



Title	近年の時間知覚研究の諸問題とモデル
Author(s)	田山, 忠行
Citation	北海道大学文学研究科紀要 = Bulletin of the Graduate School of Letters, Hokkaido University, 155: 107 (左) - 142 (左)
Issue Date	2018-07-31
DOI	10.14943/bgsl.155.1107
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/71281
Type	bulletin (article)
File Information	155_06_tayama.pdf



[Instructions for use](#)

近年の時間知覚研究の諸問題とモデル

田 山 忠 行

はじめに

近年、時間知覚の研究が盛んに行われている。心理学で扱う時間には、同時性や継時性の知覚、順序の知覚、心理的現在、持続時間の経験、テンポやリズムの知覚、近接性判断 (judgement of recency)、時間的展望 (temporal perspective) など、様々な様相がある。本稿ではその中でも数10ミリ秒の時間を対象とする同時性や順序の知覚、数秒程度の時間を対象とする持続時間の経験に関する最近の研究動向を探ることを目的としている。心理学の研究では、数秒以内の時間については、特に目立った手掛りがなくても直接的に把握できるという意味で時間知覚 (time perception) という言葉が用いられ、また、それより長い時間については、様々な手掛りによって間接的に判断されるという意味で時間評価 (time estimation) という言葉が用いられる。しかし、この区別は厳密なものではない。そのため、より広い視点で時間知覚の研究動向を探ろうとすれば、10数秒程度の時間評価に関わる時間経験もまた、時間知覚研究の枠組に入れる必要がある。そこで、本稿では記憶過程との関わりの深いやや長い時間経験についても若干扱うことにする。

本稿では、人の持続時間の経験を基礎づけるものは何かを念頭において、最近の時間知覚の研究動向をみていくことにする。持続時間の経験を基礎づけるものとは、人が時計なしで時間を測る機構のことである。例えば、私たちの体内に時計のようなものが存在し (これはしばしば内的時計と呼ばれている)、それが時を測る装置として働いているという考え方がある。また、持

持続時間の長さの判断は単に記憶に基づいているだけであるという考え方もある。これらは、古くから提案された持続時間の経験の基礎づけに関するモデルであるといえよう。本稿のⅠ節では、短い数ミリ秒から数10ミリ秒に関する同時性判断や時間順序の判断（temporal order judgement, 以下ではTOJと略記する）の研究知見、数秒程度の持続時間に関わる時間知覚の研究知見、また数秒程度の長い時間で記憶との関わりが深い時間評価に関する研究知見について概説する。Ⅱ節では、それらに基づいて、時間知覚の実験データを説明する様々なモデルについて概説する。最近では、数ミリ秒から数10ミリ秒の時間経験と数秒程度の時間経験では関与する脳部位が異なるという考え方も一般的になりつつある。また、それらの時間経験の違いを心理学的時間の異なる様相と捉えるモデルも提案されている。それらのモデルの話はⅡ節でまとめて扱うことにする。

Ⅰ．時間知覚の諸問題

時間知覚の古典的研究としては、持続弁別閾、同時閾や順序閾などの時間閾や持続弁別に関するウェーバーの法則の適合性、客観的時間と主観的時間のべき指数関係、無記時程、持続時間の経験に及ぼす要因などの研究がある。それらの内、ここでは持続経験と関係が深いと思われる同時閾と順序閾、時間順序の錯視、また比較的短い持続経験に影響を及ぼす諸要因に関する時間知覚と時間評価の研究を取り上げる。これらの同時性や時間順序の知覚と持続時間の経験にはどのような関係があるだろうか。例えば、2つの刺激が同時に呈示されて同時に消失した場合に、それらが同時として知覚されなかったとすれば、それは同じ持続時間として知覚されなかったことを意味する。また、2つの刺激が異なる時点で呈示されて同時に消失した場合、その呈示順序が間違っただけで知覚されたこととすれば、それは持続時間が間違っただけで知覚されたことを意味する。このように同時性や順序の知覚と持続時間の経験には深い関係があるといえよう。

