

ヒトの時間認知

～概日ペースメーカーとインターバルタイマー～

栗山 健一

国立精神・神経センター 精神保健研究所 精神生理部
大宮厚生病院 精神神経科

ヒトを含めたほとんどの高等動物が概日ペースメーカー以外に短時間の時間間隔を計測する体内時計を持っていることが知られている。この時間間隔を測るインターバルタイマーは、積極的に行動のタイミングや間合いをとり、環境へ適応するために重要な役割を果たしていると言われている。動物の場合、行動パターンを客観的に観察することでインターバルタイマーの機能を評価することができるが、ヒトの行動は社会的枠組みや人為的なルールで縛られており、また正確な腕時計の利用が習慣化してしまっているために評価が困難である。我々は時間産出法を用いることでインターバルタイマーの正確性を客観的に評価し、インターバルタイマーの概日特性とともに、心理的・身体的影響をほとんど受けない堅固なシステムである事を明らかにした。インターバルタイマーは行動の手がかりのみでなく、我々の精神活動にも深く関わっている事が示唆されており、その特性を認識することで精神活動の一部を理解することができる。また、中核的精神疾患の背景にインターバルタイマーの機能不全が存在することが指摘されており、精神症状の構造を理解するうえで手掛かりとなると思われる。

1. 2種類の体内時計

近年、ほとんどの高等動物が概日ペースメーカー以外に、比較的短い時間経過を推し量る体内時計（インターバルタイマー）を生得的に備えていることが知られている²⁷⁾。例えば、ジュズカケバトの雄と雌はこれらの2種類の体内時計を参考にしながら、抱卵と捕食活動のタイミングをとっていることが知られている^{6), 27)}。雄は決められた一定時間のみ狩りに飛び立ち、狩の間雌が巣を守り、その後交代して雄が巣で卵を温める。狩を行う際、または天敵から身を守る際に行動のタイミングを計るため、インターバルタイマーは重要な適応上の役割を担っている。

概日ペースメーカーは、主にホルモン動態や睡眠・覚醒のリズムをコントロールすることによって日内のおおよその時刻情報を与えているのに対して¹⁶⁾、インターバルタイマーはより短い、分・秒単位の時間情報を提供しているシステムと考えられている⁵⁾。ほぼあらゆる動物がこの概日ペースメーカーとインターバルタイマーを巧みに用いて、天敵から身を守り、食物を捕獲するための計画を立て、適応

行動のタイミングをとっている^{5), 16), 27)}。

ヒトも例外ではなく、このインターバルタイマーを無意識に用いて行動を規定している^{10), 27)}。腕時計という便利な器具が、意識的に測時する場面ではインターバルタイマーを機能的に代償してしまったために、その重要性は薄められてしまったかに感じられるが、我々のほとんどの精神活動、行動発現においてインターバルタイマーの存在が不可欠である。

2. 時間情報処理の神経基盤

概日ペースメーカーは視床下部の視交叉上核に位置し、各種の生体ホルモンや体温、自律神経等の概日周期を発振していることが知られている¹⁶⁾。一方、インターバルタイマーの機能を構成する神経学的基盤については、一定した見解が未だに無い¹⁸⁾。

Harringtonらはf-MRIを用いインターバルタイマーの機能に関連した脳内活動を調べたところ、基底核・小脳・連合野皮質の神経ネットワークが関係していると報告している⁸⁾。また、Lalondeらは小脳・基底核・前頭前野の活動が時間知覚に関連して増加

していることを報告している¹⁵⁾。インターバルタイマーのメカニズムは砂時計に例えられる^{10), 20), 24)}。砂の役割をするのが、あるオシレーターから規則正しく発せられる神経インパルスであり、この量をカウントする事で単位時間を計測しているというのがインターバルタイマーの主要なモデルである。このモデルに基づいて考えると、HarringtonらやLalondeらの報告した、基底核や小脳が砂時計の砂を形成する規則的な神経インパルスを発生しているオシレーターであると考えられ、皮質はこれを知覚、評価する際の判断に関連して活動すると考えられる。

