

## [特別講演] 生得的な脅威感知システム — ウロコのテクスチャーがあるからヘビが怖い —

川合 伸幸<sup>†‡</sup>

<sup>†</sup> 名古屋大学情報科学研究科 〒464-8601 名古屋市千種区不老町

<sup>‡</sup> 科学技術振興機構 ERATO 岡ノ谷情動情報プロジェクト 〒466-0815 名古屋市昭和区山手通1丁目

E-mail: <sup>†‡</sup> kawai@is.nagoya-u.ac.jp

**あらまし** 私たちは、誰かが怒っている顔やヘビなどを見れば恐怖を感じる。これは経験によって学習した情動反応なのか、生得的にもっている脅威感知システムによるのだろうか。成人を対象とした実験で、ヘビやクモをすばやくみつけられることを実験的に示し、これらに対する敏感性を確認した。つづいて、3-5歳の子どもでも同じ結果が得られることを確認した。このことは経験の効果が弱いことを示している。さらに、ヘビを見たことのないサルでも同じ結果が得られることを示し、これらの対象に対する敏感さは進化的に培われた生得的なものであることを確認した。では、生まれる前からどのようにヘビを認識できることになっているのだろうか。これは脳の視床にある核が特定のパターンに反応することで恐怖センターである扁桃体を賦活させるためと考えられる。そのパターンとはヘビに特徴的なウロコであり、これが鍵となってヘビへのすばやい反応を喚起させていると考えられる。

**キーワード** 脅威感知システム, 脳, ヘビ, 生得性, 扁桃体

## An innate threat detection system in the human brain — Scale is the key to fear for snakes —

Nobuyuki KAWAI<sup>†‡</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science, Nagoya University Chikusa-ku, Furocho, Nagoya, 464-8601 Japan

<sup>‡</sup> Japan Science and Technology Agency (JST-ERATO) Okanoya Emotional Information Project (OEIP): Nagoya,

Showaku Yamatedori 1, Nagoya, 466-0815 Japan

E-mail: <sup>†‡</sup> kawai@is.nagoya-u.ac.jp

**Abstract** Humans are afraid of specific stimuli, such as angry faces and snakes. It has been a long debate on whether such fear responses are acquired through learning or an innate one. A series of our studies demonstrated that a picture of snake among those of flowers was also quickly detected by human adults. We also found that even young children of three years old detected a picture of snake among flower pictures, which suggests that humans are innately sensitive to snakes. Further, we found that macaque monkeys reared in a laboratory with no experience with snakes also detected snake pictures quickly. These results strongly suggest that snakes and/or angry face are phylogenetic fear-relevant stimuli, and that the exaggerated sensitivity to snakes by humans and monkeys have evolutionary routes. A hypothesis and our on-going studies suggest scale is the key to snake fear.

**Keyword** Threat detection system, Brain, Snakes, innate, Amygdala

### 1. はじめに

通常の視覚情報は、網膜→外側膝状体→一次視覚野という経路を通り、その後大脳皮質の異なる領域で、線分の傾きや運動、色などが処理されていく。皮質で行われるこの処理過程は意識に上るので、視覚情報によって形成される印象や判断はかならず意識することが可能であると考えがちである。しかし、意識に上らない処理によって印象が形成されることがある。本講

演では、無意識的に形成される情動反応がどのような過程によって生成されるかについて述べる。

### 2. モナ・リザの微笑

レオナルド・ダ・ヴィンチによるモナ・リザは500年にもわたって世界中の人々を魅了してきた。モデルが不明であったこと、輪郭線を使わずに書かれた技法、背景の左右の高さが異なること、あちこちに埋め込

れた黄金比、顔の左右で異なる性別が描かれていることなど、さまざまな謎がモナ・リザを魅力的にしているが、その最たるものは、「モナ・リザの微笑」と呼ばれる笑顔である。

