

特集 「深化する HAI：ヒューマンエージェントインタラクション」

# HAIのための心理学実験と生体情報

—ユーザを知ること—

Psychological Experiment and Biological Information Applied to HAI Studies  
—How Do We Know about “Users” ?—

小松 孝徳  
Takanori Komatsu

信州大学ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点  
International Young Researcher Empowerment Center, Shinshu University.  
tkomat@shinshu-u.ac.jp, <http://www.wakate-shinshu.com>

**Keywords:** psychological experiment, biological information.

## 1. はじめに

ユーザと人工物との間に円滑なインタラクションを実現しようという研究分野としては、HAIのみならずHCI (Human-Computer Interaction) やHRI (Human-Robot Interaction) といった多くの研究分野が存在しているが、HAI研究分野の大きな特色の一つは、実現したインタラクション状態を評価する際、インタラクションの設計者や人工物の設計者という視点から評価するのではなく、インタラクションの当事者であるユーザの視点からの評価を重要視する点である。そのためHAI研究を行うにあたっては、「実現したインタラクションがユーザにとって適切なものであったのか否か」という「ユーザの状態」を客観的に評価することが不可欠となる。そしてそのようなユーザの状態を客観的に評価する手法として用いられるのが、心理学実験および生体情報の計測である。

しかしながら、HAI研究に従事されている大多数の方々、情報科学や機械工学など「工学」をバックグラウンドとしており、心理学実験や生体情報の計測に関するノウハウをもつ方は少数派であると考えられる。そのため、非常に画期的で斬新なインタラクション環境を構築しておきながらも、ユーザ状態の客観的評価を適切に行うことができず、その結果として論文が不採録と判定されてしまうなどの「悲劇」が多く見られるのも事実である（著者も確実にその一人である）。その一方、以前、本誌にてチュートリアルとして連載された「AI研究における評価のための実践的 Tips」[三浦 05, 三浦 06a, 三浦 06b, 三浦 06c, 三浦 06d, 三浦 06e] は本誌の読者に非常に好評であったと耳にしている。この事実、HAI研究のみならず人工知能に関わる多くの研究分野の方々が、ユーザの状態を客観的に評価することに興味をもっている（もしくは困っている）という現状を如実に示していると考えられる。

そこで本稿においては、心理学実験や生体情報の計測

の初学者や、それらを行いたいのだが躊躇しているような方々を念頭におきながら、ユーザ状態の客観的評価をどのように行えばよいのか、またその際にどのような点に注意すべきなのかを解説していきたい。特に、いまだに初学者の一人である著者が、痛い目に遭いながら体得してきた知見を中心に解説していきたいと考えている。ただし、本稿の内容が浅学な著者の解説であるために、専門家の方が見ると不十分な点があるという可能性は否めない。その点をご了承いただいたうえで目を通していただくと幸いです。

## 2. 心理学実験を計画する際の留意点

心理学研究とは「行動と心理的過程についての実証的研究」と定義される。つまり、データの収集と処理を行い、それらのデータから理論的な推論を行うことによって初めて所望の結果を得ることができるものである。そのため、心理学実験を実施する際には、これまで心理学が築いてきた方法論をできるだけ正確に踏襲する必要がある。詳細な手順は前述の連載チュートリアルや心理学の教科書などに譲るとして、ここでは筆者を含めた心理学の非専門家が実験を計画するにあたって留意すべき点をいくつかあげていく。

### 2.1 独立変数と従属変数を明確に！

心理学の専門家や心理学実験に詳しい読者からは、「そんなことから始めるのかい…」とお叱りを受けそうだが、実験を行うにあたっては独立変数 (independent variable) と従属変数 (dependent variable) とを明確にすることが何よりも重要となる。つまり、何を操作することで、何にその影響が現れるのかという因果関係を明確にすることである。一般的に、独立変数とは「実験において組織的に変化する（操作する）変数」、また従属変数とは「実験参加者の態度や行動として現れ、測定が可能となる変数」と規定される。つまり心理学実験と

は、実験によって操作された独立変数によって、従属変数にどのような影響があるのかという因果関係を調査することにほかならない。そのために、論文中においても何が独立変数で、何が従属変数なのかを明記することは読者の理解にとっても(≡査読者の理解にとっても)重要であるといえる。