3. 時間認知の心理的修飾

ヒトでは、ある長さの時間を再現させたり、ある長さの時間を提示し経過時間の評価をさせたりすることでインターバルタイマーの正確さを調べることができる。心理学的には前者を‘時間知覚 (time perception)’、後者を‘時間評価 (time estimation)’と区別して扱われることが多いが^{20), 24)}、主に比較的短時間 (秒・分単位) の時間知覚法が、混乱要因の影響が少なく、鋭敏にインターバルタイマーの機能を反映すると考えられる。

主観的な時間の流れは一樣ではなく、場面によって異なることは経験的によく知られている。退屈な会議に費やす2時間と楽しい映画を見て過ごす2時間では、誰もが後者のほうが、時間が速く過ぎたと感じるに違いない。しかし、時計の針は両者とも同様の時を刻んでおり、時間経過自体に質的な差異はない。異なっているのはあくまでも時間を知覚するヒトの状態の差である。こうした様々な条件下で変化する、ヒトの時間経過速度の捉え方は‘心理的時間’と呼ばれ、古くから心理学研究者の興味の対象であった。

ヒトの心理的時間はどのような心理的・身体的コンディションに影響を受けるのであろうか。まず我々が経験的に感じるのは、上記の例のように気分等の心理条件によって心理的時間に影響を受けるのではないかという予測がたてられる。Watts & Sharrockは蜘蛛が嫌いな人を対象にガラスの容器に入った蜘蛛を一定時間凝視させ、見つめていた時間を見積もらせる実験を行った²⁶⁾。その結果、恐怖心 (嫌悪感) を持っているときと有意に時間を長く感じると報告した。つまり気分という心理状態が心理的時間に影響を与えることを実験的に証明したのであるが、気分以外の心理的・身体的コンディションも影響要因になりうる事が予測される¹⁾。作業中の時間は、

何もせずにボーっとしている時間よりも速く経過するという経験は誰もが持っているであろう。これを確かめるためにFortinらは短期記憶課題を20秒カウントさせる課題と同時に往復する実験を行い、記憶課題負荷により、カウント時間が延長すると報告している¹⁾。つまり心理要因のみではなく、脳高次領域の活動性が高まるか、時間カウント課題に配分される注意量が減少することも心理的時間に影響を与える可能性が示唆される。

4. 時間知覚の日内変動

野生動物は、インターバルタイマーと概日ペースメーカーを行動決定の手がかりとし、種の保存に役立てているが、これら2種類の体内時計を同調させて行動のタイミングをとっている種も存在する。前述のジュズカケバトの雄は一定時間狩りに飛び立ち、帰巣後に雌と交代して巣で卵を温める。ところが、実験室で雄の帰りを数時間ずらしただけで雄と雌は喧嘩をはじめ、卵を温めるのをやめてしまう^{6), 27)}。彼らは概日ペースメーカーとインターバルタイマーとを組み合わせ活用し、抱卵・捕食活動のタイミングを精密にとっており、雌雄の同調が崩れると番 (つがい) として成立しなくなってしまうのである。

ヒトの時間知覚が日内変動することをPöppelらはヒトの行動実験の中で示した¹⁷⁾。時計を見ずに10秒をカウントさせる課題を4時間おきに行ったところ、昼間は実際の10秒より短くカウントするのに対し、夜間は実際の10秒より長くカウントした。この事は、インターバルタイマーの速度が昼間は速く、夜間は遅くなる事を示している。さらにAschoffはフリーラン実験の中で、この時間知覚の日内変動が直腸温変化と負の相関を持つ傾向があると報告している²⁾。これらの報告はインターバルタイマーが概日ペースメーカーに影響を受けて働いている可能性を示唆する。

