通科の高等学校に比べると、はるかに少ない授業数である。このわずか4単位の理科の授業数のなかで理科教育の目的を達成しなければならない。よって1時間の授業内容をどれだけ深いものにするかが重要となってくる。まず、生徒の理科に対する興味や関心について把握しなければならない。

音楽高校での指導経験がない筆者が、初めて本校の授業「生物I B」を行ったときのことである。「生物I B」という教科に興味や関心を持っている生徒は、残念ながらそう多くはなかった。筆者は黒板に自分の名前を大きく書き、自己紹介をした。それからどのようにしてその日の授業を終えたのかすっかり忘れてしまったが、生徒と筆者との間に大きな壁があるように思えた。これから先どうやって生徒たちと向き合っていこうかと真剣に悩

んだことを覚えている。

当時の副校長先生が、「本校の生徒は難曲を演奏する高度なテクニックを身につけるため、類まれなる努力をしている。いろいろな方面からのプレッシャーに耐えながら、自分の努力ではまだまだ足りないと感じて死に物狂いで練習している。このような環境にいる生徒たちであるから、心にゆとりのない生徒ほど、授業に集中することは難しい。」と教えていただいた。生徒の置かれている環境や立場を理解して生徒と接するのと、生徒のことを何も知らず、普通科の生徒と同じように接するのでは全然違う。筆者は大変気持ちが楽になった。しかし、音楽科の生徒も普通科の生徒も同じ高校生である。高校生の場合、自分の好きな教科、嫌いな教科は、担当の教師による影響が大きい。生徒に理科を好きになってもらうためには、生徒の好奇心を引き出すような楽しい授業をする努力をしなければならないと痛感した。

同じ目標に向かって切磋琢磨している仲間同士なのでクラスの結束も固い。どのようにしたらこの仲間に入れるか、とにかく話かけてみることにした。次の週の3、4時間目の2時間連続「生物ⅠB」の授業は管理職の許可を取り、ケント紙に春の上野公園の草花をスケッチする観察学習を行った。筆者は多くの生徒にたくさん話しかける努力をした。上野公園を通り大学に通う先輩に手を振りながら「今、生物の授業」と声をかける生徒もおり、うれしくなった。音楽を専攻するだけあって、自然をありのままに観察し、その美しさを表現する能力は素晴らしく、まるで光合成を行う植物工場の音が聞こえてくるようなスケッチである。生徒の素晴らしい感性は、春の野の植物のスケッチをみごとに描き、この上野の自然の美しさが、彼らの潜在意識にたくさん蓄積されたのではないか。理科教育の目的は、科学的な自然観を養うことによって客観的に物事をとらえ、創造的な態度で自然を愛し、豊かな人間性を発揮して人類社会の一員として、さまざまな問題に立ち向かうことのできる人間の育成である。これは将来一流の音楽家になろうと強靱な意志をもって努力する彼らにとっても大変役に立つ教科であると考えられる。

4. 「生物基礎」年間指導計画

「生物基礎」の目標：日常生活や社会との関連を図りながら生物や生物現象への関心を高め、目的意識を持って観察、実験などを行い、生物学的に探究する能力と態度を育てるとともに、生物学の基本的な概念や原理・法則を理解させ、科学的な見方や考え方を養う。

1章	生物の特徴		
1節	生物の共通性と多様性	【実験1】細胞の観察	(2時間)
2節	細胞とエネルギー	【実験2】酵素カタラーゼ	(11時間)
2章	遺伝子とその働き		
1節	遺伝情報とDNA	【実験3】DNAの抽出	【実験4】DNA分子モデルの作製 (6時間)
2節	遺伝情報の分配	【実験5】体細胞分裂の観察	(4時間)
3節	遺伝情報とタンパク質の合成	【実験6】パフの観察	(9時間)
3章	生物の体内環境とその維持		
1節	体内環境	【実験7】ヒトの血球の観察	【実験8】腎臓の糸球体の観察 (6時間)
2節	体内環境の維持のしくみ		(9時間)
3節	免疫	【実験9】血液の凝集反応	(7時間)
4章	生物の多様性		
1節	植生と遷移		(4時間)
2節	気候とバイオームの分布		(2時間)
3節	生態系と物質循環		(4時間)
4節	生態系のバランスと保全		(6時間)

5. 「演奏中の私のからだのしくみ」を探求するための関連単元と基本事項

主なテーマは、Ⅰ. 反復練習と脳、Ⅱ. 緊張のしくみと緊張を生かす脳の回路、Ⅲ. 感動を生みだす演奏、とした。これらを理解するための基本となる関連単元は次のとおりである。

1章 生物の特徴 2節 細胞とエネルギー

3章 生物の体内環境とその維持 2節 体内環境の維持のしくみ

1 中枢神経と末梢神経 2 神経系による調節 3 内分泌系による調節 4 自律神経とホルモンによる調節
以下、基本事項について説明する。図は本文と重なるので本文の方に添付する。

●体内環境の維持のしくみ

生物はさまざまな外界の環境から影響を受けている。ヒトを含むほ乳類には生物をとりまく外界が変化しても、体内環境をほぼ一定に保とうとする働きがある。これを恒常性ホメオスタシスという。細胞は血液、リンパ液、組織液に浸されているので、外部環境の影響を受けることは少ない。細胞にとっては、自らを取り巻く体液こそが環境そのものである。この体液が作る環境を内部環境と呼ぶ。この内部環境は私たちが特に意識して調節しようとしなくても、常に体内環境は一定に調節されている。これは自律神経とホルモンの働きによって行われ、いずれも脳による調節支配を受けている。

●中枢神経系と末梢神経系

神経系は神経細胞で構成され、体内の情報のやり取りに重要な役割をこなす。これらは、情報を統合し、指令を下す神経細胞体が集合してできた細胞からなる中枢神経系と、中枢神経系から出る神経で体の各部分をつなぐ末梢神経系に分けられる。中枢神経系は脳、脊髄、末梢神経系は体性神経系、自律神経系がある。体性神経系は、運動や感覚のような意志と関係する神経系で眼、耳、皮膚などからの刺激を中枢へ伝える感覚神経と、中枢からの刺激を筋肉などの効果器へ伝える運動神経がある。自律神経系は呼吸や循環などの意志と無関係な働きに関係する神経系である。刺激を中枢神経系から皮膚や血管、内臓諸器官に送るだけである。しかし大きな特徴は、1つの器官に2種の神経を送りこんでいることであり、その1つは胸髄、腰髄から出る交感神経、もう1つは中脳と延髄から出る副交感神経である。

交感神経は興奮状態や精神的、身体的に活動を活発に行うときに働く緊張を高めるための神経で、ノルアドレナリンという化学物質を分泌する。副交感神経は食事や休息のときに働くリラックスした状態に調整する神経で、アセチルコリンという化学物質を分泌する。このように交感神経と副交感神経は互いに反対の作用を持つ。これを拮抗作用といい、両方の神経から二重の制御を受けることで、体内環境が一定の状態維持される。自律神経は無意識のうちにはたらき、多くの器官、組織の活動を制御しており、秒単位での迅速な反応も可能である。恐怖や不安などの感情が自律神経に伝わりドキドキするのは、大脳辺縁系が処理して自律神経の中枢である大脳視床下部に働きかけるためである。

●神経細胞（ニューロン）と神経の伝達

ニューロンは核を持つ細胞体、1本の軸索、他のニューロンからの情報を受け取る複数の樹状突起から成る。軸索とその周囲の被膜（ミエリン鞘）をあわせて神経繊維という。細胞体は核やミトコンドリアを持ち、タンパク質合成が盛んに行われ、細胞の栄養、代謝の中心となっている。樹状突起は、ほかの神経細胞からの情報を受けて電気信号に変える機能を持つ。軸索は神経繊維、単に神経とも呼ばれ、1つの神経細胞に1本しかない。神経情報を末端に、電気信号として伝える役割を持つ。軸索を包むミエリン鞘は電気信号が漏れ出してしまうように絶縁体の役割を果たす。ミエリン鞘はランビエ絞輪があいていて、非常に速い速度で信号を伝える。一つ一つのニューロンは鎖のように連結されている。ニューロンどうしの連結部はシナプスと呼ばれ、ここではアセチルコリンやノルアドレナリン、ドーパミンなどの神経伝達物質を分泌して、電気信号を化学信号に変えて情報を伝える。花粉症の治療薬である抗ヒスタミン剤は神経伝達物質であるヒスタミンと受容体が結合することを防ぎ、花粉症の症状を抑えている。ニューロンの神経伝達速度は1秒間に約100mの速さといわれる。刺激が脳に伝