1. 同時閾と順序閾

Piéron (1952) は、暗闇の中で、0.1 ミリ秒の2つの閃光を、10 ミリ秒離して網膜の同一部位に投射すると1つに合併され、網膜の異なる部位に投射すると同時として知覚されるが、それらを30~40 ミリ秒離すと継時性が認められると述べた。Pöppel (1985) は、左右の耳にそれぞれ1 ミリ秒のクリック音を聞かせる際、左耳の方を1 ミリ秒先に呈示するとそれらは融合して頭の少し左側に聞こえるが、それらを3~5 ミリ秒離すと2音が分離して聞こえると述べた。このように同時性が成立する最大の分離時間を同時閾と呼ぶ。これは同時から継時に移行する境界の時間でもある。この時間は感覚様相によって異なり、聴覚では3~5 ミリ秒、視覚では30~40 ミリ秒、そして触覚ではその中間の10 ミリ秒程度といわれている。これらの値は各感覚における時間解像度とも関係すると考えられる。視覚研究では、光覚閾の時間加重が成立する時間限界は80~100 ミリ秒 (Saunders, 1975)、聴覚研究で可聴閾の時間加重が成立する時間限界は30 ミリ秒以内、もしくは25~150 ミリ秒 (Recanzone & Sutter, 2008) といわれており、やはり聴覚の方が短いようである。Piéron (1952) は、視覚刺激と聴覚刺激など、異なる刺激を組み合わせると同時性の範囲が広がり、0.1 秒以上になると述べている。なお、異種感覚の刺激を組み合わせた最近の研究では、音と光の同時性がどのように達成されるか (Fujisaki & Nishida, 2007)、順応によって同時性がどのように調整されるか (Fujisaki, Shimojo, Kashino, & Nishida, 2004)、等が調べられている。

同時閾とは異なり、2つの刺激の内、どちらが先でどちらが後かという順序判断に必要な最小時間のことを順序閾という。これは視覚、聴覚、触覚を問わず、20~40 ミリ秒といわれている (Hirsh & Sherrick, 1961; Pöppel, 1985, II, 1 参照)。同時性の判断には感覚器の性能の違いが反映されるのに対して、時間順序判断 (TOJ) には、もっと高次の脳の働きが関与すると考えられる。fMRI や TMS を用いた最近の神経生理学研究では、TOJ に関わる処理を司る脳部位の候補として、側頭頭頂結合部 (Davis, Christie, & Rorden, 2009)、右側頭頭頂部 (Adhikari, Goshornm, Lamichhane, & Dhamala, 2013)、

右後頭頭頂部 (Woo, Kim, & Lee, 2009) などが拳がっている。TOJ と注意の関係は古くから研究されており、同時に呈示された刺激でも、注意している刺激は注意していない刺激よりも先に知覚されるといわれている (James, 1890; Titchener, 1908; Posner, Nissen, & Ogden, 1978)。Titchener (1908) は、この現象を *prior entry* の法則と名づけた。その妥当性に関しては、特に異種感覚間の順序判断に関して数多くの検証が行われている (Spence, Shore, & Klein, 2001; Spence & Parise, 2010)。同一感覚内での順序判断に関しては、視覚に関しては Stelmach & Herdman (1991), Jaskowski (1993), Gibson & Egeth (1994), 聴覚に関しては Kanai, Ikeda, & Tayama (2007) の研究がある。これらの研究では、2つの目標刺激が同時に呈示される場合、同じ位置にあらかじめ手掛り刺激が呈示された目標刺激の方を先として知覚するという結果が示されている。これは反応時間によって空間的注意の効果を示した Posner 流の課題 (Posner, 1980) と一致した結果であるといえよう。

2. 時間順序の錯視

prior entry の法則が示すように、人は、注意を向ける方向の違いや脳内で事象生起を認識するまでの時間差などによって、時間順序を間違えて知覚することがある。そのような時間順序の錯視は、人の時間判断の不正確性を示すと共に、人の認識の不可思議さを示すものといえよう。上述したように、これらの錯視は持続時間の経験とも関係があり、様々な時間知覚に及ぼす効果を考察する上でも重要である。

a. 線運動錯視

パソコン・モニター中央の注視点「+」を見ている状態で、それと同じ高さでモニターの左右のいずれかの一端に黒丸を呈示し、その後、その黒丸を覆うように一本の細長い水平線を呈示する。これを見ていると水平線が黒丸の位置から逆方向に動くように見える。水平線が瞬間的に一本呈示されるだけなので、そこに運動はないはずであるが、運動が見える。この運動の知覚には方向性があるので、これは一方から他方への順序の知覚があることを意

味する。この錯視を報告した日本人の研究者達は、これを線運動錯視 (line motion illusion) と呼び、これが生じる原理を注意の働きと関係づけた (Hikosaka, Miyauchi, & Shimojo, 1993)。すなわち、注意によって黒丸の位置付近では視覚的情報処理が促進されるが、そこから遠ざかるにつれて処理が遅れるので、実際に運動を見るのと同じ原理に基づいて運動が知覚されると説明した。しかし、この錯視は、注意による促進効果というより、黒丸と黒線の輝度変化に依存した前注意過程が関与した結果であるとも考えられている (Kawahara, Yokosawa, Nishida, & Sato, 1996; Kawahara & Yokosawa, 2001)。

