

## 特集2

## 個体ごとのモニタリング にむけた生体情報と センサーの利用

山田 弘司 ● やまだ ひろし

酪農学園大学 循環農学類 教授

生体情報を得るためにさまざまなセンサーが使われていて、一般に生体センサーと呼ばれる。人や動物の心身の状態を知るためには、行動測定に加え、生理学的な生体情報を知ることが重要である。生体情報を測定する理想的な条件は、測定がリアルタイムで、非侵襲的で、非拘束的であることである。できる限り、自然で自由な状態で測定することによって普段の状態が分かるからである。

このような生体情報の測定は人で先行して行われてきて、代表的なものとして、心電図、脈派、皮膚温、皮膚電位、脳派、筋電図、加速度などがある。そのうち、一部は動物でもよく使われており、他のものも今後、利用できる可能性がある。以下では、これらの測定を測定内容ごとに分類して、具体的な測定内容、手法、測定上の制約と実用性の程度について紹介する。

### 1. 緊張やリラクゼーションを知る

#### 1) 心拍センサー

心拍のR波を検出し、心拍数やRR間隔の周期性や周波数の分析を行う。心拍の検出には、心電計により電位を測定する方法と心音の

測定による方法があり、一般的には心電計が用いられる。緊張やリラクゼーションといった心身の状態の変化を調べることができる。

心電計の測定方法は、RR間隔の測定だけであれば胸部や四肢に電極を2カ所貼るだけである。そのため、小型で安価な無線センサーが実用化されている。ユニオンツール社のwhs-3など、スマートフォンと連携して簡単に使用できる製品も増えている。

動物でも測定されている。ただし、電極を貼るためには、毛をそったり、かき分けたりする事前の準備に手間がかかる。また、装着部位が適切でないと、相対的に筋電位などのノイズが大きくなり測定が困難になる。筆者の経験としては、適切に装着すれば、馬で駈歩(かけあし)までは問題なく測定できる。

#### 2) 脈波センサー

細動脈の血流量の変化から脈拍や脈波高を測定する。脈拍数は実用上は心拍数と同一であり、心拍の代用とされることが多い。脈波高は、細動脈に巻き付いている筋のリラクゼーションや緊張により増減する。心拍と同様、緊張やリラクゼーション状態を調べられる。

測定方法は、指や手首、耳たぶに光センサーを装着し、赤や緑の光の反射で赤さの変化を測定することで、血流量の相対的变化を測定する。脈波センサーは安価で装着が簡便であるため、以前より運動時の脈拍を測定するためなどによく使われていた。指や耳たぶを挟むのが一般的であったが、今は腕時計型で手首に光を当てて測定するものが多くなっている。

動物の場合、毛をそって皮膚を露出しないと測定できないので、簡便とはいえない。また、毛をそって測定するならば、心電計の方が安

定して測定可能である。

### 3) 非接触皮膚温センサー

皮膚温は、細動脈の血流の熱で維持される。常温環境で人で摂氏33から34度、動物によっては1、2度それより高い。細動脈が緊張し、収縮すると皮膚温が下がり、リラックスすると上がる。精神的緊張やリラクゼーションを測定する。

測定方法は、赤外線センサーにより皮膚の放出熱量を測定する。数センチから数メートル離れたところから非接触で測定する。1点だけ測定する機器と、センサーをアレイ状に配して映像として測定する機器がある。1点だけ測定する機器は1万円程度と安価である。画像として表示するものはサーモグラフィと呼ばれ、高価であったが、スマートフォンと接続して使う、数万円のものが出てきた。たとえば、FLIR社のFlir ONE Proがある。

毛が生えていると毛の表面温度が測定されるため、皮膚温を測定するには毛をそる必要がある。そのため、動物の場合、測定は部位が限定されるなど、やや困難である。一方、逆に毛の断熱効果を調べる用途に使うことができる。

### 4) 血圧センサー

血圧は、心臓から送り出される血液の圧力である。血圧値は1拍あたりの心拍出量と末梢血管の抵抗という2つの要素で決まる。血圧は緊張やリラクゼーションを推定するもっとも良い指標である。

一般的な血圧測定は、カフで圧力をかけた脈動音の変化を測定する方法である。それ以外に、動脈圧の変化を手首の皮膚表面につけた圧センサーで測定する方法もある。この方法

では、リアルタイムに一拍ごとの動脈圧が測定できる。どの測定方法でも血圧測定には、わずかな体動でもノイズとなり、安静状態が不可欠である。そのため、動物では極めて難易度が高い。また、圧センサーによる方法は、高価な機器が必要で、体動にきわめて弱い欠点があり、利用の難易度が高い。

動物で測定するには、センサー装着する訓練や安静を保つための訓練が必要になる。従来とは違った測定方法が開発されることを期待したい。

### 5) 呼吸センサー

呼吸は意識的にコントロールすることができる一方、自律的にもコントロールされている。体調の不良で浅く、早くなるので、体調管理に利用できる。通常時にも、呼気は心拍減少、吸気は心拍増加という心拍変動を引き起こすことが知られていて、呼吸性不整脈と呼ばれている。

測定方法は、鼻の穴の直下に温度センサー(サーミスタ)を貼り、呼気と吸気の温度差で呼吸を測定する方法と、圧電センサーベルトを胸部に巻き、胸郭の拡大、縮小リズムから呼吸を測定する方法が用いられてきた。

動物でも圧センサーベルトを装着することは可能だが、拘束感が強いことやベルトがずれやすいことがあり、測定は難しい。最近は、次に紹介するミリ波による非接触型の測定が試みられている。

