

## 5-3 外界・身体状態の知覚及び脳におけるその情報統合・再構成に関する研究

### 5-3 *The Mechanism for Perceiving the External/Internal Environment, and the Neural Underpinnings of Information Integration and Reconstruction.*

番 浩志 羽倉信宏 山岸典子

Hiroshi BAN, Nobuhiro HAGURA, and Noriko YAMAGISHI

ヒトの脳は、外界から得られる複数の入力を並列的かつ適応的に統合・再構成することで、適切な行為を作り出すための情報処理装置であると言える。ヒトの脳の機能は、学習スピードやエネルギー効率、汎化性能など、多くの側面において現在の計算機の機能を凌駕している。このヒトの脳の優れた情報処理・統合機構を解明することは、次世代の情報通信機器やインターフェースのデザインを促進させる可能性を秘めている。本稿では、特にヒトの視覚と運動の情報処理・統合機構を調べた著者らの研究を紹介し、その成果の将来的な産業応用への可能性について論じたい。

The human brain can be regarded as an information processing device for generating appropriate actions by parallelly and adaptively integrating multiple sensory inputs obtained from the surrounding environments. It even outperforms the latest state-of-the-art computers in several aspects such as learning speed, energy efficiency, and generalization capability. Therefore, elucidating the sensitivities and integration mechanisms of the human brain has potentially large benefits for facilitating the designs of next-generation ICT devices and interfaces. In this paper, we will introduce our research activities towards this goal, especially focusing on vision, motor-control, and their interactions. We will also discuss the possibilities of future industrial applications of our findings.

#### 1 まえがき

私たちヒトの脳は、ある単一の入力（視覚手掛かりや運動手掛かり、自己あるいは外部装置を介したモニタリングによる心身の状態）を単独で処理するのではなく、複数の入力を並列的に統合、再構成することで、外界の情報を最適に処理して行為へと出力する情報処理・統合装置であると言える。脳にこのような情報処理・統合機構が備わっているからこそ、外界からの入力が断片的かつ不完全であっても、それら断片的な情報（手掛かり）を寄せ集めることにより、精度が高く安定した知覚・認知が実現されるのである。よって、ヒトの脳の優れた情報処理・統合機構の仕組みを解明し、応用することで、例えば、従来よりも少ないサンプル数で学習が可能な機械学習アルゴリズムの開発や、よりエネルギー効率の高い通信機器の開発などといった技術革新が期待される。また、ヒトの脳の仕組みそのものを知ることも、ヒトと情報通信機器とが調和する未来の社会を考えるうえで非常に重要である。最近

の機械学習、ニューラルネットワーク技術の発展は驚くべき成果を挙げており、特定の課題における判別精度はコンピュータがヒトの能力を凌駕しつつある。しかしながら、実際にはその限界も指摘されており、ヒトと情報通信機器との「理解」の内容には、いまだ大きな隔りがある (Adversarial Examples [1])。この事実は、情報通信技術に現行の機械学習アルゴリズムを適用した場合に、ヒトと情報通信機器とのコミュニケーションの齟齬に起因する甚大な事故が起きる可能性を示唆している。よって、将来予想される事故を未然に防ぎ、ヒトと情報通信機器との真の調和を実現するためには、ヒトの知覚・認知内容に倣ったアルゴリズムを開発しなければならない。

こうした現状を受けて、脳情報通信融合研究センターでは、心理行動実験及びfMRI (functional magnetic resonance imaging: 磁気共鳴映像法) やMEG (magnetoencephalography: 脳磁図法) による脳機能イメージング技術を駆使して、ヒトの脳の情報処理機構の解明と応用を目指した研究を遂行している。これ

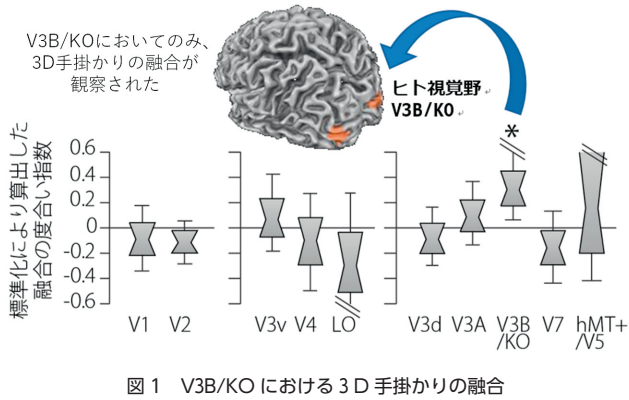


図1 V3B/KOにおける3D手掛かりの融合

らのうち、特に本稿では、視覚と運動を手掛かりに、脳の情報処理視情報処理メカニズム解明を目指す著者らの研究を紹介しながら、その成果の将来的な産業応用への可能性について論じたい。

