

時間認知の心理学・生理学・時間生物学的特性と精神病理

栗山健一・曾雌崇弘・藤井 猛

独立行政法人 国立精神・神経医療研究センター 精神保健研究所 成人精神保健研究部

時間は五感で知覚することができず、しかも日常生活環境下では物理学的にはほぼ一定の速度である事が概念的に理解できているにもかかわらず、心理、生理学的状況に応じて知覚時間の速度が変化することから、古代より興味・探求の対象とされてきた。時間知覚は脳の基礎活動と深く関連し、様々な認知活動とも関連していることが推測され、精神疾患における認知異常との関連も検討されている。本稿では時間知覚に関する哲学的、心理学的、生理学的、時間生物学的なこれまでの知見を紹介し、時間知覚の本質的な意義、今後の研究課題に関して展望する。

1. はじめに

「行く川の流れは絶えずして、しかももとの水にあらず。澱みに浮かぶうたかたは、かつ消えかつ結びて久しく留まることなし。世の中にある人とすみかと、またかくの如し。」とは、鴨長明が方丈記の序章で世の無常観を綴ったあまりにも有名な一節である。時間の流れとは、長明が詠んだ加茂川の水のようなもので、常に一定の方向へ一定の速度で進む、絶対的のものさしであると少なくとも日常条件下では誰もが認識している。しかし一方で、楽しく過ごす時間は速く過ぎるのに退屈な時間はなかなか進まないと感じたり、午前中より午後のほうが時間の流れを遅く感じる。また、少年時代の1年間に比べ、歳を重ねるごとに1年間の感じ方が短くなり、老人にとって1年間はあっという間に感じる。このように絶対的時間概念とともに、相対的な心理的時間を当然のように受け入れている。このパラドクスはどこから来ているのであろうか。そもそも時間の認知とは何なのか。古くは古代ギリシャ時代の思想家達の手によってすでに問題提起がなされ、現在までに主に哲学、心理学的な検討が重ねられてきた。本稿では時間認知の心理学的性質および近年明らかにされつつある時間生物学的特性とその神経基盤、さらに精神神経疾患の病態に関連した時間認知の異常に関して概説する。

2. 時間の哲学

初期の「時間」概念の考察は哲学的なアプローチであった。時間という概念は誰もが認めるにもかかわらず、五感で知覚できないために、様々な思想家達のテーマとされた。古来の哲学者たちの興味は主に絶対的時間の概念であり、現存在との関わり方であった。紀元後4世紀半ばの思想家Augustinusは自著「Confessiones (邦題：告白)」[1]の中で時間概念に対し「もし誰も私に尋ねないなら私は知っている。尋ねられて説明しようとするとは私は知らない。」という言葉で結論付けた。彼は時間概念が自己の存在における時間軸として定義されることに気付いたが、絶対時間を論証するという意思に反して、「魂の延長 (distentio animi)」とする時間の定義が示すように主観的考察から脱することができなかった。

Kantは「Kritik der reinen Vernunft (邦題：純粋理性批判)」[2]の中で、空間的・時間的枠組みの中でしか物事を認識することは出来ないという立場から哲学の限界を模索している。彼の展開した時間論は、初めて絶対時間と時間認知とが別であることに言及した。つまり、自我によって構成される時間と客観的な時間の両方を認め、それぞれ「超越論的観念性」、「経験的実在性」と呼んだ。しかし両者はあくまで並列ではなく、主観的な時間こそが客観的時間を包含すると結論し、二元論の統合には至って

いない。時間概念それ自体は、あくまで現象を構成する一要素であり、直線で表せるような空間的性格を持つものという前提のもとで論は展開されており、それ以上のものとは考えていなかった。

19世紀初頭に現象学の祖であるHusserlは、現在は反復可能であるがゆえに時の本質であり、未来や過去は現在とはまったく異なった時間のあり方であると考えた。時間の流れをあたかも空間的平面が積み重なっていくような時空的移行をイメージし、現在と未来・過去をつなぐ物は「今まさに終えた」「今まさに始まろうとする」場面であると考えた〔3〕。「今まさに終えた」という体験を過去把持 (Retentio) と呼び、この瞬間こそが時間の萌芽の瞬間であると考えた。形而上学を志したBergson〔4〕も、基本的にはHusserlと同じく現在こそが本質であると考えたが、時間の経過は出来事の数数を数えることではじめて認識できるようになり（これを時間の空間化という）空間化された時間は過去になると具象化した。しかし、この空間化された時間は、空間化されているがゆえに本質ではなく、空間化を受けない時間（彼はこの時間を純粹持続と呼んでいる）こそが時間の本質であり（現在）もこれの一つであると言っている。

