

## 特集 知覚心理学の新たな展開

# 柔らかな脳に根ざした認知の個性化†

積山 薫\*

## 1. はじめに

我々の脳は、経験により各人毎のユニークな配線が生じ、それが異なる感じ方や考え方に繋がると考えられる。幼児期の初期経験が後年の感覚[2][8][33]・言語[10]・情動[6]の働きに強い影響を生じることが良く知られており、脳機能との関連もかなり明らかにされている。成人期の経験もまた心理機能を変容するが、幼児期の経験の影響ほどには系統的、包括的なデータは得られていない。最近の研究で成人の脳にも可塑性があることが分かってきたが、成人期の脳の変化がどのような認知の変容を生じるかについては良く分かっていない。ここでは、最近の脳科学で広まってきた「認知過程の個性化(individuation)」の考え方を整理するとともに、それを枠組みとして、筆者のおこなってきたいくつかの研究を眺めてみたい。

### 1.1 発達初期における脳の可塑性と母語へのチューニング

ヒトや動物は、生きていく環境に適応するための仕組みとして、脳の可塑性を備えている。たとえば、生育環境に合った情報処理が効率的にできるよう、誕生直後は余分なシナプス(神経接合部)を作って多様な事態に備えておき、後で刺激を受けないシナプスを消滅させるシナプス刈り込みなどの仕組みがある。

シナプス刈り込みの時期は、第1次視覚野では生後10ヶ月から始まるといわれており[9]、シナプス刈り込みが完成するまでの「臨界期」に適切な刺激が与えられないと、必要な神経配線までもが刈り込まれてしまい、その影響は不可逆的であるともいわれる[8]。世界中のあらゆる言語を聞き分ける能力を備えて生まれてきた赤ん坊が、4歳になると母語にない音は聞き分け困難になるのは[34]、このようなメカニズムによると考えられる。このように、脳は、胎児期から乳児期にかけて遺伝的プログラムによって過剰に形成したシ

ナプスを、後に経験との相互作用によって取捨選択していくことから、「柔らかな脳」であるといえる。

われわれの経験は、人それぞれに違うが、ヒトの認知に関して最も顕著な違いは、言語経験、すなわち母語が何語かということではないだろうか。成人の脳は、言語音の聴き取り、文字の読み、文法の理解などの点で、母語の効率的処理にチューニングされている。また、言語相対性仮説などによれば、われわれの思考もまた、母語によって異なるのかもしれない。

最近の研究によれば、音声言語をもたない高度難聴の手話母語者では、手話の脳内処理は、健聴者が音声言語を処理するための領域とかなり重なっており、左半球のブローカ野やウェルニッケ野などの言語関連領域が含まれることが分かってきた[1][22]。言語は、ヒトの認知の仕組みにとってきわめて根本的な要素であるため、母語の言語情報を入手するための主要な感覚モダリティが聴覚(音声言語)か視覚(手話)かということ自体はあまり重要でないらしい。

### 1.2 感覚入力喪失による脳活動の変化

手や足を事故によって失った場合、その身体部位からの体性感覚情報は脳に届かなくなる。同様に、盲人では視覚情報、高度難聴者では聴覚情報の感覚入力が脳に入っていない。このような感覚入力喪失の状態での生活を余儀なくされた人たちにおいては、残存する感覚情報の処理を有利にするための脳の再編が生じることが、いろいろなモダリティで明らかになってきた。眼からの入力を失った視覚野は触覚処理に使われるようになり、耳からの入力を失った聴覚野は、ある種の視覚処理に使われたりする。

たとえば、晴眼者においては視覚野が触覚弁別課題で活動することはないが、盲人の場合は活動することが、非点字性の触覚弁別課題を用いて検証されている[21]。視覚野のなかでも、視覚連合野については、触覚弁別時の活動が失明年齢に関係なく盲人でみられるが、第1次視覚野については、失明時期の臨界期があるらしく、それはおおよそ10～16歳までであるという[20]。

同様に、先天性の失聴者では、視覚的に呈示される

† Toward Understanding of the Brain Plasticity and Cognitive Individuation  
Kaoru SEKIYAMA

\* 熊本大学文学部  
Faculty of Letters, Kumamoto University

手話を見ているときや[16][19], 視覚的に呈示される発話者の顔から読唇する課題で, 第2次聴覚野が強く活動する[19].