わる過程を子猫の毛に触れた時の例で説明する。ヒトの指先の皮膚が子猫の毛にふれると、皮膚の受容器が刺激を受けて興奮し、感覚神経の末端で活動電位が発生する。この電気信号が次々と神経単位へ伝達され、脊髄に送られる。シナプス小胞からアセチルコリンなどの神経伝達物質が分泌されると、その刺激でほかのシナプス受容器が開いてイオンが出入りし、情報が伝達されるのである。脊髄から延髄に送られた情報は、延髄内のシナプスを介して次のニューロンへ伝達される。延髄のシナプスで中継された情報は、延髄から間脳の視床、大脳皮質の感覚野（体感覚野、体性感覚連合野）に送られて調整処理される。大脳皮質には、運動野や連合運動野などの運動神経の中枢もあって、脊髄を介して、全身の各部の筋肉に向けて指令が出されている。ヒトのからだをつくる細胞の大部分は次々と新しくつくりかえられ、古くなったものは分解される。しかし、ニューロンはあまりにも長く、(ヒトの座骨神経は約1m)かつ精巧にできていて、互いに連絡し合っているため、古くなったからといって、新しい細胞に取りかえることは難しい。神経系では生後間もなく細胞分裂が止まってしまっていて新しい細胞はつくられない。ニューロンは生まれてから死ぬまで働き続けているわけで、ヒトの寿命はニューロンの寿命ともいえる。

●中枢神経系（脳）

大脳：大脳は、外側から大脳皮質、大脳辺縁系、大脳基底核の3つの部分からなり、脳全体の重さの約80%を占める。大脳皮質はヒトでは厚さ平均約2.5mmの薄い層であるが、ひだにより折りたたまれており、その全面積は新聞1ページ(約2240cm²)にも達する。神経細胞の細胞体が集まっており、その色から灰白質と呼ばれている。これに対し、細胞体から伸びる神経繊維が集まった部分は、白質とよばれている。ここにはおよそ140億個の神経細胞が存在している。これほどの面積と神経細胞を持つ大脳皮質は、人間にとって欠かせない高度な能力、たとえば思考、記憶、言語能力をはじめ、自己を抑制することや、長期的な計画や、芸術などの創造力をともなう複雑な働きまでもつかさどっている。大脳皮質はまさに知能や精神活動の中枢をなす。大脳皮質は基本的には外部環境を正しく理解し、適切に外部環境に働きかける役割を持つ。大脳皮質は前後に走る大脳縦列によって、左半球と右半球に分けられる。2つの半球は、縦に走る中心溝と横に走る外側溝によって、さらに前頭葉、頭頂葉、側頭葉、後頭葉の4つの部分に分かれている。部位によって受け持つ機能が決まっており、後頭葉、頭頂葉、側頭葉は外界を理解する役割を、前頭葉は外界に働きかける役割を持っている。大脳の左右は脳梁という左半球と右半球をつなぐ神経繊維でつながっている。右脳と左脳は脳梁を介して相互に連絡をとっている。1981年にノーベル賞を受賞したアメリカの神経学者スペリーが脳梁を手術で切断された人の脳の働きを調べた結果、左右の脳は別々の知覚や感覚を持っていて、独立して機能することがわかった。それ以後、右脳と左脳の違いの研究は飛躍的に進歩したといえる。大脳皮質は新皮質、古皮質、原皮質の3皮質に区別される。高等な脊椎動物ほど、新皮質の発達が著しい。大脳辺縁系は大脳皮質のうち、系統発生的に古いといわれる部分(古皮質・原皮質)である。おもな構成要素として、扁桃核、帯状回、海馬、乳頭体などがある。大脳辺縁系は食欲、性欲、快・不快、怒り、不安などの情動、また学習・記憶に関係していて、すべての感覚受容器から入った情報はこの部分を構成する部位か、または間脳視床下部の、少なくとも1つを通過している。特に注目されているのが記憶をつかさどる海馬である。また、扁桃核は「情動の中枢」と呼ばれ、快・不快の情動にかかわっている。大脳にある神経細胞の多くは、大脳皮質にあるが、大脳の奥深くにも存在し、神経核と呼ばれている。大脳の底部に位置している神経核を大脳基底核という。脳幹や小脳と関連して随意運動、筋肉の運動などを調節している。大脳皮質は、細胞の密度や形などにおいて差が認められ、ブロードマンはその差に基づいて1909年、約50の「領野」に分け、それぞれに番号をつけて大脳地図を作成した。ブロードマンが示した細胞の特徴による区分は、脳の機能による区分とよく一致する。大脳皮質のうち、感覚野や運動野を除く領域で、認知、判断、記憶、言語、や緻密な運動などの高度な機能を統合する領域を連合野という。前頭連合野、頭頂連合野、側頭連合野がある。連合野は、視覚や運動野のように感覚や運動を直接担っているのではなく、そうした領域からもたらされるさまざまな情報を統合し、とりまとめる役割を担っている。そのため、思考や意識、判断など、より高次な脳機能を果たすためには、連合野の活動が不可欠と考えられている。たとえば、ヒトの記憶を司る側頭連合野は、暗記をする時に視覚、聴覚、味覚、嗅覚、触覚の五感を総動員するといわれている。暗記する時、暗記事項を音読し、書きながら覚える

と、ただ文字をみつめて暗記するよりも効果が上がることはいうまでもない。頭頂連合野は、そのすぐ前方に位置する体性感覚野から体の位置や動きなどに関する情報を受け取り、視覚野や聴覚野からもたされる情報と統合しているときれる。物に当たらずに動いたり、机の上のコップをうまくつかんだりすることができるのである。一方、側頭連合野は、視覚野や聴覚野からの情報を受け、それがどのようなものであるのか、あるいはどのような音であるかを理解する役割を担っているといわれる。ヒトは知人の顔を見分けたり、音の違いを認識したりできるのである。また、言語中枢の1つであるウェルニッケ野が存在する他、側頭内側部から海馬に至る部分は、記憶に関しても重要な役割を果たしている。前頭連合野は、これら後部連合野で処理された情報を受け取って何をすべきかを決断したり、複雑な行動計画を組み立てたりする他、将来の展望を予想する働きもあるときれる。思考、判断、計画、抑制に関する「人間らしさ」を担う領域といえる。

小脳：大脳の後下部にある小脳は脳幹と結ばれている。小脳には内耳の平衡感覚器や眼、骨格筋などからの神経繊維が集まっており、神経情報を制御している。そのため、姿勢を調節したり筋力のバランスを保つ働きがある。この働きのおかげで私たちは安定した姿勢を保ったり、手足の複雑で速い動きやなめらかな動きをスムーズに行うことができるのである。例えば歩くという動作は、手足の複数の筋肉をうまく使わなければいけない。小脳では歩く際に必要な筋肉の動きや順番、力の入れ具合をプログラム化し、歩く時に引き出して実行している。さらに、大脳の指示どおりに全身の動作が行われているかを常にチェックしている。チェック結果は大脳皮質の運動野に伝えられ、進行中の運動の調節が図られる。また、大脳皮質との結びつきが強く、橋を介して、大脳皮質の特に運動野から送られてきた情報を受け、なめらかな運動を行うために重要な役割を果たしている。また、「小脳は時計を持つ」といわれるように、運動にとって重要な時間をも記憶している。例えば、回転寿司のベルトコンベアーを流れてくるお寿司を正確なタイミングでつかめるのも小脳の記憶があるからである。

