

読書における熱中状態の定義・観測手法構築

Constructing Measures and Definition of Absorption in Reading

布山美慕*1 日高昇平*2 諏訪正樹*3
 Miho Fuyama Shohei Hidaka Masaki Suwa

*1慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科
 Graduate School of Media and Governance, Keio University

*2北陸先端科学技術大学院大学
 Japan Advanced Institute of Science and Technology

*3慶應義塾大学環境情報学部
 Faculty of Environment and information Studies, Keio University

Being absorbed and lost in a book are so impressive experiences and they can change the readers' perspective on actual lives. This study aims to construct the continuous and objective measures of absorption in reading. We recorded the video, heart rates and accelerations of bodily motions of readers. Then subjective absorption levels were evaluated from these videos, and the coefficients of variation of RR interval and fractal dimensions were calculated from the heart rates. As a results, there are significant correlations between the series of subjective absorption evaluation and certain patterns of the heart rates. These correlations suggest that the absorption states were sympathetic predominance states. We conclude that the heart rates can serve as an objective and continuous measure for understanding cognitive process involving the subjective experience of absorptions.

1. 研究の背景・目的

読書に熱中し我を忘れて本を読む経験は多くの人が持っている。たとえば食事の時間や電車の降車を忘れて、周囲の環境を棚上げしてテキストに没頭する。特に強く熱中していた際の読書体験は印象的な経験となり、読者のその後の実生活中の振る舞いや考え方を変えうる。実験的にも Green らは熱中の多寡が読者の信念の変化の度合いと相関を持つことを主張している [Green & Brock 2000]。このように、読書への熱中状態は身近な経験でありかつ認知過程として興味深い。しかしながら、読書への熱中状態がどのような状態であるのか、明確な定義や観測方法は確立されていない。

先行研究では読書への熱中状態や主観的体験は質問紙によって測定されてきた [Green & Brock 2000, 小山内 & 岡田 2011]。例えば Green らは、熱中状態を物語への感情的な没入感や周囲への注意への減少、鮮明なイメージなどとして捉え、これらを質問項目として作成し読書後に 7 件法で測定している。読者の主観的体験を質問紙によって測定する方法は有用であるが、読書体験は読者によって多様であり、研究者がトップダウンで定めた質問項目による測定には偏りがある可能性がある。また、質問紙を用いた手法では、多くとも読書前後や中断時のいくつかのタイミングでしか観測を行うことができず、読者の熱中状態の変化を連続的に測定することはできない。

以上をふまえ、本研究は読書中の熱中状態を主観的体験に合致するかたちで、しかも客観的・連続的に観測する方法の構築を目的とする。また、観測手法が確立すれば熱中状態がどのような状態か徐々に明らかになり同時にその定義も定まると考えられる。

2. 研究方法

本研究では熱中状態の客観的・連続的な観測方法を構築するために、読書中の読者の状態を記録する実験を行い、データか

ら次の分析を行う。まず主観的感覚として熱中していたか否かの主観的熱中程度合いを、読書中の典型的な動作（手や顔の動き、姿勢等）や読んでいた内容から被験者が連続的に評価する。次に客観的・連続的に観測可能な読者の生理的指標を観測し、主観的熱中程度合いとの相関を分析する。有意な相関があればこの指標が熱中状態を反映する客観的・連続的な指標となる。

読書を行う実験条件は、被験者が長編作品を自室で読む自然な読書状態に近い条件とする。自室での自然な読書に近づける理由は、熱中状態が微妙な条件で変化する可能性があり、実験室実験では熱中できない恐れがあるためである。長編作品を選ぶ理由は、熱中状態の変化を測定するためにはある程度長さのある物語を読む必要があるためである。

具体的に取得するデータは、読者の映像、心拍数、動作量をあらゆる加速度である。映像データからは動作を書き出し、各動作に対して熱中程度合いの評価を 5 件法で行い主観的熱中程度合いの連続的データを作成する。評価は読書行為への集中や感情の高まりなどを推定して行う。また、客観的データとしては心拍数を分析して 2 つの値を算出し、主観的熱中程度合いの評価値との相関を調べる。加速度データは分析の補助に用いる。