b. 逆仮現運動

これは Anstis (1970) という視覚研究者によって紹介された錯視である。まず最初に垂直に置いてある1本の細い白い縦棒を見たとする。それは視角にして0.25度ほどディゾルブして (徐々に切り替わって) 右に移動する。その際、縦棒の上半分は白色のまま移動するが、下半分は白から黒へと色が切り替わる。その後、再びディゾルブさせて元の色と位置に戻す (左に移動する)。このような運動を繰り返して見ると、棒の上下は、一緒に水平方向に動いているにもかかわらず、一緒に動いては見えず、そこに時間的なずれが感じられる。棒の上下は逆方向に動いて見えることもあるので、これは逆仮現運動 (reversed apparent motion) と呼ばれている。この錯視は、白から白より黒から白の変化の方が先行して見えることを意味しており、知覚される運動方向がコントラストの影響を受けることを示している。Anstis & Rogers (1975) は、この錯視が視覚システムの初期段階における生理的処理によって生じること、また輪郭が移動する原理としては神経ボケや空間加重などの情報統合過程が関与することを示唆した。Anstis は、その後、更に劇的な錯視として歩行運動錯視 (footsteps motion illusion) を紹介した (Anstis, 2001, 2004)。これは白黒の強いコントラストから成る垂直縞を背景として、上下に配置された黄色と青色の2つの横長の長方形が、実際には水平方向に一定の速度で一緒に動いているにもかかわらず、一緒に動いているように見えず、

一方が他方を追いかけたり、両足を交互に出して歩いているように見えるという錯視である。この錯視の原理は逆運動錯視と同様に考えることができる。

c. フラッシュ・ラグ効果

水平方向に同時に動く上下の2つの運動対象の中央に、一瞬だけ光る（フラッシュされた）静止対象を呈示する。これらの3つの対象は実際には瞬間的に同じ垂直線上に配置されるが、フラッシュされた静止対象だけが遅れた位置にあるように見える。これはフラッシュ・ラグ効果（flash-lag effect）、あるいは時間遅れの錯視と呼ばれている。Nijhawan (1994, 2002)によると、この効果が生じる背景として、人間の脳内で時間補正の働きが関与していることが考えられる。すなわち、人が光点を見る時、光受容器から脳内の高次の視覚領域に情報が伝達され、それを感じるまでに100ミリ秒ほどの時間がかかるが、私たちは、この時間的な遅れを脳内で補正するので、そのことに気がつかない。フラッシュ・ラグ効果は、上下の2つの運動対象の知覚される位置については補正機能が働いて実際の位置とほぼ合致するが、中央の静止対象はフラッシュされた後に補正機能が働くので処理が遅れてしまう。そのため時間的に遅れた位置にあるように見えるということである。しかし、この現象は、静止刺激と運動刺激に対する潜時の違いだけで説明できると考える研究者もいる。

d. 色と運動の非同時性錯視

これは色と運動方向が同時に変化しているにもかかわらず、その変化が同時に知覚されないという錯視である。ある固定した枠組み内で、赤と黒の色で構成されるパターンを下方向に250ミリ秒動かし、その後、緑と黒の色で構成されるパターンを上方向に250ミリ秒動かす。これを連続して繰り返したのを見ると、どの運動方向とどの色が一致しているのかわからなくなる。これは運動方向の変化が、色の変化に比べて100ミリ秒ほど遅れて知覚されることによって生じる現象である。この現象を初めて示した Moutoussis &

Zeki (1997) は、これが色変化に応答する神経細胞と運動変化に応答する細胞が独立しているために生じた時間的ずれであると考えた。しかし、Nishida & Johnston (2002) や西田・藤崎 (2009) は、このずれは神経上の遅れではなく刺激構造上 (マーカー上) の違いに基づいた現象であると主張した。このような議論は、私たちが色の付いた対象を知覚する際、色や運動などの異なる属性をどのように時間的に結合しているかを考える上で重要である。なお、神経生理学の研究では、Moutoussis & Zeki (1997) が示した時間のずれの方向とは逆に、運動情報を担う皮質野 (MT 野や MST 野) の細胞の刺激の呈示 (onset) に対する反応潜時が、色情報に対する皮質野 (V4 野) の細胞の刺激の呈示 (onset) に対する反応潜時より短いことが知られている (Schmolsky et al., 1998)。また、この現象は I. 3. b で紹介する時間知覚に及ぼす速度の効果とも密接な関係があると考えられる (詳細は Tayama & Tandoh (2008) を参照されたい)。

e. 手交叉の順序錯視

Yamamoto & Kitazawa (2001) は、手を交叉すると時間順序が逆転して知覚されるという現象を発見した。左右の手に継時的に刺激を与えてその順序を判断させると、通常は時間差が 30 ミリ秒で 70% 程度、100 ミリ秒になると 95% 以上の正答率になる。すなわち、時間差 0 ミリ秒を中心として左が先 (- ミリ秒) から右が先 (+ ミリ秒) までの時間差を横軸とし、縦軸に右が先とする右反応率をプロットすると、手を交差しない条件では反応率曲線が、時間差 0 ミリ秒で右反応率が 50% を通る累積正規分布関数 (いわゆる S 字型曲線) となる。しかし、手を交差した条件では、時間差が ± 300 ミリ秒ぐらいで順序判断の逆転反応が最大となった。そして時間差が 1.5 秒以上になると正答率は高くなった。そのため、この条件では全体的に反応率曲線が N 字型曲線となった。また、手は交差させず、手に持った棒を交差させても同様の現象が生ずるので、この現象は左右の手の取り違いだけでは説明できない。この結果からは時間順序判断は刺激発生源と推定される空間位置と関連することが示唆される。