ノーベル医学生理学賞を受賞した Hubel とともに初期視覚野の研究をすすめていた Livingstone は[1, 2]、モナ・リザは微笑んでいるように見えるが、直接口元を見たときにはそこには笑顔がないことに気づいた[3]。人の視野には詳細がはっきり認識できる中心視と、主に明暗や動きなどを検出し詳細な像の得られない周辺視がある。ヒトがモナ・リザの眼を見ているときには、周辺視で口の周りを見ることになる。そうすると、口の周りは詳細な線や輪郭よりも、空間周波数のうち低周波成分や明暗がよく見えることになる(下図左側)。そのため頬骨の陰が浮かび上がり、結果的に笑顔の輪郭が知覚される。しかし、今度はその笑顔の口元を見ようと口に視線を移すと、口を中心視で見るため詳細な輪郭を捉えられるものの明暗を認識する能力は下がるため、頬骨の陰で構成された笑顔は消えてしまう(下図右側)。



Livingstone によれば、モナ・リザはこのような人の視覚のメカニズムを利用したうえで、笑顔が浮かんで消え、消えては浮かび上がるように描かれている。そのため「モナ・リザの微笑」といわれる捉えどころのない笑顔が生まれるのだという。

口元を直接見ていないときに口が笑顔になるという状況を視線検出器によって実験的に作り出した研究が近年行われた[4]。

実験では3種類の女性の顔写真が用意された。第1の写真は目も口もずっと笑顔であった。第2の写真は、目も口も中立なままであった。第3の写真は目を見ているときには口は笑顔であったが、口を見るときには口は中立になるというものであった。つまり周辺視で見る口は笑顔であったが、中心視で見るときには口は中立の形であった。これらの3種類の条件で顔写真を見た後に、それらがどのくらい魅力的であったか、神秘的であったか、などが5件法で質問された。

どれほど神秘的と感じるかという項目では、モナ・リザ条件は、常に笑顔の写真や中立の写真よりも神秘的だと判断された。ただし、実験参加者はこの条件の写真の口元が笑顔であったことには気づいていなかった。すなわち、ぼんやりと笑顔に見えるような気がするという状況がモナ・リザに神秘的な美しさを与えているといえる。

### 3. 閾値下での表情認知

ある視覚刺激を瞬間的に提示した後にマスキング刺激を提示すると、最初の刺激が何であったか答えることができない。通常、30 ms 以下の提示では提示された刺激が何であったか意識的に報告することはできない。Dolan たちは条件づけ学習によって情動反応を引き起こすようになった刺激が、瞬間提示されることで意識されない状況でも条件反応を誘発するかを調べた[5]。条件刺激は2種類あり、1つは怒り顔で 100 dB の大きな不快音と対提示されたが、もう1つの無表情は音とは対提示されなかった。テストでは、怒り顔が 30 ms 提示された後に無表情顔が提示された。そのため実験参加者は、に対して、怒りが提示されたことに気づけなかった。しかし、恐怖や怒りに強く反応する脳内の扁桃体は、瞬間提示された怒り顔に強い反応を示した。さらに皮膚電気反応も増加した。すなわち、今や不快(恐怖)の信号となった顔はほんの一瞬提示されるだけでも、恐怖のセンターである扁桃体と自律神経系の活動を増加させたが、そのこと(恐怖の信号が提示されたこと)は意識されなかった。

### 4. 情動的な表情はすばやく処理される

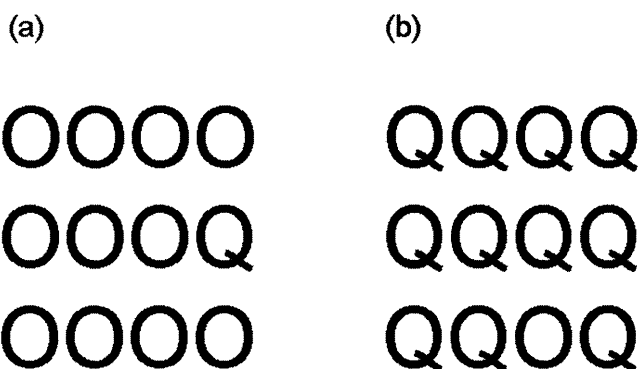
人が顔を見たときには、脳の紡錘状回という領域で強い反応が現れる。刺激の提示後の 170 ms にこの領域を発生源とした陰性のピークをもつ事象関連電位が見られる。そのことから、顔の処理はおよそ 100 ms で初期視覚野に情報が到達してから、さらに 70 ms 経て(170 ms)側頭葉の紡錘状回に到達し、そこで顔の認識がなされると考えられている。

