

## 光計測による 心理的状态の検証

### Optical measuring of psychological state by infrared camera

中村俊 小柴満美子

Shun Nakamura, Mamiko Koshiha

東京農工大学大学院工学研究院, 東京, 〒184-8588 東京都小金井市中町 2-24-16

Tokyo University of Agriculture and Technology, 2-24-16 Naka-cho, Koganei city, Tokyo 184-8588, Japan

#### 要旨

われわれはコミュニケーションが困難な児童や高齢者の発達・生活を支援する目的で、社会性情動行動の発達を客観的に計測し、個性的な発達特性を評価するための行動学的・生理学的診断法を開発しつつある。そのためには、コミュニケーション行動を阻害しない非接触計測法の開発が必要であり、赤外線カメラの可能性に注目している。生体の放出する熱は、自律神経系に制御されているため情動を評価する手掛かりとなる。動物モデルとしてヒヨコを用い、他個体に「なじんだ」群と、他個体に対し「すくむ」群を、飼育環境を制御することにより作出した。テストケージに1羽でいる状態から、他個体と対面させる状態に変化させると、「なじみ」群・「すくみ」群に固有の行動が表出される。そのときの頭部温度変化を赤外線カメラ(TP-L:Chino)で計測し、行動変化との相関性を、主成分分析を用いて解析すると、「なじみ」群では運動量の増加に伴って温度の低下が観察された。同様に、人を対象に、ビデオを鑑賞しているときの快・不快の感情と顔面の温度が相関するかを調べたところ、温度変化により快・不快が判別された。また、咬みあわせ不全の状態で作動記憶を課す課題では、負荷がない状態に比べ鼻の温度が低下した。この結果から、赤外線カメラは、情動変化を計測する非接触計測法として有用であることが示された。

#### Abstract

We have developed non-invasive method to quantitatively measure the emotional state by infrared camera. Skin temperature is regulated by blood circulation under autonomic nervous system, thus an indicator of the autonomic system state and its higher central nervous system. We used domestic chick as an animal model of socio-emotional development. Chick reared under grouping condition with other

chicks developed social affiliation behavior faced with other chick. On the other hand, chick reared under socially isolated condition showed freezing or escaping behavior faced with other chick. We measured the chick head temperature by IR camera (TP-L,Chino) during the social affiliation test. Head temperature of grouping chick decreased when faced with other chicks and well correlated with locomotive parameter by principal component analysis, in contrast that of isolated chick did not change. As an application of IR measure to human subject, we examined the face temperature during healthy volunteer was watching the video which had been prepared based on listening the volunteer's pleasant or unpleasant objects. Pleasant, unpleasant, and conflict mood reported by the volunteer correlated with facial temperature change (nose, forehead, cheek). Furthermore, we examined the effects of occlusal disharmony on working memory and facial temperature measured by IR camera and found that the nose temperature decreased during working memory task under occlusal disharmony. These results showed the usefulness of thermo-camera as non-contact method to measure emotional state.

キーワード：赤外線カメラ，顔面温度，社会性ストレス，感情，主成分分析  
Infrared camera, face skin temperature, social stress, emotion, principal component analysis

## はじめに

身体・脳は1つのシステムであり、そのどちらか一方のみをみて機能を論ずることはできない。そもそも自己であるという意識は、その根底において身体の恒常性に関する知覚である。知覚のなかでも温かさ・触覚など体性感覚や、嗅覚・聴覚が視覚よりも早く発達する。新生児の口に指を入れると吸いつく反射は自分の指では起こらないことから体性感覚的には出生直後から自他を区別していると言える。一方、意識が感じ方を変えることもよく知られている。薬物の効能を客観的に調べるためにはプラセボが必要で、偽薬が否かは投薬者にも本人にもわからないように実施しなければならない。このように、身体・脳システムという考え方は、中国伝統医学で言うところの「心身一如」と重なることが多い。

われわれは医学的・神経科学的に未解明な精神疾患の身体・脳システムの基盤を解明し、発症を未然に防止すること、発症している場合には早期に発見して適切な治療を行い、本人とご家族の生活の質を高めることを目標に研究を行っている。精神疾患のなかでも、特に、情緒的・社会的発達とその障害に関心を持っている。というのも、人間は高度に社会的な生き物であり、他者との関係性の障害が精神疾患の中核にあるため、その病態を理解することを通して、ヒトという生き物の特質が見えてくるとされるからである。実際、複雑な社会的関係を利用し、適応するための策略を発達させる必要が淘汰条件となって脳、特に前頭連合野が大きくなるように進化したと考える研究者もいる。

