

# 読者の熱中・忘我状態の同定

## How can we identify losing ourselves

布山 美慕<sup>†</sup>, 日高 昇平<sup>‡</sup>

Miho Fuyama, Shohei Hidaka

<sup>†</sup> 慶應義塾大学 SFC 研究所, <sup>‡</sup> 北陸先端科学技術大学院大学

Keio Research Institute at SFC, Japan Advanced Institute of Science and Technology

mih002@sj9.so-net.ne.jp, shhidaka@jaist.ac.jp

### Abstract

It would be exciting and beautiful experiences to be absorbed in reading fictional proeses. However, if a readers are deeply absorbed, their introspective reports should not be able to have enough reliability. Therefore, we had not know whether the readers' absorption states have some kind of "consistency" and "sameness". This article have discussed the kind of sameness, and made clear the way of study readers absorption states. We also shared our results of three experiments based on this method. These discussion and results have suggested that the readers absorption states have a consistency and sameness which can be measured in an objective manner.

**Keywords** — Reading, Absorption, Sameness

### 1. 読者の熱中・忘我

小説の世界に熱中し我を忘れて読んだ経験は多くの読者が持つだろう。こういった読者の熱中や忘我状態は、物語理解や読者の信念変化にも影響するとされ、様々な認知過程と関連しうる研究対象として注目されてきた [1, 2].

これまで、読者の熱中状態は主に質問紙を用いた内観報告の分析によって分類され、特徴づけされてきた。しかし、まさに熱中し我を忘れている状態に関する読者の自己報告の信頼性は高くないと推察されるので、内観報告のみで熱中状態を信頼性・一貫性高く特徴づけできるのか疑問がある。

そもそも、分類や特徴づけを行う前に、読者の熱中状態はなんらかの一貫した同一性を持ち、観測可能な認知的状態なのかという問題がある。もしこういった認知状態として扱えないのであれば、分類や特徴づけ可能な対象と見なせないだろう。著者らは、読者の熱中状態も一貫した同一性を有する研究可能な認知的状態であるという仮説をもち、いくつかの実験を行ってきた。本論文では、読者の熱中状態の同一性の問題と

研究方法について議論したあとで、これまでに得た実験結果を紹介し、この仮説を支持したい。

### 2. 同一性の種類

熱中状態の同一性について議論する前に、まずは同一性の種類について検討する。

コップが2つ並んでいるとき、私たちはその2つともを“コップ”だと思う<sup>1</sup>。たとえ多少形状が異なっても同じように“コップ”だと思うだろうし、全く同じ形状だとしても、厳密には同じ場所に位置することは不可能なため空間的には同一にはなりえないが、“コップ”という点では同一性を認めている。さらに、この円筒状の物体は現実世界に存在するモノだが、それとなんら必然的な関係のない「コップ」という音的表象、あるいは文字による“言葉”と私たちは一貫して関係づけ、記号として同一視する。記号の意味で、この円筒状のモノと言葉の「コップ」は同一である<sup>2</sup>。

このコップの例が示すのは、完全に時空間的に同一の物でなくても、また現実世界の物と記号や概念といった別種の対象でも、私たちはそれらの間になんらかの同一性を見出し同一視するということである。このような同一視が、世界を分節化し、対象を抽象化し、私たちの行動や思考をある意味で自由に、ある意味で制約している。

私たちの認知的な状態も、時空間的には完全に同一な状態は存在しないので、その意味では全て一回性の出来事である。しかし、研究を行う上で、通常はなんらかの同一性を見出し、1つの情報処理として特徴づけ、ある1つの状態として調べる。このように見出す同一性には完全に同一な状態から、より弱い比喻のよ

<sup>1</sup>論理的には、同一視の経路としては、概念的な“コップ”を介して同一性を見る、2つの物自体の形状や用途の類似性によって同一性を見る、の2つのパターンがありうる。

<sup>2</sup>ソシュールは言語の2つの恣意性、概念の分節化の恣意性と、シニフィエ（概念）とシニフィアン（聴覚イメージ）の結びつきの恣意性を指摘した。もちろん概念はモノではないが、人は“モノ”をそのまま認識できないので、いったん概念を介していると思えば、ここで行われている同一性は後者のシニフィエとシニフィアンの結びつきだと理解することもできる [3].

うな対応づけの意味での同一性までいくつかの種類が考えられる。この同一性の種類を議論するために、Tsuchiya, Taruchi, & Saigo (2016) [4] を参照する。

Tsuchiya らは意識の研究において、クオリアと観測可能な状態の指標の関係を議論するため、その種類の異なる2つの対象がどういった意味で同一（類似）と言えるのか、またその同一性がどのように意識研究において有効なのかを、圏論を用いた数学的な定式化を利用して議論している<sup>3</sup>。彼らが圏論を用いたのは、圏論の表現を用いればいくつかの種類の種類を明確に区別して定義でき、かつ扱おうとしている意識状態の領域も、観測可能な指標の領域も、圏と見なせると考えたためである。ここで、圏とは、いくつかの Object (類) の集合と、任意の Object 間の関係性を定める Arrow (射) の集合からなり、恒等射が存在し射の合成が行えるシステムである<sup>4</sup>。

彼らは、2つの圏の同一性を、対応づけを行った際にどの程度それぞれの圏の構造が保持されるのかによって区別した。そして、その同一性が強い順に、“identical”, “categorically isomorphic”, “categorically equivalent”, “existence of adjunction”, “existence of functor” とした。順に、2つの圏が、全く同じ、同型（常に逆の対応づけが存在する程度に同じ）、情報が保持される関係が作れる程度に同じ（2つの圏の間を行って帰って来ても元に戻すことができる程度に同じ）、特定の条件の下で最も類似したものが存在する（たとえば、片方がもう片方の典型例の集合になる）、片方からもう片方へ Object と Arrow の関係性を保った対応づけができる程度に同じ（たとえられる）、という同一性の程度に対応する。その上で、彼らは、この中でもっとも弱い同一性である “existence

<sup>3</sup>具体的には、Tsuchiya, Taruchi, & Saigo (2016) [4] が観測可能な量として扱ったのは、Tononi, G., & Massimini, M. (2013)[5]の意識の統合情報理論 (Integration information theory of consciousness) で意識の経験と関係づけられる *Maximally irreducible conceptual structure* (MICS) である。ただし、彼らも述べているように、圏と見なせる観測量であれば、とくに MICS に限定される議論ではない。また、彼らは MICS 自体の妥当性を主張しているわけではなく、また本論文もこれを主張するものではない。

