

京都大学全学共通少人数セミナー 平成20年度前期

科目名： 創造性とは何か？

担当教員名： 村瀬 雅俊

場所： 基礎物理学研究所

第9回 統合生命科学の創造に向けて（その3）

4. 脳神経系 — 聴覚・運動フィードバック経路と脳のスイッチ機構 —

入力刺激の時間パターンが、連合学習の鍵であった。それでは、時間パターンとして、音情報がどのように聴覚系で処理されているのだろうか。そこで、東京医科歯科大学の角田忠信（角田、1978; 1985; 1992）が生涯をかけて行った一連の実験を見てみよう。

4-1. 大脳半球の機能分担

角田の考案した聴覚・運動フィードバック経路に着目した実験は、次の点でユニークである。従来までの実験では、単に‘聴く’という一方的な刺激条件に限定されていた。しかし、日常の会話について考えてみれば明らかのように、私たちは‘話しながら聴く’という二分しえない機能を働かせている。その意味では、聴覚・運動フィードバック経路に着目した実験は、日常の会話の場面により近い条件を設定している。

ヒトが聞き取れる音は、20Hz~20000Hzの範囲とされている。会話は、通常500~2000Hzの範囲である。ただし、男性の低音は100Hz程度で、それ以下の周波数音は基本的に言語音とは関係なく、また聴覚感度も急激に低下するので、聴覚計から除外されてきた。数十年前では、騒音対策として音の大きさを下げることが困難な場合は、周波数を下げればよいとさえ考えられていたほど、低周波音に対する認識はなかったのである。

スペリーの分離脳

- 左の大脳半球は、言語情報を処理する。
- 右の大脳半球は、非言語情報を処理をする。
- 病的な状態の脳を調べることによって、正常な脳の機能を理解するという立場が、主流となった。
- 正常なヒトの脳の働きを、どこまで明らかにできたかという疑問が常に残った。