心拍数の分析は線形分析と非線形分析、2 つの方法を用いる。線形分析としては、心拍 R-R 間隔のゆらぎをあらゆる心拍 R-R 間隔変動係数 (Coefficient of Variation for the R-R interval, 以下 CVR-R とする) を算出する。CVR-R が大きいほど副交感神経優位でリラックス状態にあるとされており、読者のリラックス/緊張状態の変化がわかる。一方、非線形分析としてはフラクタル次元の推定を行う。先の線形分析では 25 秒以上の長周期のゆらぎは解釈できない。しかし熱中状態の変化は 25 秒以上の長周期にわたる可能性がある。非線形分析では、長周期のゆらぎを含む、線形分析では見出せない心拍データが有する生体情報の分析を目的とする。具体的には日高ら [Hidaka & Kashyap 2013] の計算手法を用いて、心拍 R-R 間隔のフラクタル次元推定を行う。生体が有するカオスの重要性についてはホメオカオスなどとして主張されており [金子 & 津田 1996]、先の長周期成分を含む心拍のカオス性も多くの先行研究で確認されている [青柳 & 山本 2005]。ただし、

フラクタル次元は、一般的に系の複雑性を示すと解釈できるが、読書中の心拍時系列の次元の変化がどのような生体活動の複雑性を示しているのかは不明である。日高らの計算方法を用いれば、次元の時系列データを得ることができるので、このデータと他の取得データとの相関から解釈を行う。

また、本研究は被験者を第1著者1名とする。この理由は、まず、熱中状態を経験していた被験者本人が客観的データの分析や相関の考察を行うことで、必要となる客観データや適した分析手法に気がつくことができ、熱中状態という客観的には捉えにくい状態を反映した観測手法の確立が容易になることである。つまり、構成的に観測手法を確立する上では、被験者本人の主観と分析者の客観を1人が兼ねることが有効である。これは一般に、人に起こる現象を対象とし必要な測定変数が不明な研究において、研究者が被験者になることで、現象の理解に必要な要素の予想や非現実的な仮説の除外を効率的に行え、かつ研究者としての仮説生成の直観も利用できるという利点が存在することによる(1人称研究の効用については[諏訪 2013]に詳しい)。ただし、客観的データの分析自体の客観性・再現性は確保して行く。また、読書行為は人によって多様であるため、分析段階で第2、第3著者および他の研究者と議論し、第1著者に限定された熱中状態の定義・観測方法とならないように注意する。加えて被験者を第1著者とする実際的な理由として、主観的熱中程度合いの評価を被験者自身が行う必要があり、その負荷が大きいこともある。本研究によって観測手法の提示を行った後には、実験方法を工夫し著者以外の複数人を被験者とした実験によって手法の有効性確認も検討する。

3. 実験・分析方法

3.1 被験者

被験者は第1著者1名である。

3.2 読書対象

日本の現代の長編(300ページ前後)7作品を読書対象とした。芥川賞または直木賞受賞作家の作品を選んだ。

作品は次の通りである。保坂和志『季節の記憶』講談社(1996)、森絵都『永遠の出口』集英社(2003)、白石一文『ほかならぬ人へ』祥伝社(2009)、京極夏彦『書楼弔堂』集英社(2003)、天童荒太『孤独の歌声』新潮社(1994)、小川洋子『猫を抱いて象と泳ぐ』文藝春秋(2009)、藤野千夜『ルート225』理論者(2002)、それぞれNo1~No7と作品データの番号を付けた。

3.3 読書方法

被験者の自室で、普段読書をしているのと同じ環境(机、椅子)で読書を行った。飲食を含む休憩も自由にとり行動は制限しなかった。ただし、1日に1つの作品を午前中から読み始め昼過ぎに読み終わるようにした。これは心拍数の概日周期の影響を少なくするためである。

3.4 データ取得方法

3.4.1 読書映像

小型カメラ2台をそれぞれ被験者の左前と右前に設置した。カメラは広角120度で被験者が向きを変えるなど多少動いても被験者の上半身を撮影できた。また近距離から撮影しており被験者の表情も確認できた。カメラは小型のため被験者が読書中に気になることはなく、自然な読書を妨げることはなかった。

3.4.2 心拍 R-R 間隔

Polar 社製コードレス心拍計 RS800CX を用いて心拍 R-R 間隔を測定した。胸に巻き付けたバンド上に小型センサを設置

して測定するものであり、被験者が読書中に気になることはなく、自然な読書を妨げることはなかった。

3.4.3 加速度

ユニオンツール社製ウェアラブルセンサ myBeat を用いて加速度を測定した。測定装置は左胸に付け、被験者が読書中に気になることはなく、自然な読書を妨げることはなかった。