<sup>4</sup>数学的な圏の定義として、Tsuchiya, Taruchi, & Saigo (2016) [4] 内の定義を引用しておく。

Mathematically speaking, a category  $C$  consists of (1) a collection of objects such as  $X$  and (2) a collection of arrows, which define relationship between any pair of objects, such as  $X$  and  $Y$ , such that (3) for every  $X$  there is a self-referential arrows  $1x : X \rightarrow X$ , (4) any pair of arrows, such as  $f : X \rightarrow Y$  and  $g : Y \rightarrow Z$ , are composable, that is,  $gf : X \rightarrow Z$ , (5) a self-referential arrow is both a left and right unit for composition, that is, if  $f : X \rightarrow Y$ , then  $f1x = f = 1yf$ , and (6) composition is associative, that is,  $(hg)f = h(gf)$ [4, 1-2].

of functor” でも、観測できる量とクオリアに対応づけができれば、十分意識研究において価値のある同一性であるとした。なぜなら、クオリアという扱いが難しい意識の経験を、観測可能な量に弱い意味でも定式化して対応づけることができれば、後者の観測や分析が容易な圏における分析が有意なものとなるためである。

ナイーブに想起する“同一性”は“existence of functor”よりも強い制約条件に対応すると想像できる。しかし、意識に関連する状態を特徴づけ、分類していくには、まずは“existence of functor”, あるいは可能ならデータから対象の状態が推定できる程度の同一性“existence of adjunction”のような、より操作が簡単な別の空間への有意味な対応づけが可能なのかという点から検討する方がリーズナブルであろう。つまり、研究において、たとえばある認知状態をモデル化するにあたっては、その状態とモデルの同一性にはいくつか種類があり、どの意味の同一性をもっているかを意識しさえすれば、より弱い同一性であっても有効だと考えられる。研究においては同一性はモデル化だけではなく、いくつかの場面で検討が必要となる。次節ではこれらを議論する。

### 3. 研究における3つの同一性

多くの実験を行う研究、特に研究対象が人の認知の研究では、次の3つの同一性の問題を考えることができる。1つめは、研究対象に関する研究者の概念や直観と、それを実証的に研究可能な形式でモデル化した際のモデルの同一性の問題である。2つめは、観測結果とモデルの同一性の問題である。加えて、3つめとして、複数の観測に対してそれぞれモデルが推定された場合、それらの間の同一性の問題である。前節2.節で議論したように、これらの同一性にはいくつかの種類がありうる。順にこれら3つの同一性の問題を議論しながら、読者の熱中状態の研究における対応を示す。

#### 3.1 現象の概念とモデルの同一性

1つめの研究対象に関する研究者（あるいは広く一般に人々の）の概念や直観と、それを実証的に研究可能な形式でモデル化した際のモデルの同一性の問題は、知りたい対象をどのようなものだと思うか、どのように研究できると考えるかという仮説形成に関わる。一般に、研究者の概念や直観はモデルに先立ち、1つのモデルで表現できないような複数の経験や思い入れも関連している。本論文では、この概念のうち研

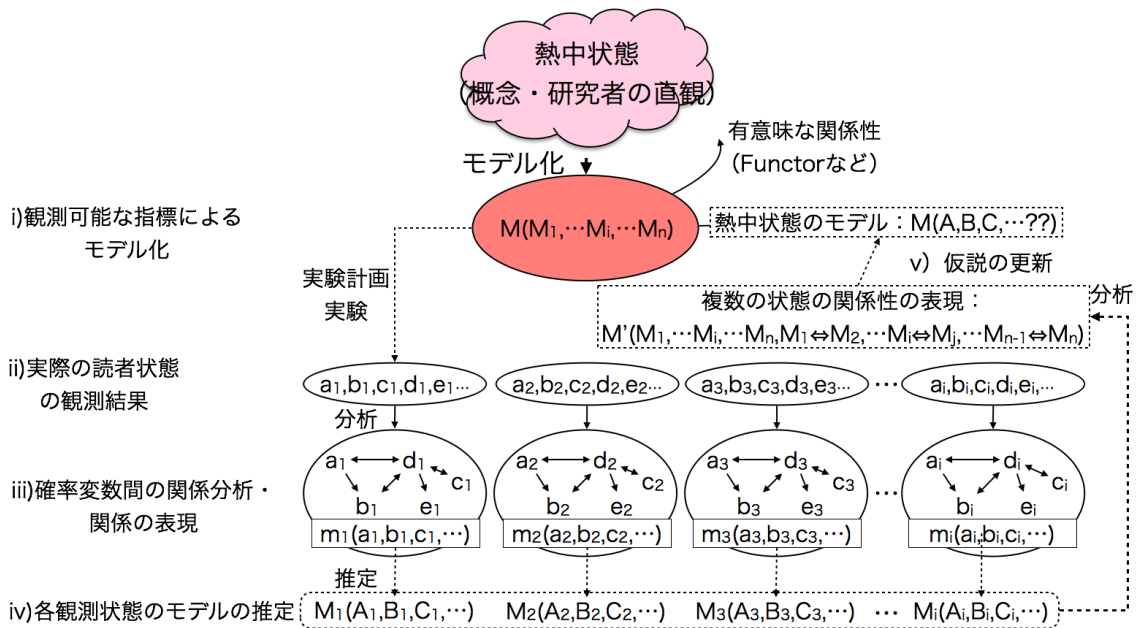


図1 読者の熱中状態の研究方法概念図：大文字の  $A \sim E, \dots$  や  $A_i \sim E_i$  は状態を表す確率変数，小文字の  $a_i \sim e_i$  は観測結果としての1つの値。M はあるモデルを表し，そのモデルを表現する確率変数を括弧内に書いた。m は観測結果の関係性の表現を示す。i) 研究者の持つ熱中状態の概念のうち観測可能な部分をモデル化する。ii) 実験でいくつかの読者の状態（複数読者，あるいはある読者の異なる作品の読書状態など）を観測し，iii) 各観測結果の複数の種類の観測値の間の関係性を分析し，iv) 各観測状態を確率変数を用いてモデル化し，v) 熱中状態のモデルの仮説をiv)の結果を用いて更新する。ただし，実験前に，先行研究等からiv)のモデルはある程度推測され，そのモデルに基づいて実験を行う

研究者が本質的だと考える部分をより明確に定式化し，様々な方法で研究可能な記述で表現することを，この段階でのモデル化とする。このモデル化によって，もとの概念や直観の有していたいくつかの情報失われるが，研究者が本質だと思ふ部分に関して検証可能な形式で記述される。モデル化の際には，同時に，それまでの先行研究の知見が活かされ必要な整合性がとられる。