精神疾患の研究が難しいのは、身体症状や脳実質の損傷の有無では診断ができず、経験を積んだ医師による観察が鑑別診断の基本になっているからである。これを打開するために中間表現型あるいは endophenotype という考えが導入され成

果を上げつつある。すなわち、精神現象を身体的基盤に近づけて理解するために、その中間に病態の一部を反映する現象を見出し、それについて研究することで、より高次の現象を解明しようとする戦略である。具体的には、画像処理技術を駆使した磁気共鳴脳画像、個人の全ゲノム・遺伝子発現パターンを解析するメガゲノムなどである。同時に重要な戦略は、経験を積んだ医師の目が観察した「おかしさ」を客観的に定量する技術の開発である。観察された「おかしさ」は身体・脳システムが表現した「何か」であるはずだ。われわれは、この「表現されたもの」を非侵襲的な方法で定量する技術の開発を行っている。非侵襲的であることは、倫理的に必要な条件だが、乳幼児を含むこどもの発達支援・研究の対象としているために、特に重要な条件である。この条件を満たす計測法として現在使えるものは、脳波計・光トポグラフィー・赤外線カメラ、それにビデオカメラなどである。なかでも赤外線カメラは、生体が放出する熱を計測するため、夜間で照明がなくても撮影が可能であり、生体機能の計測法としてさまざまな可能性をもっている装置である。

## 赤外線カメラを用いた生体機能の計測

恒温動物は体温を維持するためのさまざまな仕組みをもっている。生体におけるエネルギー生産は細胞内小器官であるミトコンドリアが担っている。ミトコンドリアは、内膜に存在する電子伝達系における酸化リン酸化によって、エネルギーの共通通貨であるATPを生産する。電子伝達系では、内膜ごしにプロトンの濃度勾配が形成され、その電気化学的ポテンシャルがATPの高エネルギーリン酸結合に変換される。熱生産は、この変換過程を阻害する脱共役因子(uncoupling protein : UCP)によって制御される。すなわち、ミトコンドリアを多く含んでいる褐色脂肪細胞では、UCP1が発現し、ミトコンドリア内膜に移行して、プロトン濃度勾配を壊し、熱に変える。脂肪酸はUCP1に結合してそのプロトンチャンネル(プロトンを通過させる小孔)の機能を充進させる。褐色脂肪細胞は、首の後ろ・肩甲骨の下部・心臓の大動脈の周囲・腎臓の周囲に局在し、そこを循環する血液を温め、全身に熱を供給している。褐色脂肪細胞の活性は $\beta 3$ 受容体を介した交感神経によって制御されている。その上位の中枢として視床下部のオレキシンニューロンが同定されている<sup>7)</sup>。寒冷になるとわれ知らず筋肉が震え、筋肉組織に蓄えられているATPを分解して発熱するが、これは、褐色脂肪細胞からの熱生産とは独立した仕組みである。視床下部前方の視索前野が寒冷シグナルによって抑制され、脱抑制を介して運動神経の活動が充進する結果である<sup>8)</sup>。

このような恒温状態は、ストレスによっても変動する。すなわち、ストレスを受けたときの体幹部温度(コア温度)の上昇(hyperthermia)が知られている<sup>6)</sup>。ラットに体が大きく攻撃的なラットと対面させるストレスをかけると、hyperthermiaが起こる。ストレスとなる相手がいなければコア温度はもとに戻る。これを1日20分、10日間繰り返す。日々、hyperthermiaが起こり、これには慣れがない。何回目でも同様な温度上昇が起こる。ところが、ラットにセロトニン受容体の選択的な抑制剤5,7-Dihydroxytryptamine (5,7-DHT)を投与しておくと、hyperthermiaの応答が増強した<sup>4)</sup>。したがって、hyperthermiaはセロトニン作動性