例えば、ユーザにとってインタラクションを行いやすいロボットエージェントの実現を目指して、ロボットの内部感情を顔文字にて表現する感情表現ディスプレイを開発し、その有効性を検証する実験を行うことを考える。この場合、従属変数は「ユーザにロボットの内部感情が正しく伝わったか否か」という「ユーザによる評価」となる。そのため、実験にてユーザの評価を効率的に採取するためのアンケートの作成もしくはユーザの状態を反映した行動を観察するための実験環境の設定を考慮する必要がある。その一方、独立変数は、「ロボットが感情表現ディスプレイを装備しているのか否か」という一要因(要因:ディスプレイの有無)の実験条件に相当すると考えてしまいがちである。しかし、よくよく考えてみると、「ロボットが内部感情を顔文字で表現する」というシステムは、「ロボットが内部感情をもち」、「それを顔文字で表現する」という二つの機能から成り立っている。よって、「顔文字を表現する」という機能が、ロボットの内部感情に基づいているのか否かという影響も検討しなければならない。つまり、内部感情に基づかない顔文字の表示がユーザに与える影響を検討しなければ、本システムが設計者の所望どおりにその有効性を発揮しているのかを確認することはできないのである。よって、本実験は独立変数(要因)が二つ(要因その1:ロボットが感情をもつ、要因その2:顔文字が表出される)の、二要因の実験計画として考えなければならない。ただし、顔文字が表出されない場合には、そのロボットが内部感情をもっているか否かという区別がつかないために、具体的には、以下の三つの実験条件を設定することが必要となる。

条件1・顔文字が表出されない条件

条件2・内部感情に基づいて顔文字が表出される条件

条件3・内部感情とは独立に顔文字が表出される条件

特にHAI研究にて開発されるシステムには、ユーザにとって良かれと思うような機能を設計者側がどんどん追加していくことが散見される。この場合、追加する機能が独立変数に相当するため、結果として独立変数の数が増えてしまう。そのため、そのシステムのもつ複数の機能のうち、最終的にどの機能がユーザに対して最も大きな影響を与えていたのか、ということが不明瞭になってしまうことが多い。非常に強引な例えであるが、ダイエットをしようと考えて、毎晩ジョギングをし、夕食に炭水化物を抜き、揚げ物を食べないという行動によって、最終的にダイエットに成功したとする。この場合、結局どの行動がダイエット成功というイベントに対して最も

効果があったのかはわからない。このような状況を回避し、実験計画を洗練させる意味でも、独立変数と従属変数を明確にすることは非常に有意義であるといえる。

## 2.2 被験者内か被験者間か?

実験を行ううえで重要なのが、被験者内計画にするのか被験者間計画にするのかという被験者の配置に関する問題である。被験者内計画(within-subjects design)とは「すべての実験参加者が、すべての実験条件を経験する」配置であり、被験者間計画(between-subjects design)とは「一人の実験参加者が、一つの実験条件のみを経験する」配置である。これら2種類の被験者配置の長所と短所は、まさにトレードオフの関係にあるといえる。

被験者内計画の場合、実験参加者がすべての実験条件を経験するために、被験者間計画と比べてリクルートする実験参加者の数が少なく済むという長所がある一方、実験条件を経験する順番(順序効果)や、それに伴う学習の影響(学習効果)を考慮しなければならないという問題がある。また、被験者間計画の場合、順序効果や学習効果の影響を考慮する必要がないという長所がある一方、実験条件(水準)の数が増えるにつれて実験参加者の確保が難しくなるという問題がある。

もちろんこれらの被験者配置はそれぞれの実験状況に合わせて選択するべきだが、HAI研究における被験者配置としては、被験者間計画を使う方向にて実験を計画することをお勧めする。その理由として、HAI研究においては新規に開発されたエージェントやロボットなどの実験参加者にとってなじみの薄い人工物を用いて実験を行うことが多いため、被験者内計画を採用した場合、それらのエージェントやロボットに対する第一印象の影響が順序効果や学習効果に色濃く現れると考えられるからである。被験者間計画を採用することで、実験参加者を増やす必要が出てくることになるが、順序効果や学習効果の影響をどのように扱うのかという議論を延々と行うよりは、結果として負担が軽くなると考えられる。

## 2.3 妥当な被験者数とは?

一般的には、一つの実験条件(水準)に割り振る実験参加者の数は10人以上が最低ラインだといわれている。ただし実験条件間にて人数の比較をするような場合には(例:「この実験条件では〇〇人中▽人が、問1に「はい」と答えた」のようなカイ二乗分析の対象となるような場合)、一条件につき20人は確保したいところである。

また、この一実験条件につき10人の実験参加者を最低ラインと考えたうえで実験計画を見直すことは非常に重要である。例えば、3×3の実験計画(独立要因が3種類で、それぞれの独立要因に三つの水準がある場合)を立案し、被験者間計画で実験を行うと想定した場合、実験条件は9種類となり、結果として最低でも90人の実験参加者を確保する必要が生じてしまう。もっとも、