この対象のモデルは，対象とする概念，その概念が対応する現象自体とどのような同一性を持つだろうか。Tsuchiya, Taruchi, & Saigo (2016)[4]では，対象とするクオリアに対して，観測可能な指標は少なくとも Functor の関係をもつとしていた。Functor はいわば比喩のような，互いの空間上で構造を保つ関係性と解釈できる<sup>5</sup>。Functor レベルの同一性でも前述の通り意味があるが，Functor では観測結果からもとの概念や直観が対応する対象の状態の十分な推定にはならないため，通常は対象とする状態のある部分に関して，isomorphic (同型。全単射がある)，categorically equivalent (適切に解釈することで，観測結果から状態

の推定が情報の損失なく行える)，あるいは existence of adjunction (情報の損失があるが，適切な解釈によって，観測結果から状態の推定が行える) などより強い同一性を仮定することが多いと考えられる。ただし，現象そのもの，概念そのもの (identical) は，何も捨象していないモデルなので，モデル化の意味がないであろう。

読者の熱中状態の研究では，研究者が読者としての自身の読書時の熱中状態に関して考え，他者の読書体験を聞き，また様々な分野の先行研究の知見を踏まえてモデル化を行う。図1に著者らが考えるこの読者の熱中状態の研究方法を示した。上部の“モデル化”という部分がこの箇所該当する。本研究の目的は熱中状態がどのように観測可能な指標によってモデル化可能な，一貫した同一性をもつ状態かどうかをこれまでの著者らの実験をレビューしつつ議論することである。1.節の通り，著者らは，読者の熱中状態も他の認知状態と同様に，観測可能な一貫した同一性をもつ状態であるとの仮説を持つ。この仮説を反映したモデルは，こういった一貫性をもつ具体的なモデルのうちのどれかで熱中状態が記述できるというメタ的なモデルであり，したがってより具体的な（観測可能な指標やその指標間の関係性を指定した）モデルの集合として表現される。これらのモデルのうち少なくとも1つの

<sup>5</sup>比喩に関して，山梨 (2007) [6] は，メタファーを比喩するものから比喩されるものへのトポロジック的写像だと指摘している (p.207)。これは，ほぼこの Functor のあり方と同じだと解釈できる。また，圏論の側からも西郷 (2012) [7] が比喩を Functor とみる議論を提示している。

モデルがありえることが示されれば、著者らの仮説は支持される。また、実際の観測で熱中状態のモデルの記述が完全にわからなくても、何らかの一貫性をもった記述が可能であることがわかればこの仮説はある程度支持される。本研究では、実験によっていくつかのモデルを探索し、少なくとも1つあることを示す。具体的には著者らは先行研究の結果から、読者の熱中状態が、フロー状態と類似した身体状態を示す蓋然性、読解処理と関係して変化する蓋然性が高いと予想し、これらの指標と読者の熱中程度報告という複数種類の指標を観測してその関係性を調べた。これらの実験は、これらの指標間関係性によって熱中状態のある側面がモデル化可能という仮説の検証にあたり、もしこういった指標でモデル化ができることがわかれば、著者らの仮説はこの実験の範囲内で支持される。

### 3.2 観測データと分析結果のモデルの同一性

研究者はモデルの仮説に基づき実験計画をたて、実験を行う。この実験で得られたデータを、モデルの仮説に基づき分析する。観測で得られる対象の情報は観測方法に応じたもとの認知状態の一部であり（ほぼどのような観測も確率的な揺らぎをもつので観測結果は確率変数として表現される）、加えて分析結果は得られたデータのなんらかの縮約となる。たとえば、回帰分析であれば、この縮約はデータを線形近似することに対応する。縮約は前述の Adjunction の強さの同一性と見なせるので、観測データに対する分析結果の同一性はこの Adjunction の強さになる。また、この分析結果の適切な表現は1つのモデルと見なせる。たとえば線形近似した回帰分析の結果は、対象を一次元で表現した1つのモデルである。もし観測結果からただ1つのモデルが推定されたならば、この実験によって推定されたモデルを踏まえて、実験前に立てたモデルの仮説を更新する。

著者らは、読者の身体状態や読解時間を観測する実験を行い、これらの客観的データと読者の主観的な熱中程度報告データを合わせて相関分析や重回帰分析（線形近似）を行い、これらの指標間の線形関係性で表現されるモデルを推定した。実験は複数回を行い、それぞれのデータから1つのモデルを推定した。本研究の仮説は、読者の熱中状態がなんらかの一貫した同一性をもつ認知状態であるという仮説であり、具体的にどのような指標のどのような関係性で表されるかは指定しない。したがって、まずは各データから何らかの有

意なモデルが推定できるかが問題となる。もし各データから有意なモデルが推定されれば、次の複数モデル間の同一性を踏まえて、どの範囲で（被験者間・作品間など）一貫性をもった状態と考えられるのか判断する。

### 3.3 複数のモデル間の同一性

実験では、分析するデータの単位が実験で取得したデータを全てまとめて1つとしない限り、複数個の分析結果が推定される。たとえば、10回分の観測結果をまとめて1回の回帰分析を行えばそれが1つのモデルとなるが、1回ずつのデータ間の違いをみる必要がある場合などには1回ずつ分析をするだろう。その場合は10データから回帰分析によって10のモデルが推定される。通常の人々の認知に関わる実験において、それらの各分析結果が値も含めて一致する可能性はほとんどないと考えられる。つまり、回帰分析で全ての変数の  $t$  値が完全に一致する可能性はほぼないだろう。したがって、これらの完全には一致しないモデル間の関係性をどう評価するのか、あるいはそれらの複数個の分析結果のモデルから最初のモデルの仮説の更新をどのように行うのかを考える必要がある。

これらの複数のモデル間の関係性の評価や仮説の更新に関しては、最初に立てたモデルの仮説、およびその背景にある知りたいことの仮説に依存して必要な同一性や更新の内容が変わる。もしモデルの仮説が仮定した精度に対して、各データから推定されたモデルのばらつきが大きすぎ、かつそのばらつきが観測や分析の精度で説明できないのならば、それらのモデルの間の同一性は少なくとも仮定されたモデルの意味では弱い（小さい）と見なせる。仮説の更新ではこのばらつきの原因を考え、可能ならそのばらつきを説明可能なモデルへと更新する。