## 2 ヒトの脳の視覚手掛かり統合メカニズム —立体視に着目して—

### 2.1 3D視を実現する様々な手掛かりのヒト脳内統合過程

次世代映像呈示技術の1つとして3D(3次元、立体)映像呈示が話題に上ることが多くなった。私たちは普段、特別な努力をしなくとも当然のようにものを立体的に見ることができるため、3D映像技術の開発はデバイスの小型化や低価格化のみがボトルネックであり、3D視の理論自体は単純であると思われるかもしれない。しかし、ヒトがなぜ世界を立体的に知覚できるのか、その詳細な脳内情報処理機構はまだ解明されておらず、映像技術の開発は必ずしもヒトの脳の処理に合わせて最適化されていないのが実情である。例えば、バーチャル・リアリティ技術と絡んだヘッドマウントディスプレイなどの技術革新の一方で、ヘッドマウントディスプレイ着用時に感じる「3D疲れ」や「映像酔い」などの問題について、脳内の情報処理の知見に基づいた解決案はほとんど提案されていない。

私たちヒトが視対象を立体的にとらえる際、脳内では3D視の様々な手掛かり、例えば、両眼視差(左右の眼に投影される網膜像差)、陰影や運動、テクスチャのきめ、物体同士の大小関係、重なり、勾配など、をうまく統合して奥行きを推定するための計算が行われている。さらにヒトは、複数の3D視覚手掛かりが同時に与えられた場合に、それらをうまく統合して効果的(ここで「効果的」とは、手掛かりが複数存在する場合に、より細かい奥行きを判別できたり、判別速度が促進されたりすることを指す)な処理ができることが知られている。では、複数の視覚手掛かりは脳のど

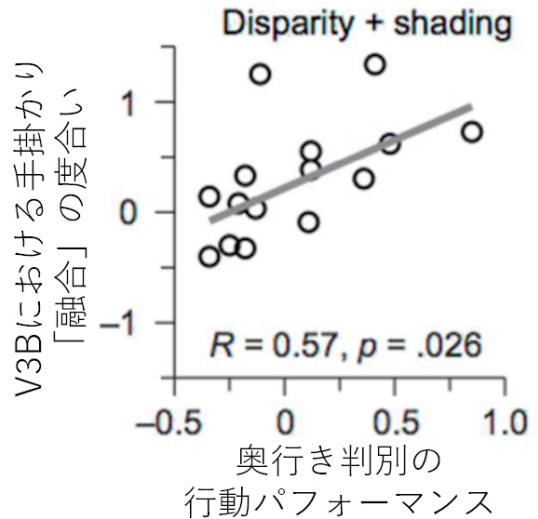


図2 3D知覚パフォーマンスとV3B/KOの活動との相関

こでどのように統合されているのだろうか。

番らは、ヒトの脳内で3D視覚情報がどのように処理・統合されて立体感の知覚へと至るのかを調べる一連のfMRI脳機能イメージング研究を行い[2]-[6]、視覚野V1、V2、V3などの初期の処理段階では2つの手掛かりが独立に処理されていることを示した。一方、脳表面上に10以上存在する視覚野のうちで唯一、V3B/KOと呼ばれる部位においてのみ、2つの手掛かりが「融合」されていることが明らかになった(図1)[4]-[6]。さらに番らは、V3B/KOの活動を調べるだけで、奥行き弁別精度の個人差をうまく予測できることを突き止めた(図2)[5]。具体的には、より細かい奥行き差が弁別できる個人ほど、2つの手掛かりが同時に与えられた際のV3B/KOのfMRI応答に明確かつ大きな変化が観察されることが明らかになった。脳には視覚に関連する多くの部位があるにもかかわらず、たった1つの小さな領野の活動を調べるだけで、その個人の奥行き判別パフォーマンスが予測できたことは驚くべき結果である。

ここで、奥行き判別精度の高低は視対象の立体感をどれだけ精緻、あるいは「リアル」に知覚しているかを示す指標といえる。よって、V3B/KOの活動を正確に定式化してバイオマーカーとして利用すれば、例えば、観察者がバーチャル・リアリティ映像に対してどれほど臨場感や立体感を感じているかを定量的に評価できるかもしれない。あるいは、V3B/KOの活動を指標とすることで、技術的には問題なく制作されたはずの3DCGに対してそれほどリアルさを感じないような場合に、臨場感を増強させるためには視対象に何が欠けているのかを同定する新しい映像評価技術の開発へとつながるかもしれない。