統制条件をどのように設定するかによって、要因および水準数は減らすことも可能であるが、一般的には、独立変数が二要因以内に収まるように実験を設定することが、実験結果の解釈の容易さなどからも望ましいと考えられている。

### 3. 心理学実験を行う際の留意点

#### 3.1 アンケートは自分でつくるもの？

実験において実験参加者から得られる従属変数（データ）としては、客観的に観察される参加者の行動（例：所望の行動を参加者が見せたか否か）が最も取得が簡便で信頼性も高いとされる。その一方、アンケート調査（質問紙調査）も同様に有効なデータを取得できる方法として広く用いられている。アンケート調査として一般的な形式は、実験において参加者が感じたり考えたりするであろう事柄を想定した質問項目に対して、「そう思う＝5点」、「そう思わない＝1点」など相反する評価を選択させるリッカートスケール（likert scale）を構成することである。

そこで、ある実験を計画し、その評価のために実験参加者に記入してもらうリッカートスケールの質問項目を独自に作成し、そのデータを解析した論文を投稿したとする。そして査読が戻ってくると、「このアンケートには妥当性があるのでしょうか」などという査読者からのありがたいコメントをいただく場合がある。特に、質問項目ごとに実験条件間で有意差を検定する場合はまだしも、複数のアンケート項目をまとめて得点化し、それについて議論する場合には、アンケートの信頼性および妥当性を示さなければならない。この場合は、尺度に含まれる個々の質問項目が内的整合性をもつかどうか、つまり、目的とする特性を測定する質問項目群であるかを判定するクロンバックの $\alpha$ 係数（Cronbach's alpha）を計算し、論文中に明記することが望ましい。具体的には、 $\alpha$ 係数＝項目数/(項目数-1) × (1-(各項目の分散の合計/合計点の分散))という数式で計算されるが、この値が0.80以上の場合、作成したアンケートには妥当性があると主張できる。

ただし、最も効率的かつ安全に質問項目を決定する方法は、既存のアンケートを利用することである。幸いにも、心理測定尺度集 [堀 01a, 堀 01b] などの心理学の専門家が論文として発表し、オーソライズされた質問項目は比較的簡単に入手することができる。よって、それらの中から自分の実験設定に適用できるようなアンケートを探して利用することで、「アンケートの妥当性は？」のような問題を回避することができる。

#### 3.2 アンケートの悪用

既存のアンケート調査を使用することができないために、最終的に自らアンケートを作成することは、特に

HAI研究のような新しい研究分野では避けては通れないことが多い。その際に、留意すべき点としては、「曖昧な表現を避け具体的な記述を行う」、「一つの項目で一つのことを聞く」などがあげられるが、それらについての解説は本稿の参考文献で紹介した教科書などで確認されたい。

本解説にて留意すべき点として取り上げたいのは、キャリアオーバー効果（carry-over effects）である。キャリアオーバー効果とは、前の質問項目の回答が後の質問項目への回答に影響を与えてしまう現象のことであり、世論調査などでは意図的に(?)利用されている。例えば、「〇〇党の△△議員の違法献金問題についてどう思いますか?」という質問の後に、「〇〇党の△△議員、××党の□□議員とでは、どちらが総理大臣にふさわしいですか?」という質問が続く場合に、キャリアオーバー効果が想定される。この場合、違法献金という行為は法律違反であることを多くの人が知っているため、「〇〇党の△△議員の違法献金問題についてどう思いますか?」という質問においては、〇〇党の△△議員に対して厳しい意見が集まると予想される。その直後に、「〇〇党の△△議員、××党の□□議員とでは、どちらが総理大臣にふさわしいですか?」と尋ねられれば、多くの人は「法律を犯している人だから、総理大臣にはふさわしくない」と感じ、結果として××党の□□議員のほうが総理大臣にふさわしいという回答が得られるであろう。

この例のような極端な質問がHAI研究に関連して行われるアンケートで使用されることはまれだとは思われるものの、質問の記述の方法および提示順によっては、実験参加者を誘導することが可能なのだということを十二分に留意しておく必要がある。よって、このような疑義をもたれないように質問項目およびその順番を設定することが、実験実施者には求められるのである。