本研究では実験前のモデルの仮説は、なんらかの一貫性をもつモデルで表現できる、という緩い仮説であって、具体的なモデルの精度は仮定していない。もし複数の推定されたモデル間にばらつきがあれば、その程度のばらつき（逆に見ればその程度の一貫性）をもったモデルで熱中状態が表現しうると解釈するか、あるいは複数の“熱中状態”の種類があると解釈する。

## 4. 読者の熱中・忘我状態の研究手法

ここまで同一性の議論とともに本研究の提示する熱中状態の研究手法を提示してきたが、ここで改めて本研究がとった熱中状態の研究手法を順を追って説明す

る。Tsuchiya, Taruchi, & Saigo (2016) [4] はクオリアを別の観測可能な指標の空間に写して研究する有効性を主張した。同様に、熱中状態の研究も、有意味な対応づけが可能ならば、まずは熱中状態を調べるために読者の状態を適当な写像（具体的にはなんらかの読者状態の観測）を用いて別の状態空間に写し、その状態空間上で分析を行うことが有効だと考える。前述のように、この対応づけはナイーブな“同一”を意味する必要はない。この別の空間への対応づけは、本研究ではいくつかの観測可能な指標を用いた読者の熱中状態のモデル化を意味する。本研究ではこの有意味なモデル化が可能かどうかを明らかにすることが目的である。

これまでの質問紙調査を用いた熱中状態の研究は、この状態空間として質問紙への回答を用い、写像として人間の報告（観測装置が人間）が用いられていたと解釈できる。この方法の問題点は、1. 節で述べた熱中時の報告の信頼性・一貫性が不明なことであり、言い換えれば写像が安定しないという点である。したがって、写った先のデータを分析しても、もとの状態との対応づけが不安定で、信頼性の評価ができない。

これまで述べてきたように、読者の熱中状態の研究の1つの方法論は、熱中状態を観測可能な複数種類の指標を用いてモデル化し、このモデルにそって実験を行い、実験結果からモデルを更新していく方法である（図1参照）。この熱中状態のモデルは熱中状態とナイーブに“同一”ではないが、熱中状態の重要な構造を保って複数の観測可能な指標の張る空間に写されたものである。本研究はこういった熱中状態を一貫性をもって表現できるモデルが1つでも存在するのかを調べることが目的なので、より緩いモデルを仮定し実験を行うことになる。

この手法は、図1に示すように、順を追って以下のように書ける。i) 研究者の熱中状態に関する概念や関連する先行研究の結果から熱中状態の一部を観測可能な指標によってモデル化（モデルの仮説構築）する。ii) モデルに従って実験計画を立て、実験でいくつかの読者の状態  $(1, 2, \dots, i, \dots, n)$ （例えば複数の読者の読書状態）における複数の変数  $(a, b, c, \dots)$ （たとえば、熱中度や心拍数）を観測する。iii) 観測した変数間の関係を分析（たとえば相関分析や重回帰分析など）して表現し  $(m_i(a_1, b_i, \dots))$ 、iv) その関係性から各観測状態のモデル化を行う  $(M_i(A_i, B_i, C_i, \dots))$ 。v) 各状態のモデルの関係性を分析（同一性はあるか、どの程度同一か）し、同一性があれば一般の熱中状態としてモデル化を行う。

本研究では、前述の通り、i) のモデルの仮説は、具体的な指標や指標間の関係性を想定するものではなくて、そういった指標や指標間の関係性によって記述される何らかの具体的なモデルがありうる、というモデルである。したがって、モデルとして表現されるのはこういった緩い制約のモデルの集合となる。次の ii) では、既存の先行研究が示唆する熱中状態に関連する可能性のある指標を観測する実験を行い、こういった何らかのモデルがありうるのか探索を開始する。どの指標によって、またそれらの指標間のどのような関係性によって熱中状態がモデル化されても構わないが、現状では読者の主観的な熱中感覚を指標の1つとし、かつ複数の客観的に観測可能な指標を観測して、それらの間を含めてモデル化することが“読者の熱中状態”を調べるために適すると考える。主観的な熱中感覚は観測された状態が対象としたい直観や概念の熱中状態に関連したものであることを示唆し<sup>6</sup>、客観的指標との関係性はその主観的指標の一貫性のある程度担保しうるためである。また、本質的には、1つの指標で読者の熱中状態をモデル化するよりも、複数の指標間の関係性を含めた記述の方がより一貫性の高いモデルとなる蓋然性が高いと考えるためである（後者は前者を含む）。主観的な報告のみに頼らないことで、先行研究の問題点が一定程度回避される。iii) で行う確率変数間の関係の分析では、分析内容がこの指標間の関係性の仮説に対応する。本研究では、こういった関係性かは問わないので、何らかの分析で一貫性のある関係性が見つかれば良い。

前述の3つの同一性の問題は、この図式の中では次のように対応している。現象の概念とモデルの同一性は、i) のモデル化の際の同一性に対応する。観測データと分析結果の同一性は、iii) と iv) の分析・モデル推定に対応する。複数のモデル間の同一性は、iv) の後、v) に至るまでの「複数の状態の関係性の表現」において検討される。

また、著者らは、複数の種類の異なる指標間の関係性を調べるための共通項として時間変化を採用し、各指標の時間変化を観測した。したがって、ある時間幅を持った状態のセットが1つの観測結果と見なされ、このセット内の指標間の関係性が  $m_i$  として表現される。

AさんとBさんの熱中状態の同一性や、昨日のAさんと今日のAさんの熱中状態の同一性は、これら

<sup>6</sup>読者の熱中や忘我に関して、著者らは現実世界の認識を変化させることが1つの大きな特徴だと考えている。その意味では、熱中感覚との結びつきが弱くても構わないが（その場合、呼び方は変わりうる）、現段階では熱中感覚との関連性を重視している。

の観測データの分析結果のモデル間になんらかの一貫した同一性を見出せるか否かで判断される。著者らはその前段階として、1名の被験者が1作品を読む間のデータから1つの熱中状態の有意なモデルが推定できるか否かから始め、その後1名の被験者で多作品、さらに10名2作品など作品数や被験者数を増やししながら、観察される熱中状態の一貫性・同一性を検討した。次節から現在までに行った実験の結果を簡単にレビューしながら、熱中状態がある一貫性を持った状態として観測しうることを示す。