観念論者であるMerleau-Pontyは主観的な時間認知の考察を部分的に試み、演繹的に絶対時間を知ろうとした〔5〕。過去や未来が現在の中にあるということをも身体図式のperspectiveが時間の認知に結びつき、身体が時間を占領し過去と未来を現在に対して存在させると語った。つまり、登山家において目の前に見える山こそが、将来その山に登っている自分を想像し眼前にひかえるがゆえに未来であり、杖を忘れてきたとしたら登山中、常にそのことで苦勞を強いられ、忘れてきたことを何度も回顧するがゆえに過去となる。この様な、時間に対する身体的知覚に基づく可能性を含めた姿勢を時間の構造と考えた。

3. 時間認知に影響を与える心理学的要因

20世紀に入ると、心理学者の間で時間認知における心理的影響がテーマとして取り上げられ始めた。その時の気分や、注意の配分度合いによって時間を長く感じたり短く感じたりするといった現象は、心理学的考察の格好の標的となった。時間認知という主観的時間速度を客観的に評価する為に、心理学的なアプローチとして時間知覚という評価基準が生み出された。

時間知覚は脳内認知過程においてどのような情報処理を経ているのか。比較的短時間の認知においては、定量的に計測できる情報量との関連を検討する研究が多く、いくつかの時間知覚モデルが提唱されている。単位時間あたりのパルス量を換算しているとする感覚的処理モデル〔6〕や、時間とは関係のない情報の記憶量や変化量を換算しているとする認知的処理モデル〔7〕、また両者を統合したモデルやその他の音声情報などをパラメーターとしたペースメーカーの存在を仮定するモデル〔8, 9〕などが検証されている。

機械時計などの外的な手掛かりに頼らない内因的な時間知覚が一定ではなく、多様な生理的、環境的、心理的要因に影響を受けて、変動することが心理学研究により明らかになっている。時間知覚は多くは「○秒間経過したらボタンを押す」といった時間産出法や、視覚刺激を一定時間提示した後に再度同じ時間を再現させる時間再産出法が、その評価法として用いられている〔10〕。時間知覚は時間認知の基準となる時間のものさしで例えられ、時間知覚が長くなると相対的に実際の時間の流れは速く過ぎるように感じる（図1）。感染や環境温の上昇による高熱体温状況下においては時間知覚が長くなり、実際の時間経過を速く感じるという報告がある〔11, 12〕。また、電球が光っている時間を評価させる実験設定で、照度が相対的に高くなると時間が短く感じる〔13〕。恐怖を感じている時間は、時間を長く感じる〔14〕。他の刺激に注意をそらし、主刺激の提示されている

時間知覚

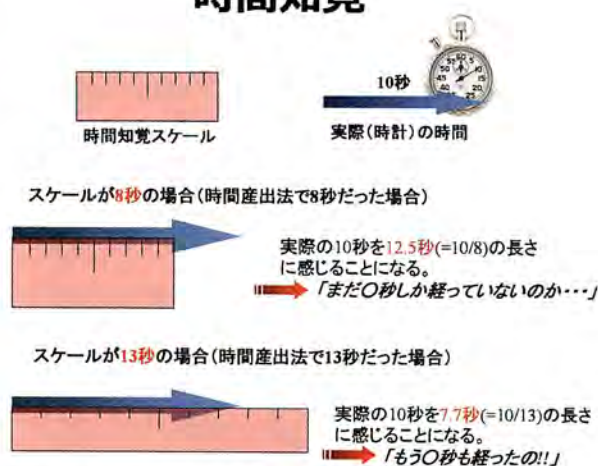


図1 時間知覚の基本モデル
 時間知覚はしばしば時間の‘ものさし’に例えられる。例えば、10秒産出法で時間知覚が10秒以下だった場合、実際の時間はゆっくりと進むように感じ、10秒以上であった場合は、逆に実際の時間は速く進むように感じる。