神経によって調整されていることがわかる<sup>11)</sup>。

情動の変化による自律神経系の活性化は、さまざまな生理的応答として計測することが可能で、感情の質を区別できる<sup>17)</sup>。例えば「怒り」の表情を見たとき、被験者の左右の中指にある第一指骨の手の掌側の温度を上昇させるが、「恐怖」や「悲しみ」では低下する。一方、心拍は、「幸福」「嫌悪」「驚き」では低下する。顔面の表面温度を赤外線カメラで計測し、情動の変化をとらえることが可能である。Mizukamiらは乳幼児が母親から離されると額の温度が低下することを報告した<sup>10)</sup>。松村らは乳幼児が「笑う」ときに、鼻の温度が低下することを報告している<sup>12)</sup>。成人では、乳幼児が「泣く」映像を見て、鼻の温度が低下した<sup>13)</sup>。目の周囲の温度変化は、嘘をついたときに上昇する<sup>9)</sup>。これらの変化は、皮膚直下を走行している血管の収縮・拡張による熱放散の変化にもとづくものと考えられている<sup>1)</sup>。鼻・額・頬などの温度変化の相関性を解析することで、より信頼性の高い感情評価法を開発できる可能性が指摘されている<sup>14)</sup>。サルでも情動の変化に伴う鼻部温度の変化が研究されていて、ビデオ映像の「怒り」を見て10秒以内に鼻の温度が低下する<sup>15)</sup>。音声刺激のみ・画像のみよりも、両方同時に提示した場合により大きな温度変化が現れる。

以上のような背景にもとづき、われわれは、他者とのコミュニケーション場面における個性的な情動変化を計測する技術として赤外線カメラを用い、動物と人間の社会性情動発達を対象に研究を行っている。以下に、その研究結果を述べる。

## ■ 家禽雛を用いた社会性情動行動発達の研究

ヒヨコは孵化直後の「刷り込み」学習により同種の個体に「なつく」。しかし、その「なつき」は安定ではなく、孵化後5日から数日、群れから離れて単独で過ごす時、他個体に対面したときに「すくみ」や逃避行動が現れる。一方、安定な「なつき」を獲得した個体は、群れから離れたときに、特有の鳴き声（distress call：ストレスが高いときに発する甲高い声）を発しながら探索行動を行う。そこで、他個体の存在・不在による情動行動の変化を赤外線カメラで計測することが可能かを検討した。

図1は、そのための予備的検討で、体幹部の温度（直腸温度として計測）と赤外線カメラで計測される体の表面温度の関連性を調べたものである。図1aは、まず固定したヒヨコの頭部温度を計測する方法を示している。図1bは、温度変化の実測例である。まず無麻酔で温度を計測し、他のヒヨコを連れてきてその鳴き声を聞かせる。ついで、麻酔をかけ、継続して温度を計測した。鳴き声を聞いていると深部温度が上昇し、これと平行して体表面温度も上昇した。麻酔が効いてくると深部温度は低下するが、表面温度も平行して低下する。体表面の温度は、表層の血管の収縮・拡張による熱放散の効果が加わってくるが、情動変化に伴い、深部温度変化を反映した表面温度がこの熱放散によりどのように微調整されているかは、さらに検討する必要がある。

ついで、覚醒状態で、自由行動をしているヒヨコについて赤外線カメラによる観察を行った。図2aは、個体の行動観察の様子を示したもので、テスト個体は、まず1羽でいるが、ついで3羽の見慣れた個体と対面する。図2bでは、この一連の行動を主成分分析によって低次元化し、2次元平面上での行動と赤外線温度