## 5. これまでの実験

著者らはこれまでに読者の熱中状態に関して3種類の実験を行い、それぞれの実験で種類の異なる指標間に一貫した関係性、即ち1つのモデル（あるいはその記述の一部）を見出した。これらの3つのモデル間の関係性はいまのところ不明確だが、すくなくとも1つ以上の熱中状態の一貫性をもつ記述が可能であることが示唆されたと言える。以下に3種類の実験について、概要と結果を簡単に述べる。なお、5.1・5.2の研究成果の詳細は布山・日高（2016）[9]に、5.3はFuyama & Hidaka (accepted) [10]に報告済みである。詳細はこれらの論文をご参照いただきたい。

### 5.1 実験1：熱中度と心拍数の関係性

読者の熱中状態と類似が指摘される状態にフロー状態 [8] がある。フロー状態とは自分の能力と拮抗する難易度の何らかの行為に没頭し、それ自体が非常に楽しい経験となる状態を指す。フローを提唱したチクセントミハイも読書行為でフロー状態になりうると述べており [8]、また読者の熱中状態の研究においてもその類似性が指摘されてきた [11]。フロー状態に関する研究は様々な手法によって行われており、本人達のインタビューや内観報告に加えて、客観的な生理指標や身体動作などの身体状態に特徴があることが報告されている [12, 13]。

著者らはフロー状態との類似性を踏まえて、読者の熱中状態でも身体状態に変化が起こる可能性があると考え、熱中度と心拍数、および熱中度と身体動作の時間的な相関関係を調べた。前述の研究方法に即して言えば、熱中状態を記述しうるモデルの1つの候補としてこれらの指標とその指標間の関係性を調べた。その際、被験者の熱中度の報告を絶対的な指標（予め熱中状態を記述しうる保証された指標）として扱うのではなく、あくまでも相対化し、熱中状態のモデル化

に用いる1つの指標として扱った。つまり、熱中度報告も他の指標との有意な関係性が見出せなければ、モデルの有効な指標として見なさない。これは1.節で議論した通り、熱中時の状態に関する報告の信頼性が不明であるためである。

5.1では熱中度と心拍数の関係を調べた実験を述べる。この実験では、1名の中での熱中状態の同一性の検討に注力するためと、被験者負担が大きいことにより、被験者を1名とし、第一著者が担当した。前述の通り、1名の被験者内での読書中の熱中状態の一貫性も不明なので、まずは広く多くの被験者の平均的な傾向を検討するよりも、1名の被験者の強く熱中したデータを分析することから始めることがリーズナブルと判断した。また、被験者負担は実験で長編作品を数時間かけて読むこと、また細かい熱中度評価をするために高負荷となった。

被験者は被験者の自室で椅子に坐って普段通り読書し、その際の映像と心拍数を取得した。日本の著名な作家の長編作品を2~5時間程度かけて1日1作品読み、計9回（合計9作品）の実験を行った。以降、どの実験でも1回の実験の単位をセッションと呼ぶ。実験1ではしたがって9セッション行った。

熱中度報告の時間的粒度を心拍数の時間的粒度に近づけ、またなんらかの提示できる要素をもって熱中度を推定するために、この実験では熱中度を読書中の身体動作に紐付けて評価した。先行研究 [13, 14] や次節 5.2 が示唆するように、熱中時の身体動作には特定の傾向があるとされる。たとえば、前のめりや静止する状態は熱中度が高く、重心が後ろに移動したり細かい動きが増えると熱中度は低く報告される傾向がある。この情報を活かして、実験時に読者の映像を取得し、その姿勢や動作を書き出して、姿勢・動作に対する熱中度評価表を作成し、各時点の姿勢・動作に対して熱中度を評価づけした。熱中度評価は-2~+2の5件法で行い、評価表は [13, 14] を参考に作成した。ただし、熱中度評価が先行研究の知見から難しいような姿勢や動作に関しては、被験者（第一著者）が自身の読書映像や読んでいた箇所を確認して熱中度を決めた。

心拍数データとしては、1拍のピークからピークまでの時間間隔である心拍 R-R 間隔をデータとし、線形と非線形の分析を行った。先見分析としては、心拍数の変動幅や周波数の分析によって、被験者の自律神経の状態（緊張やリラクセス）が推定できるとされ、フロー状態の研究でも分析されてきた ([12] など)。この自律神経の指標として、心拍変動係数を採用した（線形分析）。心拍変動係数の式は次の通りである。

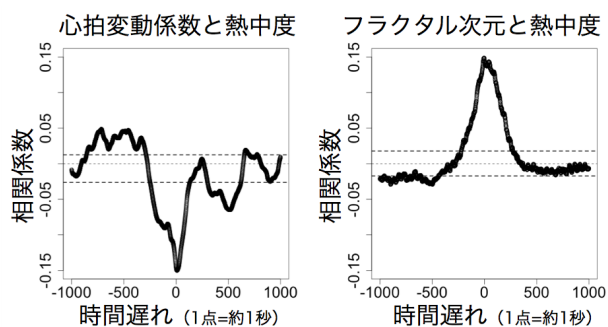


図2 心拍数と熱中度の交差相関分析：左が心拍変動係数と熱中度，右が心拍数から推定したフラクタル次元と熱中度の交差相関分析。ほぼ時間ずれなし（時間ずれを表す横軸=0）で相関が最大となる。太い点線はサロゲートデータと交差相関分析した場合の相関係数の最大・最小値を示す。この点線よりも大きな絶対値の相関は有意と考えられる。細い点線は相関係数=0を示す

$$\frac{\text{心拍変動係数}}{100} = \frac{\text{心拍 } R-R \text{ 間隔 } 100 \text{ 点間標準偏差}}{\text{心拍 } R-R \text{ 間隔 } 100 \text{ 点間平均値}}$$

また、生体の情報は本質的に非線形で線形分析では十分ではないとの指摘があり、心拍数分析でも非線形分析が利用されてきた [15]。より心拍数の情報を活かすため、本研究でも線形に加えて非線形分析を行った。非線形な系を表す1つの指標としてフラクタル次元が挙げられる。本研究では各時点でのフラクタル次元として点次元を推定した。本研究では Hidaka & Kashyap (2014)[16] の手法を用いて、ある時点から数十点前までのデータを用いてその統計的な分布を推定し、この分布の推定から点次元を推定した。この分析手法の利点として、(解析的に解けない) フラクタル次元推定の既存の手法に比べて、ノイズに堅牢な推定手法であることが挙げられる。