間脳：大脳半球の中心には、自律神経やホルモンなどを介して生命維持に直接関係する機能を制御している間脳がある。間脳は主に視床と視床下部から成る。視床下部の下には下垂体がある。間脳の5分の4のスペースを占める視床は、中枢神経で最大の神経核である。視床は、視覚や聴覚などの感覚をはじめ、痛みや空腹感、尿意といった感覚系の神経情報を脊髄や脳幹から中継して大脳皮質に伝える重要な中枢である。嗅覚を除くすべての感覚が視床で中継されている。視床で中継された感覚の情報は、大脳皮質にある感覚野に伝えられることによって具体的に知覚することができる。視床下部は、多くの神経核から成り、大脳皮質や大脳辺縁系などと連絡しあい、自律神経の中枢で、内臓の働きや、摂食・生殖・睡眠など本能的な活動の調節に直接関与している。また、内分泌系の中枢で、脳下垂体のはたらきを支配し、血糖量や体温の調節を担っている。このように、視床下部は生命維持や体内環境の恒常性を司っている。

中脳：眼球運動、瞳孔の調節、姿勢保持などの中枢で、視覚や聴覚の伝導路を中継する。

延髄：脳の最下部に位置する。生命維持に欠かせない呼吸運動、心臓拍動の中枢、だ液分泌、嚥下、咀嚼、のみこみ、咳やくしゃみの反射中枢である。延髄は脳と脊髄の中継点であり、大脳からの神経はここで交差して脊髄へ出ていく。また、迷走神経を介して呼吸や心拍数、血圧を調整する網様体という神経細胞体が散在している領域があり、呼吸や意識、睡眠、覚醒などのサイクルに密接にかかわっている。この領域に異常が生じると目を覚まさなくなり昏睡状態に陥る。

橋：中脳と延髄との間にある丸く膨らんだ小さな部位で、視覚や聴覚の伝導路を中継する。その名の通り、左右の小脳半球を結ぶ「橋」であり、三叉神経、外点神経、顔面神経、内耳神経などの脳神経が出る部位でもある。橋の腹側には、随意運動を大脳から骨格筋へ指令する神経細胞が走っている。これは人間が特に発達している。また、橋には、ドーパミン作動性ニューロンの神経核、黒質がある。

脳幹：中脳、延髄、橋を総称して脳幹という。成人の場合、親指よりも少し太い程度で、長さは7.5cm程度である。生命維持のために必要な機能の中枢部であり、大脳からのすべての指令や、大脳に向かう情報の通り道になっている重要な部分である。脳卒中も脳幹部に起こると生命の危機となるであろう。

●中枢神経系（脊髄）

セキツイ動物の背側の真ん中を通る神経の束で脳の延髄から続き、脊椎骨に入っている。脊髄では細胞体のある灰白質が内側にあり、おもに神経繊維（軸索）の走る白質が外側にある。中心には中心管が通っている。また、腹側からは腹根、背側からは背根が出る構造をしている。腹根は中枢からの指令を伝える遠心神経（運動神経と自律神経）の通路であり、脊髄神経節のある背根は受容器からの刺激を中枢に伝える求心神経（感覚神経）の通路である。脊髄は①脳とからだの各部（末梢）からの興奮の中継を行うとともに②脳を経由しない脊髄反射の中枢としても働いている。

●ホルモンの働き

内分泌腺で作られ、直接体液（血液とリンパ液）中に分泌され、生物体の恒常性維持に重要な働きをしている。ヒトの内分泌腺は脳下垂体・甲状腺・副甲状腺・副腎・すい臓（ランゲルハンス島）・精巣・卵巣などがある。微量で強い働きをする。間脳視床下部と脳下垂体は内分泌系の中心となる部分で、刺激が間脳に伝わると、視床下部にある、神経分泌細胞が刺激され、その細胞体でつくられた分泌物質がニューロンの軸索の中を通過して末端に移動し、そこで分泌される。

以上が「演奏中の私のからだのしくみ」を理解するための基本事項である。これらの学習を終えたところで、以下3つのテーマに基づいて「演奏中のからだのしくみ」を探究する。

6. 「演奏中の私のからだのしくみ」

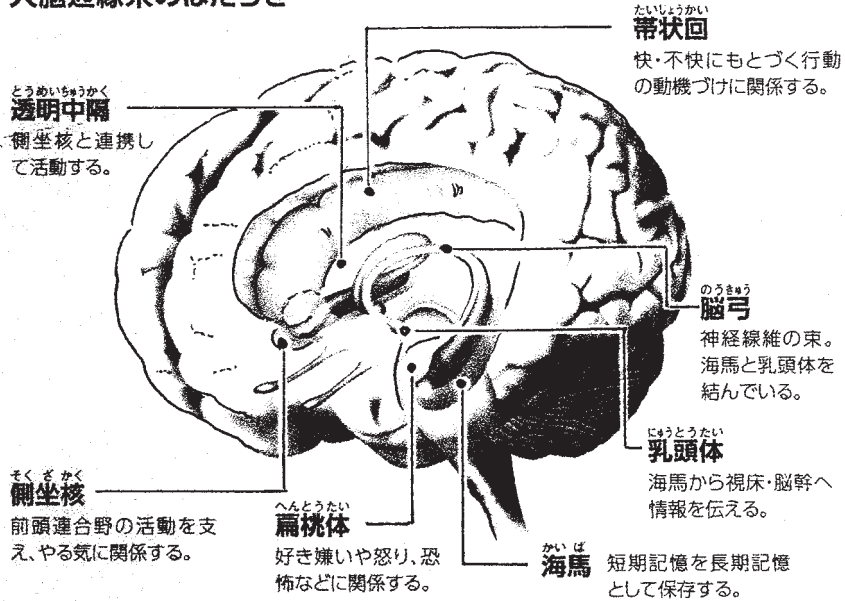
I. 反復練習と脳

演奏とは視覚を通して読まれた楽譜が脳内において聴覚化され、読まれた音が響きとなり、その響きを表現する運動である。私たちが聴く音楽は、視覚・聴覚によって脳内に内在する響きが表に現わされたものに他ならない。脳と音楽の関係について考えるとき、視覚・聴覚・運動の結びつきなしには考えられない。音の仲間として私たちが話す響き、すなわち「言葉」が挙げられる。物体から生じる空気の振動にすぎない音が、時には言葉になったり時には音楽をつくったりする。言葉と音楽の一致する点は響きである。演奏家の脳では楽譜を見たときに、視覚性言語野ではなく、聴覚連合野のウェルニッケ言語野が活動しており、音の流れを文字の流れとして把握していることが判っている。これは、視覚からの入力でありながらも楽譜を単に視覚的にイメージするのではなく、一種の文脈、すなわち言葉と同様に一定の意味を形成する響きとして読んでいることを意味しているそうである（2000.中田力）。