3.5 分析方法

3.5.1 読書映像に基づく主観的熱中程度合いの評価方法

読書中の映像をもとに、読書中各時点での主観的熱中程度合いを評価した。

まず、映像から被験者の読書中の動作を書き出した。書き出した動作は、右手、左手、足、体勢、本の状態や動きであり、例えば「右手で頬杖をつく」「前のめりになる」などである。これら動作内容を全読書期間にわたって調べ、個別場面ではなく読書中読者が行った動作内容に対して熱中程度合いの評価を(-2,-1,0,+1,+2)の5件法で行い、この評価を読書中全期間の同一の動作に適用した。点数が高いほど熱中程度が高い。評価は、動作の映っている映像とそのとき読んでいた内容を確認し、読書時の内観を思い出しながら被験者が行った。内容確認の際は捲る動作からページを特定した。例えば「右手で頬杖をつく」という動作内容の熱中程度合いを+2と評価した場合、「右手で頬杖をつく」という動作が起こっていた時点の熱中程度合いは全て+2となる。1作品で評価した動作内容は114~170種であった。表1に評価の一部抜粋を示す。この評価方法によって、読書中の各時点で熱中していたか否かの主観的評価を映像中の動作内容に関連づけて行い、主観的評価に動作内容という根拠を持たせた。この手法は熱中していたという主観的体験を完全に反映するものではないが、そもそも主観的体験を完全に外化することはできないため、現時点での妥当な評価として扱う。また、この評価は、布山らの、読む速度の安定性変化と動作内容の関係から熱中時に起こりやすい動作を調べた先行研究と齟齬の無いものとしている[布山 & 諏訪 2014]。

表 1: 動作に対する主観的熱中程度合い評価の一例

動作内容(部位, 動作)	熱中程度合い評価	動作内容(部位, 動作)	熱中程度合い評価
右手, イス, 高さ調節	-1	左手, あくびを覆う	-1
右手, カップ	-1	左手, 顔	-1
右手, ゴミ, 捨てる	-1	左手, 机	0
右手, しおり, いじる	0	左手, 胸の前	1
右手, ティッシュ	-1	左手, 首	-1
右手, 握る	0	左手, 足	-1
右手, 飲み物	-1	左手, 膝掛け	-1
右手, 頬, 頬杖	1	左手, 筆箱	-1
右手, 顔	-1	左手, 目	0
右手, 机	0	姿勢, あくび	-1
右手, 胸の前	1	姿勢, カーテン, 開ける	-1
右手, 口を覆う	1	姿勢, 椅子, 向きを変える	-2
右手, 腰	-1	姿勢, 胸, 張る	-1
右手, 左手	0	姿勢, 軽く坐り直す	-1
右手, 首	-1	姿勢, 首, 回す	-1
外乱, コンタクトがずれる	-2	姿勢, 身じろぎ	0
外乱, 救急車の音	0	視線, 右手	0
外乱, 携帯メール音	-2	視線, 時計	-1
口, 開く	1	視線, 窓の外	-1
口, 口で息をする	1	首, すくめる	1
喉, 動く	1	足, 動かす	-1

3.5.2 心拍 R-R 間隔の分析方法

心拍 R-R 間隔データは、CVR-R とフラクタル次元推定の2つの方法で分析を行った。1つめの CVR-R は心拍 R-R 間隔のゆらぎの大きさを算出する。計算式は式(1)の通りである。

$$CVR-R = \frac{(\text{心拍 } R-R \text{ 間隔 } 100 \text{ 点間標準偏差})}{(\text{心拍 } R-R \text{ 間隔 } 100 \text{ 点間平均値})} \times 100 \quad (1)$$

もう一つの指標として、日高らの提案するフラクタル次元を測定した[Hidaka & Kashyap 2013]。心拍データの非線形

表 2: 各分析結果間の相関係数 相関係数の絶対値が 0.2 以上で相関有りと判断したデータのセルに赤く色を付けている

書籍名	季節の記憶	永遠の出口	ほかならぬ人へ	書楼吊堂	孤独の歌声	猫を抱い象と泳ぐ	ルート225
データNo.	1	2	3	4	5	6	7
データ点数(心拍R-R間隔・フラクタル次元)	12530	8481	8125	14599	12650	13114	6295
熱中度合いとCVR-Rの相関係数	-0.220	-0.044	-0.231	-0.118	-0.094	-0.052	-0.155
熱中度合いとフラクタル次元の相関係数	0.093	0.074	0.249	0.099	0.179	0.152	0.234
CVR-Rとフラクタル次元の相関係数	-0.406	-0.286	-0.347	-0.347	-0.391	-0.237	-0.287