## 2.2 ヒトの脳内 3D 手掛かり統合機構の発達と、3D コンテンツ視聴ガイドラインへの新たな提言へ向けて

では、V3B/KO の 3D 手掛かりの統合機構は、脳が生得的に獲得している機能なのであろうか。子どもが大人のように様々な手掛かりを統合できるようになるのは 10～12 歳頃で、長い発達過程が必要であることが知られている。その理由として、2つの仮説が考えられる。1つは、V3B/KO における 3D 手掛かり融合機能が未発達なため、融合自体ができていない可能性である。もう1つの仮説は、V3B/KO における手掛かりの融合は生得的に獲得されているが、子どもはその融合情報をうまく読み出すことができないとする仮説である。これらの仮説を検証するため、番らは 3D 画像を観察中の 6～12 歳児の fMRI 脳活動計測を行い、10.5 歳頃に V3B/KO の活動に変化が生じて 3D 手掛かりの融合が実現されることを突き止めた(図 3) [6]。すなわち、子どもが 3D 手掛かりを融合できないのは、V3B/KO の機能が未発達のためであることが示された。

この「子どもは大人と同じようには世界を「見て」いない」という結果は、子どもの学習方法を考えるうえで示唆に富む。例えば野球などのスポーツにおいて、監督が 10.5 歳未満の子どもに対して「いろいろな手掛かりを総合的に考慮して判断する」努力をするよう指示したとしても、子どもは複数の手掛かりを最適に融合できないため、大人が望むようなパフォーマンスは達成できない。また、子どもは監督の指示の意味について、言語の上では理解ができて、見えている世界が異なるため、その真の意味については理解できない可能性も考えられる。これは身体能力の差とは異なる 10.5 歳未満の子どもの能力の限界を示すものである。10.5 歳未満の子どもには「脳」の発達にならった適切

なトレーニング法を与えなければならないかもしれない。

また、この研究結果は 3D 映像やバーチャル・リアリティに代表される新しい映像呈示技術を用いた教育を子どもに与え始める時期に関しても示唆を与える。通常、偏光グラスやシャッターゴーグルなどの立体視用メガネは、6 歳未満の子どもには着用させるべきではないとされている [7]。6 歳未満の子どもは角膜、輻輳長、網膜、立体視機能、眼筋など、視覚に関わる能力が未発達のためである。しかしながら、これらの基準は全て、眼の生理学的・解剖学的な発達にのみ着目して制定されたガイドラインである。一方、番らの研究では、眼の生理学的・解剖学的な発達が終了した 6 歳以降も立体視に関わる脳機能は発達を続け、その能力が大人と同じようになるには少なくとも 10.5 歳以降であり、その発達段階を測る基準として V3B/KO の活動を計測すればよいことも明らかにしている。よって、もし V3B/KO の活動を定式化できれば、3D コンテンツの安全視聴ガイドラインに新たな提言ができるだろう。あるいは、V3B/KO の活動を見ながら、バーチャル・リアリティ教育を積極的に早期に導入することで、子どもの発達を促進し、10.5 歳未満の時点で大人と同じような立体視機能を獲得させるような教育も可能となるかもしれない。

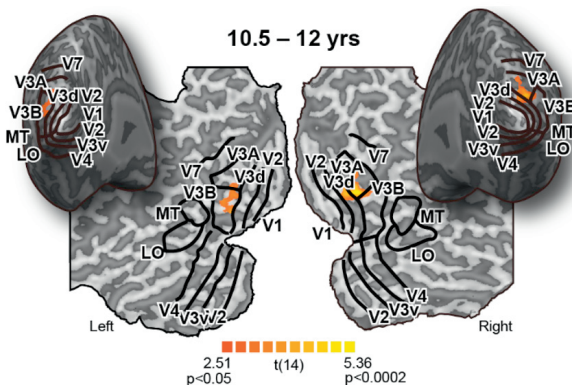
以上の項では 3D 視覚手掛かりに着目し、脳情報の統合過程を調べた研究を紹介した。ではここで、ヒトの脳は眼から入力された 3D 視覚情報を何から何まで全て処理するような完全に受動的な処理機構なのであろうか。現実問題として、全ての情報を処理しているのは情報量が爆発し、処理のコストが膨大なものになってしまう。このため、ヒトの視覚システムは能動的(あるいは自動的)に視対象を絞ることで省エネかつ効率的な処理を実現している。この効率的な処理を実現する仕組みは「注意」と呼ばれる。次節では、視覚の情報処理における注意の役割について論じたい。

## 視覚ダイナミクス

### 3 ー注意メカニズムの解明ー

#### 3.1 視覚注意の不思議

私たちは、ものを「見る」とき、網膜に映るものが全て認識されるものではないことを経験的に知っている。例えば、テーブルに置かれたものを取ろうとして、手前のカップに気付かず、カップを倒してしまうことがある。カップは網膜には映っているが、カップを認識するまでの視覚情報処理のどこかの部分で、情報が弱まってしまい、認識されない(気付かない)とい