時間への注意配分量を減らすことで、提示時間が短く感じられる [15]。これらの研究結果は、非周期的な外的要因による時間知覚への影響を示唆し、我々の経験則にのっとった時間感覚の変化を実証的に検証している点で大変興味深い。多くは提示された時間間隔の長さを評価し、実経過時間と比較するという間接的な時間知覚評価法を用いている（時間評価：時間認知研究で主に用いられる課題）。時間評価は必ずしも時間知覚の変化を直接的に反映せず、時間評価時の言語化等の認知過程を包含しており、時間知覚ではなくこうした認知過程過程に心理的要素が影響している可能性がある。Kuriyamaらは [10] 時間知覚への気分や注意配分量の直接的影響を検討し、これがほとんどないことを報告している。一方で、日常意識することは極めてまれではあるが、時間知覚は約24時間の規則的、周期的変動を示すことが確かめられており、「時間知覚の概日変動」として知られている [10, 16]。

4. 時間知覚の時間生物学

日常生活の中で、午前中はあつという間に過ぎるが、午後から夜の時間はゆっくりと流れ、より有意義な時間を過ごすことができたとという経験はないだろうか。これは、時間知覚の概日変動によりもたらされる、時間の有効利用方策であると考えられている。時間知覚の概日変動は、時間知覚の長さを選択的に関係することが報告されている [17]。時間知覚研究の対象とされてきた時間間隔は、性質上2つに区分することができる。一つが最も短い時間間隔でミリ秒から数秒レベルの時間間隔であり [18]、もう一つが、数分から数時間に及ぶ時間間隔である。この2つの時間間隔の内、数秒レベルの時間知覚が選択的に概日変動を示すことが報告されている。Aschoffらは、10秒の“短時間知覚”と1時間の“長時間知覚”の概日変動特性に関して、地下隔離実験室内で自由継続環境下における時間知覚の変動を時間産出法を用い調べた [17]。その結果、10秒の時間知覚は概日変動を示す深部体温と負の相関を示し、深部体温が上昇すると時間知覚が短縮する傾向を示した。一方、1時間の時間知覚は深部体温の変動と相関関係を示さず、時間知覚前の覚醒時間の長さとの正の相関を示した。Kuriyamaらは、類似の10秒産出課題を用い、恒常統制下で30時間の覚醒持続時の、深部体温、メラトニン等の概日リズム関連生理指標および他の認知機能や多様な心理的尺度との関連を調べた [10, 19]。10秒時間知覚は深部体温およびメ