分析はいくつかの手法が提案されており、フラクタル次元の計算方法としては相関次元や容量次元の計算が行われてきた[自律神経学会編 2007]。しかし、相関次元や容量次元の推定は、ノイズに対する堅牢性が低い[Hidaka & Kashyap 2013]。日高らの計算方法を用いることで、各時点のフラクタル次元(点次元と呼ばれる)を推定することが可能となった。

3.5.3 加速度データの計算方法

加速度データは相関分析時に補助的に使用した。3軸の加速度データの絶対値(2乗和平方根)を計算し動作量とした。

4. 実験結果

4.1 主観的熱中度合い・CVR-R・フラクタル次元間の相関係数

動作内容をもとに評価した主観的熱中度合い、CVR-R、フラクタル次元の推定結果の3つの時系列データ間の相関係数を算出した。結果は表2の通りである。主観的熱中度合いは心拍をもとにした他2種類のデータよりもデータ数が少なかったため(主観的熱中度合いのデータ数は1作品に620~1,306点、心拍R-R間隔およびフラクタル次元のデータ数は8,125~12,650点。表2のデータ点数参照)、次の評価対象の動作が行われるまではその熱中度合いが継続するものとして補完した。また、心拍数データは休憩時も連続して取得したが、相関係数は読書時のデータのみで計算した。相関係数の絶対値が0.2以上のときに相関有りと判断すると、熱中度合いとCVR-R間では2作品のデータで負の相関、熱中度合いとフラクタル次元間では2作品のデータで正の相関、CVR-Rとフラクタル次元間では全作品のデータで負の相関があった。相関係数の絶対値が0.2以上のデータは表2上で赤く背景色を付けている。

熱中度合いとCVR-R、熱中度合いとフラクタル次元間の相関係数はそれぞれ2作品でのみ絶対値0.2以上であったが、それ以外の作品でもグラフ上で相関傾向が確認できた。代表としてデータNo.6『猫を抱いて象と泳ぐ』のそれぞれの相関関係を示すグラフを図1,2に示す。図1は主観的熱中度合いとCVR-Rのグラフで、負の相関傾向が見られる。図2は主観的熱中度合いとフラクタル次元のグラフで、正の相関傾向が見られる。なお、それぞれグレーの背景色の期間は休憩時を示している。データの細かい揺れのために相関係数の絶対値が小さいものの、主観的熱中度合いとCVR-R/フラクタル次元間にはどの作品にもそれぞれ負/正の相関傾向があることが確認された。

4.2 主観的熱中度合いへの加速度を含む各変数の影響

CVR-Rとフラクタル次元のデータが立ち上がるなどの大きな動作をしている休憩時に大きく変動しており、動作による心拍数変化の影響が示唆された。さらに、本論の主観的熱中度合いの評価は動作内容に基づいており、主観的熱中度合いとの相関が熱中状態の変化ではなく動作量の変化に基づく可能性が考えられた。そこで読者の動作量とCVR-Rおよびフラクタル次元の関係を調べるため、データNo.7の実験時に被験者の

胸に加速度計をつけ身体動作の大きさを測定した。その結果、読書中の動作量の急増とCVR-Rやフラクタル次元の大きな変化に相関傾向が見られた。図3は加速度とCVR-Rの関係を示している。

もし動作量が主観的熱中度合いと心拍数を変化させる主要因であれば、主観的熱中度合いとCVR-R/フラクタル次元間の相関は疑似相関となる。そこで、主観的熱中度合いを最も良く説明している変数がCVR-R、フラクタル次元、加速度のどれなのか調べるため、主観的熱中度合いを目的変数とし、CVR-R、フラクタル次元、加速度を説明変数として重回帰分析を行った。同時にどの変数の組み合わせが最も良いモデルとなるか判断するためAIC(Akaike's Information Criterion, AICが小さいほど良いモデルとされる。本論では $AIC = n \times \log(\text{残差の2乗和}/n) + 2 \times (\text{モデルのパラメータ数})$, $n = \text{データ数}$)を計算した。

各変数セットに対するAICの結果は表3の通りである(表中の「次元」はフラクタル次元を指す)。この結果から、3つの変数を全て使用したモデルが最もAICが小さく良いモデルであること、2変数を用いたモデル間で比較するとフラクタル次元を含むモデルが良いことがわかる。