10.5歳以降になって初めて、V3B/KO における3D手掛かり融合が確認された

図 3 10.5 歳以降の子どもの脳における 3D 手掛かりの融合

うことが起こっていると考えられる。私たちの脳は、このように私たちの行動の目的に合わせて脳の情報処理に優先順位を付けている。この重要な役割を担っているのが「注意」である。注意にはいくつかの種類があるが、山岸らのグループでは、人が外界を知覚する仕組みに大きく関わる、視覚の選択的注意のメカニズムの解明に取り組んでいる。

人の目の中心は大変感度が高く、目を動かすことで欲しい情報を取得している。そのため、情報処理に優先順位を付ける注意の仕組みと目の動きは関係しており、実験的にも注意が移動した後、目が動くことが明らかになっている [8]。しかし、目の動きと注意は区別することが可能で、Posner は目を動かさずに注意だけ動かす実験パラダイムを提唱し [9]、それ以来、注意の科学的理解が進展した。山岸らの実験でも、目は固視点を見つめたまま、注意だけを四半視野のどこかに移動してもらうという課題を行った。そして各四半視野に小さなバーを提示し、その中のひとつのバーの傾きを答えてもらった。すると、注意が向いていた場所のバーの傾き (Valid 条件) は 90% 近い正答率で答えられるのに対して、注意が向いていなかった場所のバーの傾き (Invalid 条件) はほぼチャンスレベルの正答率であった (図 4)。物理的に提示している刺激は毎回同じだが、注意の状態により、同じバーの傾きの認識率が変化したのである (図 4)。注意の状態の変化により、いったいどのような脳内変化が起こっているのだろうか。

### 3.2 視覚注意の脳内メカニズム

山岸らは主に MEG を利用して注意のメカニズムを探る研究を続けている。注意の変化は時間的に早く、時間解像度の高い MEG は注意の研究に適している。

MEG 装置の中で、図 5 に示すような視覚刺激を提示し、目は固視点に向けたまま、注意を右下か、左下に向けてもらい小さな黄色いバーの傾きを答える課題

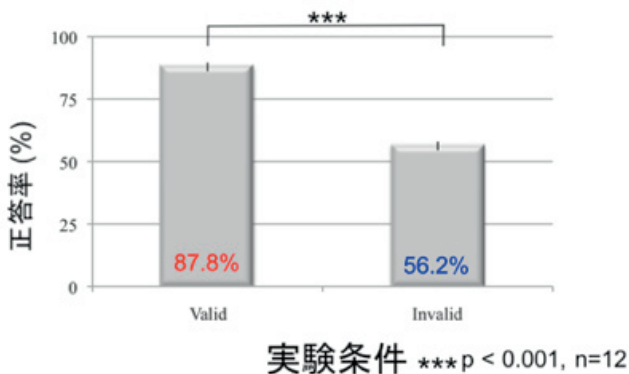


図 4 注意実験の正答率 (注意の向いていた場所と対象物の提示が同じ (Valid) または違う (Invalid) 条件による差)

を行った。右下には赤緑の縦縞の刺激を提示することで視覚野を刺激するような操作を加えた。また、注意を向ける方向を指示するキューは視覚刺激を提示する 1 秒前に提示した。得られたデータに独立成分分析 (ICA) を行い、注意が向いている時と、向いていない時の視覚野の活動を比較した結果が図 6 である。脳活動のパワーだけを見ると、条件間での差がほとんど見られなかったが (図 6 上)、同じデータに時間周波数解析を行うと、注意の場所を変化させる 1 秒間の 10 ヘルツ前後の活動 ( $\alpha$  波) が大きく違うことが明らかになった (図 6 下、白い点線部分) [10]。

注意が向けられると視覚野の  $\alpha$  波の非同期性が高まる。また、この非同期性の変化が大きい人ほど、傾き判断のパフォーマンスが良いことが明らかになった [11]。このことから、視覚注意は視覚野の  $\alpha$  波の非同期性を高めることで、いつ視覚刺激が提示されても反応できるように準備をしている、そのため、この準備のレベルが高い人ほど視覚課題パフォーマンスが高い可能性が示された。

### 3.3 人の感情と視覚注意

このように私たちの知覚に大きく関わっている注意が、人の感情、特にポジティブな気分の影響を受けているということが、近年ポジティブ心理学を中心に言われ始めている。人の幸福度が高い時は、注意を向けられる範囲や視点が広がるという主張である。これまでに、この仮説を検証する実験が多く行われているが、結果は仮説を支持する者と支持しない者に分かれて明確な結論は出ていない。このひとつの原因として、実験的に人の感情を変化させる方法の違いが考えられる。音楽や画像の提示、報酬によりポジティブ感情の想起が試みられているが、これらの結果得られる感情の変化が違う可能性が考えられる。そこで山岸らは、感情を想起させるのではなく、日常生活の中で起こる自然な感情の変化、特に幸福度を記録すると同時に、注意