このように推定した熱中度と心拍数の線形/非線形分析結果の交差相関分析結果を図2に示す。交差相関分析とは2つのデータを時間的にずらしながら相関分析する手法である。時間ずれなし（横軸=0）の相関係数が通常の相関分析による相関係数に相当する。また、身体動作に紐づく熱中度と心拍数が動作を介して疑相関している可能性を検討するため、3セッション（セッション No.7~No.9）で胸部加速度も取得し、この加速度の3軸の平方和を動作量と見なして、心拍変動係数、フラクタル次元と合わせて説明変数とし、熱中度を目的変数とする重回帰分析を AIC によるモデル選択と合わせて行った。結果を表1・2に示す。なお、心拍変動係数は表中では CVR-R (Coefficient of Variation of R-R intervals の略) と記載した。両分析では熱中度と心拍数の分析結果の時間的粒度には違い

表1 AIC によるモデル選択の結果：AIC は相対的な値にだけ意味があるので、各データセットに対して AIC 最小のモデルを0基準とし\*で示したうえで、最小の値との差を示した。脚注4に示すように、AIC が2小さいと  $e$  倍、20小さいと  $e^{10}$  倍尤度が大きくなる。

変数 セット /AIC 相対値	CVR-R +次元	CVR-R +次元	CVR-R +次元	次元 +次元
	+加速度	+次元	+次元	+次元
No.7	0*	33.5	235.6	36.9
No.8	1.8	0*	21	371.3
No.9	0*	14.3	20.9	113.1

があるため、心拍数に合わせて熱中度のデータを補完した。心拍数に合わせた理由は、熱中度が身体動作に結びついているため、もし熱中度側に時間的粒度を合わせると、静止時に比べて頻繁に姿勢を変える（熱中度評価値が低い期間に多い）のデータが重視されて相関分析・重回帰分析をすることになり、本実験の目的にそぐわないためである。心拍 R-R 間隔はほぼ1秒に1回なので読書中特定の期間のデータが相対的に重視されることなく分析できる。

交差相関分析結果（図2）から、熱中度-心拍変動係数、熱中度-フラクタル次元間にほぼ時間ずれなく有意な相関が示唆された。また AIC によるモデル選択（表1、AIC の値が小さいほど相対的に良いモデルと判断される）によって、心拍変動係数、フラクタル次元とともに加速度よりも熱中度を良く説明することが示唆された。加速度にのみ依存していれば、身体動作を介した心拍数と熱中度の疑相関である可能性があったが、これは否定されたと解釈できる。重回帰分析でも交差相関分析と同様の有意な相関傾向が見られ、心拍変動係数、フラクタル次元、加速度の3変数が全て説明変数として  $p < .0001$  で有意となった。心拍変動係数は小さいほど交感神経優位で緊張状態にあると解釈できるため、熱中度との負の相関は、熱中状態が緊張状態にあることを示唆する。この傾向は、フロー状態における自律神経の傾向に類似している。

これらの結果から、熱中度報告と心拍数の分析結果の間には一貫した関係性があり、この関係性の意味で、ある熱中状態が一貫した状態として観測可能である可能性（1つのモデルとして表現できる）が示唆された。

## 5.2 実験2：熱中度と身体動作の関係性

先行研究や著者らの研究によって、読者の熱中状態の動作や姿勢には特徴があることが示唆されている [13, 14]。もしそうなら、身体動作もまた熱中状態を記

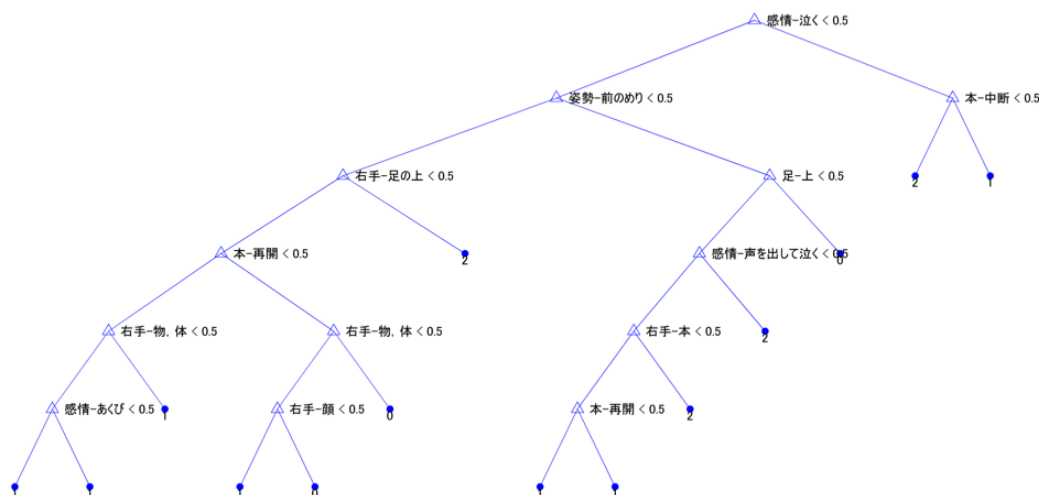


図 3 No.1 の分類木分析結果の一部。ハイフンの前はそれぞれ、右手、左手、姿勢、感情を示す身体状態の変化、本の位置のうち、どの対象の状態なのかを示し、ハイフンの後がどのような状態なのかを示す。例えば、「姿勢-前のめり」は姿勢が前のめりであることを示す。分岐の右側が分岐の内容に合致する（例えば感情-泣くの右側は読者が泣いていることを示す）。木の全体は紙面のスペースの都合上掲載できないため、寄与率が高い順に 20 個の分岐までの木構造を載せた

表 3 熱中度を目的変数、身体動作を説明変数とした分類木の分析結果。分類正答率の有意検定には  $p < .05$  の結果に \* を付した。No.1 と No.2 が長編作品を第一著者が読んだ実験、No.3~No.8 が別の 6 名がそれぞれ短編小説を読んだ結果を示す。

実験 No	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
分類正答率	0.729	0.551	0.777	0.455	0.523	0.477	0.443	0.676
分類正答率検定 $p$ 値	<.000*	<.000*	<.000*	0.093	0.003*	<.000*	0.037*	<.000*

表 2 3 データの重回帰分析結果 (t 値のみ)：定数項以外の  $p$  値は全て  $p < .0001$ 。No.8 では AIC によるモデル選択の結果、加速度を説明変数に採用せず、表中「未使用」と記載。

	定数項	CVR-R	次元	加速度
No.7 t 値	-16.59	-6.24	15.57	5.96
No.8 t 値	-0.42	-19.46	4.58	未使用
No.9 t 値	-3.43	-10.37	3.73	2.71