体表温度は深部体温を反映するか？  
麻酔下・覚醒下での体温変化

ニワトリ雛 ♂ P10  
麻酔: isoflurane  
温/湿度: 27.9°C/68%  
1sec 1data

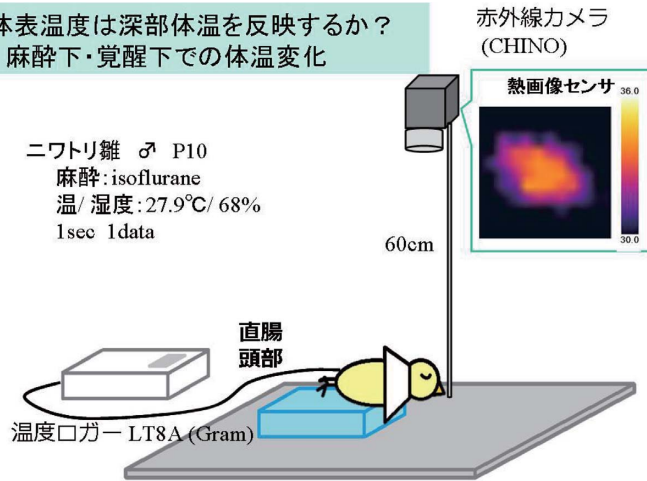


図 1 a

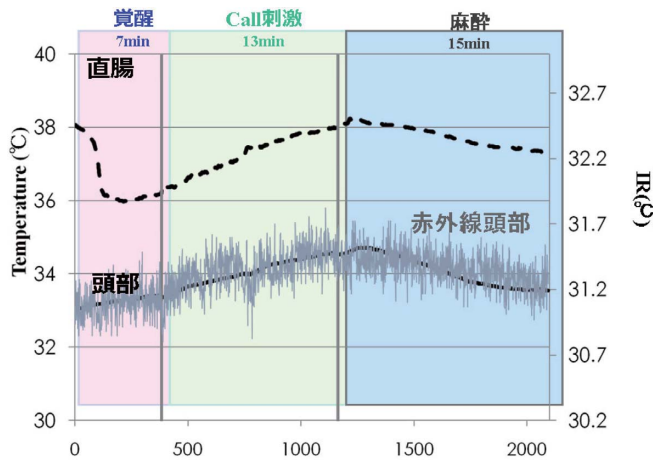


図 1 b

熱画像センサによる社会性情動の計測

ニワトリ雛 健常発達群 n=6  
発達障害群 n=6

Behavior Test (13日齢) 室温 27.7°C ± 0.26

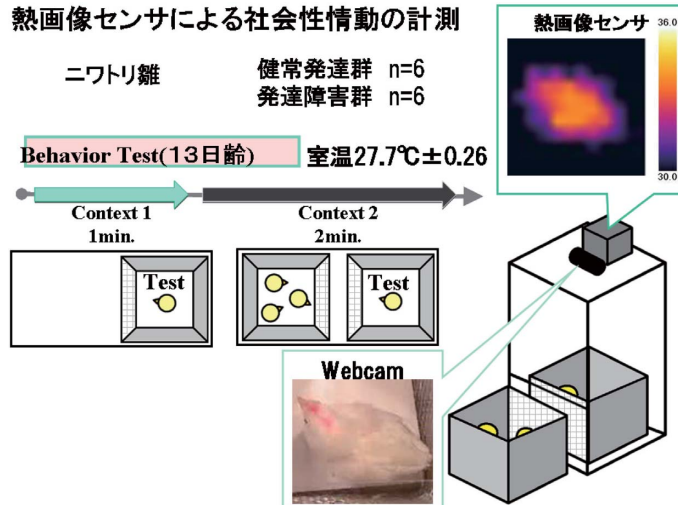


図 2 a

## 対面場面における赤外・行動因子の時系列変化

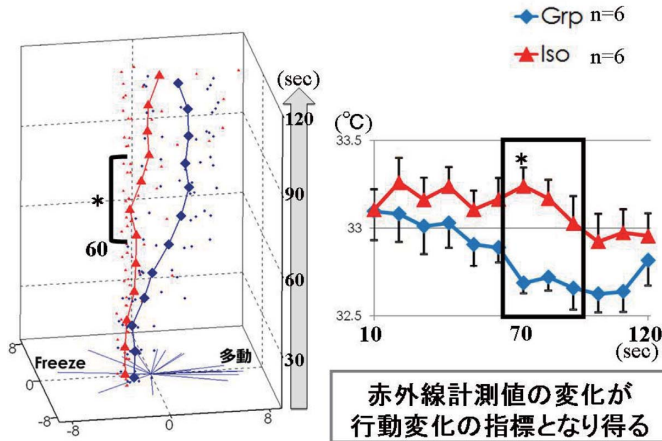


図2b

の相関性を示し、Z軸方向に時間経緯に伴う相関性の変化をプロットしたものである。他個体と対面すると、「なつき」を獲得しているテスト個体では、他個体に接近するため運動速度が増加するが、「すくむ」個体は、運動の変化がほとんどない。運動量の変化が起こる60秒から80秒の間に、赤外線カメラでとらえた頭部温度が「なつき」個体で低下していることがわかる。この温度低下が、セロトニン作動神経系によって制御されている情動変化に起因するかなど、さらに詳細な検討が必要である。