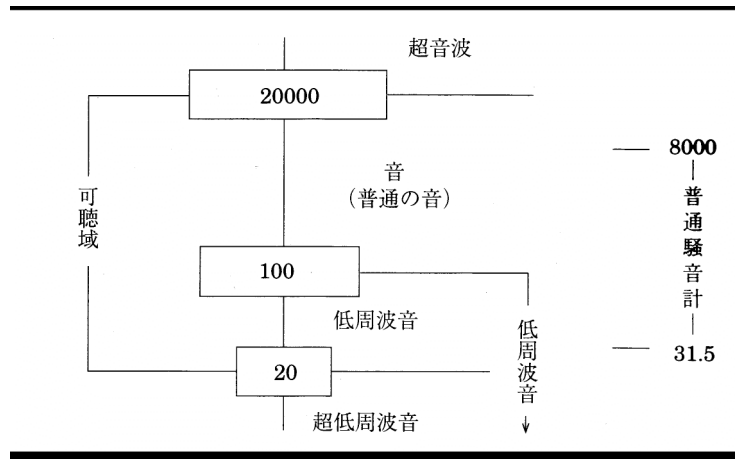
カナダ ウェストオンタリオ大学
キムラの方法

両耳分離聴取法

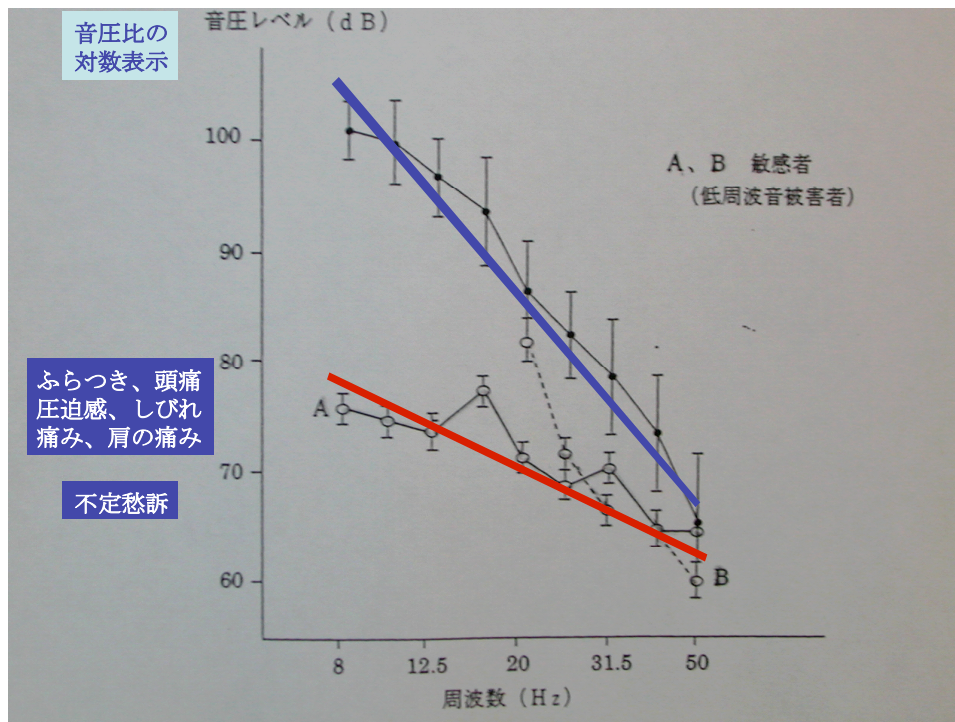
一般に、競合状態で左右の耳に入った聴覚情報は、交差して伝わる事が知られていた。

左右の耳に異なるメロディーを聴かせて、どちらのメロディーを知覚したかを調べる。

この方法では、意味を持たない複合音の利用が困難であった。



(汐見文隆『低周波公害のはなし』より)



(汐見文隆『低周波公害のはなし』より)

実験では、サンプル音として、1回 0.05 秒の細切れした音を、ヘッドホンから被験者の両耳に聴かせる。このとき、サンプル音としてヒトの声、雑音、あるいは純音などを用いる。サンプル音の持続時間が 0.05 秒と短いために、被験者にはその音の違いをいっさい判断することはできない。従って、以下に説明するサンプル音に対する反応は、無意識レベルで行われていると考えられる。

実験では、‘♪♪♪__♪♪♪__’という繰り返し音を聴かせ、指を同調して

運動するように被験者に指示を与える。例えば、両耳にあてがわれたヘッドホンから母音‘あ’を0.05秒の細切れにして、先のリズムで被験者に30dBの強さで聴かせておき、指の動きが同調していることを確認する。その上で、右耳のヘッドホンの音を0.2秒遅延させる。この場合には、指先のリズムは乱れない。しかし、音圧を次第にあげて35dBにすると、指の同調が乱れるようになる。次に、左右を逆にして、右耳に30dBの同期音を聴かせる。左耳の遅延音が75dBになったとき、はじめて指先の動きが乱れた。

角田の方法の特徴— その1—

- 多種多様な音を1回0.05秒程度に細切れにして被験者に聴かせる。
- 被験者は、自分が聴いている音が虫の声か、ヒトの発話かを判断できない。従って、このような刺激音に対する反応は意識下レベルと考えられる。

角田の方法の特徴— その2—

- 聴覚を使ったこれまでの脳研究では、“聴く”という一方の刺激条件に限定していた。
- しかし、会話の場合を考えればわかるように、私たちは話しながら聴いている。つまり、話すことも聴くことも二分し得ない機能である。
- 聴覚運動フィードバック経路を利用した。

この場合、右耳が同期音を聞いたときの方が、遅延音によって妨害を受けにくかったことから、右耳の方が40dB (= 75dB - 35dB) 優位であると言える。一般に、左右の耳が聴覚刺激に対して競合状態におかれた時には、聴覚刺激は交差して大脳半球に伝えられる。つまり、優位な耳の反対側の脳半球が優位な脳と言える。サンプル音として、母音の‘あ’以外に、西洋音楽、機械音、純音などを用いて、同様の実験を繰り返していく。このようにして、次表に示すように、聴覚刺激の物理的性質に従って、左右の大脳半球に聴覚情報が振り分けられていることが明らかになった。

角田の方法の特徴— その3—

- ヒトの脳には、聴神経が左右の大脳半球に分かれる手前にきわめて精密なスイッチ機構があり、外界からの聴覚情報を、その物理的特性に応じて自動的に左右の大脳半球に振り分けている。