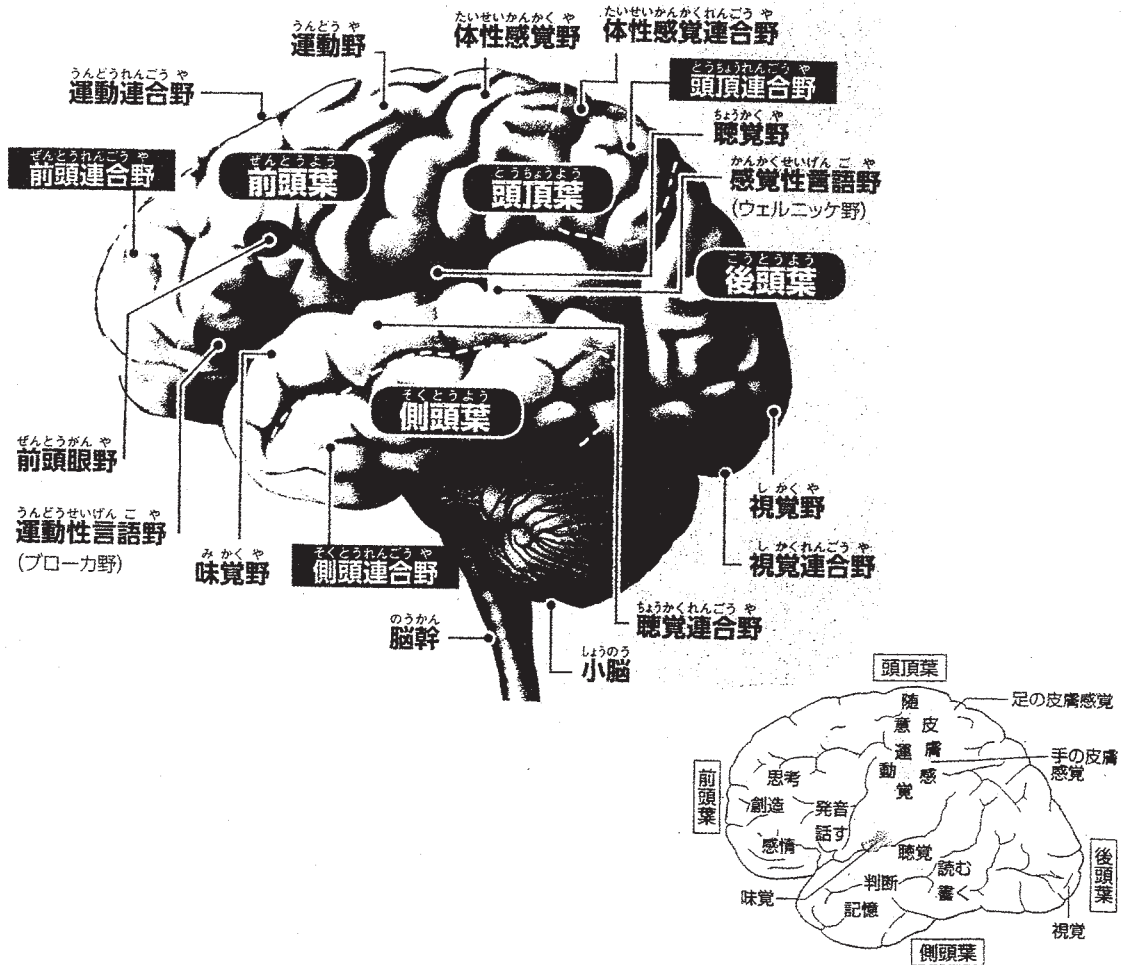
さて、楽器の演奏のように練習を繰り返すことにより、熟練した演奏ができるようになるのはどのようなしくみによるものなのか。これは運動の記憶が行われるからである。記憶には「短期記憶」と「長期記憶」がある。「短期記憶」は必要なときだけ働かせて、使ったあとはすぐに忘れてしまう記憶である。瞬時に忘れてしまう記憶と、数日間覚えているものがある。すぐ使う電話番号を覚えたり、期末テストの一夜漬けは短期記憶の代表的なものである。何度も同じところに電話をかけているとやがて電話番号を覚えてしまうことがあるが、短期記憶が何度もくりかえされることにより、記憶が長期続くことを「長期記憶」という。短期記憶が長期記憶に移行することを、「記憶の固定」といい、大脳辺縁系（図1・図2）の海馬で整理された記憶は側頭葉などの大脳皮質に固定されると考えられる。「長期記憶」は言葉で述べることでできる知識や経験などの陳述記憶と、言葉では表現できない非陳述記憶がある。楽器の演奏は、まさに非陳述記憶である。何度も何度も楽器を練習することによって、うまくいったときの動きがからだに残る。これを特に手続き記憶と呼んでいる。この記憶は、大脳基底核に格納されている。海馬へ入ってくる貫通繊維という神経に高頻度の刺激を与えると、シナプスの伝導効率が上昇

し、結合しているニューロンの反応が大きくなる。この現象は、長時間持続するため長期増強という。くり返し練習するということはニューロンの回路に長期増強（図4）をおこさせ、記憶を促進することである。

大脳辺縁系のはたらき

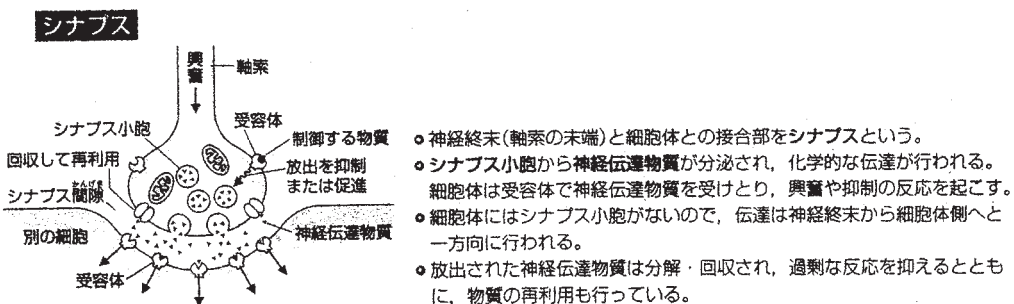
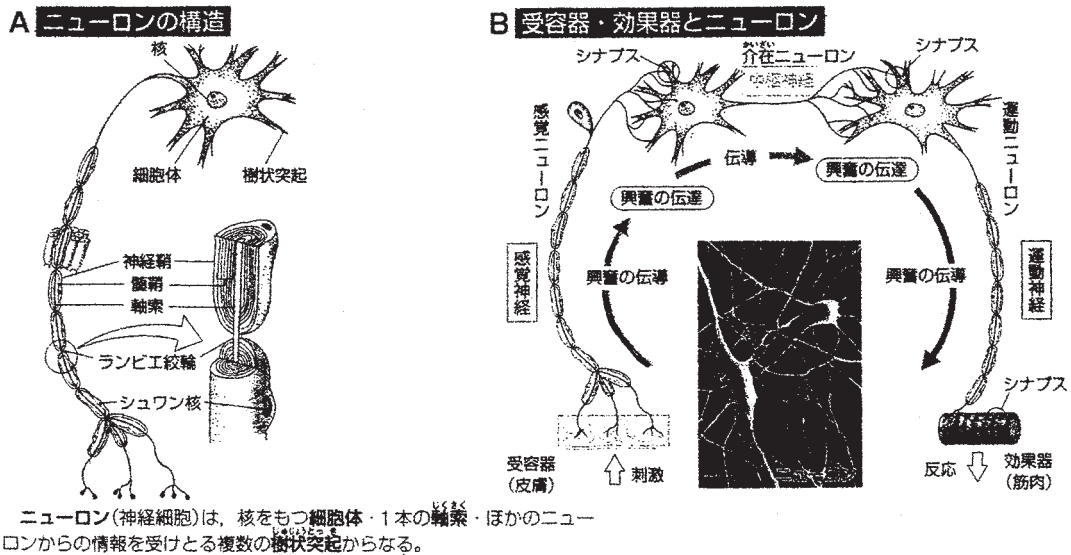


[図1 大脳辺縁系]



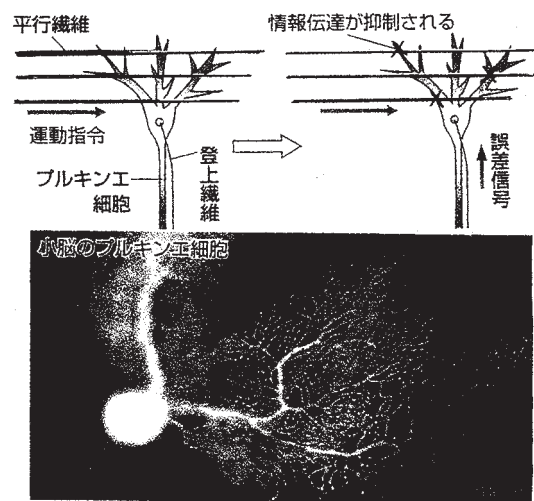
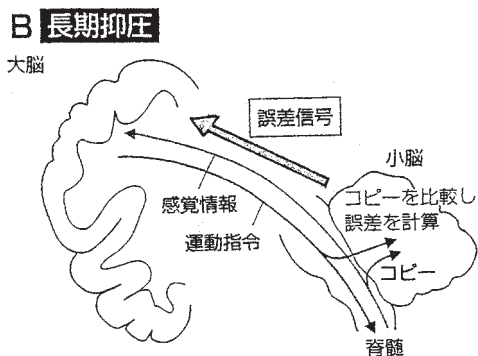
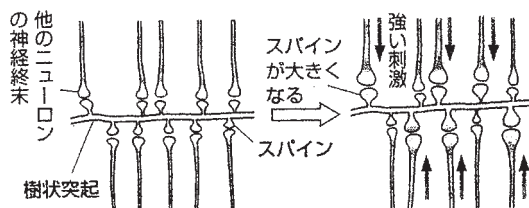
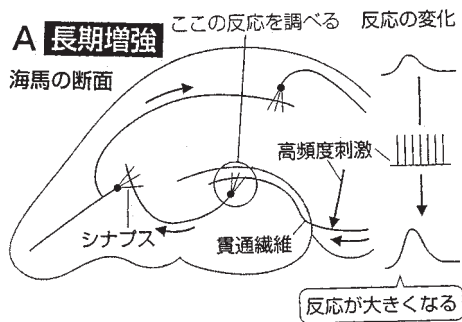
[図2 大脳皮質の領域]