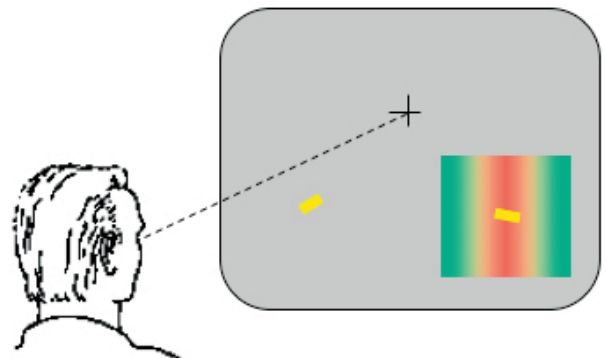


図 5 MEG による視覚注意実験 (目は動かさずに注意の向きだけ四半視野のどこかにむける)

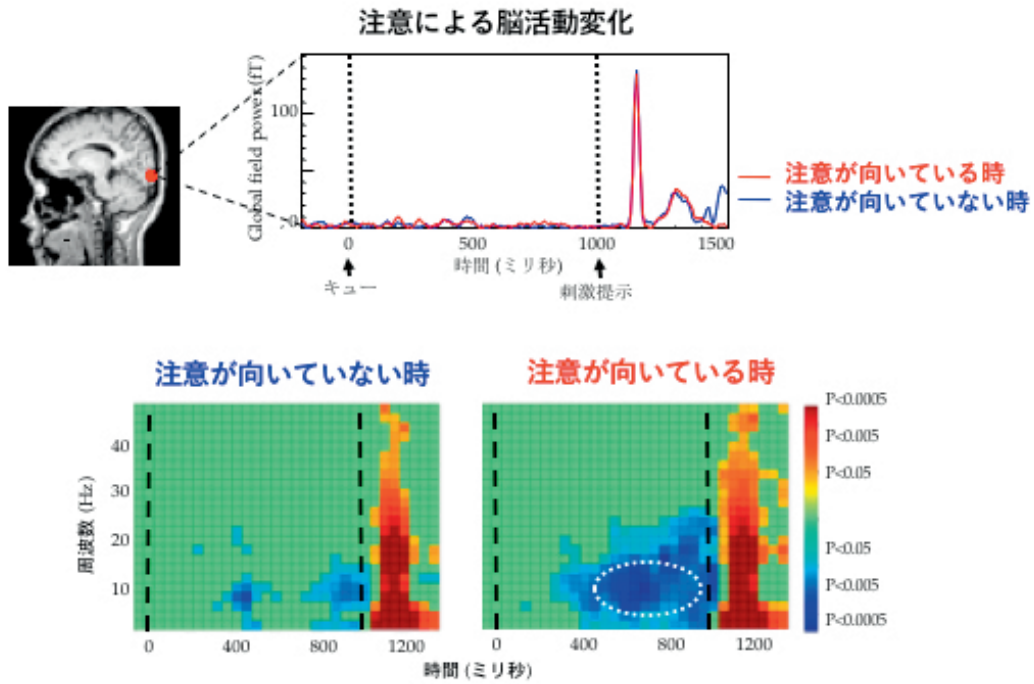


図6 MEGによる視覚注意実験の結果（注意が向いているかどうかで低次視覚野のα波の活動が変化する）

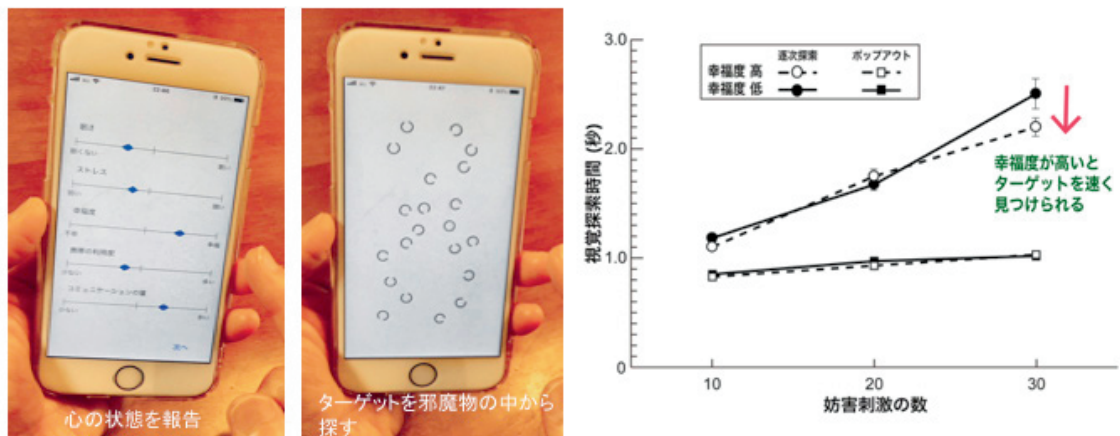


図7 スマートフォンによる幸福度と注意の関係を明らかにする実験

を必要とする視覚探索課題を遂行できる実験パラダイムを構築した(図7)。

独自のスマートフォンアプリを開発し、実験参加者に1日3回(朝、昼、夜)、5分程度の課題を2週間取り組んでもらった。この中で、参加者の幸福度をスケール上の指標の位置で記録するとともに、心理学で広く知られている Treisman の視覚探索課題 [12] の探索時間を記録した。この結果、幸福度が高いときは、ターゲットを探す時間が速いことが明らかになった [13]。これは、幸福度が高いときは、注意を向けられる広さが大きくなり、少ない数の注意シフトでターゲットを探すことが可能になった可能性を示している。

### 3.4 今後の展望

ここで紹介したように、視覚注意は私たちが物を見る仕組みに大きな役割を担っている。また、この注意に幸福度のような人の感情が影響を与えていることも明らかになってきた。これについては、どのようなメカニズムで起こっているのか、脳活動計測や心理物理学的研究で解明を目指していきたい。また、今後は、幸福度と注意機能が関係するという知見を基に、注意の状態をモニターすることで幸福度を推定し、うつなどの未病状態の推定技術の開発、さらには、注意のトレーニングによる幸福度の向上にも取り組んでいきたい。

ここまでの項では、視覚モダリティにのみ着目した研究を紹介してきたが、脳は視覚以外にも様々なモダ

リティ（聴覚、味覚、運動感覚、体性感覚など）を総動員し、外界から得られる様々な手がかりや状況を適切に統合することで、豊かな知覚・認知体験を実現している。では、異なるモダリティ間の相互作用はヒトの行為にどのように反映されているのだろうか。本稿4では、ある処理の結果がどのように事後の行為に利用されているのかを調べた研究を紹介したい。