述するモデルに組み込むことが可能な指標の 1 つであるだろう<sup>7</sup>。実験 2 では読書時の身体動作を説明変数に、読後の 2 ページ単位の熱中度報告を目的変数として分類木分析を行った。もし両者の間に一貫した関係性があれば、分類木分析の正答率は偶然よりも有意に高くなる。

実験は 2 種類あり、実験 1 と同様に被験者が第一著者 1 名の 2 セッションの実験 (実験 2-1) と、他者 6 名を 1 名ずつ被験者とする 6 セッションの実験 (実験 2-2) に分けられる。実験 2-1 では長編小説を、実験 2-2 では 49 ページの短編小説 (1 セッションのみ長編小説の冒頭 39 ページ) を読んだ。読後に再度作品の各ページを確認しながら熱中度を 1 ページごとに評価

した。その 1 ページごとの評価を平均して 2 ページ単位の熱中度とし、書き出した動作 (ページを捲る動作から 2 ページ間で行われた動作) と対応させて分類木分析を行った。ただし、実験 2-1 の初読データは実験 1 と共有しており、実験 1 の分析が全て終了してから熱中度報告を行ったため、初読後 100 日後に熱中度を報告した。

分類木分析の一例を図 3 に示す。分類木分析では、ある動作や姿勢のルールを作成して熱中度を分類する。両者の間に一貫した関係性があれば、作成されたルールは熱中度を偶然よりも有意に高い正答率で当てる。

分類分析の結果として、この分類ルールの正答率を表 3 に示した。分類木の正答率は、実験 2-1 で 72.9% と 55.1%、実験 2-2 で 45.5%~77.7% であった (表 3 参照)。本研究での分類木分析の目的は、身体動作から熱中度を高い確率で推定できるルールを作ることではなく、この 2 つの変数間に有意な関係があるか調べることである。そのため、正答率の絶対値の大小を議論するのではなく、この分類木の正答率が、最も頻度が高く解答された熱中度の確率 (チャンスレベル) に比べて有意に高いかが意味を持つ。これを 2 項検定で調べた。その結果、実験 2-1 では 2 セッションとも、実

<sup>7</sup>実験 1 ではこれらの先行研究を踏まえて熱中度を身体動作に紐付けて評価した。実験 2 はこの正当性の検討を兼ねている。



験 2-2 では 6 回のセッション中 5 セッションでチャンスレベルに比べ分類木の正答率が  $p$  値  $<0.05$  で有意に高く、実験 2-2 の残りの 1 セッションも  $p$  値  $<0.1$  で有意に高かった (表 3 参照)。以上の結果から、身体動作が熱中度を有意に分類可能な程度一貫した関係を持つことが示唆された。この関係性の意味で、ある熱中状態が一貫した状態として観測可能である可能性 (1 つのモデルとして表現できる) が示唆された。

### 5.3 実験 3：熱中度と読解時間の関係性

読むことで熱中状態となるので、読者の熱中状態は読解処理と関連する可能性が考えられる。そこで、著者らは読解処理の時間的な変化と熱中度報告の関係性を調べた。読解処理の推定には読解時間の統計的な分布の推定を利用した。これまで多くの文章理解の研究において、読解時間の増減から読解処理の変化が推定されてきた (文章理解の研究方法を含まレビューとして [17])。しかし、読解時間の増減だけでは、読解処理が質的に変化したのか、処理内容は変化せず処理時間が変化したのか区別できない。著者らは Hidaka (2013)[18] の方法を用いて、読解時間の統計的な分布を推定することで、ある認知処理に含まれているサブプロセス数の変化、またはその処理速度の変化を推定し、読解処理の質的变化を推定した。この推定方法では、読解時間の統計的な分布がそれぞれ異なった読解処理に対応すると解釈し、読解時間の分布が混合分布であれば、読解処理は含まれる分布の数に対応した複数種類の処理で構成されていると解釈する。紙幅の関係上この推定のプロセスの詳細は書けないため、本論文では以下に簡単に実験条件と結果のみ述べる。詳しくは Fuyama & Hidaka (2016b)[10] を参照いただきたい。

実験 3 は実験 2 と同様に、被験者が第一著者 (実験 3-1) か他者か (実験 3-2) で 2 種類に分けられる。実験 3-1 は被験者が第一著者で 20 編の長編作品を 1 セッション 1 作品読んだ。このうち 9 セッション分は実験 1 のデータおよび実験 2 の熱中度報告データを用いた (実験 1・2 と別に新たに実験をしたのではなく同じデータを分析した)。実験 3-2 は 10 名の被験者が 2 作品の短編小説および長編小説の冒頭を読んだ (2 データが欠損し、計 18 データ)。このうち、6 セッションは実験 2 と共通のデータを分析した。読んでいる際の映像を録画してページを捲る動作を書き出し、2 ページごとの読解時間を分析に用いた。熱中度は読み終わってから作品を読み直しながら 1 ページあるいは 2 ページごとに報告した。実験 3-1 の主な目的は読解処

理推定手法の有効性および読解処理が 2 種類以上推定されるかを確かめることであったため、熱中度データは 2 作品でのみ取得した (実験 2 で分析に用いた熱中度と共有)。

実験と分析の結果、2 種類の読解処理が推定され (読解時間の統計的な分布が 2 つのガンマ分布の混合分布として最尤推定された)、その時間的な変化が熱中度の時間変化と有意な相関を示した。熱中度とこの読解処理の変化との関係を調べるため、読解処理の変化に対応する読解時間から推定された分布のパラメータを目的変数、熱中度と各ページの文字数を説明変数として重回帰分析を行った。その結果、目的変数が読解時間の分布のため、文字数は当然有意な説明変数となったが、加えて熱中度も有意な説明変数となった (ただし、読んだ物語が作品の冒頭のみで作品に展開がないと有意とならなかった)。読解処理のうちの一種類は読み初めや物語の予想外の展開で用いられ、もう一種類はある程度内容が読者に予想されやすい場所で用いられていると解釈できた。また、実験 3-2 の結果から、同じ作品を読んでいる場合、被験者間で読解処理の変化が類似 (有意に正の相関をもつ) することが示唆された。これらのことから、推定された読解処理は予測可能性に関わる文脈依存性をもち、この読解処理の変化が熱中状態の多寡に一貫して関係している可能性が示唆された。