ラトニンと比較的高い相関を示し、覚醒度等の主観的な心理的変動とも弱い相関を示し、短時間知覚の概日変動および、それに関連した生理学的、心理学

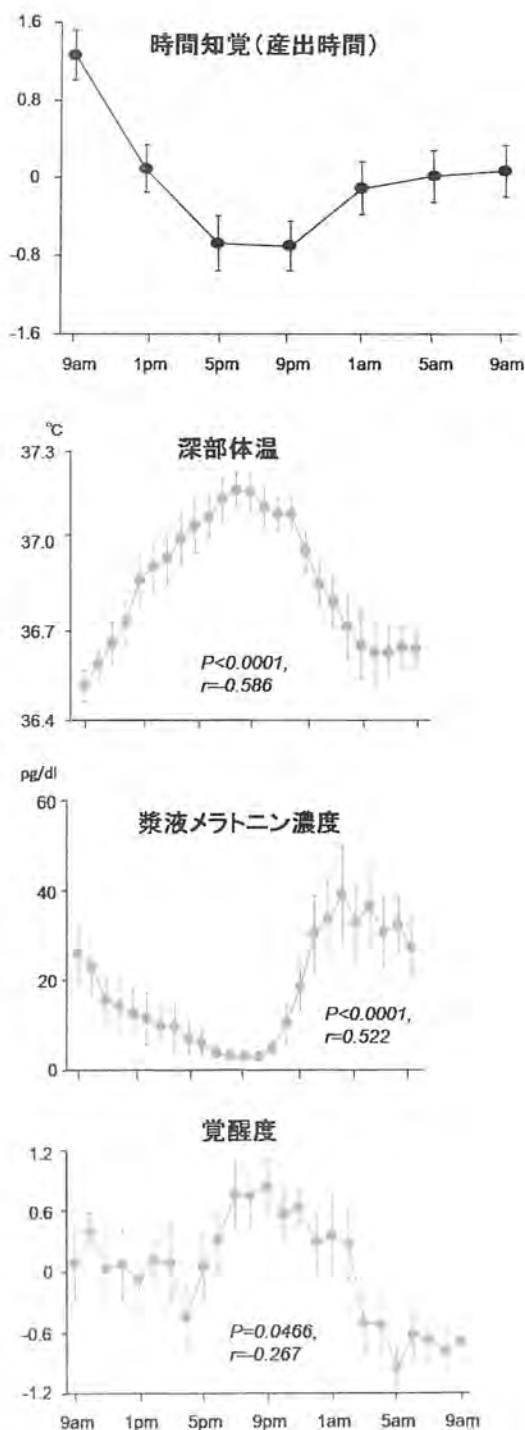


図2 時間知覚と概日マーカー、主観的覚醒度との相関関係（文献 [19] より引用、改変）
時間知覚は、恒常条件下では朝長く（実時間を速く感じる）、夜短く（実時間を遅く感じる）なるような概日変動を示す。これは、内因性の概日マーカーである深部体温と負の相関。メラトニン分泌量と正の相関を示し、さらに主観的覚醒度と弱い負の相関を示す。

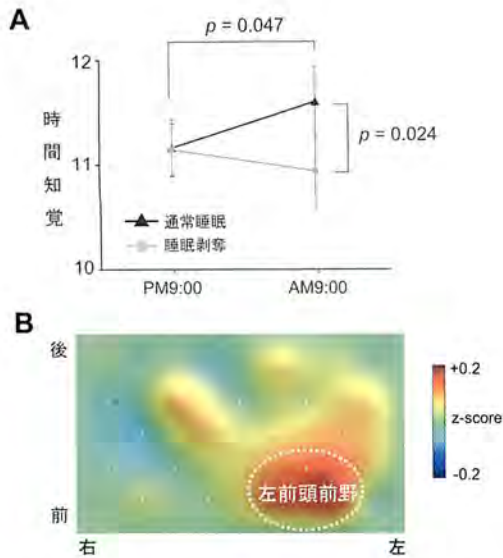


図3 睡眠剥奪による時間知覚への影響 (文献 [22] より引用、改変)

A 睡眠剥奪により、朝にかけて長くなるはずの時間知覚の概日変動が减弱する。

B その際、時間知覚課題中の左側前頭前野の活動が通常睡眠群より活発になる。これは、代償性の活動増加と考えられるが、代償不全なのか抑制性の代償なのかは明らかではない。

的要因との関連を示唆した (図2)。

一方、短時間知覚の概日変動は、睡眠による恒常維持機能との関連も示唆されている。Pöppelらは、睡眠が剥奪されると、短時間知覚における概日変動の減衰が起こることを報告している [20]。Miróらは、60時間の持続的睡眠剥奪状況下での短時間知覚の変動を調べ、夜から朝にかけて時間知覚の短縮が抑制され、概日変動が減衰することを明らかにした [21]。Soshiら [22] は、夜から朝にかけての睡眠剥奪に伴う時間知覚の概日変動減衰に関わる前頭皮質の背景脳活動を、近赤外分光法を用いて調べた。睡眠剥奪下では、睡眠を取った場合に観察される夜間から翌朝にかけての時間知覚の延長が起こらず、関連して左前頭前野活動が増加することを報告した (図3)。これは、睡眠剥奪状況とは睡眠を犠牲にしてまでも覚醒し活動しなければいけない状況であるので、時間知覚はこの状況下ではより実時間を長く感じるよう、夜から朝にかけての延長が抑制され、左前頭前野はこれをサポートするよう補助的に時間知覚を操作する役割を担っている可能性が示唆される。

5. 時間認知の神経基盤

近年発達した脳機能イメージング手法により、時

間知覚の背景脳基盤が徐々に明らかにされつつある。特に比較的長時間解像度に優れた機能的核磁気共鳴画像法 (fMRI) は、時間知覚の神経学的基盤に関する知見を飛躍的に増大させた。そして、この神経学的知見を元に、様々な時間認知に関する心理学的モデルが提唱されている。

まず、短時間の認知処理と、長時間の認知処理は関与する脳部位が異なると考えられている [23]。LewisとMiall [24] によると、前者は刺激の順序の同定および順序のある運動の産出に関与し、運動領野 (補足運動野、基底核、小脳) による自動的な処理過程とされる。一方後者は高次認知処理を積極的に必要とする過程で右半球優位の前頭前野や頭頂葉が関与し、注意や作働記憶を駆使して柔軟に処理する過程であるとされる。