5. インターバルタイマーの機能的特徴

我々は、心理的・身体的要因および概日ペースメーカーによるインターバルタイマーへの影響を調べるために、14名の若年健康成人を対象に10秒時間産出課題を用いた実験を行った¹³⁾。10秒時間産出法とは、時間の表示されないストップウォッチを用い、スタートボタンを押してから、できるだけ正確に10秒後にストップボタンを押して10秒間を産出する方法である^{13), 14)}。例として1分間を産出したときに、50秒でストップウォッチを止めた場合、インターバル

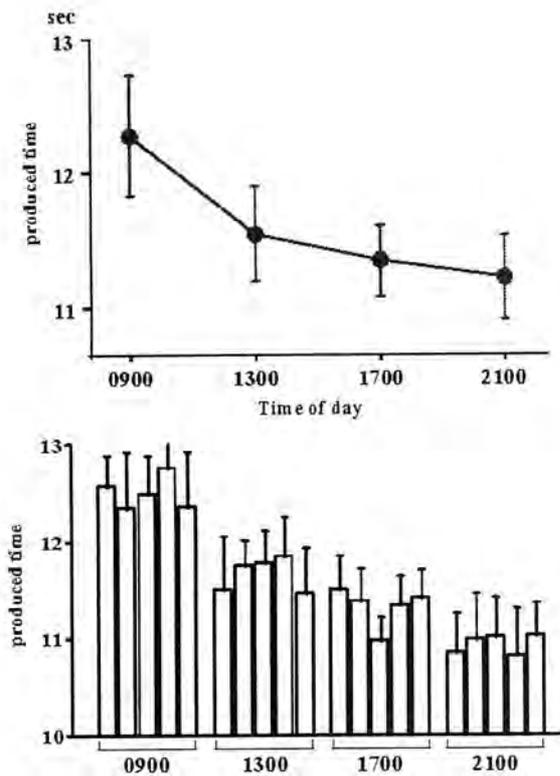


図1 産出時間の時刻変動と同時負荷課題の影響
 上：セッションごとの産出時間の平均値と平均誤差をプロット。午前9時から午後9時まで、徐々に産出時間は減少する。下：各セッションごとに5種類の条件に別けて表示。左から、単に10秒産出した場合、数字・図形・単語の3種類の作動記憶課題を同時負荷した場合、報酬を与えた場合。5条件間で有意差は見られず、時刻効果のみみられた。

タイマーの針の速度は実際の時刻経過よりも速く、実際より時間の流れが遅く感じていることを示す。

単に10秒産出した場合と、数字・図形・単語の3種類の作動記憶課題をそれぞれ同時に行った場合、さらに産出した10秒が実際の10秒に近かった際に報酬を与えモチベーションを高めた場合の5種類の課題を同一日中に4時間おきに4回行い、各条件間の産出時間の差および課題施行時刻による差を検討した。影響要因を厳密に統制するために、気温、湿度、照度等の環境条件および食事、対人接触、娯楽等の行動条件を一定とした隔離実験室内で実験を行った。その結果、単純な10秒産出の場合と、作動記憶負荷時、報酬条件では有意な差が生じず、いずれの場合も1回目の課題から4回目の課題にかけて徐々に産出時間が短くなった(図1)。つまり、脳高次領域の活動性の亢進や時間産出課題に配分される注意量の減少はインターバルタイマーの正確性に影響をほとんど