しかし、脳波計よりも脳のより深部まで反応を計測できる脳磁図(MEG)を用いた研究で、情動的な表情の判断はさらに早くなされていることが報告されている[6]。幸福顔、悲しみ顔、中立顔を見たときには、これまでの研究と一致して、両側の紡錘状回から 165 ms をピークとする活動が見られた。しかし、刺激提示後 110 ms にピークをもつ活動が、幸福顔と悲しみ顔にのみ観察された。活動源を推定したところ扁桃体であった。すなわち、扁桃体は紡錘状回で「顔である」と認識する前に情動をもった顔であるという処理をしていたのである。このことは脳の情報処理においてどのよ

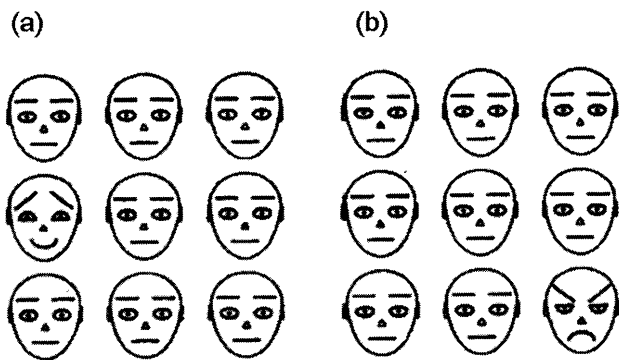
うな意味を持つのだろうか。

## 5. 脅威の対象はすばやく見つけられる

下図の右側 (b) にあるように、1つだけ異なる文字を探す視覚探索課題で、Oの文字を探すのはなかなか困難である。妨害刺激であるOの文字が増えるほどQの文字を見つけるまでの時間は長くなる。しかしQを探すときには、Oがいくつに増えても見つけるまでの時間はほとんど変わらない。どちらもQかOの1つだけが他の文字とは異なっているにもかかわらず、見つけやすさに違いが生じる。



OとQの見つけやすさの違いは、刺激がもつ特徴量に差があるため、異なるレベルで視覚情報が処理されるためである。しかし、特徴量(空間周波数成分など)が同じであっても、刺激の持つ意味の違いによって見つけやすさに違いが生じることもある。たとえば次の図は9つの顔から1つだけ異なる表情を探す実験で用いられたものであるが、左側の図(a)で1つだけ異なる表情を見つけるまでの時間と右側の図(b)で見つけるまでの時間を比べると右側の図のほうが早くなる(1)。右と左のターゲットとなる表情は、ちょうど左右と口の上下を反転させて作成されているので、特徴量(傾き具合や線分の長さ)は等しい。



これまでの行動を指標とした心理学の実験では、ヘビや怒り顔はすばやく見つけられることが示されてきた[7, 8, 9, 10]。柴崎・川合(2011)は、大学生を対象

として危険な動物は早く見つけられるかを調べた[8]。ヘビ・クモを恐怖関連刺激、花とキノコを中性刺激とし、コンピュータ・スクリーン上に、4枚か9枚の写真を並べて提示した。写真の中の1枚だけが恐怖関連刺激(ヘビかクモの写真)でそれ以外は中性刺激である条件と、その逆の条件(中性刺激が1枚で、それ以外は恐怖関連刺激)を比較した。その結果、1枚の恐怖関連刺激を見つけるほうが、その逆の条件よりも早かった。また、恐怖刺激が1枚しかない条件では、中性刺激が残り3枚でも8枚でも検出までの時間は変わらなかった。

動物は他のモノに比べて見つけられやすいといわれる。ヘビやクモと花・キノコの違いはそのことを反映している可能性がある。そこで、花やキノコの代わりに危険でない動物(コアラ・トリ)に変えて実験を行ったが、やはりヘビ・クモを見つけるほうが早くなった。