f. スポーツ審判における順序錯視

Tayama & Mitsuboshi (2011) は、野球における野手の一塁へのボール送球とバッター走者のどちらが速いかを判定する状況をシミュレートした実験を行った。モニターの黒画面を背景に、左右の端から二つの白円を、様々な速度の組み合わせで、互いに逆方向に動かして中央で交差させ、どちらが中央の目標 (+) に先に到達したかを判断させた。その結果、2つの対象が物理的に同時に目標に到達した場合でも、遅い刺激の方が速い刺激より先に目標に到達したように見えることが示された。この結果が得られた理由としては、観察者が目標近辺を動く遅い白円の方を注視して見ているので、その処理が優先されたことが考えられる。田山・藤田 (2017) はまた、縦に細い2本の線を、人とボールに見立てた刺激として使用し、サッカーのオフサイドの状況をシミュレートした実験を行った。この実験では、オフense (攻撃者) とボールに相当する2つの細線がゴールに向かって同時に動く場合、運動方向の先端に位置する刺激の方が先に動いたように見えることが示された。これはオフenseとボールが同時に動く場合でも、オフenseと判定されやすいことを意味する。またこのような刺激布置では、同時に動いた場合でも、遅い線刺激より速い線刺激の方が先に動いたように見えることが示された。これはボールよりもオフenseが速く動くことで、よりオフenseと判定されやすくなることを意味する。スポーツ審判においては、このように順序判断に関わるものが多く、審判の判断は対象となる刺激の知覚的特性に基づいて特定の方向に偏る可能性があるといえよう。

3. 時間知覚に影響を及ぼす諸要因

ここでは比較的短い時間の知覚に関する諸知見を紹介する。最初に古典的研究ともいえるよく知られた現象について紹介する。これらは古くから行われている基礎的研究であるが、まだ未解決の問題も残されている。その後で、比較的最近、頻繁に取り上げられている速度の効果や繰り返し効果などの時間知覚研究のトピックスを紹介する。これらはいずれも時間知覚のモデルを考察する上で重要である。

a. 古典的研究

一般に、同じ物理的時間であっても、視覚時程より聴覚時程の方が長く感じられるといわれている (Goldstone & Goldfarb, 1964; Wearden, Edwards, Fakhri, & Percival, 1998)。この感覚様相による時間知覚の違いは、感覚器から中枢に至る神経伝達系の違いに依存して生じる可能性がある。例えば、視覚刺激よりも聴覚刺激の方が刺激の呈示 (onset) に対して反応が早く、意識に到達するのが早いので、聴覚刺激の方が長く感じられることが考えられる。しかし、異なる感覚間で持続時間を比較することはそれほど簡単ではない。なぜなら同じ感覚であれば刺激強度の大きいものほど持続時間が長く感じられるが、異なる感覚間では刺激強度の大きさを単純に比較できないからである。実際、短い時間 (500 ミリ秒) では視覚の方が長く感じられるという報告 (Walker & Scott, 1981) や感覚間の違いはないという報告もある (Allan, 1979)。

刺激が光や音で満たされた充実時程や分割時程は、クリック音やフラッシュ光などの刺激で区切られた空虚時程より長く感じられることが知られている。これは充実時程錯視といわれており、数多くの研究が行われている (例えば, Buffardi, 1971; 神宮, 1989; Hasuo, Nakajima, Tomimatsu, Grondin, & Ueda, 2014)。これに類似した現象として、ドット数が多くなると時間が長く見える (Mo, 1975)、大きくて複雑な刺激を見ていると時間が長く見える (Ornstein, 1969; Thomas & Canter, 1976; Ono & Kawahara, 2007; Rammsayer & Verner, 2015)、等の研究がある。また、文字刺激を用いた場合には、刺激の熟知度が低い場合や、意味のない刺激を見ている場合の方が、時間を長く感じるといわれている (Avant, Lyman, & Antes, 1975)。このように時間知覚は様々な刺激の要因によって変動する。

時間知覚はまた、空間の大きさに依存して変化するともいわれている。これは空間上の2つの視覚的刺激を継時的に呈示する場合、2つの刺激間の物理的時間は同じでも、その間の空間が大きいほど時間が長く感じられるという現象であり、カップー効果 (または s 効果) と呼ばれている (Abe, 1935; Roussel, Grondin, & Killeen, 2009)。同様の現象は、触覚 (須藤, 1952, 1955)