体性感覚入力 of 喪失の影響は, 頭頂葉にある第1次体性感覚野の「身体マップ」に現れる. 大人のサルで腕の体性感覚神経を切断すると, 後年, 遺伝的な身体マップでは腕からの入力に対して応答すべき幅1 cm以上の脳の部位が, 顔への刺激に応答するようになるという[17]. マップ上の「腕エリア」は, 腕からの入力が入ってこなくなったことにより, 隣接する「顔エリア」の侵入を受けたといえる. 同様のことは, 片腕を失ったヒトの場合にも, 脳磁計を用いた研究で報告されている[34]. 切断者の言語報告では, 顔を触覚的に刺激されたときに, 顔に刺激を感じるとともに, 失った腕(「幻肢」)が触られたかのように感じる二重の知覚が報告されるという[18].

### 1.3 成人脳の可塑性

脳の可塑性は発達初期の方が大きいとはいえ, 大脳皮質の発達したヒトやサルでは, 大人でも左右反転した視野に適応するなどの可塑性がある[28][32]. 成人後の可塑性の神経メカニズムは, シナプス刈り込みほど明らかにされていないが, 環境に合わせて自らを柔軟に変化させる脳の機能は, さまざまな場面で見出される.

たとえば, 上にあげた腕の切断による脳内身体マップの変容は, 大人で観察されることである. 脳の可塑性は, 幼少時の「敏感期」に最大であることは否めないかもしれないが[7], 成人脳にどのようなタイプの可塑性が残されているのかを明らかにすることは, 関心のもたれるところである.

### 1.4 本論の構成

以下では, 脳が経験によってその人自身のユニークな配線を作るという個性化の考え方[14]をふまえて, 筆者のおこなってきた研究をながめてみたい. 第2節では, 逆さの視野への適応過程に関する研究を取り上げ, 成人での新奇な経験が脳にもたらす可塑性について考える. 第3節では, 視聴覚音声知覚の現象を切り口として, 発達的に早い時期から継続的に経験する母語の影響を検討した研究を紹介する.

## 2. 成人における逆さの視野への適応

眼の網膜に映る像は外界に対して上下・左右が反転しているのに, 通常, 世界は正立して見える. すなわち, 体性感覚的な上下・左右と, 視覚的な上下・左右には感覚間調和が成立し, 矛盾を感じない. 知覚系に

は, 反転した網膜像を正立した外界の見えと対応づける何らかの機構が備わっているのだろうか.

100年以上前に, アメリカの心理学者Stratton[31]がおこなった実験は, その機構が経験的に獲得される可能性を示した. 彼は, 「正立視には逆転した網膜像が必要か」と問い, 逆さメガネによって(通常とは逆に)網膜像が外界に対して正立している状態を作り出し, 自ら寝るとき以外はこのメガネをかけ続ける実験をおこなったのである. 着用期間は初め3日間, その5ヶ月後には8日間にわたった. 初めはすべてが倒立して見え, 視覚と触覚は乖離し, 動作は常に望むのとは反対方向へ向かう動きをしてしまった. しかし, メガネをかけ続けた結果, 視覚と触覚が調和し, 場合によっては外界が正立しているようにさえ感じられるようになった. 逆さメガネをかけても正立視が生じるなら, 正立視は逆転した網膜像と固定的に結びついているのではないといえる.

Strattonが用いたのは, 視野の上下・左右とも逆さにするメガネであったが, 筆者らは, より客観的なデータで知覚の変容と脳の可塑性を検討することを目的に, 左右だけを逆さにする左右反転メガネを用いた実験をおこない, いくつかの側面で可塑性な変化を見出している. ここでは, 左右反転メガネを1ヶ月以上着用し続ける長期連続着用実験で見出された変化について述べる.

### 2.1 早い動作の適応, 遅い知覚の順応

左右反転メガネを着用した当初は, Strattonが経験したような視覚と触覚の乖離や動作の混乱があり, 歩くことさえ困難になる[11]. しかし, 着用し続けると動作は確実に上達し, 初めの1~2週間で日常動作はほとんど問題がなくなる. また, それに比べると遅い変化ではあるが, 視覚と触覚の調和感も次第に得られるようになる.

図1に, 動作の上達をみるためのリーチング課題の遂行(図1a)と, 知覚的な順応をみるための視覚刺激定位課題に関するデータ(図1b)を, 4人の被験者の平均で示す[28]. これら2つの課題の結果を比較してみよう.