表 3: AIC の計算結果 最も良い変数の組に*を付けた

変数セット	CVR+次元+加速度	CVR+次元	CVR+加速度	次元+加速度
AIC	5191.89*	5225.37	5427.54	5228.78

最も良かった3変数を用いた重回帰分析の結果を表4に示す(表中の β は標準回帰係数を示す)。重相関係数は0.259, $F_{3,5659} = 136.1, p < 2.2e-16$ であった。この結果からも、主観的熱中度合いへの寄与はフラクタル次元が最も高いことがわかった。以上の結果から主観的熱中度合いとCVR-R/フラクタル次元間の相関は動作量由来の疑似相関ではないと言える。

表 4: 重回帰分析結果

	β	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-10.179	0.613	-16.59	< 2e-16
CVR-R	-0.071	0.011	-6.24	4.56e-10
フラクタル次元	3.433	0.221	15.57	< 2e-16
加速度	1.781	0.299	5.96	2.62e-09

5. 考察

測定した客観的データである心拍数の2種類の分析結果と主観的熱中度合いの間には相関が見られた。1つめの分析結果のCVR-Rは副交感神経の働きをあらわす指標であるから、主観的熱中度合いとの間の弱い負の相関は、熱中時に交感神経が優位であり読者が緊張状態の傾向にあることを示唆する。CVR-Rとフラクタル次元間の強い負の相関はフラクタル次元が反対に交感神経の働きを反映していることを示唆し、熱中状態とフラクタル次元間の正の相関は、3者間の関係から明らかであるが、やはり熱中時に交感神経優位であることを示す。

また重回帰分析とAICの計算結果から、主観的熱中度合いを説明する最も良いモデルは、説明変数にCVR-R、フラク

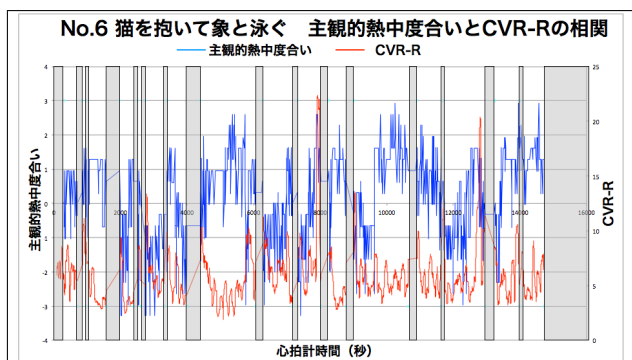


図 1: No.6 主観的熱集中度合いと CVR-R の相関

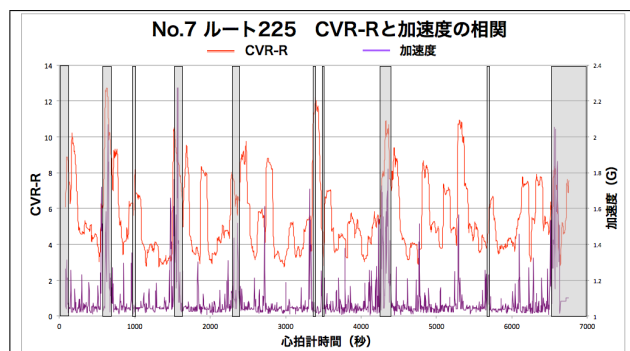


図 3: No.7 CVR-R と加速度の相関

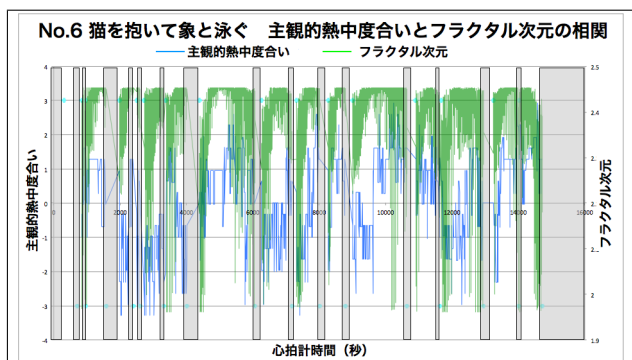


図 2: No.6 主観的熱集中度合いとフラクタル次元の相関

ル次元、加速度の 3 つの変数全てを用いたものであり、そのうちフラクタル次元の寄与が最も大きいことがわかった。このことは、フラクタル次元が最もよく熱中状態を説明し、かつ 3 つ全ての変数が必要であることから、それぞれの変数が熱中状態の異なる側面を説明していると解釈できる。また、相関係数が高かった作品が CVR-R とフラクタル次元で異なることも、作品ごとに熱中状態の種類が異なり、その異なる熱中状態の側面を反映した結果になった可能性を示唆する。相関係数の結果から CVR-R とフラクタル次元には負の相関があるものの、これらのことは CVR-R とフラクタル次元が単一の指標の反対の側面を示しているのではなく、別個の熱中状態に関係した生理的情報を有していることを示していると考えられる。