#### 3.3 因子分析やりますか？

アンケート調査においてリッカートスケールと同様に多く用いられるのが、SD（semantic differential）法である。SD法とは、ある事柄に対してユーザが抱く印象を相反する形容詞の対（例：硬い-柔らかい）を用いて測定するもので、それぞれの形容詞対に尺度をもたせ、その尺度の度合いによって、対象の意味構造を明らかにしようとするものである。そして、SD法にて得られた結果を因子分析によって解析することで、質問項目には現れないような隠れた要素を抽出することも、アンケート調査の一環としてよく行われる。しかし、HAI研究分野において因子分析に頼るような実験設定を構築するのは、あまり妥当ではないと著者は考えている。もちろん研究チーム内に因子分析の専門家などがいる場合には問題はないが、因子分析自体が初学者にとってマスターすることが非常に難しく、その結果を公表したところでその意味を深く理解できる人が多くはいないこと、大量の

実験参加者のデータが必要となることなどから、HAI研究で積極的に使用することはあまりお勧めしない。また因子名を決定する際の恣意性は、初学者が行うにはハードルが高いと思われる。

さらに、因子分析を行う際には、質問項目数の10倍の実験参加者数が必要だともいわれており、そのような大量の参加者を募ることに労力を割くよりは、シンプルかつわかりやすい実験設定を構築し、効率良く所望のデータを測定できるように尽力するべきだと著者は考えている。

### 3.4 実験者効果に注意!

「実験者効果 (experimenter effects)」とは、実際に実験を実施する人が実験参加者に及ぼす影響のことであり、一般的には、実験参加者が実験者の意図を理解してしまい、それを実現するような行動もしくはそれが実現されないような行動をわざと取ってしまうことを指す。HAI研究における心理学実験では、エージェントやインタラクション環境に対する実験参加者の「素」の反応を観察したいことが多いため、参加者に実験の意図をすぐに理解されないような実験設定および実験前インタラクションを慎重に検討する必要がある。

また、実験者効果が生じてしまう大きな要因としては、同じ研究室の学生であったり、どのような研究が行われているのかを知り得る人が、実験参加者となっている場合が多いと考えられる(例:「あの研究室って変なエージェントの開発してたよな…」のような先入観)。このような実験者効果を排除するためには、同じ所属でも異なるセクション(専攻や学部)から参加者をリクルートすることが望ましい。また予算に余裕がある場合は、人材派遣会社に依頼して実験参加者を募集するという手段も検討するべきであろう。

また、どうしても自らの研究を知り得るような人しか実験への参加が見込めない場合には、実験の意図を参加者に推定されないような実験設定を構築することが不可欠となる。それを実現する手法の一つが、二重課題法(dual task technique)である。二重課題法とは、実験参加者に対して明示的にダミーの目的を与えておきながら、実際は実験参加者には伝えていない目的にて実験を行う方法である。例えば、参加者に対して「パズルゲームを行ってもらいそのスコアを集計する」というダミータスクを参加者に明示的に与えておきながら、実験ではパズルゲーム実験を監督するエージェントに対する参加者の態度を観察する、などの実験設定がこれに該当する。ただし、いうまでもないが、「あるソフトウェアを使用している際の視線の動きを計測する」といった実験のように、たとえ実験参加者が実験意図を知ったとしても参加者の意思でコントロールできないような不随意な反応を計測する際には、二重課題のような実験設定を行う必要はない。

実験者効果を軽減するために実験者が心がけるべき行動としては、参加者がすべて同じ実験条件にて実験に参

加していることを保証するために、参加者に対して一貫した態度を示すことが重要となる。さらに、実験のインタラクションを行う際にも、その説明の文言が参加者によって変化しないように、実験者は説明原稿を手にしてそれを読みながらインタラクションを進めたり、参加者にその場で読んでもらう説明書文書を用意しておくなどの配慮が必要となる。そして、実験者は華美な服装や過激な服装を避けるなど、参加者がリラックスして実験に臨めるような配慮をすべきである。

### 3.5 データの解析

先にも述べたように、心理学実験の目的は、独立変数と従属変数が厳密に設定された実験環境から得られたデータから、所望の結果を論理的に得ることであり、この場合の所望の結果とは、従属変数が独立変数の影響を受けているか否かを明らかにすることである。しかしながら、実際に実験を行い、データを採取することができた際に、このデータをどのように解析したらよいかと多くの初学者の方が悩んでしまうと思われる。

基本的には、それぞれの実験条件にて得られた従属変数の間に、統計的な有意差があるのかどうかを調査することがデータ解析の目的となる。その際、従属変数として得られたデータが、名義尺度データなのかそれ以外のデータ(例:間隔・比率尺度データ)なのかによって、データの解析方法は大きく分けて2種類に分類される。