脅威の対象は、通常の視覚処理経路(網膜→外側膝状体→一次視覚野)ではなく、上丘を介した経路(網膜→上丘→視床枕→扁桃体)によって情報が扁桃体に伝えられるので、検出速度が早くなると考えられている。視床からの情報がすばやく恐怖の中枢である扁桃体を活性化させ、そこから視床下部と脳幹へとつながる防御反応が、感覚皮質を経由して伝えられるより先に開始される。ただし、この経路によって伝えられる情報は早くて粗い。「ヘビだ!」と思って飛び上がると、よく見ればロープだったという例が、この経路が伝える情報の性質をよく表している。

## 6. ヘビの恐怖は生得的か?

この経路によって伝えられる対象は、扁桃体を賦活させるような主に脅威を与える対象である。これには学習によって脅威の対象となったものも含まれる。したがって、生後に学習した銃口が向けられたような写真であっても、ヘビと同じようにすばやく見つけられる。

脅威の対象をすばやく見つけることには、適応的な意義がある。たとえば、ほんのわずかな時間でも早く見つけることができれば、捕食動物の攻撃、敵の襲撃から逃れることが可能になるかもしれない。

この考えをさらに発展させ、毒ヘビのいない地域に暮らすサル(ヒト)の視覚が未熟であるという事実に基づいて、サルは見つけにくいヘビを発見するために脳を大きくさせたとの大胆な仮説が提唱されている[11]。果実食への適応として霊長類の脳が大きくという従来の考えとは大きく異なるが、高い樹上で暮らしていた霊長類にはヘビしか天敵がいなかったことなどを考えると、一定の説得力がある。

もしこの考えが正しいならば、ヒトやサルは生得的にヘビを怖がるはずである。しかし、野生のサルはヘビを恐れるが、実験室で育ったサルはヘビを恐れない。そのため、ヘビに対する恐怖が生得的であるかは心理学の領域で長年議論されてきた。実験室で生まれ育ったサルは、そのままではあまりヘビを恐れないが、他のサルがヘビを恐れている様子をビデオで見せると、それ以降はかならずヘビを怖れるようになる。したがって、野生のサルがヘビを怖れるのは、同種の他個体がヘビを恐れているのを見たことによる代理学習の結果であると長らく考えられてきた。

同じことがヒトでもいえるかもしれない。世界中の神話でヘビが禍々しいものとして語られている。銃で撃たれたことがないのに、銃口を突きつけられると怖いように、噛まれたことがないのにヘビが怖れるのは、神話や言い伝えを介した代理学習である可能性もある。

そこで、ヒトの子どもを対象とした実験を行った[7, 9]。基本的には成人と同じ方法で、花とヘビの写真を用いて9枚の写真から1枚だけ仲間はずれの写真を探すという課題であった。その結果、すでに3歳で、ヘビを見つけ出すほうが花を見つけ出すよりも早かった。これらのことは、すでに幼少期でヘビに対して敏感に反応することを示している。この結果は海外で行われた同様の研究と一致している[12]。これらのことは、ヘビに対する恐怖が生得的であることを示唆するが、それでも3歳では、アニメや童話を通じて、ヘビが恐ろしいものであることを学習した可能性が十分に考えられる。

## 7. ヘビを見たことのないサルのヘビに対する反応

そこで、研究所の中で生まれ育ち、これまでに一度もヘビを見たことのないニホンザル3頭を使って実験を行った[13]。前述の通り、飼育下で生まれ育ったサルはあまりヘビを怖がらない。ただし、行動として観察される「恐怖」と、脳がシステムとして持っているヘビの姿に対する迅速な反応（敏感反応）は同じではない。実際、ヘビをまったく怖れないヒトでも、ヘビの写真の検出は早い。

ヒトの子どもの実験と同様に、花とヘビの写真を用いて実験を行った。4枚か9枚のうち1つだけ異なるカテゴリーの写真を85%以上の正答率で安定して選べるようになってから、反応時間を記録した。その結果、成人と同じように、花の写真の中に1枚だけヘビの写真がまぎれているほうが、その逆よりも早くなった。白黒写真でも同じ結果になったので、ここでも色を手がかりにしていたわけではない。