Harringtonら [7, 25] は数種の時間知覚課題を用いfMRIにて脳局在を調べた。彼は、短時間の時間知覚課題においては基底核・小脳・皮質の神経ネットワークの活動が見られると報告した。彼らの想定した心理学的時間認知モデルは、時間の暗号化→情報処理→注意配分・情報保持→情報の比較、という4過程が含まれ、脳活動出現の時間移行に心理的過程をあてはめて論じた。つまり暗号化過程には基底核、情報処理過程は主に小脳、注意配分・情報保持は側頭、頭頂皮質が関与し、最終的な情報の比較評価には右前頭前野背外側部が関係するという、時間情報処理の脳基盤モデルを提唱している。Lalondeら [8] も小脳と前頭前野の活動性に注目し、小脳に中枢性タイマーが存在し、前頭前野は時間情報の処理に記憶処理過程と注意配分機能を担うとするモデルを考案した。

多くの研究者に受け入れられている時間認知モデルにBuhusiとMeck [26] の提唱したpacemaker-accumulator modelがあり、多く派生モデルが提案されている。この基本モデルによると、ペースメーカーモジュールが一定間隔でパルスを生成し、これをアキュムレーターが受け取り蓄積・記憶する。そして一定期間に蓄積されたパルスを参照記憶と照合、比較して相対的な時間の長短を判断する。Raoら [27] は短い音刺激を4つ被験者に聞かせて、前2つの間隔と後2つの間隔の長さ (1200ミリ秒前後) を比較してボタン押しで返答させる時間評価課題を施行中の脳活動を事象関連デザインfMRIで測定した。時間認知課題においては、早期の基底核、右側下頭頂小葉、両側運動前野の活動および遅延期の小脳、右側背外側前頭前野の活動がみられ、これら

がネットワークとして時間認知に関与するとした。

Pacemaker-accumulator modelの派生であるAttentional-gate model [28]は、注意が時間認知に向けられているときのみ、ペースメーカーモジュールによって生成されたパルスがアキュムレーターに蓄積される点で異なる。これによって人を待っている時の様に、時間により注意を向ける程、その時間はより長く感じられるという現象が説明できる。Coullら [29]はミリ秒単位の視覚刺激提示時間と色への注意の配分を操作し、時間への注意が増加すると時間評価課題の反応時間が短縮し誤答率が低下するとともに、前補足運動野、前頭弁蓋部（島）、被殻の活動が増加することを示した。

様々な時間認知モデルの良い点を取り入れ、さらに自身の機能画像手法により得た知見を還元し考案したPouthasら [9]による3段階モデルが現在最も多くの研究者に支持されている時間認知モデルである（図4）。このモデルは主に、①時計過程、②記

憶過程、③判断過程の3段階の認知過程を含み、それぞれ低次から高次へ徐々に認知機能がシフトする。各過程は、①大脳基底核や小脳を含めた皮質下領域、②前頭、頭頂、側頭皮質、③前頭前野や頭頂連合皮質、帯状皮質等の活動が関係していると考えられている [30-32]。

いずれモデルにおいても、時間知覚においてはある種のタイミングパルスオシレータの存在を想定しており、この役割を小脳や皮質下組織が担っていると考えられている。この時間知覚をもたらす体内時計システム（インターバルタイマー [33]）の神経局在を明らかにすることが、機能画像研究の一つの流れとなっている。他方で、時間生物学的な視点で時間知覚の機能局在を検討した研究はいまだ見られない。特に興味のある中心は、時間知覚に重要な役割を果たすインターバルタイマーシステムと概日オシレータとの神経学的関連性である。概日オシレータの脳局在としては、視交叉上核が良く知られているが [34, 35]、視交叉上核と小脳、基底核、皮質等との機能的関連性が明らかになることで、時間知覚の時間生物学的洞察がさらに深まるものと思われる。