角田の方法の特徴— その4—

- このスイッチ機構は、「内」からの情報源—すなわち、中枢聴覚路、中脳網様体、脳梁、言語野を含み、大脳皮質—からの下向性神経繊維の支配を受けている。
- このスイッチ機構は、「外」からの情報—すなわち、視覚や嗅覚、振動覚など—を統合する働きもあるようだ。

日本人と欧米人に共通	
左脳 (右耳)	右脳 (左耳)
言語音	西洋音楽、機械音、雑音、純音

日本人と欧米人の共通な優位性音

<ul style="list-style-type: none"> 左脳 <p>言語音</p>	<ul style="list-style-type: none"> 右脳 <p>音楽(西洋音楽) 機械音 雑音(ホワイトノイズ) 純音</p>
---	---

日本人と欧米人の異なる優位性音

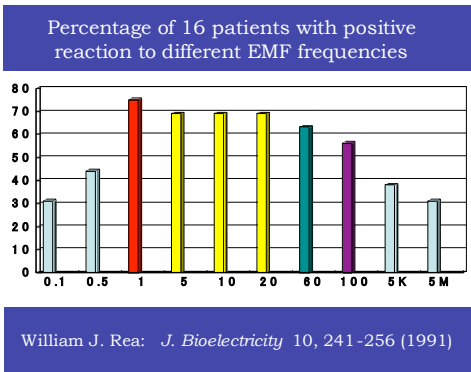
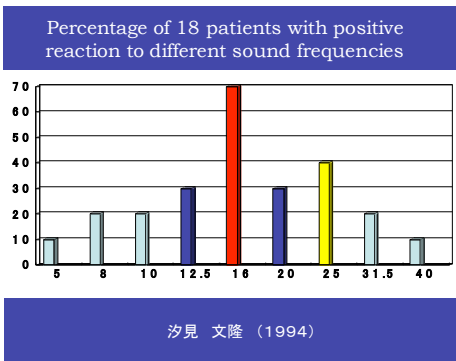
<ul style="list-style-type: none"> 左脳 日本人 <p>感情音(泣き、笑い) 鳴き声(虫、鳥、動物) 邦楽器音(琴、尺八) 自然音(小川、波音)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 右脳 欧米人 <p>感情音(泣き、笑い) 鳴き声(虫、鳥、動物) 邦楽器音(琴、尺八) 自然音(小川、波音)</p>
--	--

日本人	欧米人
左脳 (右耳)	右脳 (左耳)
感情音 (泣き、笑い、嘆き、甘え)、ハミング 鳴き声 (虫、鳥、動物) 邦楽器音 (琵琶、尺八) 自然音 (小川のせせらぎ、波の音、風の音)	

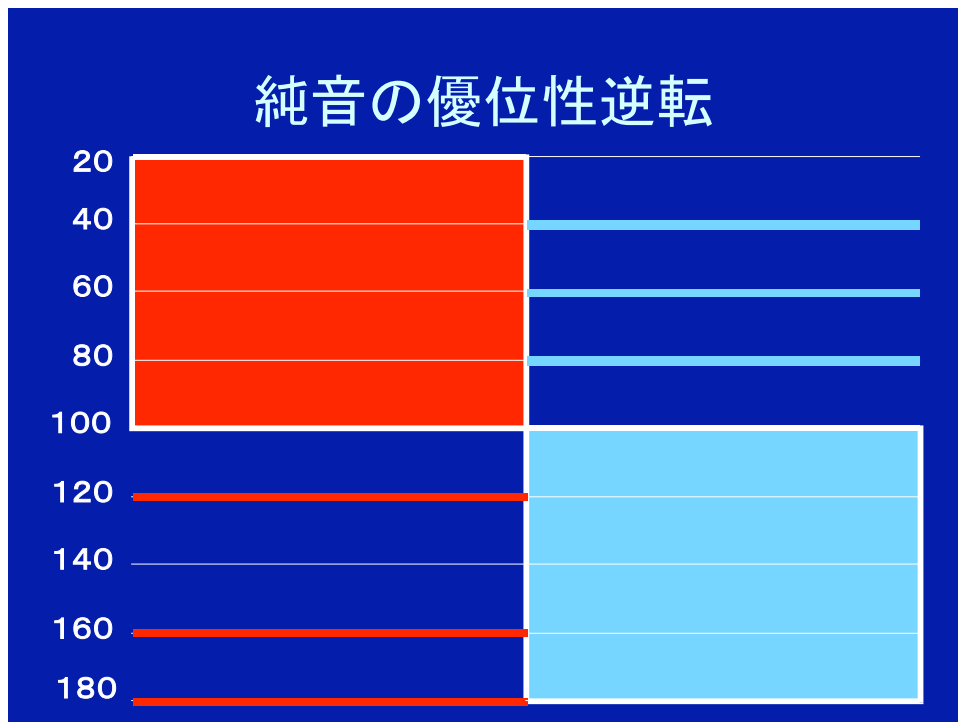
つまり、ヒトの脳には、聴覚神経が左右の大脳半球に分かれる手前に精密なスイッチ機構があり、外界から入ってくる聴覚情報を、その物理的特性に応じて、無意識的に左右の大脳半球に振り分けているのである。