## 4 脳の入力（視覚）情報処理と出力（運動）情報処理の相互作用

### 4.1 視覚情報処理は運動行為とは独立しているのか？

リンゴの木の下にいるとき、どのあたりに実があるのか（e.g. 視覚的注意を向ける）、どのリンゴが一番赤いのか（e.g. 視覚特徴を処理する）、を脳の精緻な情報処理によって明らかにしたとしても、それが「リンゴに手を伸ばす」という行為につながらなければ、これら入力情報の処理は価値を持たない。人が行為をする



図8 イソップのキツネと葡萄の寓話

ことでしか外界に働きかけられない以上、感覚（入力）情報処理と行為（出力）が連関するメカニズムを知ることが、脳の情報処理を知るうえで必須であり、さらには、使いやすいインターフェース・デザインのためにも重要である。

本項では、ヒトの脳の外界（視覚情報）の処理は、単に外界の特徴をそのまま反映しているだけではなく、視覚情報に伴う行為によって影響を受けていることを示す筆者らの研究を紹介する。

イソップのキツネと葡萄の寓話では、キツネは跳び上がってもなかなか届かないところにある葡萄を「熟れていないんだ!」と判断する（図8）。寓話では、このキツネの判断は負け惜しみとして描かれている。しかし、果たしてキツネは本当に負け惜しみを言っているのだろうか？跳び上がるという運動行為にかかる労力によって、実際に葡萄が「熟れていない」ように見えて、そのように判断した可能性はないだろうか？

これまで、脳への入力情報の処理である知覚判断と、脳からの出力情報の処理である運動行為はそれぞれ独立なものであると考えられてきた。つまり、一番熟れている葡萄を選び出すための入力処理（知覚判断）と、その葡萄を取ろうとする運動を作り出すための出力処理（運動行為）は独立であり、運動行為は単に知覚判断を反映するためだけのものと考えられてきた。この定説に反し、視覚情報に基づいた判断が事後の運動行為の影響を受けることを示した研究を以下に紹介する[14]。

目の前のコップを取るのと、棚の中のコップを取るのとでは、目的は同じでも運動行為をする際にかかる労力が異なる。この実験では、画面上の点の動きを判断する課題のパフォーマンスが、その判断を表出する行為にかかる労力（運動行為の負荷）によってどのように変容するのかを調査した。被験者は、画面の中心