名義尺度データとは、例えば性別や喫煙・非喫煙などの性質や属性など、間隔や大小といった概念のないデータのことであり、一般的にはあるカテゴリーにおける人数の比較などが相当する。HAI研究における典型例としては、ある実験条件では○人の参加者がロボットの発話に応じたが、別の実験条件では×人の参加者が応じていた場合に、ロボットの発話に応じた人数について実験条件間で有意差があるかどうかを確認する場合など想定される。この場合、各条件の人数が10人以下の場合は、フィッシャーの直接確率計算(Fisher's exact probability test)、10人以上の場合は、カイ二乗法(chi-square method)によって有意差の検定を行うことが一般的である。

一方、名義尺度データ以外のデータとしては、個々の値の間に等間隔が保証されているような尺度のことで、一般的にはリッカートスケールで構成されたアンケートの得点、あるタスクに従事した時間などのデータがその代表例としてあげられる。HAI研究における典型例としては、ある実験条件ではアンケートに対する平均得点が○点、別の実験条件では×点であった場合などが想定される。この場合は、分散分析(analysis of variance: ANOVA)によってこの実験条件間における平均得点に有意差が存在するのかを確認することが一般的である。

これら直接確率計算、カイ二乗法および分散分析を実際に行う際、非常に便利なツール JavaScript-Star[JAVASCRIPT]がWeb上に公開されている。この

JavaScript-Star というツールは、上記であげた三つの解析を、Web上のフォームにデータを入力することで行うことができる非常に簡便なツールである。また、このJavaScript-Starを用いたデータ解析の方法については、JavaScript-Starの作者である田中・山際の著作である「ユーザのための教育・心理統計と実験計画法」[田中04]に詳しく書かれており、さらには、データ解析の結果をどのようにして論文にまとめるのかについても非常に丁寧に解説がされている。SPSSなどの統計専用ソフトほど多くのことはできないものの、HAI研究で必要とされるデータ解析であればJavaScript-Starとこの書籍があれば、ほとんどの場合は対応できると考えられる。

#### 4. 生体情報計測に関する留意点

心理学実験にて採取できるデータとしては、実験中の参加者の行動観察、実験前後にて採取が可能なアンケート調査などがあげられるが、これらのデータは実際にエージェントとインタラクション状態にある実験参加者からリアルタイムに採取することは難しい。そのような実験中の実験参加者の状態をリアルタイムでモニタリングするための手法として、生体情報の計測がよく用いられる。

##### 4.1 生体情報から何がわかるのか？

近年、BMI (Brain-Machine Interface) [加藤08, Schwartz06] やバイオフィードバック (Biofeedback) [Schwartz03] などの技術を人工物とユーザとのインタラクションに応用する試みがクローズアップされているため、生体情報計測に興味のある方が多いのではなかろうか。著者は以前、生体情報に関する解説論文特集を本誌にて企画したことがあるため [小松08]、「生体信号を使うとユーザのストレスなんかを計測できる?」、「ユーザの飽きとかを測定できたりするの?」などという質問を、HAI研究に携わる方々から受けたことがある。

しかし残念ながら、生体情報から理解できる情報というのは非常に限定されていると言わざるを得ない。なぜなら、計測した生体情報から理解されるユーザの精神状態などの解釈は、これまでに医学や人間工学などの分野にて蓄積されてきた数々の知見をもとにして経験的に得られてきたある種の実証的知見であるからである。よって、ユーザがどのような精神状態に置かれた場合にどのように生体情報が変化するかという因果関係は多くの研究にて示されているものの、その具体的メカニズムは未だに明らかになっていないものが多い。そのため、ユーザのストレスを測定しようとするならば、人間工学などにおいて同様のことを行った研究と同じ方法を踏襲する必要がある。これらの知見をうまく自らの実験環境に導入することができれば、生体情報を基にしたユーザの評価を行うことはHAI研究においても非常に有用である。

逆に、「新しい生体信号の指標を提案しよう」などと

いう研究を行う場合には、人間工学や医学の分野で発表されてきた数多くの研究との差異を明確にしたうえで、実証的な研究を厳密に行う必要がある。そのためHAI研究用の生体情報の指標をつくるという試みは、HAI研究というよりも人間工学的なスタンスで取り組む必要があるために、著者としてはあまりお勧めできる研究の方向ではない。

##### 4.2 生体情報計測機器

多くの生体情報はユーザの体表面および体内に生じた抵抗値や電圧などの電気信号を測定することで得られるために、電源に接続された測定機器に直結した電極をユーザの体表面に取り付けることが必要となる。よって、ユーザに対する電気的な安全確保は非常に重要な課題である。最も安全かつ簡便な方法としては、生体情報を測定するための専用の測定機器を使用することである。代表的なシステムとしては、BIOPAC SystemのMP SYSTEM [BIOPAC] や、AD InstrumentsのPowerLab [POWERLAB] などがあげられる。これらのシステムを用いることで、非常に簡便かつ効率的に、そしてユーザに対して高レベルの安全を確保したうえでの測定が行えるという大きなメリットがある。しかしその一方、これらのシステムを導入するには、100万円以上の予算が必要となることが唯一のデメリットであろう。