や聴覚 (Grondin & Plourde, 2007; ten Hoopen, Miyauchi, & Nakajima, 2008) でも生じる。また、これとは逆に、知覚される空間の大きさが時間の長さに依存するという現象もあり、これはタウ効果と呼ばれている。これら2つの効果は合わせて時空相待現象と呼ばれている (これらの現象の詳細については松田 (1994) を参照されたい)。

b. 運動の効果と運動順応の効果

持続時間に及ぼす運動の効果はカップー効果の延長として捉えることができる。この効果もまた古くから研究されているが、比較的最近、様々な観点から研究が行われている。同じ物理的時間でも静止刺激より運動刺激を見ている方がその時間が長く感じられる (Lhamon & Goldstone, 1975)、また低速より高速の運動を見ている方が時間が長く感じられるといわれている (Tayama, Nakamura, & Aiba, 1987; Brown, 1995; Kanai, Paffen, Hogendoorn, & Verstraten, 2006; Beckman & Young, 2009; Kaneko & Murakami, 2009)。しかし静止刺激はゆっくり動く刺激より長く感じられることもあり、その傾向は持続時間が長くなるほど顕著になるといわれている (Tayama et al., 1987; 田山, 1986, 2006, 2012)。時間知覚に及ぼす速度の効果に関しては、速度と時間周波数のどちらが時間知覚に影響を及ぼすのかという議論がある。Kanai et al. (2006) は時間周波数が、Kaneko & Murakami (2009) は速度が、それぞれ時間知覚に影響を及ぼすと主張した。Yamamoto & Miura (2012) は、低次の視覚処理 (V1 野) では時間周波数が、高次の視覚処理 (MT 野) では速度が影響を及ぼすことを示唆した。田山 (2012) は、低空間周波数では時間周波数が、高空間周波数では速度 (または距離) が要因となることを示唆した。速度の効果に関しては、刺激の呈示 (onset) や消失 (offset) に対する応答の違い、あるいは視的持続 (visible persistence) の違いという観点から調べる必要があろう。また、ゆっくり動く刺激より静止刺激の方が長く感じられるという現象については、時間に対する注意の大きさの他、快適なテンポという観点から調べる必要があるかも知れない。なお、運動刺激を用いたその他の時間知覚の研究としては、時間知覚に影響を及ぼすのが物理速

度か見えの速度かを問題とした研究 (Gorea & Kim, 2015), 加速と減速 (Matthews, 2011a) や背景速度 (Mate, Pires, Campoy, & Estaún, 2009) の時間知覚に及ぼす影響, また運動順応の時間知覚に及ぼす影響に関する研究などがある。

最近では, 運動順応の時間知覚に及ぼす影響について数多くの研究がなされている。Johnstone, Arnold, & Nishida (2006) は, 20 Hz の速度で運動する 1c/deg の正弦波縞 (縦縞) に順応した後で, 10 Hz の速度に減速した正弦波縞を 600 ミリ秒間見た場合, その持続時間が, 順応なしの場合と比べて, 短く感じられることを示した。この効果は, 順応刺激とテスト刺激の運動方向を 90 度変化させても (例えば, 縦縞から横縞に変化させても), 順応刺激をフリッカー刺激に代えても同じであった。この結果から, 彼らは時間感覚を司る視覚要素が空間的に局所化されているという結論を導いた。Burr, Tozzi, & Morrone (2007) も同様の現象を扱い, 順応刺激を呈示した後に被験者の視点を移動させて, 順応刺激と同じ網膜 (retinoptic) 上にテスト刺激を呈示する条件と, 移動する前の空間 (spatioptic) 上にテスト刺激を呈示する条件を比較した。プローブ刺激とテスト刺激を 10 Hz に固定して持続時間のマッチングを行ったところ, いずれの条件でも知覚時間の短縮が認められた。しかし, テスト刺激の見かけの時間周波数がプローブ刺激と等しくなるようにマッチングした後で同じ実験を行った場合には, 視点を移動する前の空間にテスト刺激を呈示した条件においてのみ, 知覚時間の短縮が認められた。この結果から, 彼らは時間感覚を司る場所が網膜空間ではなく, 物理空間に対応する側頭葉の高次視覚処理部位であると推定した。これらの視覚研究からは, 時間を保持する機構 (もしくは内的時計) が視覚系内にあることが示唆された。

その後の時間周波数の順応に関する研究では, 知覚時間の短縮は比較的狭い空間部位で順応する場合に認められ, それは見えの時間周波数に及ぼす影響と独立しており, またこの現象では輝度情報の役割が大きいこと (Ayhan, Bruno, Nishida, & Johnston, 2009, 2011), 更に知覚時間の短縮は順応刺激とテスト刺激の時間周波数が同じ条件で生じること (田山・前川, 2016), など