リーチング課題は, タッチ・モニター上に視覚呈示される小さな円形ターゲットに右手の人差し指で触れる課題であった. 図1aには, ターゲットと実際に指先が触れた位置との間の逸脱距離(棒グラフ)と, 刺激が呈示されてから指の運動が開始するまでの潜時(折れ線グラフ)を示す. どちらの指標でみても, リーチング課題の遂行は, 着用初期の第2日には遅く不正確になっているが, 第11日には着用前(pre)の水準に近

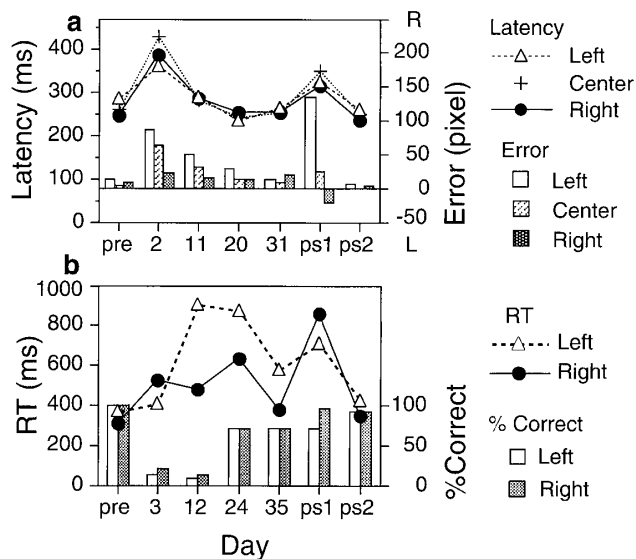


図1 左右反転メガネ着用によるリーチング(a)と視空間定位(b)の変化(Nature, vol. 407より)

づき、上達が認められる。また、左右反転メガネをはずした直後(ps1)は、再び遂行が不正確になり、着用中の学習の残効があることが分かる。

一方、視覚刺激定位課題は、モニタ上で凝視点の右または左に視覚提示される小さな円形ターゲットを観察し、それが自分の右手と同じ側にあるか、左手と同じ側にあるかの印象を、視野外のスイッチの左右のボタンを押し分けて報告する課題であった。左右反転メガネを着用すると、反転している見えのために反応は誤りとなり、正答率(棒グラフ)はほぼゼロに落ち込む。この課題における正答の再出現は、反転した視覚情報に対して外界対応的な体性感覚情報とのつながりができたことを意味すると考えられる。そのような正答が出現するまでには、3週間程度を要している。また、反応時間(折れ線グラフ)でみると、着用前(pre)の速さに戻るのは第35日であり、左手(点線)に関してはその時点もまだ着用前の速さには戻っておらず、リーチング課題に比べ、遅い適応過程を示すといえる。また、この課題でも残効が明瞭であり、反転メガネ除去直後(ps1)の反応時間の増大が非常に大きい。

これら2つの課題の結果を比べてみると、動作(リーチング課題)では着用2週間くらいで着用前のレベルに回復するほどの上達があるが、知覚(視覚定位課題)では着用前のレベルにまで回復するには1ヶ月近くかかることが分かる。このように、大まかに言って、まず行動的な適応が先行して起こり、その後知覚的な順応が続くという経過が、逆さの視野への適応過程に共通して見られる。このことが意味するのは、体性感覚と調和のとれた視覚的な認知が成立するためには、視覚に導かれた運動がまず適応的になる必要が

あるということである。

ただし、視覚に導かれた運動にも色々な種類があり、リーチングのような止まっている状況での局所的な運動に対して、キャッチボールのような動く対象に素早く反応することや、自転車に乗るなどの色々な身体部位の協応が必要な動作では、できるようになるまでには1ヶ月くらいを要する。

## 2.2 第1次視覚野の受容野の変化

上記のような体性感覚と調和のとれた視空間定位が成立したとき、脳内ではどのような変化が起きるのだろうか。最近になって、この点に関していくつかの検討がおこなわれている。

1つは、左右反転視野への順応に伴う第1次視覚野(V1)の受容野の変化である。通常、周辺視野の視覚刺激で調べると、V1の受容野は対側に限られるので、左半球のV1細胞は、視野の右側に刺激が呈示されたときだけ応答する。ところが、左右反転メガネを長期着用したサル(V1細胞の活動記録を微小電極でとってみると、対側だけでなく同側視野の刺激に対しても応答するのである[32]。

サルのV1細胞で見出されたのと同様の順応的变化はヒトでも生じることを、筆者らは、機能的磁気共鳴イメージング法(fMRI: functional Magnetic Resonance Imaging)を用いて確認した。半視野に視覚刺激を呈示したとき、通常は対側のV1のみが活動するが、左右反転メガネの連続着用によって、両半球のV1が活動するようになるのである[25][26]。

V1の段階では、半球間の神経線維連絡がほとんどないことから[4][30]、このV1両側性の活動は、半球間連絡が存在する高次領野からの下降性投射によるものと考えられる。このような両側性活動をひきおこす下降性投射が形成される契機として、筆者らのデータは、視覚と体性感覚との対応づけの再編を示唆している[25]。