これまでに一度も動いているヘビを見たことのないサルでも、ヘビをすばやく見つけられるということは、ヘビを見つける視覚システムを生まれつき備えていることを示している。ヘビや怒り顔に対する扁桃体の活動や、それらの写真に対するすばやい検出などが類似していることや系統関係の近さを考えれば、おそらくヒトも生得的にヘビや怒り顔に対して反応するような視覚システムを有していると考えられる。

霊長類は樹上でのニッチを広げながら進化してきた。高い樹上にいるサルを捕食対象とする動物は猛禽類とヘビしかない。しかし、猛禽類は、大きな翼が邪魔で枝が密集する森の深部まで入ってこられない。したがって、脳を発達させる進化の過程で唯一脅威の対象であったのがヘビであったといわれている[11]。

ではサルの祖先は、どのように「ヘビ」を検出する仕組みを脳に組み入れたのだろうか。私たちは、ヘビが休息中の姿勢をしているより、攻撃姿勢を写真のほうが早く見つけられることを見いだしたが[7]、菱形をしたヘビのウロコがヘビの重要な特徴となっているとの考えがある。上丘から扁桃体へ視覚情報が伝えられる途中に、視床枕を経由する。この視床枕には、点滅する格子縞のパタンによく反応する神経細胞群がある[14]。格子縞のパタンは、ヘビのウロコとよく似ており、それに反応する神経細胞が、ヘビをすばやく検出するのに貢献している可能性が指摘されている[11]。

そこで視覚探索課題を用いて、ウロコのあるヘビとウロコのないヘビは同じように検出されるかを調べた。その結果、ウロコのないヘビは、恐怖に関連しない動物に比べて検出時間が早くなることはなかった。いっぽう、通常のヘビは恐怖に関連しない動物よりも統計的には有意でないものの早く検出された。このことは、ウロコの有無が扁桃体を活性化させていることを示唆している。

## 8. 恐怖反応の個人差と遺伝子の多型性

ヘビを極端に怖がる人もいれば、あまり怖がらない人は、むしろこよなく愛する人もいる。ヘビに限らず、高所や怒り顔など、脅威を与えるさまざまな刺激に対する反応には大きな個人差が存在する。なぜこのような個人差が生じるのだろうか。

他の要因もあるが、ヒトでは神経伝達物質の1つであるセロトニンの再取り込みを行うセロトニントランスポーターの遺伝子の多型性が関与しているとの説がある[15]。セロトニントランスポーター遺伝子そのものは変異しないが、そのすぐ前に位置し、遺伝子がどのくらいの頻度で発現されるか、つまりセロトニン輸送媒体がどれくらいの量を作るかを左右するプロモーター領域の「活性化配列」の長さが人によって異なる。

その長さの変化は同じ配列の繰り返し回数の違いによって生じる。22bpの繰り返ししが14回の場合と、16回の場合がある。染色体のペアの両方に長いほう（16回）の配列を持つと、セロトニン輸送遺伝子のスイッチを切る能力が低くなるので、そのような人は輸送媒体を多く持つことになり、結果としてより多くのセロトニンが脳内で輸送されることになる。脳内のセロトニン量が多いほど、不安が低くなり、恐怖に対する反応も低くなると考えられるので、このような遺伝子型を持つ人は、不安傾向が低く神経質になりにくいとされる。

実際、これらの遺伝子多型性のタイプごとに、怖れている人の顔を見せたときの反応を調べると、両方とも長い繰り返しを持つ人に比べて、一方の染色体にでも短い繰り返し配列を持つ人は、扁桃体の活動が顕著であった[16]。他にも、セロトニントランスポーターの多型性がうつ病をはじめとした不安傾向や、特定の脅威の刺激に対する反応の違いに関連しているとの報告は多い。