## 人間の快・不快の感情と顔面の表面温度の相関性

ビデオ映像を鑑賞しているときの快・不快の感情と、顔面の温度変化との相関性を明らかにするために、事前に被験者の好みを調査し、快画像・不快画像・矛盾した画像（映像は快だが音声は不快などの矛盾した組み合わせ）からなる30分程度のビデオを作製した。これを鑑賞している間の生理応答を、赤外線カメラ温度・脳波・心拍・表情などについて計測した（図3a）。刺激画像が提示されている間のこれらの計測値の相関性を主成分分析によって解析し、低次元化して視覚化した。図3bでは、快・不快・矛盾刺激ごとのパラメータの相関を楕円で近似して表現している。それによると、快・不快・矛盾の3群が分離している。脳波のデータは $\alpha$ 波・ $\beta$ 波など周波数ごとに分け、それぞれの周波数での感情の分離を検討した。どの周波数帯でも同様な分離が明らかである。これらの感情は再現的で（被験者に対するアンケート回答）、同様な解析で、分離のパターンもほぼ類似している（図3c）。顔面の部位は、頬・額・鼻など、どの温度についても同様な傾向であった。以上の結果から、快・不快・矛盾した気持ちなどが、顔面の温度から判別可能であることが示された<sup>5)</sup>。

## 咬みあわせ不全と作業記憶負荷による心理的状态の変化をとらえる

高齢者の入れ歯の咬みあわせが悪いと慢性的なストレスがかかり、認知症発症

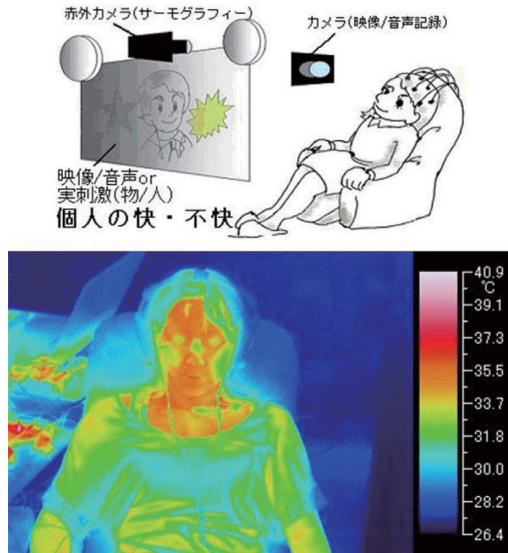


図3a

赤外線計測による快・不快の判別

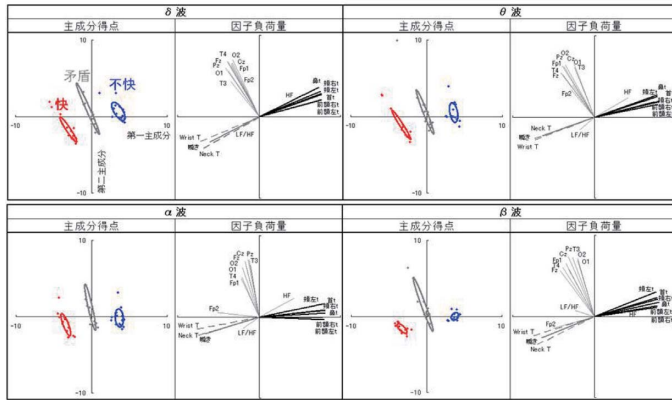


図3b

判別の再現性(同一被験者)

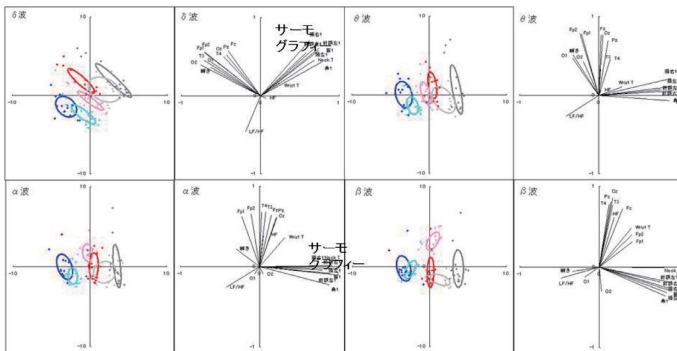
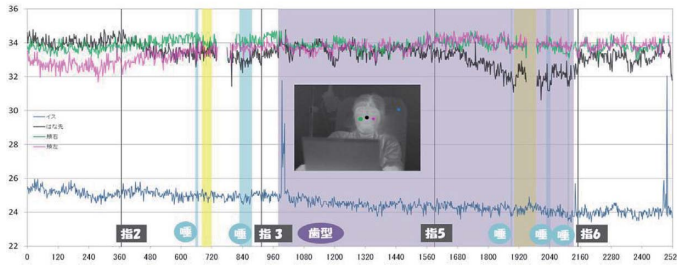