シナプスで興奮を受け取る側のニューロンの樹状突起には、スパインとよばれる小さな突起が多数あり、興奮を送る側のニューロンの神経終末と結合している。シナプスに強い刺激が続けて与えられると、神経伝達物質の受容体の数が増加し、スパインは大きくなる。大きくなったスパインは安定しているため、高い伝導効率を保持することができる。脳が何かを記憶するとき、信号が流れるほどシナプスの伝導効率が上昇し、新しいニューロンのネットワークができると考えられている。この考え方をシナプスの可塑性という（図3）。



[図3 ニューロンとシナプス]

また、熟練した運動ができるようになるには、小脳の働きも欠かせない。小脳には、運動の調節を行う役割がある。「うまくいったときの動きがからだに残る」ということは、体の間違った動作を補正する働きが必要である。小脳には、からだの状態についての感覚情報のコピーとからだをどう動かすかについての運動指令のコピーが送られる。小脳はこれらを比較して誤差信号を大脳へ送る。大脳は誤差信号を受け取って、運動指令を補正する。くりかえしの練習により、熟練した動作ができるようになる。小脳では、このような運動の記憶が行われる。小脳の皮質では、樹状突起をもつ抑制性の出力細胞であるプルキンエ細胞（図5）と大脳からの運動指令を伝達する平行繊維がシナプスを形成しているが、プルキンエ細胞は、運動の結果を伝達する登上線維ともシナプスを形成している。演奏で間違えると登上細胞から誤差信号が伝わり、プルキンエ細胞と誤った結果を出した平行繊維の伝達効率が低下する。これを長期抑圧（図4）といい、間違った動作を引き起こす経路は接続が切れ、正しい演奏をする経路が残る。この長期抑圧と呼ばれる現象は、楽器の反復練習などの技術訓練で、誤った運動指令信号がしだいに補正されて熟練した演奏ができるようになる手続き記憶あるいは非陳述記憶の基盤となっている神経機構である。



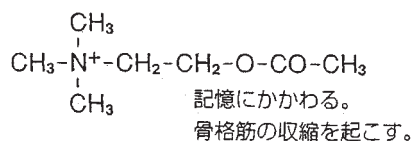
[図4 長期増強と長期抑制]

[図5 プルキンエ細胞]

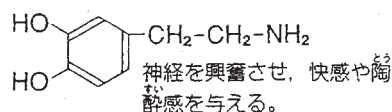
また、楽器の練習中の脳内活動として「ワーキングメモリー」があげられる。日常生活で勉強をするときは、机の上に必要なものを広げて作業をする。同じように脳にも前頭連合野の演奏活動に必要な情報をのせる作業台があり、「ワーキングメモリー」と呼ばれている。ワーキングメモリーは短期記憶の一種であるが、行動のために使われる記憶という特徴がある。ピアノやヴァイオリンから発した刻々と変化する個々の音を連続した意味のある流として捉え、ひとつのメロディーとして受け止めたり、調性を理解したり、モチーフの存在を認めたりすることができる。しかし、このようなワーキングメモリーの作業は、決して前頭連合野のみの活動だけでは成立せず、辺縁系、基底核、小脳を含む脳全体の同時的・並立的に機能する「神経回路網」の存在が不可欠である。ピアノを弾く場合を考えてみると、初期の学習段階では譜面を見て指を動かすという意識的コントロール下での随意運動が主導であるが、日々の練習を繰り返すことにより、このような譜読み→指の運動が自動的に作用するようになる。このようなときには、運動制御をしながら並列的に次のメモリーを検索する作業を行っている。先に述べたように運動が熟練してくると、おそらく認知処理に要する時間が短縮されるためにワーキングメモリーの活動が落ちてくるといわれている。このように「ワーキングメモリー」の活動も反復練習の初期には大きく関与している。なお、ワーキングメモリーの活動を調節しているのが、ホルモンの一種であるドーパミン、セロトニン、ノルアドレナリンなどの神経伝達物質（図6）である。反復練習こそ脳全体、からだ全体を総動員した努力の賜物ではないだろうか。

おもな神経伝達物質

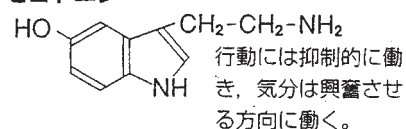
アセチルコリン



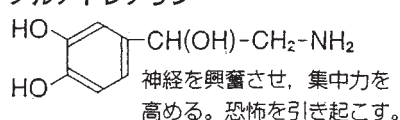
ドーパミン



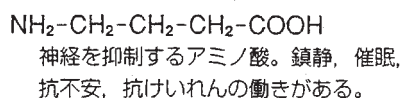
セロトニン



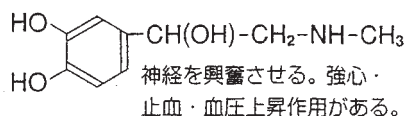
ノルアドレナリン



GABA (γ-アミノ酪酸)



アドレナリン



アドレナリンは、チロシン→ドーパミン→ノルアドレナリン→アドレナリンと体内でつくられる。

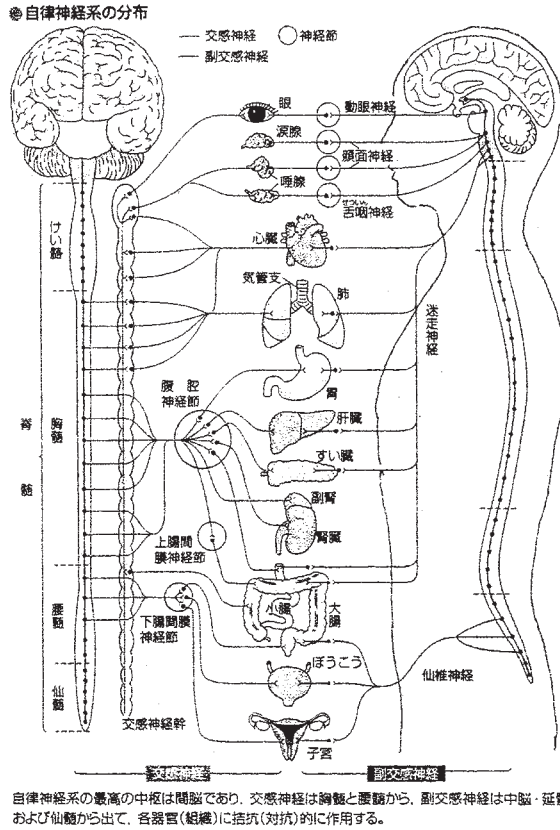
[図6 主な神経伝達物質]

II. 緊張のしくみと緊張を生かせる脳の回路

演奏会や実技試験で実力を出し切ることができたらどんなに嬉しいことだろう。練習のときのように平静かつ安定、自由でのびのびとした演奏ができればよいのだが、時には緊張が過剰になることがしばしばある。それ自体については、よく習熟していて完璧に仕上げた状態なのに、実際には始まっていないうちから緊張が過剰になってしまう。いったいどのようなしくみで緊張がおこるのであろうか。しかし、緊張といっても悪いことばかりではない。だらだらしている態度に対して「緊張感が足りない」と指摘される。また、「緊張感が感じられる試合だった」と称賛される。緊張とは国語辞典によると、心がゆるみなく張りつめていることとなっている。適度な「緊張」は張りのある演奏をもたらす。しかし、「緊張しすぎて」となると演奏にミスが生じてしまう。この緊張しすぎることを「あがり」という言葉で表現することもある。事前段階から緊張が始まり、本番になるとすっかりあがってしまい、普段通りの動作ができずに混乱状態に陥る。このような緊張を「場面緊張」とよぶ。この緊張状態のとき私たちのからだではどのようなことがおこっているのだろうか。