この実験では、数人の被験者に左右反転メガネを1ヶ月以上(37日間)着用してもらい、半視野への視覚刺激に対する脳内活動をfMRIで測定するとともに、V1両側性活動の出現と連動して変化する知覚課題はどのようなものかを検討した。その結果、V1両側性活動の出現と最も明瞭に連動していたのは、エアパフ刺激を用いた体性感覚と視覚のマッチング課題であった。この課題では、エアパフ刺激を身体の右側または左側に呈示し、その左右位置判断を視覚的な基準との照合で求めた。色の異なる2つの円をそれぞれ右視野と左視野に呈示しておき、被験者にはエアパフを感じた皮膚部位が視野のどちらと同じ側であるかを色名で

答えるよう指示していた。

左右反転メガネの着用によって、この課題は初めほぼ100%誤答となるが、着用を続けると数週間で正答が出現した。その時期は個人差が大きく、被験者によって3～6週目であった。一方、被験者内で見ると、この感覚間マッチング課題での正答出現は、fMRIで観察されたV1両側性活動の出現と時期を同じくしていたのである。このタイミングの一致は4人の被験者に共通してみられた[25][26]。

これらのことから、V1の両側性活動が出現するときに、視覚と体性感覚との対応づけの再編が生じることが示唆される。したがって、V1両側性活動には、視覚と体性感覚とのクロスモダルな神経連絡をも含めた広範なネットワークからの下降性投射が関与していると考えられる。

### 2.3 知覚の変化の媒介項としての運動系

上記のような感覚間マッチングにおける再体制化は、先にも述べたように比較的遅い変化であり、それに先行する行動的適応(リーチングの回復など)を土台として成立すると考えるのが妥当である。

これに関して、fMRIで半視野刺激への脳活動をみた実験では、視覚刺激を観察するだけの課題なのに、V1両側性活動が現れる時期には前運動野や小脳などの運動プランニングに関わる部位までもが活動するようになることが見出されている[26]。したがって、V1両側性活動といってもそれは視覚系だけの問題ではなく、運動系を巻き込んだ上で生じる変化であると考えられる。左右反転メガネを着用した生活で、被験者は移動や食事をはじめとする日常生活上の動作をおこなうために、反転した視覚像と身体運動をどう対応させるかを必死で学習する。その学習過程で、運動系と視覚系との対応づけに再編が生じ、そのような変化が視空間知覚の変化に結びつくと思われる。

## 3. 初期言語経験による視聴覚音声知覚の相違

冒頭で述べたように、我々の認知を個性づけている大きな要素として、母語がある。世界中のあらゆる言語音を聞き分ける能力を備えて生まれてきた赤ん坊が、母語の音へのチューニングを示すのは、生後10～12ヶ月といわれ[34]、母語の影響は発達初期から始まっている。

母語という初期言語経験が後年の認知に与える影響について、筆者は視聴覚音声知覚に関する研究をおこなっている。視聴覚音声知覚ということばは、対面事態での音声知覚において、聴覚情報のみならず口の動

きに関する視覚情報も寄与して知覚が成立するという意味が含まれる。

### 3.1 母語による視聴覚音声知覚の相違

視聴覚音声知覚を実験的に示す現象として、「矛盾した口の動きの映像が音声の聞こえを変える」マガー効果[15]が知られている。ムービーの吹き替えによって、発話している話者の声と映像を矛盾させると、たとえば、音が[ba]で映像が[ga]の場合、矛盾した視覚の影響(マガー効果)を受けた反応は[da]などとなる。

マガー効果は英語圏で発見された現象であるが、日本人被験者を含めた検討では、その生じやすさには、母語の影響があることが分かってきた。成人で比べたとき、日本語母語者は、英語母語者ほどには視覚情報の影響を受けないのである[12][29]。その理由は定かではないが、子音や母音の数が英語に比して少なく、音節の聞き分けが容易な日本語の音韻体系では、視覚情報の助けを借りる必要性が低いのかかもしれない。

### 3.2 母語による視聴覚音声知覚の発達過程の相違

一方、発達的には、幼児は大人に比べてマガー効果が生じにくいことが英語圏で報告されている[13][15]。その一因には、幼児は視覚的な口の動きの読み取り(読唇)が大人より劣ることがあるが[13]、発達初期には、聴覚の役割が視覚よりも大きいことは、音声知覚以外のドメインでも報告されている。

では、視覚情報をあまり使わない成人日本語母語者の傾向は、発達的にはどのように形成されるのだろうか。筆者らは、この点に関して、日本語母語者と英語母語者を発達的に比較する実験をおこなった[24]。