4-2. 40・60 Hz 系

角田は、20~200Hz の純音を、1Hz 刻みで被験者に聴かせ、左右両耳の優位性を詳しく調べた。その結果、100~200Hz の範囲の純音では、120、160、180、200Hz という4つの周波数の純音以外の周波数帯で、左耳優位となり、それまでの研究と一致していることが確認された。ただし、上記の4つの周波数では、0.0001Hz の精度で、正確に右耳優位であった。また、99Hz 以下の低域の純音について調べてみると、今度は40、60、80Hz という3つの周波数の純音以外の周波数帯で、右耳優位であった。そして、上記の3つの周波数では、やはり、0.0001Hz の精度で、正確に左耳優位であった。



純音の優位性逆転



これらの実験から、次の二点が明らかになった。第一点は、ヒト聴覚系の純音に対する反応は、100Hz を境にして、それより高周波数側の音声帯域と、それより低周波数側の低音域とに明確に二分されているということである。第二点は、40Hz と 60Hz を基底周波数として、その倍音に対して、左右両耳の優位性が逆転するようにスイッチが働くことである。

ここで観察されている優位性の逆転は、耳のレベルで大脳半球レベルではないと思われる。おそらく、交叉的な聴覚情報の経路が同側的な経路へと、切り替わっているだけで、大脳半球の役割分担は変わっていないのではないかと角田は考えている。

100Hz 以下の低周波音は、聴き取りにくいことは先に述べた通りである。ところが、この 100Hz 以下の低周波音を用いて両耳の競合実験を長期間続けているうちに、頭痛、不眠、胸の圧迫感、吐き気、不安、頻脈、注意力の低下といったいわゆる‘不定愁訴’や、‘自律神経失調症’といった不快な症状のいくつかを被験者が訴えるようになった。

低周波音

- 本人が気づくか気づかないかは別にして、低周波音の被害をまったく受けない人は少ない。一時的な低周波音は、いつしか忘れてしまうが、24時間続く低周波音は、不快感を増強する。
- 脳としては、外来の刺激を直接受け取るのがむしろ自然であった。普通の音は、脳細胞が直接受け取るには周波数が高いために、耳が発達した。そして、低周波音に対する感度を落とす方向へと、進化したのではないか。

低周波公害の被害者

- 発作性頻脈：普通、脈拍は1分間に60~80回である。それが、急に200も打つひどい動悸となる。
- 興奮したり、きつい運動をしても脈がはやくなり、動悸がする。この場合には脈は徐々に戻るが、それと違って、脈がもとに戻るときには、いきなり正常に戻る。

低周波音の人体への影響を長年研究してきた医師の汐見文隆によれば、こうした低周波音は、脳や身体の細胞が直接感受できる周波数帯であり、本人が気づくか気づかないかにかかわらず、‘不定愁訴’や‘自律神経失調症’を発症しているということである。言語帯域よりも低音域は、細胞に直接感受されると考えるならば、人間に限らずさまざまな生物において、低周波音の影響を詳細に調べることができるに違いない。そして、こうして明らかになったメカニズムと、他の物理学的刺激である電磁波、あるいは化学的刺激である化学物質の作用メカニズムには、生物学的に何らかの共通性があるのではないだろうか。