私たちのからだには意志とは無関係な働きに関係する自律神経がある(図7)。自律神経は、身体的に活動を活発に行うときに働く交感神経と、リラックスした状態に調節する副交感神経とがある。緊張とは、まさに交感神経が活発になった状態で、体温を上昇させ、血圧心拍数を上げ、集中力や身体機能を高めている良いからだの反応である。演奏を始めるとき、「また演奏が始まる」という緊張を起こさせる刺激が脳皮質に伝わる。脳皮質でこの刺激を認識し、脳辺縁系の情動の中核と呼ばれる扁桃核や記憶に関わる海馬に送られる。この刺激は、自律神経の中核である間脳視床下部を経て、脊髄(胸髄・腰髄)から出る交感神経を活発化させる。交感神経は、副腎髄質にアドレナリンを分泌させ、血中をアドレナリンが巡る。アドレナリンは血糖量を増加させ、その結果、心拍と血圧の上昇がおこる。また、間脳視床下部は下垂体に信号を送る。すると副腎皮質刺激ホルモンの分泌が増加し、その作用で副腎皮質から糖質コルチコイドが分泌され、からだを動かすエネルギー源の生成を促進したり、血流を増加させたりする。このようにして闘争態勢が整うわけであるが、しかし緊張過剰という状態になると自律神経のバランスがくずれ、副交感神経の働きがますます低下し、心臓の鼓動が速くなり、体温、血圧が急上昇し、動悸などが起こってしまう。また、骨格筋の活発化による震え、顔面皮膚拡張による赤面、唾液分泌抑制による渇き、手のひらや足の裏の汗、胃痛などの内臓知覚過敏が生じてしまう。こうなると、もはや演奏もなかなかうまくいかなくなってくる。深呼吸をしたり、プロ野球選手が試合中にガムをかんだりするのは、深呼吸

による心拍数や血圧の低下やガムを噛むことによる唾液の分泌が副交感神経を高める効果があるからのである。「緊張」を「あがり」ではなく、「演奏を生かす適度な緊張」に調節する前向きな気持ちの持ち方が重要となってくる。



●自律神経系のはたらき

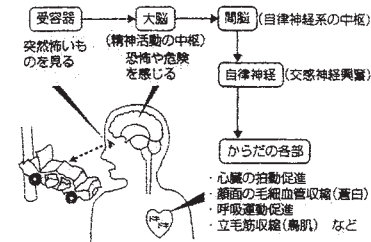
交感神経末端からは主としてノルアドレナリンが、副交感神経末端からは主としてアセチルコリンが分泌されて、組織や器官に促進的または抑制的な刺激を与えている。

組織・器官	交感神経	副交感神経
眼	瞳孔(分泌)	—
	—	促進
皮膚	ひとみ(瞳孔)	拡大
	—	縮小
汗腺(発汗)	—	促進
	—	—
	—	—
立毛筋	—	収縮(鳥肌)
	—	—
心臓拍動	—	促進
	—	抑制
循環	—	収縮
	—	—
血圧	—	上昇
	—	低下
呼吸運動	—	速く・浅く
	—	速く・深く
気管・気管支	—	拡張
	—	—
唾液(分泌)	—	促進(粘性)
	—	促進(酵素を含む)
消化管の運動	—	抑制
	—	促進
消化液分泌	—	抑制
	—	促進
ホルモン	—	—
	—	—
すい臓	—	グルカゴン分泌
	—	インスリン分泌
副腎髓質	—	アドレナリン分泌
	—	—
生殖	—	—
	—	—
子宮	—	収縮
	—	拡張
ぼうこう	—	弛緩
	—	—
ぼうこう括約筋	—	収縮
	—	弛緩(排便促進)
肛門括約筋	—	収縮
	—	弛緩(排便促進)

※交感神経であるがアセチルコリンを分泌する(高体温時)。

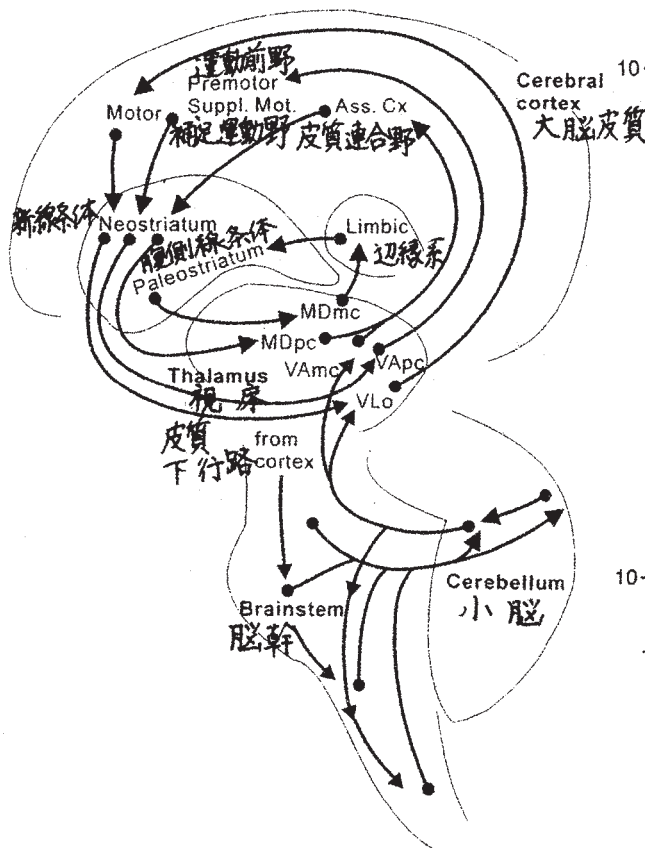
●自律神経系への大脳の影響

自律神経系は、通常は大脳のはたらきと直接には関係しないが、おどろいたとして大脳が大きく興奮すると、それが間脳を刺激するので、自律神経系も影響を受ける。

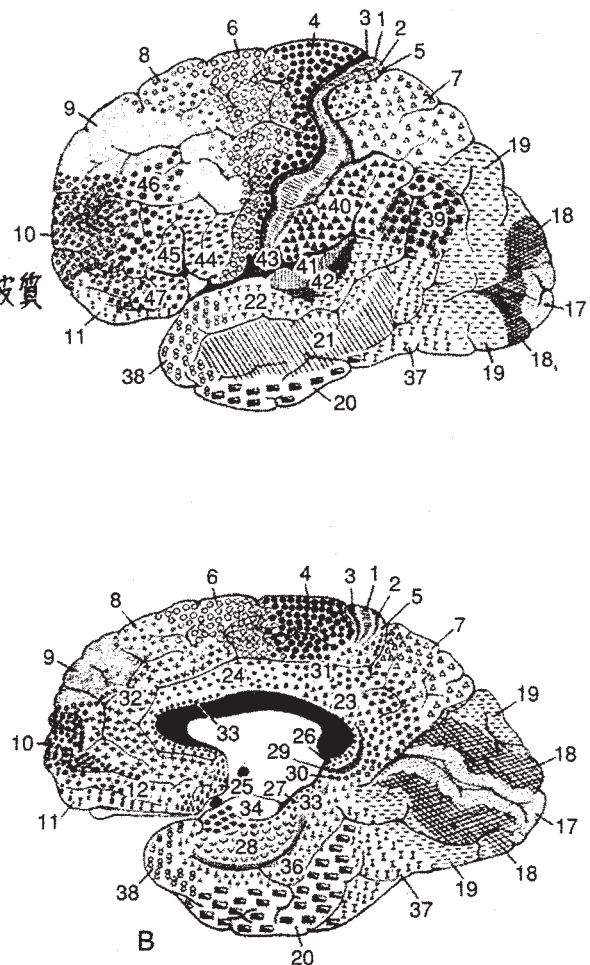


[図7 自律神経系とホルモン]