実験は、日本とオーストラリアで実施した。6歳児32人、8歳児32人、11歳児32人、大学生48人の計144人の被験者が実験に参加した。各年齢群で、半数は日本在住の日本語モノリンガル、半数はオーストラリア在住の英語モノリンガルであった。

刺激は、予備実験で選んだ日本語話者2人と英語話者2人を用い、各話者の/ba/、/da/、/ga/の発音をビデオ録画および編集して作成した。映像と音声が一致している刺激、矛盾している刺激(例：音声はbaで映像はga)のほか、音声のみ、映像のみの刺激も作成した。被験者には提示された刺激が/ba/、/da/、/ga/のどれに最も近く感じるかを、3択でボタン押しにより答えてもらった。

正答率の概要を図2に示す。視覚の影響の指標として、AV一致とAV矛盾条件の平均正答率の差を図2aに

示す。6歳では、日本語母語者(JP)と英語母語者(AE)に差はなかった。ところが、英語母語者では6歳から8歳の間に視覚の影響が大きくなるのに対して、日本語母語者では年齢が上昇しても視覚の影響は小さいままとどまった。

映像のみを呈示したVO条件での読唇成績は、発達的に上昇がみられ、英語母語者の方が日本語母語者よりも高い傾向があったが、年齢ごとに比べると11歳でのみ両群の差は有意であった(図2b)。

声だけを呈示したAO条件での聞き取りでも、発達的に上昇がみられ、全体として英語母語者と日本語母語者の成績に差はなかったが、6歳では日本語母語者が英語母語者よりも正答率がわずかに高い傾向がみられた(年齢と母語の交互作用)(図2c)。

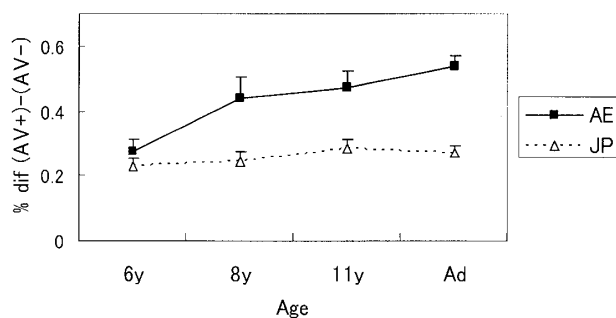


図2a 視覚の影響の強さ(反応率)の母語による発達傾向のちがい

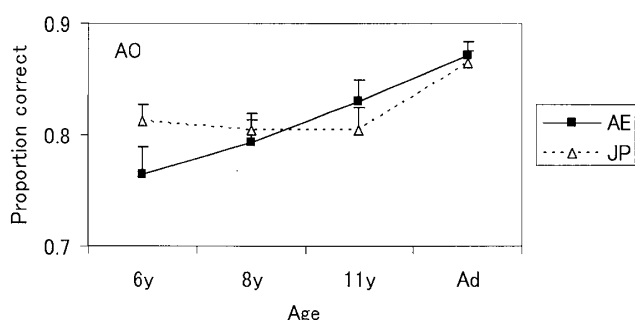


図2b 聴覚のみでの音声の聞き取り成績の発達傾向

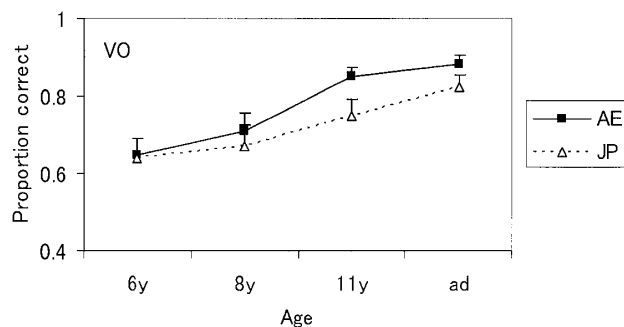


図2c 視覚のみでの読唇成績の発達傾向

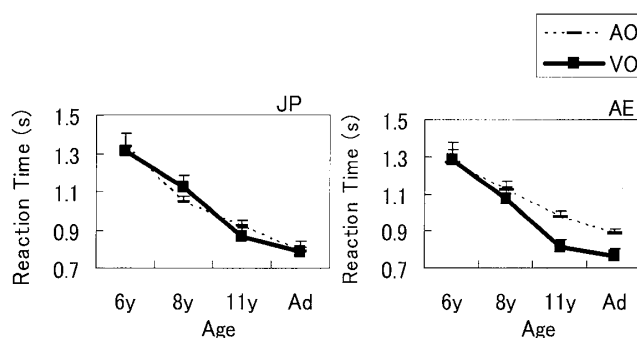


図3 聴覚のみ・視覚のみでの反応時間の発達傾向の母語によるちがい

### 3.3 母語による聴覚音声処理の速さの相違

反応時間(RT)にもいろいろな側面から母語の影響がみられたが、興味深い言語差が、VO・AO条件のRTの関係にみられた(図3)。日本語母語者は両条件でほぼ同じRTの発達の短縮がみられたが(左パネル)、英語母語者ではAO条件のRTの短縮が鈍く、結果的に成人ではVOに比べてAOのRTが100msも遅くなった(右パネル)。英語母語者でVOの方がAOより速い傾向は、8歳ごろから始まっていた。