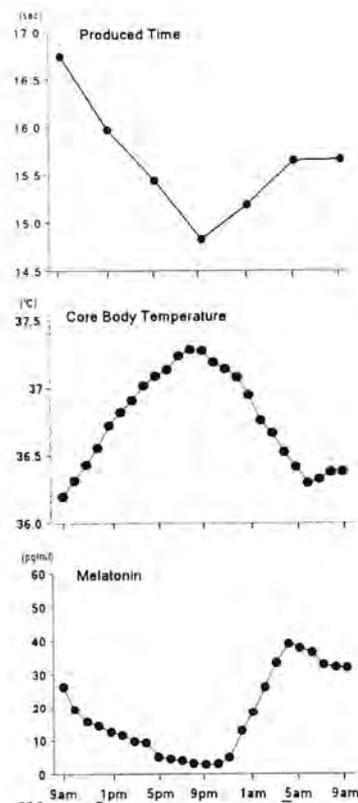


図2 産出時間、深部体温、血漿メラトニンレベルの概日変動

代表的な一例のデータを示す。上：産出時間の経時変化、中：深部体温の経時変化、下：血漿メラトニン濃度の経時変化。産出時間は4時間おきのデータの平均値。深部体温と血漿メラトニン濃度は1時間おきのデータの平均値。産出時間は深部体温とほぼ対称的な概日変動を示している。

ど及ぼさず、時刻条件のみがインターバルタイマーの速度に影響を与えている可能性を示唆する。産出した時間が徐々に短くなるということは、インターバルタイマーの針の速度が徐々に速くなることを示し、また心理的時間経過が遅くなっていくことを示している。経験上、午前中は時間が早く進むように感じるのに対し、午後から早晩にかけては時間がゆっくり進むように感じるが、この結果はこうした現象の背景を捉えたものにはかならない。

ただし、この実験では朝から夜までの約半日の経過のみでしか検討されておらず、産出時間の日内変動の周期性およびその原因に関して言及できない。このため次に、我々は24時間の実験スケジュールの中、4時間おきに7回、10秒産出課題を行った¹⁴⁾。実験は同様の厳密にコントロールされた環境下で、直腸温を連続測定する他に、1時間おきに血漿サンプルを採取し各ホルモン濃度を測定し、また心理状態の

変化を質問紙を用い1時間おきに定量した。この結果、産出時間は時間経過とともに増減する概日振動を示し(図2)、深部体温リズムや血中メラトニンリズムと強く相関を持って変化した。一方、コルチゾルや心理変化とは有意な相関はなかった。つまり、インターバルタイマーは概日ペースメーカーの影響を受けて機能し、心理的な影響はほとんど受けないことがわかった。

6. インターバルタイマー機能の概日変動

インターバルタイマーは午前9時頃最も進みが遅くなり、午後9時頃進みが速くなるといった、ほぼ1日の周期で進捗が変動し、その変動の周期は深部体温変動とパラレルである^{13),14)}。この変化が概日ペースメーカーの直接の出力を受けたものであるのか、深部体温の影響を受けてのものであるのかは重要な問題である。人為的に体温を上昇させて時間知覚を調べた実験も報告されているが、混乱因子が多く結果の信頼性は低いと言わざるを得ず、今後の課題である^{7),9)}。しかし健康人においては、インターバルタイマー機能が心理的状態や注意、大脳皮質活動に影響を受けにくく、一日の中で一定のパターンで変化しているという事実は確かである。

我々が行動を起こす際、常に時間的見積もりが無意識的に必要となる。10分後に友人と待ち合わせをしているとしよう。それまでに何ができるか考える際、我々は無意識的にインターバルタイマーを活用し、おおよその10分を見積もる。また、会議で議長が結論を述べる際、ゆっくりと間をおきながら陳述を進めると説得力が増すが、この発言のスピードや適切な間を作り出す際にもインターバルタイマーを無意識的に参考にしていると考えられる。このように、野生動物と同じようにインターバルタイマー機能は行動発現の際に不可欠な要素であるが、なぜ日内変動するのかは未だ謎である。前述のジュズカケバトのように、インターバルタイマーと概日ペースメーカーを巧みに組み合わせることで自然界を生き抜くのに有利であることの名残であるのかもしれない。ただし、インターバルタイマーの機能不全が適応上不利な要素であることは言うまでもなく、統合失調症やうつ病などの精神疾患においてインターバルタイマーの機能不全が見られることは興味深い^{11),12),23),25),26),28)}。