図3c

## 咬合不全で作業記憶課題遂行中の情動変化をとらえる



日大酒谷・辻井先生との共同研究

図4

のリスクが高まる可能性がある。このため、実験的に咬みあわせを調整し、不全な状態では脳機能にどのような変化が起こるかについて研究が行われた<sup>2)</sup>。この実験ではNIRSによる前頭野の血流計測を行うと同時に、赤外線カメラによっても顔面の温度変化を計測した。図4にその例を示すが、作業記憶課題を実施中に、咬みあわせ不全であると、鼻の温度が著明に低下した（黒い波線）。脳波データとの相関性など詳細な解析は今後の課題だが、赤外線カメラによる顔面温度の計測の可能性を示すものと言える。高齢者の心身の健康を維持し、社会参加を促すために、日常生活場面でも使える心的状態のモニタリング法として開発研究を進めている。

## ■ おわりに

個体の身体・脳システムは、他者との関係性および地球環境との関わりのなかで発達する。地球環境との関わりは自覚されることが少なくなっているが、生命というシステムの維持にとって根源的なものである。われわれ自身の研究により<sup>16)</sup>、幼児期を明環境で過ごしたマーモセットは思春期には多動になることが示された。また、季節性うつ病の発症メカニズムとして、日照時間が短くなることにより生体時計リズムの位相が変化し、免疫機能・内分泌機能の変調から、中枢性の機能障害に至ると推測されている。健常であれば適応できる変動であっても背景になんらかのぜい弱性を抱えている場合には、わずかの変動が引き金になって発症に至ると思われる。低気圧がマウスのうつ状態を増悪させるとの報告もある<sup>3)</sup>。人間の生産活動によって地球環境自体が大きく変化しつつあり、それが逆に、人間の生存基盤を危ういものにしていく今日、疾患の発症を予防し、症状を軽減するために、日照時間・気圧・温度・湿度などを考慮し、行動・認知的支援、運動療法、栄養補助食品、薬物などを総合的に勘案して、個人に即した形で調整するための科学的根拠と方法の開発が必要な時期に来ていると思われる。「天人相応」という中医学の発想を大切にしたい。

## 謝辞

この論文は、2011年9月3・4日の両日、東京船堀で行われた第1回日本中



医学会の学術総会中シンポジウム「中医学の科学的エビデンスを得るために：非侵襲的光計測の役割」における講演をまとめたものである。発表の機会を与えてくださった大会主催者の皆様、酒谷薫教授に感謝します。また、この研究の一部は、JST 戦略的イノベーション創出プログラム（Sイノベ）・MEXT 新学術領域研究およびJST A step（シーズ顕在化）によって支援されています。本論文に記載したオリジナルな知見は、東京農工大学工学府・生命工学専攻の脳神経工学研究室において得られたもので、以下の方々のご尽力によるものです。白川由佳・三村喬生・妹尾綾・望月大二郎・鈴木美穂・山崎和行・小澤慎平・小原早綾、狩野源太・関原仁美・田嶋広景・福嶋勇太・佐川豪・西村邦広（敬称略）。