以上をまとめると、本研究によって、これまで点数でしか測定できなかった主観的熱集中度合いを連続的に測定することが可能となり、客観的に観測可能な心拍数の分析結果との相関を見出し、熱中状態の客観的・連続的な観測手法の構築方法を示した。主観的熱集中度合いとしては、動作内容を映像やテキストの内容を参考に、読書への注意や感情の高まりといった観点から評価し、1 作品で 1000 点前後の時点の熱集中度合いを 5 件法で点数付けした。主観的熱集中度合いと CVR-R、フラクタル次元間にはそれぞれ有意な相関関係が存在し、CVR-R とフラクタル次元はともに熱中状態の客観的指標となりうる可能性が高い。さらにこの 2 つの変数は熱中状態の別の側面の指標である可能性を有する。また、現状の分析で CVR-R と主観的熱集中度合いが負の相関傾向を有することから、少なくともある熱中状態では読者が緊張状態にあることが示唆された。

6. 今後の課題

CVR-R とフラクタル次元それぞれが異なる作品で主観的熱集中度合いとの相関が強いこと、また AIC の計算結果から 2 つ

の変数がともに主観的熱集中度合いを説明するモデルに採用されたことは、それぞれが熱中状態の別の側面を反映し、熱中状態にいくつかの種類がある可能性を示唆している。例えば、強い感情が喚起されるような熱中なのか、場面のイメージが鮮明に浮かぶ熱中のかなどいくつかの種類熱中状態があり、これらが異なった身体状態である可能性がある。現在の主観的熱集中度合いの評価ではこの熱中状態の種類を分けることはできない。今後主観をより詳しく外化することで熱中状態の種類を分類する必要がある。

また、本研究によって、主観的熱中状態を時系列で捉え、それ以外の客観的指標と比較する手法の有効性が示された。心拍数の分析はその一つであるが、現在はこの分析からは自律神経の働き以外については言及できない。さらに熱中状態についての仮説を立てた上で、対応する客観的に測定可能な別の変数の測定を行って、熱中状態の別の指標を見つけ、徐々に熱中状態がどのような心的・身体的状態なのか明らかにすることが必要である。また、今回最も良く主観的熱集中度合いを説明する変数であったフラクタル次元については、その解釈を明確にするため他のデータの測定結果と総合して考察をすすめることが有用である。客観的に観測・解釈可能な複数の変数を観測し、主観的熱集中度合いを含めそれらの間の相関を分析することで、熱中状態の側面をより明らかにできると考えられる。

参考文献

- [青柳 & 山本 2005] 青柳直子, 山本義春: 心拍変動長周期ゆらぎの機序, 時間生物学, Vol. 11, No. 2, pp.2-8 (2005)
- [布山 & 諏訪 2013] 布山美慕, 諏訪正樹: 読書中の映像分析による熱中状態変遷の観察, 人工知能学会第 16 回身体知研究会, SKL-16-06, pp.26-34(2013)
- [Green & Brock 2000] Green, M.C., & Brock, T.C.: The role of transportation in the persuasiveness of public narratives. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 79, pp. 701-721 (2000)
- [Hidaka & Kashyap 2013] Hidaka, S. & Kashyap, N.: On the Estimation of Pointwise Dimension, arXiv1312.2298v3. (2013)
- [自律神経学会編 2007] 日本自律神経学会編: 自律神経機能検査 第 4 版, 文光堂 (2007)
- [金子 & 津田 1996] 金子邦彦, 津田一郎: 複雑系のカオスのシナリオ, 朝倉書店 (1996)
- [小山内 & 岡田 2011] 小山内秀和, 岡田 齊: 物語理解に伴う主観的体験を測定する尺度 (LRQ - J) の作成, 心理学研究, Vol. 82, No. 2, pp. 167-174 (2011)
- [諏訪 2013] 諏訪正樹, 堀浩一, 中島秀之, 松尾豊, 松原仁, 大武美保子, 藤井晴行, 阿部明典: 一人称研究にまつわる Q&A, 人工知能学会誌, Vol. 28, No. 5, pp. 745-753 (2013)