電気回路などを手早く実装することができる方々は、自作の回路を用いて生体情報の計測を考えているのではないだろうか。しかし先にも述べたように、ユーザへの電気的安全をどのように確保するのかといった点に特に留意しなければ、ユーザに思わぬ危害を加えたり、さらには所属機関の倫理委員会への申請も却下されてしまうという恐れがある。

このような場合、JIS規格の「T 0601-1 医用電気機器の電気的安全性」を参照し、この基準を満たすように回路を製作することが求められる。また、対象とする生体情報が皮膚電気抵抗の場合は、米国精神生理学会が推奨する勧告回路 [Fowles 81] が一般に公開されているので、できるだけこのような勧告回路などを使用することが望ましい。

##### 4.3 具体的にはどのような情報が取得できるのか？

「どのような生体情報を測定すると、どのようなユーザの情報が得られるのか」といった事柄については、さまざまな情報が存在しているものの、本解説においては初学者であっても比較的扱いやすい生体情報を二つ紹介する。

- **皮膚コンダクタンス活動 (Skin Conductance Activity):**  
汗腺の活動によって分泌される汗もしくはイオン状物質により変化する皮膚の抵抗値を計測したもの。一般的に、ユーザの緊張度や興奮度合いが上がると、抵抗値が下がるとみなされる。片方の手のひら (手掌部) に二つの電極を貼り付けることによって抵抗

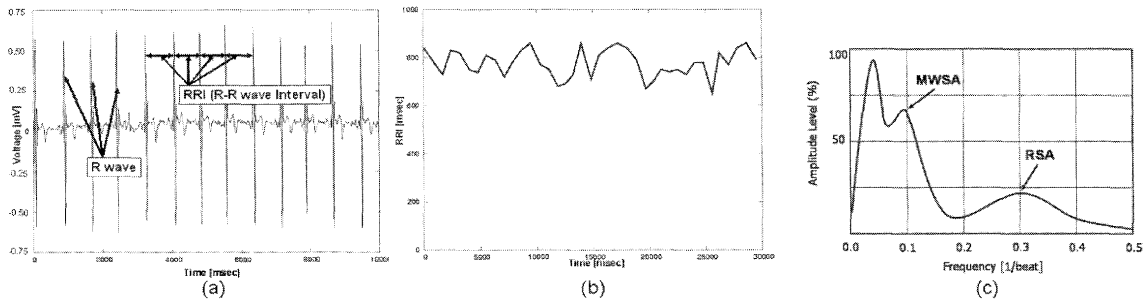


図1 (a) 心電図, (b) R-R Interval (RRI) の算出, (c) RRI の周波数解析から得られる心拍変動成分

値を測定することが多い。

- 心電図 (Electrocardiogram: ECG) : 心臓をはさんだ体表面に電極を置き, その心臓の活動を電氣的に記録したもの. この情報を基に心拍数 (Heart Rate) や心拍変動成分 (Heart Beat Variability) を得ることができる. 近年の測定技術の進歩によって, 電極は必ずしも胸部に貼り付ける必要がなくなり, 手首や足首に貼り付けることでの測定が可能となっている. 一般的には, ユーザの緊張度や興奮度合いが上がると, 心拍数が上がるとみなされている. 一方, 心拍変動成分は, 心拍数よりも外乱の影響を受けずに, 安定してユーザの状態を把握できるとされている. 具体的には, 一般的に得られる心電図から拍動に相当する R 波成分を抽出し (図 1 (a)), 隣り合う R 波の間隔時間である R-R waves Interval (RRI) を測定する (図 1 (b)). そして, この RRI を周波数解析することで得られる情報が心拍変動成分 (図 1 (c)) と呼ばれている. このうち, 周波数帯域の 0.3 Hz 付近に見られるピークを呼吸性不整脈 (Respiratory Sinus Arrhythmia: RSA), 0.1 Hz 付近に見られるピークを血圧性不整脈 (Mayer Wave Sinus Arrhythmia: MWSA) と呼び, ユーザがリラックスしている状態のときには RSA が大きい値を示し, ユーザが緊張状態のときには MWSA が大きい値を示すといわれている. また, ほぼ RSA と MWSA と同じ意味合いであるが, 0.02 ~ 0.15 Hz の周波数帯域の最大値を LF 成分, 0.15 Hz 以上の周波数帯域の最大値を HF 成分として, その割合である LF/HF が 1 よりも小さければユーザが緊張状態であり, 大きければユーザがリラックス状態であるとみなすこともある.