以上が緊張のしくみであるが、次に緊張をうまく利用して実力を発揮するためのからだのしくみについて述べる。私たちのからだには、あがっても崩れない小脳の回路がある(図8・図9)。この小脳の回路を信頼することである。精神科医の川村光毅氏によるあがっても崩れない小脳の回路の説明は次のとおりである。譜読み段階の脳では、まず楽譜から音符を認識する。認識した音を響きとして脳内で再現し、指で鍵盤を押さえるなど運動野(ブロードマン地図4野)へ運動の指示を出す。出てきた音は、耳を通して聴覚野(41、42野)に伝わる。伝わった音を感覚性言語野(39、40野)で意識的に理解しようとして聴く。音がフレーズとしてまとまると、前頭前野(9、10、44、45、46、47野)で、その音の音程と意味合いを含めて認識していく。これらを繰り返すうちに空間で捉えていた動作が、運動系に置き換わる。



[図8 大脳皮質・視床大脳基底核の神経回路と脳幹・小脳との関連を示す模式図]



上：外側面 下：内側面

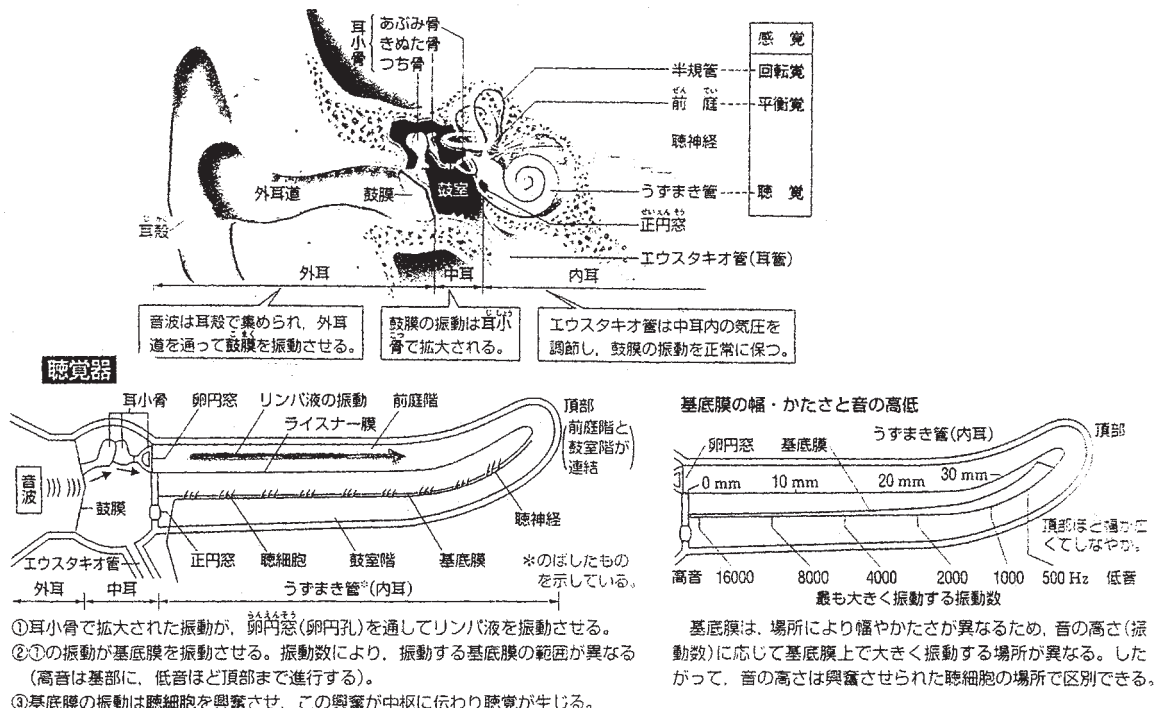
[図9 ブロードマンの細胞構築学的領域マップ]

(川村光毅『脳と精神』2006年 104頁 図20)

前述の反復練習により、長期記憶の中でも非陳述記憶の神経機構ができあがる。やっと暗譜にこぎつけた状態になると、長期記憶を司る側頭連合野 (20、21、22、38野) から旋律をよび覚ます。運動野 (4野) に指示はするが、自然に旋律と対応する鍵盤に指が行き、押さえるようになる。音は内耳、脳幹を経て聴覚野 (41野42野) に伝わり、感覚性言語野 (39、40野) で意味合い、ニュアンスも再認識されていく。暗譜して、さらに練習を積み上げていくと運動の指示は小脳に移り、小脳に任せられるようになる。これは「反復練習と脳」の項で述べたように、反復練習を小脳が記憶していて、ほぼ自動で演奏に伴う運動が可能になるからである。大脳では、前頭前野を中心に聞こえてくる音の連鎖、音楽としての意味合いを聴く。また、前頭前野で創造的に考えながら、新しい奏法のための順序や判断などを準備し、企画・決定を司る高次運動野 (6、8、9、32野) に指示を送り、新しい奏法を試みるなどの余裕が生まれてくる。このレベルに達すると実力を十分に出し切ることができる。頭が真っ白になるような記憶の中断や冷や汗、動悸、震えなどの緊張の過剰による失敗は、まだ小脳に任せられる段階に達するまで練習を積んでいなかったか、小脳の回路を信頼して小脳に任せてしまったらよかったのに、大脳で余計なことを考え、小脳の回路が回らなくなったのであろう。いずれにせよ、緊張を生かし、高揚感あふれる演奏をするには、日々の訓練と集中力を鍛えることにつきる。

III. 感動を生み出す演奏

音とは音波という縦波で、耳介によって集められた音波は、外耳通を通過して鼓膜をふるふると振動させる。この振動は耳小骨で増幅され、内耳のうずまき管（蝸牛）に伝えられる。さらに、蝸牛内のリンパ液に振動が起こり、うずまき管の基底膜がゆさぶられ、内側にある有毛細胞が興奮し、電気信号に変えられる（図10）。その信号が蝸牛神経を通過して大脳皮質の聴覚野に伝わる。聴覚野は、左右の耳の上にある。左右の聴覚野は、両側の耳からそれぞれ情報を受取っている。右側は旋律、左側は聴覚性言語の認識に関係するといわれている。聴覚領域内における様々な分化したニューロン群の活動が、互いに干渉しあい融合してはじめて、音楽そのものに内在する言語性、和音、リズム、旋律、ハーモニーなどの総合的響きを理解できるのであろう。



〔図10 ヒトの聴覚器〕

良い音楽を聴いて感動するとき、私たちの脳では眼窩前頭野、前頭野、腹側線条体と呼ばれる快楽を感じる部位が強く活動するといわれる。「報酬系」とよばれる脳のネットワークを形成する部位である。この線条体という脳部位から、ドーパミンという脳が報酬を与えられたときに出す神経伝達物質が分泌され、鳥肌が立つほどの感動となる。

音楽は響いて何かを語り伝える。演奏という運動は音楽の表現そのものである。その表現は一つの狂いもなく正確に描かれていてもそれだけでは、おそらく人の心を掴む演奏とはいえないだろう。大脳皮質の前頭前野での創造的作業、頭頂、側頭、後頭連合野での認知機能、大脳辺縁系での感情、情動記憶認知機能、小脳での小脳サークル、脳幹部のリズムなど、脳全体が関わっている。人々に感動を与える演奏とはどのようなものか。精神科医の川村光毅氏は著書『脳と精神—生命の響き』で次のように述べている。

聴き手の心の状態は演奏者の情動/感性に基づく運動と直接的に対応しているのである。いささか厳しい見方であるが少なくとも音楽における運動（演奏）は自己の運動がもたらす結果の如何に対する、すなわち演奏者が、いま自分が奏でている響きが正しいものであるかどうかを自分の耳で聴き確かめ、必要に応じて自分の作り出す響きを修正するべく次の音の響きをコントロールしていく判断力によって統御される。この際、その統御の根拠となるものは美的センスであり、自覚的、無自覚的に感受される自然の秩序や宇宙

の秩序といった、人間に種々な形で働きかけて来る、人間の心をなだめ、浄化して昇華させる高次の美的秩序である。

また、ピアニストの津田真理氏によると、詩人のジャン・コクトーは、水面に映し出される木々のささやき、集まっては消えていく雲の動き、葉にふりそそぐ雨の音。それらを初めて歌いあげ、人間の声にかえたのがドビュッシーだったと語ったそうだ。津田真理氏はドビュッシーの《月の光》を演奏するポイントとして次のように述べている。

当時の音楽における自然への憧れ、畏敬の念は、まさに自然の一瞬の美しさを描いた絵画の芸術分野でも同じであり、この作品を弾くためには、目で見て感じた『月の光』を心の中にたくさん蓄積し、日頃から自然の営みや季節の変化に気を配ることが大切である。