が明らかにされている。II. 2. bcで触れるように、これらの知見で重要なのは、時間知覚に及ぼす順応の効果を説明する上で、特定の感覚から独立した固有の内的時計を仮定する必要がないということである。

c. 繰り返し効果

最近では、同じものを何度も見た後で違うものを見ると、その違うもの（これをオドボールともいう）が長く感じられるという現象が注目されている。Tse, Intriligator, Rivest, & Cavanagh (2004) は、様々な視覚刺激を用いて、判断の基準となる標準刺激をランダムな回数（10回程度）高頻度で呈示した後に、低頻度の刺激であるテスト刺激をオドボールとして呈示すると、その持続時間が長く見えることを示した。彼らはこの効果をオドボール効果とみなした。すなわち、この効果には期待や注意の方向付け（attentional orienting）が関与し、オドボールを見ることで注意が高まって持続時間が引き延ばされるという考えに基づいて、この効果を説明した。しかし、この説明が必ずしも正しいとはいえないので、ここではこの現象を繰り返し効果と呼ぶことにする。van Wassenhove, Buonomano, Shimojo, & Shams (2008) は、標準刺激の繰り返しを3回に固定して期待性を排除した場合でも同様の効果が得られたことから、この効果では注意や期待性より刺激の文脈顕著性（contextual salience）が重要であると考えた。Pariyadath & Eagleman (2007) は、物体写真などの刺激を用いて、刺激の顕著性を操作しても繰り返し効果に変動がなく、また1, 2, 3, 4と数字を繰り返し呈示し、次の刺激が予測できる場合でも、同様の効果が生じるので、この効果には予測性（prediction）が関与していると指摘した。彼女らはまた、この効果の背後に繰り返し抑制（repetition suppression）（Henson & Rugg, 2003; Grill-Spector, Henson, & Martin, 2006）という神経活動が関わっていることを示唆した（抑制作用説の詳細についてはPariyadath & Eagleman (2012)を参照されたい）。田山・邵（2015）は、聴覚刺激を繰り返し呈示した後で視覚的なテスト刺激を呈示すると繰り返し効果が見られたが、その逆に、視覚刺激を繰り返し呈示した後で聴覚的なテスト刺激を呈示しても繰り返し効果が見られなかったことか

ら、この効果には抑制作用は関与するが、その関与の程度は視覚より聴覚の方が大きいことを示唆した。繰り返し効果は、繰り返しが1回でも認められるといわれている (Matthews, 2011b)。また、通常の繰り返し効果とは逆に、繰り返し呈示される刺激よりテスト刺激の方が短く見えるという逆の現象も報告されている (Matthews, 2015)。最近ではまた、同じ刺激を異なる空間位置で繰り返し呈示する場合には、繰り返し効果が生じないことも明らかにされている (Birngruber, Schröter, & Ulrich, 2015)。また、テスト刺激より長い時間で刺激を繰り返し呈示した後では、テスト刺激の時間は短く感じられるが、短い時間で刺激を繰り返し呈示した後では、テスト刺激の時間が長く感じられるという時間対比を示した研究もある (Shima, Murai, Hashimoto, & Yotsumoto, 2016)。繰り返し効果については様々な説明があり、議論は続いている。

なお、上述したように Tse ら (2004) は「刺激 (オドボール) に注意するほど持続時間は引き延ばされて感じられる」と考えたが、持続時間が引き延ばされて感じられるのは、刺激ではなく時間の長さに対して注意する場合であるとも考えられる (Zakay & Block, 1996, I. 4. b 参照)。このように時間知覚と注意過程に関して相反した考察が生じるのは、対象とする持続時間の長さの違いに基づいていると考えられる (田山, 1987, 2012)。

d. その他

時計の秒針の動きを見る時、秒針はゆっくり動いたり止まって見えることがある。このような現象をクロノステーシス (chronostasis) という。この現象は、サッカードという眼球運動に伴って生じる脳内での時間の引き延ばしによって説明されている (Yarrow, Haggard, Heal, Brown, & Rothwell, 2001)。同様の現象は読書時にも生じており、私たちが読書をする時、眼は字面を追いながら「サッカード」という運動と「停留」という静止を繰り返している。それにもかかわらず、私たちは眼がなめらかに一定方向に移動しているように感じる。この感覚は、眼球の物理的変化による脳内での時間引き延ばしによって説明されている。眼の動きがなぜ時間の膨張を導くかは議論の対象と