7. 精神疾患の時間認知障害

中枢神経系の機能変調である精神疾患において、

	時間認知の特徴	精神症状
統合失調症	・時間を長く見積もる ・個人差および健常人との差が大きい	時間が止まってしまった世界から取り残された他人より優れている(劣っている) → 妄想・無為等の出現
うつ病	・時間を長く見積もる ・時間認知の概日変化が健常人と逆転	時間が解決してくれない → 微小・罪業妄想等の出現 不快な一日が永遠に続くのでは → 抑うつ気分の日内変動

表1 精神疾患における時間体験の特徴と精神症状
時間認知の病理と精神病症状との関連が推測されている。インターバルタイマー機能の破綻が、精神病症状の出現や妄想的色付けの基盤となる。

主観的な時間体験の様式が健常人と異なっており^{31),32),35),36)}、各精神疾患特有の時間体験様式が中核的精神症状と関連していることが指摘されている(表1)。

1) 統合失調症の異常時間体験

統合失調症に時間認知課題を課すと健常人と比べて、時間間隔を不正確に見積もる。しかし、主観的時間体験が速いのか遅いのかについては、報告が一定しない。統合失調症患者は実際の時間よりも長く見積もるとい報告がいくつかある^{23),26),28)}。統合失調症患者は、実際には1時間しかたっていない場合に2時間経過したと感ずる。すなわち、インターバルタイマーの進捗が健常人より早いため時間を長くとらえる。統合失調症患者が、時間が止まったように感じるあるいは1日が長くつらいと訴えることがしばしばあるが、こうした訴えとこれらの研究における所見が関連すると考えられる。一方、統合失調症患者は健常人よりも短く見積もるとする報告もある²⁵⁾。これは、インターバルタイマーの進捗が遅いため、外界の時間の流れを速く感じることを示している。長期入院中の患者の中には周りの時間についていけない、1日があっという間に過ぎてしまうと述べるものがしばしばある。

健常人にドパミン作動薬を投与した場合に時間の流れを遅く感じ、ドパミン拮抗薬を投与した場合に時間の流れを速く感じるという報告があり¹⁹⁾、ドパミン神経系がインターバルタイマーの進捗を調節している可能性が示唆されている²¹⁾。統合失調症の生物学的基礎として、抗精神病薬の力価がドパミン遮断作用と相関することやドパミン神経系の過活動をもたらすメタアンフェタミンにより統合失調症とよく似た精神症状が惹起されることなどから、ドパミン神経系の過活動が推測されており、統合失調症にみられる時間認知の異常がドパミン神経系の活動と

関連していることを示唆する。

2) うつ病の異常時間体験

うつ病患者は実際の時間よりも長く見積もるとい
う報告が多い^{11),12)}。うつ病の病態としてセロトニン
もしくはノルアドレナリンといったモノアミン系神
経伝達物質の不足が推測されているが、抗うつ薬で
ある選択的ノルアドレナリン再取り込み阻害薬を負
荷した対象は、時間の見積もりの正確性が増したと
する報告があり²⁾、抗うつ効果との関連から興味が
持たれている。