AV条件の正答率から、視覚情報をより多く取り入れる知覚傾向は、英語の言語環境で6歳から8歳の間に促進されると考えられる。6歳では日本語母語児の方が聴覚のみでの聴き取りが正確だったことは、後の視聴覚統合の仕方に影響しているかもしれない。単一モダリティ(AO、VO)条件の処理速度の関係がもしAV条件でも保たれるならば、成人英語母語者では視覚判断が先行するために聴覚判断への視覚の影響が大きいが、日本語母語者ではほぼ同じタイミングであるために影響が小さいと考えることができる。

以上のように、言語に関連する視聴覚情報の処理には、母語の特徴を反映した独特の処理様式が存在すると思われる。

### 3.4 視聴覚音声知覚時の脳内活動

音声知覚時の視覚情報と聴覚情報との統合は、脳内でどのように進行するのだろうか。最近の脳機能イメージング技術の進歩・普及とあいまって、この問題は脳における情報統合研究の格好の材料として、脳科学者にも広く関心がもたれるようになってきた。

初期の脳磁界(MEG: Magneto-encephalogram)を計測した研究によれば、視聴覚の統合は「側頭葉上部(supratemporal cortex)」で起こるとされた[23]。この研究では、視聴覚ともに[pə]である一致刺激、または聴覚刺激は[pə]だが矛盾した視覚刺激と組み合わせられた刺激が用いられた。一致刺激と矛盾刺激とは、一方

が頻繁に出現し(84%), 他方はたまにしか出現しない(16%)いわゆるミスマッチ・パラダイムで呈示された。低頻度刺激に対する「ミスマッチ」反応が上側頭回などに観察されたことから, Samsらは「視聴覚統合は, 上側頭回の聴覚野で起こるのではないか」と主張している。しかしながら, ミスマッチ反応が統合処理を直接的に反映しているかどうかは, 疑問が残る。

その後, 音声知覚における視聴覚統合の脳部位はどこかという点については, fMRIやPET(ポジトロン断層撮影: Positron Emission Tomography)などの空間解像度の高い手法を用いて検討が進められた。無数の脳活動のなかから, 視聴覚統合の処理だけを取り出すのは工夫のいる作業であるが, Calvertらは, 連続音声を用い, 視聴覚一致刺激に対して活動が上昇し, 矛盾刺激(時間的にずれた映像と音声)に対して活動が低下する部位を「統合」処理をおこなっている部位であると定義して, 上側頭溝後部の「多感覚エリア」がその場所であるとしている[3]。筆者らは, 一般に音が聞き取りにくいほど視覚情報がよく用いられ, マガーク効果も生じやすくなることを利用して, マガーク刺激の観察中に, 音を聞き取りにくくすることで聞き取りやすい場合よりも活動が増大する部位を「統合」の部位と定義して, Calvertらと同様に「多感覚エリア」がその場所であることを確認した[27]。

さて, 筆者らが行動的データで見出した視聴覚音声知覚への母語の影響は, 脳内活動としても観察することができののだろうか。現在, 筆者はこの問題に向けて実験をおこなっている。初期言語経験のちがいで, 後年の情報処理様式にちがいが生じるということ, 脳活動のパターンとしてとらえることができたなら, 経験による認知の個性化のわかりやすい例証となるだろう。

## 4. おわりに

1960年代に認知心理学という言葉が定着したとき, 認知過程をコンピュータのアナロジーで理解する枠組みが受け入れられた。しかし, その後の脳科学や生命科学の発展と浸透は, 認知システムを機械のように固定的なものにとらえるのではなく, 経験との相互作用でダイナミックに変化するきわめて「生き物」的な系としてとらえるべきことを示している。心理学においても, このような視点は有用であろう。

腕を失った人の脳内身体マップの腕エリアは, 「顔エリア」の侵入を受ける。ある用途に使われなくなった脳部位は, 他の用途のために陣地を明け渡す運命なのである。正常な心身の機能を維持するには, 日常生活の多様な刺激を継続的に受けることが必要であると