7. まとめ

以上が「演奏中の私のからだのしくみ」を冊子にまとめて教材化したものである。全10ページほどの冊子と基本となる関連事項を書いた補足のプリントを2枚配布した。興味をもってもらおうと表紙はオーケストラのかわいいイラストを手書きした(図11)。内容が少々硬い文章や専門用語が多いので、中にはうんざりする生徒もいたかもしれないが、多くの生徒が一生懸命取り組んでいた。筆者は、これらを探究することにより、生徒一人一人が冷静に自己の悩みと向き合い、問題を乗り越えるヒントにしてほしいと考えている。「高度で崇高なからだのしくみが全力を挙げてあなたを応援し、支えてくれているから、思いきり頑張れ！」と



[図11 「演奏中の私のからだのしくみ」
表紙の図案]

いうことを生徒に伝えたいのである。遠い昔の音楽家たちが、楽譜に刻み込むことにより遺した未来への遺産をまちがいに表現できるのは、音楽家しかいない。この文化の担い手である本校の生徒一人一人が創造力を発揮して、澄んだ心で、その楽譜に託された魂の言葉を響きとして世の中に発信してほしいと願ってやまない。

8. 「演奏中の私のからだのしくみ」を学んだ生徒の感想

- 練習も大切なのは重々承知しています。しかし、それだけでなく、もっと創造力を働かせ、美的センスを磨いて世の中の色々なところから刺激を受けたいと思っています。(女子)
- 演奏家もアスリートも、まず自分の持つ感覚と実際に現れた音もしくは音を一致させることを第一にすべきであると考えている。(男子)
- 先生には、「いろいろ考えないで本番は弾きなさい」と言われるのは、この冊子の7ページのことであるのかもしれない。音楽は、遊びだってつらい経験だって何だって表現の幅につながって、いい演奏ができるのかなと思います。(女子)
- 私は、緊張のしくみと緊張を生かせる脳の回路が特に興味深かった。というのも、自分自身かなり緊張してあがってしまうタイプだからだ。(男子)
- 言葉と音楽が関係あることにおどろいた。いつも集中できたらいいと思った。(女子)
- とにかく練習が緊張を生かせることにつながると改めてわかったので、頑張りたいと思いました。(女子)
- 緊張とのかかわり方が少しわかった気がします。けれど、緊張しすぎるのを防ぐにはどう対処すればよいですか。人前で演奏するときに緊張が増えてしまい本番が楽しめていない気がします。そもそも、管楽器を演奏する上で呼吸が大きなカギを握っていると考えているので、脳のしくみと同時に体内のしくみ(呼吸関連)も知りたいです。(女子)
- 今回の資料を読んで無意識に自分が行っていたことがわかった。(男子)

- 音符の流れを文字の流れ(＝文脈)としてとらえていることにおどろきました。フレーズの区切れはちょうど一つの文章に句読点または読点がうたれたのと同じであると言われますが、生物学的にも本当にその現象が起きているのはとても感動的です。(女子)
- 1日でも練習を怠るとすぐに弾けなくなってしまうのは、記憶の固定が行われなかったからだ考えると、毎日少しずつやって長期記憶に移行させたほうが1日頑張っただけで怠るよりも効率がよいなと思いました。(女子)
- 良い緊張だと今までにない力が発揮される。なかなかうまくいかないから、自分なりに良い緊張がコントロールできるようになれたらいいなと思いました。(女子)
- 私自身の音楽は、人に響いて何を語り、伝えられているのだろうか?と少し不安です。けど、自分を信じて努力を人一倍にして創造力を発揮して、澄んだ心で楽譜に託された魂の言葉を傾聴し、これからも頑張っただけで音楽に向かいあいたいと思います。(女子)
- プロの人を見て、なんであんなに平気で弾けるんだろうと思うけど、やっぱり緊張はしていると思うし、でもそれを表に出さないのは訓練だと思います。自分が緊張してしまったなというときにどう対応していけばいいのかよく考えていこうと思いました。(女子)
- 緊張しないようにと普段から頑張っただけで、どうしても本番では緊張してしまいます。上手くいかないときや震えや冷や汗がひどく、演奏にも支障が出てしまっていました。これを読んで少しは緊張との付き合い方がわかった気がします。(女子)
- 私は演奏会などで緊張してうまくいかないことがあります。それがずっと悩みで解決法がわからずにいたのですが、緊張と脳の間隔を知りました。これからの演奏にいかしていきたいと思いました。(女子)
- 本番前、緊張したりするのは、交感神経が活発になり、血圧心拍数を上げ、集中力などを高めているからで、良いからだの反応と書いてある。だから緊張しているから不安になったり、心配になったりするのではなく、緊張をいい風にとらえてやっていきたいと思います。(女子)
- 音楽を演奏することは、言葉をしゃべることと一緒にある。先生から毎回とっていいほど言われることである。音楽は文にしてうたわれないといけない。(女子)
- 普段からなぜ緊張するのか、緊張しないようにするにはどうすればいいのかと考えていますが、答えが見つかりません。解決の手がかりになるかもしれません。(男子)
- 演奏中におこる緊張のしくみについて詳しく知ることができた。また、緊張をうまく利用して実力を発揮する方法も知ることができた。集中力はどうしたら鍛えられるのか知りたいと思った。(女子)
- 私はもっときれいで、聴いている人が感動し、また聴きたいと思えるような印象に残る演奏をしたいと思う。そのためには弾き方だけでなく、人間の耳のしくみを知った上でいろいろな工夫をしていった方が、またよりよい演奏ができると思った。(男子)
- 豆知識ないし、実技の考え方にもすごくつながった気がするので、脳を使って沢山覚えられる方法なども調べたりして、色々なことに活かしていけたらなと思った。(女子)
- 自分が普段演奏をしたり聞いて感動しているとき、身体ではこんな変化が起こっていると知ってびっくりしましたが、音楽は心で弾くもの、心で聴くものだと思います。(女子)
- アドレナリンや緊張などは、集中力に関わってくると思う。日頃の練習で考えていないと本番で不必要な緊張が生まれてくる。緊張の方向をまちがえないためには、いつも考える必要がある。演奏は決して感覚だけではない。(男子)
- 私は緊張が高まったり、自分のなかでミスをしたりすると追いつめてしまう癖があります。緊張していないときでも演奏し出すと手が震えたり、弓や指をコントロールできなくなったりします。これはなぜでしょう。自分のからだのしくみについてたくさん知りたいと思いました。(女子)

9. 今後の課題

「演奏中の私のかからだのしくみ」を探究すると、多くの生徒は緊張のしくみについて特に興味を示した。また、

聴覚器についての質問も多かった。次回は聴覚と脳の間接的関係を、聴覚を失ったベートーヴェンが、記憶された音の響きを音符という文字記号に置き換え、楽譜を作り出した偉業を検証してみようと考えている。多くの生徒が、理科の学習が楽しくてためになり、自分から積極的に授業に参加しようという気持ちになれるような教材研究を今後の課題としていきたい。

参考文献

- 川村光毅『脳と精神-生命の響き-』（慶応義塾大学出版会，2006）
新星出版社編集部『徹底図解 脳のしくみ』（新星出版社，2009）
古屋晋一『ピアニストの脳を科学する』（春秋社，2012）
浜島書店編集部『ニューステージ新訂生物図表』（浜島書店，2007）
成瀬悟策『リクラリゼーション』（講談社，2001）
『ショパン』平成14年3月号（(株)ショパン，2002）
渡辺元智『もっと自分を好きになれ！』（青春出版社，2002）
茂木健一郎『脳を生かす勉強法』（PHP 研究所，2007）
小林弘『チャート式シリーズ 新生物 I B・II』（数研出版株式会社，2001）
木村泰子著 篠浦伸禎監修『美しい脳図鑑』（笠倉出版社，2015）
降旗勝信『理科教師をめざす人のために』（一ツ橋書店，1981）
教科書『生物基礎』（実教出版株式会社，2013）
数研出版編集部『フォトサイエンス生物図録』（数研出版株式会社，2013）
『大自然のふしぎ・人体の図詳図鑑』（株式会社学習研究社，1994）