なる。なお、クロノステーシスは、聴覚刺激 (Hodinott-Hill, Thilo, Cowey, & Walsh, 2002) や触覚刺激 (Yarrow & Rothwell, 2003) でも生じるといわれている。また、手などの身体の動きが伴われると時間が膨張して知覚されることも知られており、身体を動かす準備をするだけで時間の膨張が生じるという報告もある (Hagura, Kanai, Orgs, & Haggard, 2012)。色の時間知覚に及ぼす影響については、古くから調べられているものの、必ずしも一貫した結果が得られていない。最近では、2秒程度の時間では、男性に限って、赤色の四角形を見ていると青色より長く見えるという報告がある (Shibasaki & Masataka, 2014)。しかし、青い服の人を10秒間見ているより赤い服の人を10秒間見ている方が短く感じられるという報告もある (Shi & Huang, 2017)。最近ではまた、顔写真などの感情刺激を用いた研究も盛んに行われている。1秒程度の短い時間の間、怒り顔を見ているとその時間は中性顔を見ているより長く感じられるといわれている (Droit-Volet & Gil, 2009)。不快、危険や恐怖などの感情を煽る刺激を見る場合には扁桃体 (amygdala) が関与するといわれているので、この効果は、快か不快かという感情価よりも、扁桃体がどれほど影響を受けたかが重要であると考えられる。

4. 時間評価に影響を及ぼす要因

ここでは上に示した時間知覚の研究で扱った時間よりもやや長い時間が関わる過程、また注意や記憶、学習といった認知的過程、そして新陳代謝、精神病理、薬物といった生理的過程が関わる時間評価の研究について紹介する。なお、これまでは特に触れなかったが、以下では時間評価の方法として評価法、産出法、再生法を用いた実験について紹介するため、それらの方法上の違いをあらかじめ要約しておくことにする。評価法とは、マグニチュード評価法や秒推定法などに代表されるように、呈示されたテスト刺激の持続時間の大きさを直接的に数字で評価する方法である。産出法は、その逆に、与えられた数字に対応する時間を実際に作る方法である。これらの二つの方法では、何らかの効果があつた場合、逆の数値として示される。例えば、評価法において聴覚刺激の方が視覚刺激よりも長く評価された場合、産出法では聴

覚刺激の方が（長く聞こえるので）産出する時間は短くなる。再生法は、あるテスト刺激の持続時間が与えられた後に、ボタンを2回押すことなどで、同じ時間（再生時間）を作るという方法であり、その結果はおおよそ評価法に近いものとなる。ただし、再生法では再生時間を作る際の刺激として何を用いるかによって結果が大きく異なるので、注意する必要がある。その他の主観的時間を測定する方法としては、一対比較法や単一刺激法など、時間の長短のみを判断する方法などがある（詳細については Allan (1979) や Grondin (2008) などを参照のこと）。

a. 代謝速度

持続経験と体温の関係については、ホーランドのエピソードが有名である。彼は妻が40度の熱を出したので薬を買いに行った。彼はわずか20分で帰ってきたが、妻はとても長い時間が経過したと主張した。そのため、彼は高熱の状態にある妻の打叩（だこう）速度を測ってみたところ、それはとても速かった。彼は、これを契機として、脳内に代謝速度を司り主観的時間のリズムを制御する化学的なペースメーカーがあるという仮説を提案した (Hoagland, 1933)。その後、この持続感と体温の関係に関するホーランドの見解は、ほぼ支持されている (Kleber, Lhamon, & Goldstone, 1963; Bell, 1965)。彼の仮説は、その後、後述する内的時計のモデル (II. 2. a 参照) に受け継がれたと見なすことができるであろう。この仮説では、代謝速度が大きいほど内的時計のパルス数が大きくなり、安静時よりも歩行時や走行時の方が持続時間を長く感じるものが仮定されている。伊藤 (2001) は走行時と安静時の産出時間を測定して、この仮説を支持する結果を示したが、折原 (1991) は、数字減算をしている間の歩行速度と再生時間の関係について逆の結果を報告している。動物の時間弁別行動の研究とは異なり、人を主対象とした代謝速度と持続経験に関する学術的研究は意外に少ないようである。動物を対象とした最近の代謝と時間知覚に関する研究としては、Healy, McNally, Ruxton, Cooper, & Jackson (2013) の研究がある。