---

## 文献

- 1) Bergersen TK : A search for arteriovenous anastomoses in human skin using ultrasound Doppler. *Acta Physiol Scand*, 1993 Feb 147(2):195-201
- 2) Tsuji T・Takeda T・Sakatani K : Effects of occlusal disharmony on working memory and prefrontal cortex activity measured by NIRS. 39th Annual Meeting of International Society on Oxygen Transport to Tissue (ISOTT2011)
- 3) Mizoguchi H・Fukaya K・Mori R・Itoh M・Funakubo M・Sato J : Lowering barometric pressure aggravates depression-like behavior in rats. *Behav Brain Res*, 2011 Mar 17 218(1):190-3, Epub 2010 Dec 3
- 4) Bouwknegt JA・Hijzen TH・van der Gugten J・et al : Absence of 5-HT(1B) receptors is associated with impaired impulse control in male 5-HT(1B) knockout mice. *Biol Psychiatry*, 2001 Apr 1 49(7):557-68
- 5) 岩渕奈穂子・小田一之・鈴木美穂・ほか：個性的感性の神経工学的評価の試み脳波，心拍，体表温度計測と感情の相関解析．電子情報通信学会技術研究報告 TL, 思考と言語，109(253)：7-10，2009年10月
- 6) Olivier B・Zethof T・Pattij T・et al : Stress-induced hyperthermia and anxiety: pharmacological validation. *Eur J Pharmacol*, 2003 Feb 28 463(1-3):117-32
- 7) Zhang W・Sunanaga J・Takahashi Y・et al : Orexin neurons are indispensable for stress-induced thermogenesis in mice. *J Physiol*, 2010 Nov 1 588(Pt 21):4117-29, Epub 2010 Aug 31
- 8) Nakamura K・Morrison SF : Central efferent pathways for cold-defensive and febrile shivering. *J Physiol*, 2011 Jul 15 589(Pt 14):3641-58, Epub 2011 May 24
- 9) Pavlidis I・Eberhardt NL・Levine JA : Seeing through the face of deception. *Nature*, 2002 Jan 3 415(6867):35
- 10) Mizukami K・Kobayashi N・Iwata H・et al : Telethermography in infant's emotional behavioural research. *Lancet*, 1987 Jul 4 2(8549):38-9
- 11) Chung KK・Martinez M・Herbert J : Central serotonin depletion modulates the behavioural, endocrine and physiological responses to repeated social stress and subsequent c-fos expression in the brains of male rats. *Neuroscience*, 1999 92(2):613-25
- 12) 中西利恵・村島ユリ・松村京子：サーモグラフィーによる乳児の情動測定に関する研究—「笑い」「泣き」表出時の情動変化—．第49回日本小児保健学会講演集，182-183，2002b
- 13) 村島ゆり・松村京子：乳児の泣き・笑い刺激が大学生の情動反応に及ぼす影響，日

- 本発達心理学会第13回大会発表論文集, 213, 2002
- 14) B R Nhan · T Chau : Infrared thermal imaging as a physiological access pathway: a study of the baseline characteristics of facial skin temperatures. *Physiol Meas*, 30 (2009) N23-N35 doi:10.1088/0967-3334/30/4/N01
- 15) Kuraoka K · Nakamura K : The use of nasal skin temperature measurements in studying emotion in macaque monkeys. *Physiol Behav*. 2011 Mar 1 102(3-4):347-55, Epub 2010 Dec 2
- 16) Senoo A · Okuya T · Sugiura Y · ほか : Effects of constant daylight exposure during early development on marmoset psychosocial behavior. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 2011 Aug 1 35(6):1493-8
- 17) Ekman P · Levenson RW · Friesen WV : Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions. *Science*, 1983 Sep 16 221(4616):1208-10

## プロフィール

中村 俊 (なかむら・しゅん)



### ● 現職

東京農工大学大学院工学研究院 教授

### ● 略歴

昭和52年 東京大学理学系研究科博士課程卒 理学博士

昭和55年 アメリカコーネル大学研究員

昭和59年 東京大学助手 医科学研究所

平成元年 東京大学助教授 医科学研究所

平成元年 国立精神・神経センター神経研究所診断研究部長

平成19年より 現職

### ● 著書

1. 中村俊 :

脳科学と感情教育

季刊「人間と教育」, 60, p94-104, 2008, 冬号.

2. 先進脳神経科学, 脳のなかの地図, 社会のなかの脳

中村俊編著, 高坂新一監修, 培風館, p3-23, 2006.

3. 中村俊 :

複雑系叢書シリーズ1. 複雑系の構造と予測, こころとことばの創発性

早稲田大学複雑系高等学術研究所編, 共立出版, p99-150, 2006.

4. 中村俊 :

脳神経工学, 生命工学への招待—基礎と応用—

松永是編著, 朝倉書店, 2002. 東京