## 9. 虐待によって強まる恐怖反応

いわゆる怖がりや、特定の脅威の対象へ過剰なまでの反応をするのは、遺伝子の多型性によって決まってしまう生得的なものなのだろうか。

短鎖型のセロトニントランスポーター遺伝子を持つ人は、梁下野とその近傍の灰白質が約25%減少していた[17]。この梁下野は、恐怖のセンターである扁桃体が活性化すると、それを抑制すべく活性化する。すなわち、短鎖型のセロトニントランスポーター遺伝子を持つ人は脅威を感じて、なかなか抑制されないために強いストレスを感じる。

生後の経験によっても、扁桃体→梁下野→前部帯状回→扁桃体という扁桃体の活動を抑制するネットワークが弱まる事例がある。その最たるものが虐待である。特に暴力による虐待を受けたヒトは、両方とも短いセロトニントランスポーターを持つヒトのように、1) 前頭葉の眼窩前頭皮質[18]や腹内側部が縮小し、2) 脅威の対象（怒り顔）に対する感受性が高まり、3) 将来、うつ病やアルコール依存症になる傾向が高い[19]といわれている。

虐待は深刻な問題で、国内でも年々増えている。報告されているものだけでも年間で4万件以上の相談がある。虐待を受けた人は怒り顔に敏感に反応する。ある研究で、怒り顔と幸福な顔にそれぞれ少しずつノイズを混ぜて、はっきりと顔が映っているものから、ほとんど顔が判別できないものまで、さまざまなノイズが混じった写真が用意された。そして、どの程度のノイズであれば、それらの表情が識別できるかが調べられた[20]。その結果、幸福な顔に対しては、虐待を受

けた人たちも虐待経験のない人も同じ様にノイズが少なくなるにつれて識別精度が上昇した。しかし虐待を受けた人たちは、かなり多くのノイズが混じっている写真であっても怒り顔を識別できた。そのことは、虐待経験のある人は怒り顔に対して敏感で、不十分な情報からも怒り顔であることを見抜くことを示している。

このような脅威関連刺激に対する敏感さは視覚刺激に限らない。音声と表情を用いて、一方を無視し続けながら注目するほうのターゲット刺激を検出するという変形オッドボール課題において、虐待を受けた人は、怒り顔だけでなく、怒り声に対してもより強い事象関連電位(P3b)を示した[21]。これは怒り顔や声を無視しにくかったことを意味している。すなわち、視覚刺激だけでなく音声に対しても、虐待を受けた人は怒りの表出に敏感になっていることと、それが神経活動として現れることを示している。

## 10. まとめ

私たちがある対象を見て「美しい」や「怖い」と感じる理由の1つは、ヒトの視覚が微細な線分や肌理などを捉えられるからである。高細密な絵画や解像度の高い映像を見たときに、ある種の感動をおぼえる。

しかしいっぽうで、非常にぼんやりとした陰影情報や、あるパターンが私たちの情動を喚起させることもある。谷崎潤一郎が指摘したように、私たち日本人は古来より闇に浮かぶ対象や、薄明るい灯りが織りなす光りの濃淡に美を見出してきた[22]。その精神は、今も私たちの心に根ざしているはずである。あらゆる情報がデジタル化されつつある昨今、このようなことをときには思い起こすことも重要であろう。

## 11. 謝辞

本研究は、科学研究費・新学術領域研究(23119711)の援助を受けた。

## 文 献

- [1] M. S. Livingstone, and D. H. Hubel, Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form color movement and depth. *Journal of Neuroscience*, pp. 73416-73468, 1987.
- [2] M. S. Livingstone, and D. H. Hubel, Segregation of form, Color, movement and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*, Vol. 240, pp. 740-749, 1988.
- [3] M. Livingstone, Is it warm? Is it real? Or just low spatial frequency? *Science*, Vol. 290, pp. 1299, 2000.
- [4] I. Bohrn, C-C. Carbon, and F. Hutzler, Mona Lisa's smile-Perception or deception? *Psychological Science*, Vol. 21, pp. 378-380, 2010.
- [5] J. S. Morris, A. Ohman, and R. J. Dolan, Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdala. *Nature*, Vol. 393, pp. 467-470, 1998.