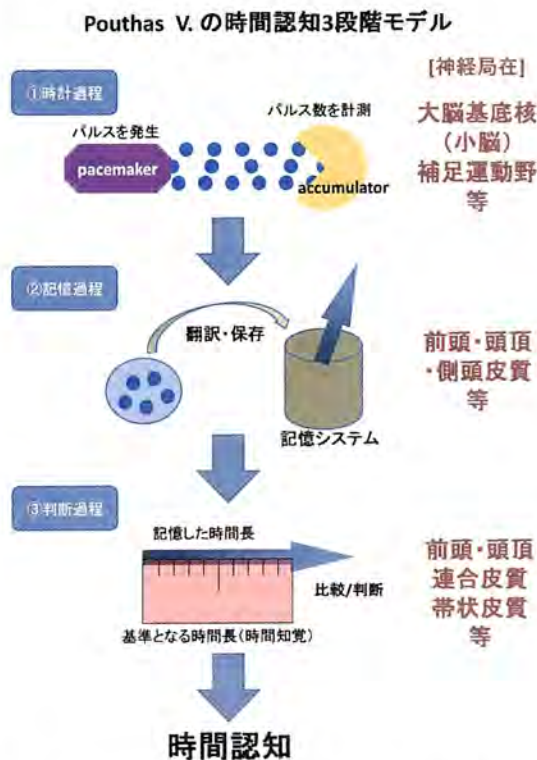


図4 時間認知3段階モデル (Pouthasら [9])
時間知覚課題遂行に関連した神経局在の知見を基に、認知過程を3段階に分け機能モデル化したもの。①時計過程 [ペースメーカーが規則的にパルスを生成、アキュムレーターがこれを受け取りカウント] → ②記憶過程 [時間情報が、一時的/恒久的に作動記憶/長期記憶システムに保存] → ③判断過程 [基準となる時間長 (時間知覚) と比較、判断] へと段階が進むにつれて、皮質下より新皮質が主座となるような高次認知へと移行し、処理が遂行される。

6. 精神疾患（うつ病・統合失調症）病態における時間認知の病理

Straus [36]は健康者では主観的時間体験（時間認知）と客観的時間体験（実時間）がほぼ調和しているが、うつ病者では乖離が見られ、主観的時間が停滞することで未来が閉ざされ、現在と過去の結びつきが強まり、微小的・破滅的な考えや心気・罪業念慮、将来への希望を失うといったうつ病者の心理的性格が生み出されると考察した。Binswanger (1960)も、うつ病者の思考パタンの背景に時間認知の病理を見出した。うつ病者の自責感において、「もしも・・・しなかったらこんな事にはならなかったのに」という考え方は、可能性を追及するといった未来志向的思考パターンが過去志向的思考パターンに浸透していると考えた。また、絶望感において、「いくら・・・しても駄目に決まっている」という考え方は逆に過去志向的思考パターンの中に未来志向的思考パターンが浸透した結果であると考えた。Minkowskiは著書「Le temps vécu (邦題：生きられる時間)」[37]の中で、メランコリー性うつ病においては「自分の時間」が「世界の時間」より遅れるか、停止してしまっただよように感じ、未来が開かれることもなく過去を清算することもできなくなり、行き場を失う。つまり、時間性は持ち合わせているが、そ

の共時性を失っている、と考えた。

うつ病は周期的に病相が出現する場合が多く、午前中に気分の悪化があり午後に軽快するといううつ症状の日内変動が認められ [38]、季節周期性に症状が変動する季節性うつ病という一重型も存在することから [39]、生体リズム障害としての側面を指摘されている。

Kuhs [40, 41] はStrausのうつ病患者に対する病理学的考察を生理学的に考察した。Strausが言う主観的時間と客観的時間の相対的な速度差がうつ病の病理であると考え、うつ病患者は客観的時間が主観的時間に比し速く進むために、主観的に時間がゆっくりもしくは逆向きに進む様に感じるという仮説を立てた。彼はこれを確かめるためにうつ病患者を対象に30秒間の時間評価課題を行わせて健常対照群と比較したところ、健常者が実際の30秒を40秒程度と評価しているのに対しうつ病患者では一様に24秒程度を実際の30秒と評価し、うつ症状が重いほどこの傾向は顕著になることを見出した。これは健常者と逆にうつ病患者は30秒経過したと思っても実際には24秒しか経過していないことを示しており、これにより世界の進行から“自分だけ”取り残されていくという感覚が生じ、不安・焦燥・微小妄想などの原因となるのではないかと考察した。

Minkowskiは別著「La Schizophrénie (邦題：精神分裂病)」[42]において統合失調症の病理に「現実との生命的接触の喪失」をあげたが、この本態に時間性の喪失が存在すると考えた。統合失調症の患者において空間的構成能力に障害があることが知られており、WAIS-Rなどの神経心理学的検査でもこのことが確かめられている。それとともに、統合失調症者の訴えの中には時間の流れを遅く感じたり、時系列の中で自己を位置付けることに困難を感じていると思わせるものが少なくない。Voltzら [43] はfMRIを用い、時間評価課題施行時の脳活動を統合失調症患者群と健常者群で比較し、被験後部から視床前部、前頭前野にかけて統合失調症患者群で有意に活動性が低いという結果を得た。時間評価課題の成績も統合失調症群で低く、前頭葉－視床－線状体系の機能低下が示唆される結果となった。統合失調症患者はうつ病患者とは異なり、主観的時間の停滞とともに客観的時間の検討能力までも失ってしまうがため、Minkowskiの言うような時間の流れ（生命の躍動）の喪失を迎えているという考察も成り立つ。また、過去に起こった出来事の順序付けの誤りや、未来に起こると予測する出来事の過去への出現など