## 6. 総合議論

以上 3 つの実験から、それぞれ熱中度-心拍数、熱中度-身体動作、熱中度-読解時間の間に有意な線形の関係性があることが示唆された。このそれぞれの関係性は、熱中状態のモデルの一部の推定結果と見なせ、これらの指標間の一貫した関係性の意味で熱中状態が一貫した同一性をもった状態であると解釈できるだろう。ただし、3 つの実験がそれぞれ示唆する 3 つの熱中状態がなんらかの意味で同一なのか、重複する部分があるのか、あるいは別の“熱中”状態なのかは現段階では不明である。直観的には、共通の (あるいは類似の) 熱中度という指標を用いているため、なんらかの同一性や類似性をもった状態であると考えるのが自然だと考える。

もちろん、読書に熱中する体験は個人ごと、また作品ごとに固有性があり、また“あの”読書時の我を忘れた感じが忘れられない、といった一回性を持つこともあるだろう。一方で、本研究の結果は、熱中状態のある側面は、客観的な指標によって一貫性をもって観測・特徴づけ可能な認知的な状態であることを示唆

する。この示唆は、無論、“あの”読書体験の個人にとっての一回性・特別性をなんら否定するものではない。一方で、このような観測や特徴づけ可能な一貫した同一性を持つ認知的状態として扱えることは、たとえば物語理解や読後の現実世界の認識など、他の認知的機能との関係性の議論を可能にする。

アリストテレスが悲劇の本質の1つとして感情の浄化であるカタルシスをあげたように [19]、またリクールが忘我による読者の変化、それにとまなう物語の本質的理解と現実世界の認識の変化を議論したように [20]、読者の熱中・忘我状態は単なる読者の一時的な感情的・情動的状態として閉じるのではなく、他の認知的状態と関連することが期待できる。近年、実証的な先行研究においても、物語理解と熱中状態との関係性 [2] や、読後の信念変化と熱中状態の関係性 [1] が注目されている。本研究においても、読解処理が熱中状態と関連して変化していたことは示唆に富む。

本研究によって読者の熱中状態が一貫性をもつ状態であることをある程度確認できたことは、こういった他の認知的機能との関係性を探る基礎として有益であろう。著者らは、今後さらに読者の熱中や忘我状態の特徴づけを進め、こういった他の認知的機能や状態との関係性を調べ、読者の熱中や忘我状態という読書中の印象的な現象から読書行為を捉え直していくことを目指す。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、圏論に関してご教示と議論をしてくださった長浜バイオ大学の西郷甲矢人さんに感謝します。

## 参考文献

- [1] Green, M., & Brock, T. (2000), “The role of transportation in the persuasiveness of public Narratives”, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 79, No. 5, pp.701–721.
- [2] Kuiken, D., Phillips, L., Gregus, M., Miall, D., Verbitsky, M., & Tonkonogy, A. (2004), “Locating self-modifying feelings within literary reading”, *Discourse Processes*, Vol.38, No.2, pp.267-286.
- [3] Saussure, F. D. (1910), “3 ème Cours de Linguistique Générale”, Constantin, M. (Ed). (影浦 峽・田中久美子 (訳) 『ソシュール 一般言語学講義: コンスタントンのノート』, 東京大学出版会.)
- [4] Tsuchiya, N., Taguchi, S., & Saigo, H. (2016). “Using category theory to assess the relationship between consciousness and integrated information theory”, *Neuroscience research*, Vol. 107, pp.1-7.
- [5] Tononi, G., & Massimini, M. (2013), “Nulla di più grande”, Baldini & Castoldi. (花本 知子 (訳) (2015). 『意識はいつ生まれるのか- 脳の謎に挑む統合情報理論』. 亜紀書房.)
- [6] 山梨 正明 (2007), “比喩と理解 (コレクション認知科学, 新装版)”, 東京大学出版会.
- [7] 西郷 甲矢人 (2012), “すべての人に矢印を: 圏論と教育をめぐる冒険”, *数学セミナー*. Vol.51, No.7, pp.72–78.
- [8] Csikszentmihalyi, M. (1990), “Flow: The psychology of optimal experience”, New York, Harper and Row. (今村 浩明 訳 (1996) 『フロー体験 喜びの現象学』, 東京: 世界思想社.)
- [9] 布山 美慕・日高 昇平. (2016), “読書時の身体情報による熱中度変化の記述”, *認知科学*, Vol.23, No.2, pp.135-152.
- [10] Fuyama, M., & Hidaka, S. (accepted), “Context-dependent processes and engagement in reading literature”, In *Proceedings of the 38th annual meeting of the cognitive science society*.
- [11] Green, M. C., & Brock, T. C. (2002), “In the mind’s eye: Transportation imagery model of narrative persuasion” In M. C. Green, J. J. Strange, & T. C. Brock (Eds.), *Narrative impact: Social and cognitive foundation*. New York: Psychology Press. pp.315–341.
- [12] Peifer, C., Schulz, A., Schächinger, H., Baumann, N., & Antoni, C. H. (2014). “The relation of flow-experience and physiological arousal under stress—can u shape it?”, *Journal of Experimental Social Psychology*, 53, pp.62–69.
- [13] D’Mello, S., Chipman, P., & Graesser, A. (2007). Posture as a predictor of learner’s affective engagement. In *Proceedings of the 29th annual cognitive science society*, Vol.1, pp.905–910.
- [14] 布山 美慕・諏訪 正樹. (2013), “読書行為の熱中過程—読書中の映像分析による熱中状態変遷の観察”, 第16回身体知研究会予稿集 (SIG-SKL-16), pp.26–34.
- [15] 大塚 邦明・久保 豊・堀田 典寛. (2007), “心電図 R-R 間隔変動: 非線形分析 (カオス・フラクタル解析)”, 日本自律神経学会 (編) 『自律神経機能検査第4版』. 文光堂, 東京. pp.169-182.
- [16] Hidaka, S., & Kashyap, N. (2014), “On the estimation of pointwise dimension”, *arXiv preprint arXiv:1312.2298*, No.23300099.
- [17] Graesser, A. C., Singer, M., & Trabasso, T. (1994), “Discourse comprehension”, *Annual review of psychology*, Vol.48, pp.163–89.
- [18] Hidaka, S. (2013), “A computational model associating learning process, word attributes, and age of acquisition”, *PLOS ONE*, Vol.8, No.10, e76242.
- [19] アリストテレス・ホラーティウス (trans. 1997), “詩学”, 松本 仁助・岡道男 (訳), 岩波書店.
- [20] Ricoeur, P. (1983), “Temps et récit I”, Paris: Seuil. (久米 博 (1987). 『時間と物語 < 1 > 物語と時間性の循環/歴史と物語』. 新曜社.)