### 6) ミリ波による距離センサー

波長数ミリのミリ波の反射時間を測定して、物体までの距離を測ることができる。複数のセンサーから体表面までの距離を連続的に測定して、その距離の変動から呼吸や心拍を検出することができる。

測定方法の特徴は、ミリ波の送受信装置による、完全に非拘束で非侵襲的な測定が可能であることである。また、ミリ波は衣類や毛を透過するので、毛のある動物でもそのまま測定可能である。欠点として、ミリ波は直進性が高いので、体表面が送受信機に向いていなければ測定できないことがある。

人では、高齢者の心拍や呼吸の見守り機器として実用化されつつある。動物の心拍や呼吸の測定にも、きわめて有望な技術である。

## 2. 動きを知る

### 1) 加速度センサー

動きの加速度を直交する3軸に配した加速度センサーで測定し、動きの変化を測定する。活動量や動作の特徴を調べることができる。

数ミリ角のチップになって小型、無線化されている。スマートフォンでもチップに内蔵されていて、簡単に測定できる。心拍計と一体化されて製品化されている場合が多く、前述のwhs-3などがあげられる。

小型なので、動物でも装着や測定が容易である。実用例として、牛の歩行の特徴を分析して蹄病などの運動疾患の診断に使用可能である。

### 2) 筋電センサー

筋が動くときに筋繊維から電位が生じる。多数の筋の電位の集合が、数ミリボルトの振幅、数マイクロ秒の持続時間のスパイク状の電位として皮膚表面で測定できる。筋が強く収縮すると筋電位の振幅も大きくなる。この皮膚表面筋電図は、さらに波形が分類されたり、積分して活動量が算出されたり、周波数分析が行われる。そのように処理した情報から、筋疲労や表

情の推定にも用いられている。

測定方法は、皿電極2枚を1組として、筋繊維に平行する方向に貼り、その間の筋活動を測定する。表面筋電位の測定には皮膚を露出する必要があり、動物では毛をそる必要がある。また、微弱な電位を安定して測定するため、電極用のペーストを塗ってしっかり電極を固定する必要があり、動物で測定する場合は工夫が必要である。

## 3. 認知活動を知る

### 1) 脳波

脳波はシナプスの電位変化の集合である。安静リラックス時や睡眠時などに連続的に測定している特有の波形が観察される。この背景脳波に対して、周波数の成分分析などが行われる。また、外部刺激に反応して脳波は変化する。同じ刺激を繰り返し、脳波を時間軸に合わせて加算すると反応が明瞭になる。この刺激誘発電位は、認知処理を分析するのに使われる。背景脳波を分析から、覚醒レベルや、快、不快の分析が行われる。今回紹介するセンサーの中で、快、不快感情を分析できるのは脳波だけと思われる。また、刺激提示に対応した脳波を加算した誘発電位を調べ、刺激に対する認知機能を調べることができる。

測定方法は、頭皮上に皿電極を貼り電位を測定する。本格的な測定では電極を10カ所以上付ける。簡便な測定では2点だけですむ。微弱な電位を増幅するので、外部からの電磁波や、体動などによるノイズの影響が大きい。そのため、シールドルームを用いたり、安静状態で測定するといった配慮が必要になる。

動かずに測定する必要があるため、動けな

い状態での測定が一般的である。臨床応用例として、牛の水頭無脳症を背景脳波から識別した例がある。覚醒状態で非拘束の動物で測定するのは困難であるが、数カ月にわたる安静訓練によってチンパンジーで測定できた例があり、訓練次第では可能である。

## 2) 近赤外線分光光度計センサー (NIRS)

NIRSは近赤外線領域の光の反射波を分析し、物質の状態を測定する。人や動物に対しては、組織や大脳皮質の血流量の変化を測定するのに利用されている。

乳牛の乳房を対象として、乳房炎の診断に使われる例がある。大脳の働きに関しては、頭皮上から頭蓋骨を通して2cm程度の深さまで届くため、大脳皮質の血液の酸化ヘモグロビンや脱酸化ヘモグロビンの相対的変化が調べられる。大脳皮質が活発に働くと酸化ヘモグロビンの量が相対的に増える。プローブを前頭葉に配置することで、認知活動の活発さを推定することができる。

この測定方法は、体動や電磁波のノイズに比較的強いため、脳波測定よりも多様な状況で利用可能である。脳血流量を調べる多チャンネルの機器は数百万円と高価だが、2チャンネルで無線式でスマートフォンと連動する簡便なものもあり、安価に設定されている。

人で測定は簡単だが、動物では頭部にセンサーを固定する必要があるため、困難である。

## 4. センサー利用の今後の可能性

この15年間にセンサーの利用を促進する3つの変化があった。1つは、センサーの小型チップ化である。1cm角にも満たないスペースに心電計と皮膚温、3軸加速度計が実装され

るようになった。2つめは無線化である。次々と無線規格が改良され、現在多く普及しているBluetooth 4.0規格では、10m以内であれば、生体反応を取得するのに十分な速度で安定した通信が行える。

3つめはスマートフォンの普及である。センサー機器はセンサーと無線機能だけを担当し、データの受信、分析、表示、保存はスマートフォンが行う分業が行えるようになった。これらの分業により、小型、ポータブル、無線、簡便、安価といった条件がすべて満たされるようになり、センサー利用のハードルが大幅に下がった。現在、生体情報センサーは、装着するセンサーではなく、映像処理技術やレーダー技術を使った外置き型のセンサーへと開発が進んでいる。可能性として、1つのセンサー機器で多数の個体を識別して個々の生体情報を得ることも考えられている。今後も技術的進展に期待し、注目していきたい。