推察される。

社会生活には, 技術革新によって常に変化が押し寄せる。子どもたちは, 外で遊ぶことよりも, テレビ・ゲームなどに興じることが得意になった。このような変化を心配する大人たちの不安につけこむかのように, 「ゲーム脳」という造語を作り出す輩が現れたりする。確かに, 子どもたちは運動能力が低下し, 自ら遊びを考え出す力は持ちにくくなったかもしれない。しかし, 悪い知らせばかりではない。テレビ・ゲーム習熟者は, 目標物の検出など, ある種の視覚能力がゲーム初心者よりも優れているのである[5]。人間は普遍的な存在であるように見えて, 進化という時間軸を考えれば, 環境の変化に合わせて想像以上のスピードで変わっていく存在なのかもしれない。

このような変化も含めた個性の記述に, 脳機能計測データは適している。そして, 脳のどんな機能を計測すべきかという指針を与えてくれるのは, 何よりも, 心理学の行動的データなのである。両者を対応づけるアプローチで, 今後も研究を続けて行きたい。

## 参考文献

- [1] Bavelier, D., Corina, D., Jezzard, P., Clark, V., Karni, A., et al.: Hemispheric specialization for English and ASL: Left invariance-right variability, *NeuroReport*, 9, 1537-1542 (1998)
- [2] Blakemore, C. and Cooper, G.F.: Development of the brain depends on the visual environment, *Nature* 228, 477-478 (1970)
- [3] Calvert, G. A., Campbell, R., and Brammer, M. J.: Evidence from functional magnetic resonance imaging of crossmodal binding in the human heteromodal cortex, *Current Biology*, 10, 649-657 (2000)
- [4] Cusick, C. G., Gould, III H. J., and Kaas, J. H.: Inter-hemispheric connections of visual cortex of owl monkeys (*Aotus trivirgatus*), marmosets (*Callithrix jacchus*), and galagos (*Galago crassicaudatus*). *Journal of Comparative Neurology*, 230, 311-336 (1984)
- [5] Green, C. S., and Bavelier, D.: Action video game modifies visual selective attention, *Nature*, 423, 534-537 (2003)
- [6] Harlow, H., Dodsworth, R. and Harlow, M.: Total social isolation in monkeys, *Proceedings of the National Academy of Science, USA.*, 54, 90-97 (1965)
- [7] Hensch, T.: Critical period regulation, *Annual Review of Neuroscience*, 27, 549-579 (2004)
- [8] Hubel, D.H., Wiesel, T.N. and LeVay, S.: Plasticity of ocular dominance columns in monkey striate cortex, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Science*, 278, 377-409 (1977)
- [9] Huttenlocher, P. R.: Morphometric study of human cerebral cortex development, *Neuropsychologia*, 28