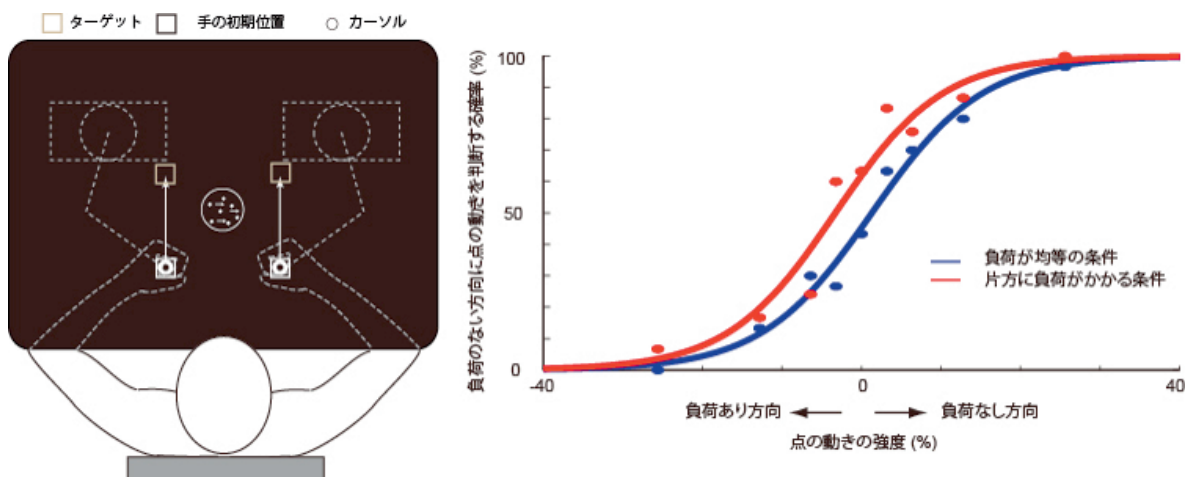


図9 実験状況(右)及び被験者の知覚判断パフォーマンス

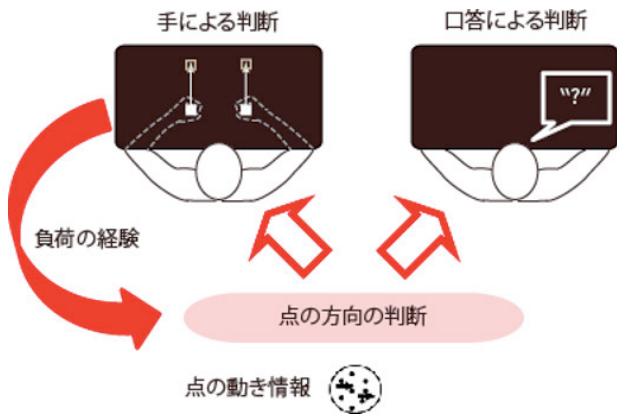


図 10 運動負荷経験の知覚判断に対する一般化

に表示される多数の点の動きが、全体として右に動いているのか、左に動いているのかを判断する課題を行った(図9左)。両手にはそれぞれハンドルを握り、右に点が動いていると判断した場合には右手のハンドルを、左に点が動いていると判断した場合には左手のハンドルを動かしてもらった。最初は右のハンドルと左のハンドルを動かすために必要な力(負荷)は同一に設定されているが、途中から片方のハンドルを動かすための負荷が徐々に増大する。負荷は時間をかけて少しずつ増大し、最終的には両手間で2倍弱ハンドルを動かすのにかかる負荷が異なる状況であったが、被験者は両手間の負荷の差に気が付かなかった。そして、両手間で負荷に差がない場合と、ある場合で、点の動きの判断のパフォーマンスを比較した。すると、被験者は運動負荷の存在に気が付いていないにもかかわらず、運動負荷の大きな方向の視覚判断を避けるようになった(図9右)。これは、運動行為にかかる負荷が、「点の動き方向」という視覚入力に知覚判断に影響を与えたことを意味する。

では、この知覚判断に影響を与えた運動負荷は、「葡萄の熟れ具合」といった見たものの知覚判断そのものを変化させたのだろうか、それとも、見たものの知覚判断は保ったまま、「つらい運動はやめる」というように運動行為の選択のみを変化させたのだろうか。この問いに答えるために、被験者は上の実験と同様に負荷に差のあるハンドルを使って、点の動きの判断を行った。そして、運動負荷の高い判断を避けるようになったときに、今度は手を使わずに口答で点の動き方向を報告してもらった。もし、点の動きそのものに対する判断が手の運動負荷によって変化したのであれば、口答で点の動きを報告する際も、手を用いた判断の際に運動負荷の高かった方の判断を避けるはずである。しかし、もし「手」で行うつらい運動を避けているだけなら、口答での報告は手への負荷による影響は受けなく、報告内容は変化しないはずである。結果は口答で

点の動きを報告してもらったときにも、にも事前に経験した手の負荷の情報が反映されることが分かった。つまり、片方の手に負荷のかかった判断を繰り返すことで、点の動きそのものに対する判断が変容したと考えられる(図10)。よって、イソップのキツネはうそをついていたわけではなく、採るのに労力のかかる葡萄が本当に「熟れていない」と判断していた可能性が高いのである。