といった時系列認知の障害が患者の妄想を形作る一要因となる可能性もうかがえる。Elevagら [44] はこの病理に着目し、統合失調症患者を対象に一定時間毎にランダムに単語を見せて再構成させる実験を試みた。その結果、健常者群と比し有意な成績の不良を確認し、時系列構成能力にも障害があることを指摘した。これは、記憶の断片を誤った時系列において継ぎ合わせるためストーリーを成立させるのに作話的操作を加えざるを得ず、妄想を形成・体系化させてしまうといったメカニズムが統合失調症者の妄想の中に含まれる可能性を、時間認知の病理は含んでいるといえる。

7. 最後に

思想家Augustinusが活躍した時代から人類は“人間とは何か”という問いに立ち向かってきた。この問いは現代の科学(特に脳科学)の根本的なモチベーションであるとともに「脳を脳で理解できるか」というジレンマでもある。現代の科学の発展はこのジレンマに対して支払われた努力の代償であるともいえる。では“人間とは”という問いにどれだけ答えることが出来たのであろうか。脳科学の分野では2000年前の疑問がいまだに解けない一面をもち、克服困難な精神疾患が多く存在するのが現状である。「時間とは何か」という問いは基本的な問いであるがゆえに脳や精神を理解するための大きな手がかりになる可能性を含んでいる。恒常環境下において時間知覚が示す時間生物学的特性は、恐らく意識の質的変動そのものであり [45]、脳の持つ基本的性格の一端を示していると考えられる。20世紀初期にすでにBergsonは時間とは純粹持続であると述べているが、これは、時間は意識の持続そのものであり、意識が一様に持続するのであれば、時間は普遍的なものであるという帰無仮説を含んだ考察であることが推測される。それゆえ意識状態の変化が時間知覚の変化として客観的に観察されるのであろう。Aritake-okadaらは、ヒトは睡眠中も時間知覚する能力をある程度保っており [46]、徐波睡眠出現量と知覚時間長との間に正の相関がある事を報告している [47]。これはつまり、皮質活動量に応じて時間知覚が変容することを示唆しており、まさに時間知覚が意識レベルとリンクしていることの傍証といえる。時間認知と精神の場である意識はきわめて密接な関係を持っており、これを研究することで、生物学・脳科学の進歩に役立つとともに、精神医学の発展に寄与できることを期待している。