さらに、すでに述べたように健常人では時間認知
が概日リズムに影響を受けて変化し、朝は時間を短
く見積もり、夜になるにつれて時間を長く見積もる
ようになるといった概日変化を示す¹³⁾。一方、うつ
病患者は、朝は時間を長く見積もり夜は短く見積も
るといふ健常人とは逆の概日変化が報告されている³⁾。つまり、うつ病では、朝は時間がゆっくり流れ、
夜はあつという間に終わってしまうように感じるこ
とになる。内因性うつ病では抑うつ気分の日内変動
が症状の特徴の一つであり、朝方に抑うつ気分が増
悪することが多い。午前中に現実の時間の進みに比
しゆっくり時が流れると感ずるため、1日をとても
長いものと錯覚し“いやな気分が永遠に続く”と感
ずるといった生理学的背景が考えられる。こうした
疾病特異的な生理学的・認知的異常が、うつ病の
中核症状の背景に存在することが明らかとなっている。
Binswangerはうつ病患者が時間の流れを遅く感
ずることについて、うつ病者は過去にとどまり未来
を失っているために時間の流れを遅く感ずると考え
た¹⁴⁾。うつ病患者は時間の流れを遅く感じ、現在の
みならず過去さえもなかなか過ぎ去らないと思うた
め、過去の出来事へのこだわりが捨てられないのだ
という。健常人は失敗をしても時間が解決してくれ
ると考えることができるが、うつ病患者においては
時間は解決してくれないのである。

8. おわりに - インターバルタイマーの研究

紀元後4世紀半ばの思想家アウグスティヌスは自
著「告白」の中で、時間とは‘魂の延長 (distentio
animi)’であると述べている¹⁵⁾。彼は、時間は主観
的にしか論じられない事に気付きこのように述べた
のであるが、インターバルタイマーという神経シス
テムの存在を端的に示している。しかし、いまだそ
の存在や性質の一端が解明されているに過ぎず、具
体的概念はモデルの域を脱していない^{16),17)}。複雑な
精神活動から、運動、日常行動にわたるほとんどの

我々の高次脳機能の背景にこのインターバルタイマ
ーが関与していると推測される。脳を知る上でイン
ターバルタイマーの解明が不可欠であり、今後の研
究の推進が期待される。

参考文献

- 1) Angrilli A, Cherubini P, Pavese A and Mantre-
dini S: The influence of affective factors on time
perception. *Percept Psychophys*. 59: 972-982.
(1997)
- 2) Aschoff J: Human perception of short and long
time intervals: Its correlation with body tem-
perature and the duration of wake time. *J Biol
Rhythms*. 13: 437-442. (1998)
- 3) Elsass P, Mellerup ET, Rafaelsen OJ, Theilgaard
A: Lithium effects on time estimation and
mood in manic-melancholic patients. A study of
diurnal variations. *Acta Psychiat Scand*. 60: 263-
271. (1979)
- 4) Fortin C, Masse N: Order information in short-
term memory and time estimation. *Mem and
Cognit*. 27, 54-62. (1999)
- 5) Gibbon J and Church RM: Time left: linear ver-
sus logarithmic subjective time. *J Exp Psychol
Anim Behav Process*. 7: 87-107. (1981)
- 6) Gibbon J, Morrell M and Silver R: Two kinds of
timing in circadian incubation rhythm of ring
doves. *Am J Physiol*. 247:1083-1087. (1984)
- 7) Hancock PA: Body temperature influence on
time perception. *J Gen Psychol*. 120: 197-216.
(1993)
- 8) Harrington DL, Haaland KY and Knight RT:
Cortical networks underlying mechanisms of
time perception. *J Neurosci*. 18: 1085-1095.
(1998)
- 9) Hoagland H: The physiological control of judg-
ments of duration: Evidence for chemical clock.
J Gen Psychol. 9: 267-287. (1933)
- 10) Ivry RB: The representation of temporal infor-
mation in perception and motor control. *Curr
Opin Neurobiol*. 6: 851-857. (1996)
- 11) Kitamura T, Kumar R: Time passes slowly for
patients with depressive state. *Acta psychiat
Scand*. 65: 415-420. (1982)
- 12) Kuhs H, Hermann W, Kammer K, Tolle R: Time