低周波音の影響発現機序

- 通常の音が、耳を通して脳に伝わるのは確かである。しかし、低周波音も同様かという疑問である。実際、角田理論ではスイッチ機構は、さまざまな外来刺激の影響を聴覚系を経由せずに受けている。
- 胸の圧迫感は、低周波音の胸への直接作用であろう。肺には肺胞という空気の袋が多数あり、空気振動である音の影響を受け止めやすい。

低周波音の影響低減化機構

- 低周波音の被害者は、ラジオやテレビなどの音で、苦しさを紛らわせている。
- 防音室の設置は逆効果：音は遮断されるが、低周波音は透過してしまう。
- 低周波音による胸の圧迫感が、音によって軽減するのは、単に注意がそらされたということ以上に、耳から脳へ音が伝えられた時に、何らかのメカニズムが作動したためではないか。

4-3. 40・60Hz系から情報統合機能を探る

角田は1983年に、40・60Hz系の報告をし、それ以来、次々と興味深い事実を発見した。例えば、この40・60Hz系が、聴覚以外に視覚、皮膚振動覚、触感、味覚などにも共通した一種の情報統合機能を持つことを明らかにしてきたことである。サンプル音として1つの純音を用いるかわりに、50~8200Hzの範囲の適当な周波数を中心として、±10Hzのバンドノイズを発生させる。こうして、作成したバンドノイズを2個から100個まで組み合わせて合成音を構成する。この合成音は、一般的には非言語音に特徴的な右耳優位を示した。ところが、40、60、80個一すなわち、40・60系一の組み合わせに限って、特異的に

右耳優位を示したのである。

実験では、40Hz という 1 秒間に 40 個の正弦波からなる時間情報と、40 個という空間的に組み合わせられた音が、正確に同じ数で左右両耳優位性の逆転現象を示すことが明らかになった。このような現象が生じるためには、人間の脳には正確に 1 秒という基準の時間単位があつて、1 秒に含まれる 40 個の正弦波の数を検知することが可能であると同時に、40 個の空間的な構成数に対しても、同様に特異的に反応することが可能なためと考えられる。すなわち、この 40・60 系が存在しているということは、人間の脳には無意識のうちに時間情報と空間情報を統合する精密かつ高度な機構があるということである。

情報統合機構が、さまざまな入力情報によって無意識的に働けば、異なる感覚系への刺激にも同様な反応が見られるに違いない。実際に、視覚系において、次のような実験事実が明らかになった。被験者の眼前に広げた白紙上に無作為に黒い碁石をばらまいて眺めてもらう。この負荷条件下で、非言語音のホワイトノイズの優位性を調べると、碁石の数が正確に 40、60 個あるいはその整数倍—280 個、360 個—の時には、優位性は逆転する。ところが、360 個ではなく 359 個や 361 個の時には、逆転は起こらない。

視覚刺激装置を用いて、赤色光源を点滅させた場合は、数十 Hz 以上になると、光源は固定して見えるようになる。また、その点滅周波数をいろいろと高周波数に変えてみても、その違いを意識的に把握することは困難である。ところが、40・60 系に一致した周波数の時に、聴覚刺激として、例えばホワイトノイズを用いると、左耳優位であるべきところが右耳優位へと逆転してしまう。無意識的にスイッチ機構が働いているのである。

皮膚の振動感覚の刺激においても、40・60 系が確認されている。例えば、左手の指先に振動刺激を与えながら、ホワイトノイズに対する左右両耳優位性を調べると、指先に与える振動数が、正確に 40Hz、60Hz およびその整数倍の周波数の時に逆転現象が見られている。

触覚の分解能の検出を行うには、神経学的に皮膚上の 2 点を同時に刺激して、その 2 点を識別できる距離を求める方法がある(ゲルタード、シュリック、1986)。皮膚上に 3 ミリ感覚で 1~100 個の堅いプラスチック棒で、全体が接触するように軽く圧迫しておく。プラスチック棒の数が 40、60、80 個の時に限って、聴覚の優位性が逆転していることも確認されている。