引用文献

- 1) Augustinus SA: S. Aureli Augustini Confessionum Libri XIII. Edidit Martinus Skutella. Editionem Correctiorem Curaverunt Heiko Juergens et Wiebke Schaub. Stutgardiae in Aedibus BG. Teubneri MCMLXIX (397-400)
- 2) Kant I: Kritik der reinen Vernunft (1st Edition: 1971) . Gutenberg eBook, Germany (2004)
- 3) Husserl EGA: Bd. X Zur Phaenomenologie des inneren Zeitbewusstseins (1893-1917), hrg. von R. Boehm (1966)
- 4) Bergson HL: Essai sur les données immédiates de la conscience (1889) , Cours I: Lecons de psychologie et metaphysique. Presses Universitaires de France (1990)
- 5) Merleau-Ponty M: Phenomenology of Perception. Paris: Gallimard (1945)
- 6) Fuster JM: Ann N Y Acad Sci 15: 173-181 (1995)
- 7) Harrington DL, Haaland KY: Rev Neurosci 10: 91-116 (1999)
- 8) Lalonde R, Hannequin D: Rev Neurosci 10: 151-173 (1999)
- 9) Pouthas V, Geroge N, Poline JB, Pfeuty M, VandeMoortele PF, Hugueville L, Ferrandez AM, Lehericy S, LeBihan D, Renault B: Hum Brain Mapp 25: 433-441 (2005)
- 10) Kuriyama K, Uchiyama M, Suzuki H, Tagaya H, Ozaki A, Aritake S, Kamei Y, Nishikawa T, Takahashi K: Neurosci Res 46: 23-31 (2003)
- 11) Hoagland H: J Gen Psychol 9: 267-287 (1933)
- 12) Kleber RJ, Lhamon WT, Goldstone S: J Comp Physiol Psychol 56: 362-365 (1963)
- 13) Ashoff J, Daan S: Chronobiol Int 14: 585-596 (1997)
- 14) Angrilli A, Cherubini P, Pavese A, Mangfredini S: Percept Psychophys 59: 972-982 (1997)
- 15) Fraisse P: Annu Rev Psychol 35: 1-36 (1984)
- 16) Aschoff J: Ann N Y Acad Sci 423: 442-468 (1988)
- 17) Aschoff J: J Biol Rhythms 13: 437-442 (1998)
- 18) Lewis PA, Miall RC: Neuropsychologia 41: 1583-1592 (2003)
- 19) Kuriyama K, Uchiyama M, Suzuki H, Tagaya H, Ozaki A, Aritake S, Shibui K, Tan X, Lan L, Kamei Y, Takahashi K: Neurosci Res 53: 123-128 (2005)
- 20) Pöppel E, Giedke H: Psychol Forsch 34: 182-198 (1970)
- 21) Miró E, Cano MC, Espinosa-Fernández L, Buela-Casal G: Hum Factors 45: 148-159 (2003)
- 22) Soshi T, Kuriyama K, Aritake S, Enomoto M, Hida A, Tamura M, Kim Y, Mishima K: PLoS ONE 5 (1) : e8395 (2010)
- 23) Pöppel E: Trends Cogn Sci 1: 56-61 (1997)
- 24) Lewis PA, Miall RC: Curr Opin Neurobiol 13: 250-255 (2003)
- 25) Harrington DL, Haaland KY, Knight RT: J Neurosci 18: 1085-1095 (1998)
- 26) Buhusi CV, Meck WH: Nat Rev Neurosci 6: 755-765 (2005)
- 27) Rao SM, Mayer AR, Harrington DL: Nat Neurosci 4: 317-323 (2001)
- 28) Zakay D, Block RA: Acta Neurobiol Exp 64: 319-328 (2004)
- 29) Coull JT, Vidal F, Nazarian B, Macar F: Science 303: 1506-1508 (2004)
- 30) Casini L, Ivry RB: Neuropsychology 13: 10-21 (1999)
- 31) Ivry RB, Spencer RM: Curr Opin Neurobiol 14: 225-232 (2004)
- 32) Smith A, Lidzba K, Taylor E, Rubia K: Neuroimage 20: 344-350 (2003)
- 33) Morell V: Science 271: 905-906 (1996)
- 34) Inoue ST, Kawamura H: Proc Natl Acad Sci USA 76: 5962-5966 (1979)
- 35) Moore RY, Silver R: Chronobiol Int 15: 475-487 (1998)
- 36) Straus E: Psychologie der Menschlichen Welt, Springer, Germany (1960)
- 37) Minkowski E: Le Temps Vécu (1933) . Delachaux et Niestlé, Neuchâtel, Suisse (1968)
- 38) Healy D: Psychopharmacology 93: 271-285 (1987)
- 39) Eastwood MR, Peter AM: Psychol Med 18: 799-806 (1988)
- 40) Kuhs H, Hermann W, Kammer K, Tolle R: Psychopathology 24: 7-11 (1991)
- 41) Kuhs H: Comprehensive Psychiatry 32: 324-329

- (1991)
- 42) Minkowski E: La Schizophrenie, Desclée et Brouwer, Paris (1953)
- 43) Volz HP, Nenadic I, Gaser C, Rammsayer T, Hager F, Sauer H: Neuroreport 12: 313-316 (2001)
- 44) Elvevag B, Egan MF, Goldberg TE: Schizophr Res 46: 187-193 (2000)
- 45) Arzy S, Molnar-Szakacs I, Blanke O: J Neurosci 28: 6502-6507 (2008)
- 46) Aritake S, Uchiyama M, Tagaya H, Suzuki H, Kuriyama K, Ozaki A, Tan X, Shibui K, Kamei Y, Okubo Y, Takahashi K: Neurosci Res 49: 387-393 (2004)
- 47) Aritake-Okada S, Uchiyama M, Suzuki H, Tagaya H, Kuriyama K, Matsuura M, Takahashi K, Higuchi S, Mishima K: Neurosci Res 63: 115-121 (2009)