- estimation and the experience of time in endogenous depression (Melancholia) : an experimental investigation. *Psychopathology*. 24: 7-11. (1991)
- 13) Kuriyama K, Uchiyama M, Suzuki H, Tagaya H, Ozaki A, Aritake S, Kamei Y, Nishikawa T and Takahashi K: Circadian fluctuation of time perception in healthy human subjects. *Neurosci Res*. 46: 23-31. (2003)
 - 14) Kuriyama K, Uchiyama M, Suzuki H, Tagaya H, Ozaki A, Aritake S, Shibui K, Kamei Y: Circadian rhythm of perceived passage of time in humans. 1st World Congress of Chronobiology Program & Abstracts: 60. (2003)
 - 15) Lalonde R, Hannequin D: The Neurobiological Basis of Time Estimation and Temporal Order. *Reviews in the Neurosciences*. 10: 151-173. (1999)
 - 16) Moore-Ede MC, Czeisler CA and Richardson GS: Circadian time-keeping in health and disease. 1. Basic properties of circadian pacemakers. *N Engl J Med*. 309: 469-476. (1983)
 - 17) Pöppel E and Giedke H: Diurnal variation of time perception. *Psychol Forsch*. 34: 182-198. (1970)
 - 18) Pouthas V, Maquet P, Garnero L, Ferrandez AM and Renault B: Neural basis of time estimation: a PET and ERP study. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl*. 50:598-603. (1999)
 - 19) Rammsayer TH: Dopaminergic and serotonergic influence on duration discrimination and vigilance. *Pharmacopsychiatry*. 22:39-43. (1989)
 - 20) Rammsayer TH and Vogel WH: Pharmacologic properties of the internal clock underlying time perception in humans. *Neuropsychobiology*. 26: 71-80. (1992)
 - 21) Rammsayer TH: Neuropharmacological evidence for different timing mechanisms in humans. *Q J Exp Psychol B*. 52: 273-286. (1999)
 - 22) Rammsayer TH, Hennig J, Haag A, Lange N: Effects of noradrenergic activity on temporal information processing in humans. *Q J Exp Psychol B*. 54: 247-258. (2001)
 - 23) Tracy JI, Monaco C, McMichael H, Tyson K, Chambliss C, Christensen HL, Celenza MA: Information-processing characteristics of explicit time estimation by patients with schizophrenia and normal controls. *Percept Mot Skills*. 86: 515-526. (1998)
 - 24) Treisman M: Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the 'internal clock'. *Psychol Monogr*. 77: 1-31. (1963)
 - 25) Tysk L: A longitudinal study of time estimation in psychotic disorders. *Percept Mot Skills*. 59: 779-789. (1984)
 - 26) Tysk L: Estimation of time by patients with positive and negative schizophrenia. *Percept Mot Skills*. 71: 826. (1990)
 - 27) Virginia M: Setting a biological stopwatch. *Science* 271: 905-906. (1996)
 - 28) Wahl OF, Sieg D: Time estimation among schizophrenics. *Percept Mot Skills*. 50: 535-541. (1980)
 - 29) Watts FN and Sharrock R: Fear and time estimation. *Percept Mot Skills*. 59: 597-598. (1984)
 - 30) アウグスティヌス (服部英次郎 訳) : 告白 下巻. Pp113-141. 岩波書店. (1976)
 - 31) アリエティ (殿村忠彦・笠原嘉 監訳) : 精神分裂病の解釈 I. pp344-348. みすず書房. (1995)
 - 32) ビンスワンガー (山本巖夫・宇野昌人・森山公夫 訳) : うつ病と躁病. pp42-64. みすず書房. (1972)
 - 33) フレス (原吉雄 訳、佐藤幸治 校) : 時間の心理学 - その生物学・生理学. 創元社. (1960)
 - 34) ベッペル (田山忠行・尾形敬次 訳) : 意識の中の時間. 岩波書店. (1995)
 - 35) ミンコフスキー (中江育生・清水誠 訳) : 生きられる時間 I. pp30-45. みすず書房. (1972)
 - 36) ヤスパース (西丸四方 訳) : 精神病理学原論. pp44-49. みすず書房. (1971)