このように、脳のスイッチ機構は、外部環境に含まれるさまざまな物理刺激に対して、無意識的に 40・60 系に基づいて鋭敏に反応することが明らかにされている。ところが、さらに興味深いことに、化学物質を用いて味覚刺激を行った場合にも、分子量が 40 と 60 およびその整数倍の分子量をもつ化学物質の場合に限って、ホワイトノイズによる聴覚系における左右両耳優位性の逆転現象

が確認されている。例えば、分子量 160 のサリチル酸、分子量 180 のグルコース、果糖、ガラクトースなどは、それぞれ 40 と 60 の倍数に相当する。こうした一連の化学物質を舌先につけ、1 分後に優位性テストを行うことで、40・60 系の存在が確認されている。

4-4. 年輪系

生物の中で、一年周期で刻まれる痕跡として、樹木の年輪をはじめとして、魚類のうろこや耳石が知られている。40・60Hz 系における純音の左右両耳競合実験を繰り返していく内に、角田は意外な周波数帯での逆転現象を発見した。その周波数帯とは、被験者の年齢を基底周波数とした整数倍の周波数帯である。

年輪系の研究では、不快な症状を起こす低周波数の純音を使うかわりに、1~100 個までの合成音が用いられた。そして、少なくとも 6 名の被験者の 8 年以上の追跡の結果、年輪系の加齢が閏年を除けば全員が、誕生日の午前中に新しい年輪系に移行することが確認された。つまり、人間の脳には誕生日を境として、地球の公転と正確に一致する一年周期の年輪様の変化がある。この年輪系には、人種・性・年齢による差はないということから、角田は、「人間は明らかに天体の運行に組み込まれた宇宙の子である」と述べている。

大宇宙と小宇宙の相互作用

- 角田忠信 「人の脳内にある太陽系と同期して無意識的にはたらく年輪系は、おそらく人間だけに限ったことではないだろう。その機構は、すべての生物にも共通しているのではないか。」
- 感覚と運動の統合という高次機能にかかわるツノダテストによって、はじめて明らかにされた。その意義を、あらたな文脈でとらえなおす時期ではないだろうか。

4-5. 月齢に伴う優位性の逆転および地殻ストレスによる異常現象

満月や新月のときに、動物の性行動、攻撃性、代謝活性などが亢進することは、古くから経験的に知られている。ところが、ヒトの脳スイッチ機構も、月齢に伴って変化することが明らかになった。つまり、正常ならば言語音が右耳優位、非言語音が左耳優位となるパターンが、満月、新月、上弦、下弦という月齢の変化に応じて、逆転することが明らかになったのである。

さらに、この月齢変化による逆転現象を追跡中に、それとは全く無関係に左右両耳優位性が逆転する現象が確認された。角田によれば、「逆転中は頭重感

を伴い、不快で、ルーチンの作業や慣れた実験はできるが、執筆はとてもできる状態ではなかった」と述べている。その原因の1つとして、その当時のハレー彗星の地球への接近が考えられると角田は指摘している。

さらに、不思議なことに、それまで正確であった年輪系が減少し始めた。年輪系は加速度的に減少していき、1に達し、その後ただちに100に戻るという繰り返しを示した。こうした状況が続いた後、東京で震度5の数十年ぶりの強い地震が発生した。その直後から、年輪系の異常は消失し、正常に復帰した。こうした経験から、角田は‘脳センサー’による地震予知の可能性も指摘している。

実際に、このスイッチ機構は500mGの直流磁場にも鋭敏に反応する。しかも、その鋭敏な反応性は、正常期にも異常期にも見られている。

また、前額中央に骨導レシーバをあて、1.0000Hzの三角波を20dBの強さで与えながら、ホワイトノイズと母音の優位性テストを行った。この実験で、外部環境は正常である場合には、正常な優位性が確認された。ところが、この状態で負荷音の周波数を1.0001Hzあるいは0.9999Hzにすると、ホワイトノイズと母音の優位性が決められず、両耳がどちらもテスト音に過敏に反応する—いわゆる、‘発振現象’—が見られた。つまり、人間の脳には正確に1.0000Hzに対して鋭敏に反応する脳センサーが存在しているということを示している。そして、角田は「これは多分、人間だけに限ったことではないだろう。人の脳内にある太陽系と同期して無意識で働く機構は、すべての生物にとっても共通するはずである」と述べている。