#### 4.2 「行為のしやすさ」と軸とした環境のデザイン

本項で紹介した研究により、運動行為にかかる負荷が、私たちが想像している以上に私たちの意思決定に反映されており、さらには、私たちの外界の認識にもそれによって変容することが明らかになった。私たちの日常行為は、食べ過ぎてはいけいないチョコレートに思わず手を出したり、しなければならないはずのトレーニングをサボってしまったりと、必ずしも適応的ではない。そのような適応的な行為の運動負荷を減らし、非適応的な行為の負荷を増やすような環境をデザインできるようなインターフェースを作ること、各人にとっての適応的な行為を増やすことができ、さらにはそれによってその行為の働きかける対象の知覚も変容できる(e.g. チョコレートが魅力的でなくなる)かもしれない。

#### 謝辞

本研究は、科学研究費補助金(26870911、17 H04790、17 K20021)(番)、科学研究費補助金(25280053、26540075)(山岸)、科学研究費補助金(26119535、18 H01106)(羽倉)の補助を受けて遂行された。

#### 【参考文献】

- 1 Szegedy, C., Zaremba, W., Sutskever, I., Bruna, J., Erhan, D., Goodfellow, I., and Fergus, R. (2013). Intriguing properties of neural networks. arXiv. <http://arxiv.org/abs/1312.6199>
- 2 Ban, H. and Welchman, A.E. (2015). fMRI Analysis-by-Synthesis Reveals a Dorsal Hierarchy That Extracts Surface Slant. *Journal of Neuroscience*, 35 (27) 9823–9835.
- 3 Murphy, A., Ban, H., and Welchman, A.E. (2013). Integration of texture and disparity cues to surface slant in dorsal visual cortex. *Journal of Neurophysiology*, 110, 190–203.
- 4 Ban, H., Preston, T.J., Meeson, A., and Welchman, A.E. (2012). The integration of motion and disparity cues to depth in the dorsal visual cortex. *Nature Neuroscience*, 15(4), 636–643.
- 5 Dovencioğlu, D., Ban, H., Schofield, A.J., and Welchman, A.E. (2013). Perceptual Integration for Qualitatively Different 3-D Cues in the Human Brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(9), 1527–1541.
- 6 Dekker, T., Ban, H., van der Velde, B., Sereno, M.I., Welchman, A.E., and Narandini, M., (2015). Late development of cue integration is linked to sensory fusion in cortex. *Current Biology*, 25(21), 2856–2861.
- 7 日本3Dコンソーシアム 安全ガイドライン部会「人に優しい3D普及のための3DCガイドライン 2010年4月20日改訂版 国際ガイドライン ISO IWA3 準拠」.
- 8 Nakayama, K. and Mackeben, M. (1989). Sustained and transient

## 5 脳機能の理解と知見応用のための各種アプローチ

- components of focal visual attention. *Vision Research*, 29(11), 1631–47.
- 9 Posner, M.I., Snyder, C.R., and Davidson, B.J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109(2), 160–174.
  - 10 Yamagishi, N., Goda, N., Callan, D.E., Anderson, S.J., and Kawato, M. (2005). Attentional shifts towards an expected visual target alter the level of alpha-band oscillatory activity in the human calcarine cortex. *Cognitive Brain Research*, 25, 799–809.
  - 11 Yamagishi, N., Callan, D.E., Anderson, S.J., and Kawato, M. (2008). Attentional changes in pre-stimulus oscillatory activity within early visual cortex are predictive of human visual performance. *Brain Research*, 1197, 115–122.
  - 12 Treisman, A.M. and Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97–136.
  - 13 Maekawa, T., Anderson, S.J, de Brecht, M., and Yamagishi, N. (2018). The effect of mood state on visual search times for detecting a target in noise: An application of smartphone technology. *PLOS One*, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195865>
  - 14 Hagura N, Haggard P, and Diedrichsen J. (2017). Perceptual decisions are biased by the cost to act. *Elife*. 6. pii: e18422. <https://elifesciences.org/articles/18422>

### 番 浩志 (ばん ひろし)

脳情報通信融合研究センター  
脳情報通信融合研究室  
研究員  
博士(人間・環境学)  
脳機能イメージング、視覚心理学、視覚神経科学

### 羽倉信宏 (はぐら のぶひろ)

脳情報通信融合研究センター  
脳情報通信融合研究室  
研究員  
博士(人間・環境学)  
認知神経科学

### 山岸典子 (やまぎし のりこ)

脳情報通信融合研究センター  
脳情報通信融合研究室  
主任研究員  
Ph.D.  
認知心理学、認知神経科学、視覚、注意