ほかにも HAI 研究に応用できる生体情報としては, 筋繊維を収縮させるために生じた電気信号を測定する表面筋電図 (Surface Electromyography) や, 脳活動によって脳内から生じる電気信号を測定する脳波 (Electroencephalogram) などが使用されることが多いが, これらの情報は体内で生じる微小な電気信号を測定するため, ノイズの除去および電極の貼り付け位置など, その測定のコツをつかむには非常に長い訓練時間を必

要とする. また, これらの測定においては, 実験参加者に対して完全な静止状態を要求することが多く, 参加者に対して精神的および肉体的拘束を強いるために, HAI 研究に対する導入は非常に難しいとも考えられる.

またインタラクション状態にあるユーザから生体情報を計測する際に特に留意することとしては, インタラクション状態の生体情報だけではなく, 実験前の平静状態にあるユーザの生体情報を測定しておく必要があるという点である. この平静状態はレスト状態ともいわれ, インタラクション状態の生体情報を解釈するための統制条件としての意味合いがあるために, レスト状態の生体情報の測定忘れなどがないように実験計画を立てるべきである.

## 5. おわりに

本解説においては, 心理学実験や生体情報の計測の初学者の方が実際にこれらを行う際に留意すべき点を, 著者の視点から解説したものである. 専門家の方からすると当たり前だと思っていることこそ, 実は初学者にとって怠りがちであり, かつ重要であると考え, このような解説を執筆するに至った.

心理学実験を計画する際また実際に行う際に留意すべき点としていくつか解説したが, その中でも最も重要だと著者が考えているのが, 独立変数と従属変数を明確にすることである. この二つの変数を明確にすることで, 実験計画や被験者の人数, またアンケートの準備などが自動的に決まるといっても過言ではない. 逆にこれらが不明瞭であると, 何を知りたくて実験を行ったのかさえも読者にとっては理解が難しくなる. そこで繰返しになるが, 論文に「独立変数は○○, 従属変数が▼▼」とあえて記載することを強くお勧めする.

生体情報の計測に関しては, 本解説ではあまり深いところまで解説しなかったが, 生体情報の計測によって, ユーザの内部状態がすべて把握できるとは限らないということを理解していただければ幸いである. もちろん, BMI やバイオフィードバックといった手法はユーザとエージェントとのインタラクションに応用する価値は高いと考えられるが, ユーザに対して電極の取付けなどの何らかの負担を強いることには変わらない. これらのト

レードオフを踏まえたうえで、実現したいインタラクションに必要な不可欠であれば生体情報を利用し、そうでなければ使用しない程度のスタンスがよいのではないだろうか。

また近年は、実験参加者の権利を確保するために、実験に関する倫理委員会の認定を受けたうえで心理学実験や生体情報の計測が行われることが一般的となっている。HAI研究の場合、実験や計測を受けた実験参加者に対して極度の精神的および肉体的負担を与えることはまれだとは思われるが、実験中に採取されるアンケート結果および実験風景の撮影データは、個人情報にほかならない。よって、実験実施者には、これらのデータを個人情報として外部に漏れないように厳重に扱うなどの配慮が必要とされる。簡単な心理学実験や生体情報の計測であっても、所属機関の倫理委員会のお墨付きのもとで、実験参加者の権利を尊重しながら研究活動をするのが、我々には求められているのである。

以上のように、心理学実験や生体情報計測の浅学者である著者が解説できるのは、このレベルの解説が限界である。そこで、読者の皆さんに強くお勧めしたいのが、わからないことがあれば心理学の専門家の方に対して直接質問をすることである。恥ずかしながら著者も、ことある度に心理学を専門としている方に実験計画およびデータ解析について相談し、勉強をさせていただいている。もちろんその際には、ある程度の知識を身につけてから質問をするのは当然のことである。そこで、初学者が一読すべき主な文献を以下に列挙しておくので、参考にさせていただきたい。