- (6), 517-527 (1990)
- [10] Johnson, J.S. and Newport, E.L. : Critical period effects on universal properties of language : The status of subadjacency in the acquisition of a second language, *Cognition*, 39, 215-258 (1991)
- [11] Kohler, I. : The formation and transformation of the perceptual world (Trans. by Fiss, H.) , *Psychological Issues*, 3 (monog. 12) , 1-173 (1964, originally in 1953)
- [12] Kuhl, P., Tsuzaki, M., Tohkura, Y., and Meltzoff, A.N. : Human processing of auditory-visual information in speech perception : Potential for multimodal human-machine interfaces. In the *Acoustical Society of Japan* (Ed.), *Proceedings of the International Conference of Spoken Language Processing*, Tokyo: the Acoustical Society of Japan, pp. 539-542 (1994)
- [13] Massaro, D. W., Thompson, L. A., Barron, B., and Laren, E. : Developmental changes in visual and auditory contributions to speech perception, *Journal of Experimental Child Psychology*, 41, 93-113 (1986)
- [14] Mayr, U., Awh, E., and Keele, S. W. (Eds.) : *Developing Individuality in the Human Brain : A tribute to Michael I. Posner, Washington D. C. : American Psychological Association* (2005)
- [15] McGurk, H., and MacDonald, J. : Hearing lips and seeing voices, *Nature*, 264, 746-748 (1976)
- [16] Nishimura, H., Hashikawa, K., Doi, K., Iwaki, T., Watanabe, Y., Kusuoka, H., Nishimura, T., and Kubo, T. : Sign language 'heard' in the auditory cortex, *Nature*, 397, 116 (1999)
- [17] Pons, T.P., Garraghty, P. E., Ommay, A. K., Kaas, J. H., Taub, E., Mishkin, M. : Massive cortical reorganization after sensory deafferentation in adult macaques, *Science*, 252, 1857-1860 (1991)
- [18] Ramachandran, V. S., and Hirstein, W. : The perception of phantom limb: The D.O. Hebb lecture, *Brain*, 121, 1603-1630 (1998)
- [19] Sadato, N., Okada, T., Honda, M., Matsuki, K., Yoshida, M., Kashikura, K., Takei, W., Sato, T., Kochiyama, T., and Yonekura, Y. : Cross-modal integration and plastic changes revealed by lip movement, random-dot motion and sign languages in the hearing and deaf, *Cerebral Cortex*, 15, 1113-1122 (2005)
- [20] Sadato, N., Okada, T., Honda, M., and Yonekura, Y. : Critical period for cross-modal plasticity in blind humans : A functional MRI study, *NeuroImage*, 16, 389-400 (2002)
- [21] Sadato, N., Pascual-Leone, A., Grafman, J., Ibanez, V., Delber, M., Dold, G., and Hallett, M. : Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects, *Nature*, 380, 526-528 (1996)
- [22] Sakai, K., Tatsuno, Y., Suzuki, K., Kimura, H., and Ichida, Y. : Sign and speech : Amodal commonality in left hemisphere dominance for comprehension of sentences, *Brain*, 128, 1407-1417 (2005)
- [23] Sams, M., Aulanko, R., Hämäläinen, M., Hari, R., Lounasmaa, O.V., Lu, S., and Simola, J. : Seeing speech: Visual information from lip movements modifies activity in the human auditory cortex. *Neuroscience Letters*, 127, 141-145 (1991)
- [24] Sekiyama, K., and Burnham, D. : Impact of language on development of auditory-visual speech perception, *Developmental Science*, 11 (2) , 306-320 (2008)
- [25] Sekiyama, K., Hashimoto, K., and Sugita, Y. : Adaptive changes in the human primary visual cortex observed after visual-kinesthetic reorganization, *Society for Neuroscience*, Abstract (2003)
- [26] Sekiyama, K., Hashimoto, K., and Sugita, Y. : Reorganization of adult visuo-somatomotor system following long-term adaptation to reversed vision. (in submission)
- [27] Sekiyama, K., Kanno, I., Miura, S., and Sugita, Y. : Auditory-visual speech perception examined by fMRI and PET, *Neuroscience Research*, 47, 277-287 (2003)
- [28] Sekiyama, K., Miyauchi, S., Imaruoka, T., Egusa, H., and Tashiro, T. : Body image as a visuomotor transformation device revealed in adaptation to reversed vision, *Nature* 407, 374-377 (2000)
- [29] Sekiyama, K., and Tohkura, Y. : Inter-language differences in the influence of visual cues in speech perception, *Journal of Phonetics*, 21, 427-444 (1993)
- [30] Spatz, W. B., and Kunz, B. : Area 17 of anthropoid primates does participate in visual callosal connections, *Neuroscience Letters*, 48, 49-53 (1984)
- [31] Stratton, G. M. : Vision without inversion of the retinal image. *Psychological Review*, 4, 341-360 ; 463-481 (1897)
- [32] Sugita, Y. : Global plasticity in adult visual cortex following reversal of visual input, *Nature*, 380, 523-526 (1996)
- [33] Tanaka S., Ribot, J., Imamura, K. and Tani T. : Orientation-restricted continuous visual exposure induces marked reorganization of orientation maps in early life, *NeuroImage* 30, 462-477 (2006)
- [34] Werker, J. F., and Tees, R. C. : Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life, *Infant Behavior & Development*, 25, 121-133 (2002)
- [35] Yang, T. T., Gallen, C., Schwartz, B., Bloom, F. E., and Ramachandran, V. S. : Sensory maps in the human brain, *Nature*, 368, 592-593 (1994)

(2008年4月14日 受付)

[問い合わせ先]

〒860-8555 熊本県熊本市黒髪2-40-1

熊本大学文学部総合人間学科

積山 薫

TEL : 096-342-2845

FAX : 096-342-2845

E-mail : sekiyama@kumamoto-u.ac.jp

## 著者紹介



せきやま かおる  
積山 薫 [非会員]

熊本大学文学部

1980年早稲田大学教育学部卒業。  
1986年大阪市立大学大学院博士課程  
修了。博士(文学)。ATR視聴覚機構研  
究所研修研究員、金沢大学文学部助  
手、公立ほこだて未来大学システム情  
報科学部教授を経て、現在熊本大学文  
学部教授。主に認知心理学、脳機能計  
測、認知発達などの研究に従事。日本  
心理学会、日本音響学会、日本赤ちゃ  
ん学会、日本認知科学会、Acoustical  
Society of America, Society for Neu-  
roscienceなどの会員。