- [6] E. Halgren, T. Raij, K. Marinkovic, V. Jousmäki, and R. Hari, Cognitive response profile of the human fusiform face area as determined by MEG. *Cerebral Cortex*, Vol. 10, pp. 69-81, 2000.
- [7] N. Masataka, S. Hayakawa, and N. Kawai, Human young children as well as adults demonstrate 'superior' rapid snake detection when typical striking posture is displayed by the snake. *PLoS one*, Vol. 5 no. 11, pp. e15122, 2010.
- [8] 柴崎全弘, 川合伸幸, “恐怖関連刺激の視覚探索：ヘビはクモより注意を引く”, *認知科学*, 18 巻, 1 号, pp. 158-172, 2011.
- [9] S. Hayakawa, N. Kawai, and N. Masataka, The influence of color on snake detection in visual search in human children. *Scientific Reports*, Vol. 1, no. 80; DOI:10.1038/srep00080, 2011.
- [10] 川合伸幸, “ヘビが怖いのは生まれつきか？：サルやヒトはヘビをすばやく見つける”, *認知神経科学*, 13 巻 1 号, pp. 103-109, 2011.
- [11] L. Isbell, Snakes as agents of evolutionary change in primate brains. *Journal of Human Evolution*, Vol. 51, pp. 1-35, 2006.
- [12] V. LoBue, and J. S. DeLoache, Detecting the snake in the grass. *Psychological Science*, Vol. 19, pp. 284-289, 2008.
- [13] M. Shibasaki, and N. Kawai, Rapid detection of snakes by Japanese monkeys (*Macaca fuscata*): An evolutionarily predisposed visual system. *Journal of Comparative Psychology*, Vol. 123, no.2. pp. 131-135, 2009.
- [14] S. Kastner, D. H. O'Connor, M. M. Fukui, H. M. Fehd, U. Herwig, and M. A. Pinsk, Functional imaging of the human lateral geniculate nucleus and pulvinar. *Journal of Neurophysiology*, Vol. 91, pp. 438-448, 2004.
- [15] K-P. Lesch, et al., Association of anxiety-related traits with a polymorphism in the serotonin transporter gene regulatory region. *Science*, Vol. 274, pp. 1527-1531, 1996.
- [16] A. R. Hariri, V. S. Mattay, A. Tessitore, B. Kolachana, F. Fera, D. Goldman, M. F. Egan, and D. R. Weinberger, Serotonin transporter genetic variation and the response of the human amygdala. *Science*, Vol. 297, pp. 400-403, 2002.
- [17] L. Pezawas, A. Meyer-Lindenberg, E. M. Drabant, B. A. Verchinski, K. E. Munoz, B. S. Kolachana, M. F. Egan, V. S. Mattay, A. R. Hariri, and D. R. Weinberger, 5-HTTLPR polymorphism impacts human cingulate-amygdala interactions: A genetic susceptibility mechanism for depression. *Nature Neuroscience*, Vol. 8, pp. 828-834, 2005.
- [18] J. L. Hanson, M. K. Chung, B. B. Avants, E. A. Shirtcliff, J. C. Gee, R. J. Davidson, and S. D. Pollak, Early stress is associated with alterations in the orbitofrontal cortex: A tensor-based morphometry investigation of brain structure and behavioral risk. *Journal of Neuroscience*, Vol. 30, pp. 7466-7472, 2010.
- [19] G. R. Twitchell, G. L. Hanna, E. H. Cook, S. F. Stoltenberg, H. E. Fitzgerald, and R. A. Zucker, Serotonin transporter promoter polymorphism genotype is associated with behavioral disinhibition and negative affect in children of alcoholics. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, Vol. 25, pp. 953-959, 2001.
- [20] S. D. Pollak, and P. Sinha, Effects of early experience on children's recognition of facial displays of emotion. *Developmental Psychology*, Vol. 38, pp. 784-791, 2002.
- [21] J. E. Shackman, A. J. Shackman, and S. D. Pollak, Physical abuse amplifies attention threat and increases anxiety in children, *Emotion*, Vol. 7, pp. 838-852, 2007.
- [22] 川合伸幸, “能面とモナ・リザとハローキティ”, 投稿中.