- 三浦麻子（著）：「AI研究における評価のための実践的 Tips (1) ~ (6)」：本誌の連載チュートリアルとして Vol. 20, No. 6 ~ Vol. 21, No. 6 にわたって掲載。心理学の専門家の方が初学者向けに実験および調査の方法を細かく解説 [三浦 05, 三浦 06a, 三浦 06b, 三浦 06c, 三浦 06d, 三浦 06e]。
- 田中敏・山際勇一郎（著）：「ユーザのための教育・心理統計と実験計画法」：JavaScript-Star の使用を前提として、どのように実験データを解析するのかを初学者向けに説明している。この本と JavaScript-Star さえあれば、ほとんどの実験データを正しく解析し、どのように論文に執筆すればよいかを理解できる [JAVASCRIPT, 田中 04]。
- 利島保・生和秀敏（編著）：「心理学のための実験マニュアル」：実際に実験を行う際に、実験者が心がけるべき点などが細かく説明されている。また、実際の実験の行い方についても、詳しい事例とともに解説されている [利島 04]。
- 宮田洋（監修）：「生理心理学の基礎—新生理心理学 1 巻」：生理心理学の知見に基づいて、さまざまな生体情報についての基礎的事項を網羅。生体情報の計測を考えている初学者には必須の書 [宮田 02]。

## ◇ 参 考 文 献 ◇

- [BIOPAC] BIOPAC 基礎医学研究用システム：[http://www.monte.co.jp/html/products/biopac/biopac\\_home.html](http://www.monte.co.jp/html/products/biopac/biopac_home.html)
- [Fowles 81] Fowles, D. C., Christie, M. J., Edelberg, R., Grings, W. W., Lykken, D. T. and Venables, P. H.: Publication recommendations for electrodermal measurements, *Psychophysiology*, Vol. 18, No. 3, pp. 232-239 (1981)
- [堀 01a] 堀 洋道 監修：心理測定尺度集 (1) —人間の内面を探る“自己・個人内過程”，サイエンス社，(2001)
- [堀 01b] 堀 洋道 監修：心理測定尺度集 (2) —人間と社会のつながりをとらえる“対人関係・価値観”，サイエンス社 (2001)
- [JAVASCRIPT-Star] JavaScript-Star: <http://www.kisnet.or.jp/nappa/software/star/>
- [加藤 08] 加藤 龍，横井浩史：適応機能を有する運動意図推定システム—高機能ハンドと日常生活支援—，人工知能学会誌，Vol. 23, No. 3, pp. 326-333 (2008)
- [小松 08] 小松孝徳，棟方 渚：ポジティブバイオフィードバックのエンタテインメント利用，人工知能学会誌，Vol. 23, No. 3, pp. 342-347 (2008)
- [三浦 05] 三浦麻子：AI研究における評価のための実践的 Tips: 研究計画から分析まで (1)，人工知能学会誌，Vol. 20, No. 6, pp. 723-730 (2005)
- [三浦 06a] 三浦麻子：AI研究における評価のための実践的 Tips: 研究計画から分析まで (2)，人工知能学会誌，Vol. 21, No. 1, pp. 102-110 (2006)
- [三浦 06b] 三浦麻子：AI研究における評価のための実践的 Tips: 研究計画から分析まで (3)，人工知能学会誌，Vol. 21, No. 2, pp. 225-233 (2006)
- [三浦 06c] 三浦麻子：AI研究における評価のための実践的 Tips: 研究計画から分析まで (4)，人工知能学会誌，Vol. 21, No. 4, pp. 480-489 (2006)
- [三浦 06d] 三浦麻子：AI研究における評価のための実践的 Tips: 研究計画から分析まで (5)，人工知能学会誌，Vol. 21, No. 5, pp. 620-629 (2006)
- [三浦 06e] 三浦麻子：AI研究における評価のための実践的 Tips: 研究計画から分析まで (6)，人工知能学会誌，Vol. 21, No. 6, pp. 739-746 (2006)
- [宮田 02] 宮田 洋 監修：生理心理学の基礎—新生理心理学，1 巻，北大路書房 (2002)
- [POWERLAB] AD Instruments PowerLab: <http://www.ad-japan.co.jp/products/powerlab/powerlab.html>
- [Schwartz 03] Schwartz, M. S. and Andrasik F., Eds.: *Biofeedback*, 3rd edition, The Guilford Press (2003)
- [Schwartz 06] Schwartz, A. B., et al.: Brain-controlled interfaces: Movement restoration with neural prosthetics, *Neuron*, Vol. 52, Issue1, 5, pp. 205-220 (2006)
- [田中 04] 田中 敏，山際勇太郎：ユーザのための教育・心理統計と実験計画法，教育出版株式会社 (2004)
- [利島 04] 利島 保，生和秀敏 編著：心理学のための実験マニュアル，北大路書房 (2004)

2009年8月16日 受理

## 著 者 紹 介



小松 孝徳 (正会員)

2003年東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了。同年、公立はこだて未来大学システム情報科学部助手，2007年信州大学ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点助教，現在に至る。人間の直感的認知特性という切り口から，人間と人工物との間のインタラクションを捉える研究活動に従事。日本認知科学会，ヒューマンインタフェース学会，ACM，IEEEなどの各会員。博士（学術）。