b. 記憶と注意

心理的時間の研究では、被験者にあらかじめ時間判断を求めた場合の時間を予期的時間 (prospective time) と呼び、課題が終わった後で、それを思い出して時間判断を求めた場合の時間を追想的時間 (retrospective time) と呼んで区別することがある。追想的時間の研究例としては、Ornstein (1969) が行った一連の実験がある。その内の1つ (実験7) では、被験者は、標準時程としてバッハの曲を5分間聴いた後で、対連合学習を行い、対連合学習の時程 (結果的には6分間) をその直後と二週間後に分量評価した。対連合学習の時程では、10個の音と10個の単語が対呈示され、各々の音が出る度に対となる単語を口答することが求められ、これが7回繰り返された。被験者は、対連合学習で呈示される音の違いによって中性条件と耳障り条件の2つのグループに分けられた。その結果、直後の時間評価では条件間で差は認められなかったが、2週間後の評価では耳障り条件の方が時間評価値が有意に小さかった。従って、この実験で時間評価に変化が生じたのは、情報入力時でも直後評価時でもなく、その後、記憶情報が変化したことによると考えられる。Block & Reed (1978) も同様の実験を行った。彼は被験者に32個の単語を2秒ごとに1語の割合で呈示して学習させ、それらの合計64秒を標準時程の64秒と比較させた。被験者を、深い処理群、浅い処理群、またそれらを単語ごとに交互に変化させる混合処理群の3群に分けた。単語再認の結果は、深い処理群、浅い処理群、混合処理群の順に良かったが、時間評価の結果は、浅い処理群と深い処理群では差が認められず、混合群のみが他群に比べて大きく評価した。

Zakay (1993) は、追想的時間と予期的時間の違い、絶対評価 (マグニチュード推定法) と相対評価 (再生法) という評価方法の違い、また立体刺激の複雑性 (単純な四角柱と複雑な多角柱) の違いを調べる実験を行った。課題は10秒余りの時間の間、触覚のみを手掛りとして立体刺激の角数を数えることであった。追想的時間の課題では、複雑な刺激の時間は長く評価されたが、予期的時間の課題における絶対評価の結果では、複雑な刺激の時間が短く評価された。これらの結果は追想的時間と予期的時間の課題では、正反対の結果

果をもたらしたことを示している。Zakay (1998) は、時間評価における注意の要因の重要性を示すため、時間課題とストループ課題を組み合わせた実験も行っている。音ストループ課題の難易度（単純、複雑）及び時間課題を第1課題にするか否かを条件として、25秒に対して秒推定を求めた実験では、音ストループ課題が単純で時間課題が第1課題の条件で時間評価値は最大であった。色ストループ課題を用いた12秒の時間再生についても同じ結果が得られた。これらは課題が単純であるほど、課題の内容ではなく、課題の持続時間に注意が向けられて時間が長く評価されたことを示している。記憶や注意と時間経験に関するその他の知見については Block & Zakay (2008), Brown (2008), Wearden (2016) などを参照されたい。

c. フィードバックの効果

人を対象とした持続時間の学習過程に関する研究はあまり行われていないが、持続時間の判断に対してフィードバックを与えた時の学習効果については幾つかの研究がある。例えば、正しいフィードバックを与えると持続時間の判断は正確になり、誤差も小さくなる (Franssen & Vandierendonck, 2002), 大人ではフィードバックの効果はすぐに消えてしまうが、子どもでは持続する (Droit-Volet & Izaute, 2005), また、不正確なフィードバックを与えた場合でもフィードバックの効果は持続する (Ryan & Fritz, 2007), などの報告がある。不正確なフィードバックの効果が、異なる長さの時間を判断する場合にも持続するか否かを問題とした般化に関する研究も行われている。この問題に取り組んだ Saito, Janssen, & Tayama (2015) の研究では、10秒という持続時間を産出する際に、不正確な(正しい持続時間の75%と125%の時間を産出したという)フィードバックが与えられて学習を行った後、そのフィードバックの効果が30秒という長い持続時間の産出において般化することが示された。このような般化は、短い時間(3秒)の場合においても生ずることが確かめられている(齋藤, 2011)。これらの実験結果は、持続時間を産出する上で、参照記憶としての時間の表象が、必ずしも絶対的な長さとして保持されていないことを示唆している。

d. 精神疾患と薬物の影響

精神疾患に関する研究では、抑鬱者は時間を過小評価するが躁者は時間を過大評価する (Blewett, 1992)、抑鬱者は時間を過小評価するが、長い時間では識別の精度が悪くなる (Kuks, Hermann, Kammer, & Tolle, 1991)、抑鬱者の再生時間は長いが躁者の再生時間は短い (Mahlberg, Kienast, Bschor, & Adli, 2008)、などの報告がある。しかし、これらと相反する報告もあり、例えば Bschor et al. (2004) は、抑鬱者と躁者はいずれも時間を過大評価するが、その傾向は躁者の方が大きいと報告している。統合失調症者に関しては、時間を過大視するという報告もあるが (Wahl, 1980)、時間評価の精度が低下することがしばしば指摘されている (Teixeira et al., 2013)。精神疾患者の時間経験に関する知見は必ずしも一致しない。その理由としては、実験法や分析法の不整合性が考えられる。また、疾患による経験と薬の効果の区別が難しいことも考えられる。薬の効果に関しては、興奮剤のようなドーパミン作動薬を服用すると、内的時計の速度が増加して時間の流れを速く感じるが、他方、鎮静剤 (例えばハロペリドール) のようなドーパミン拮抗薬を服用すると、内的時計の速度が減少して時間の流れを遅く感じるといわれている。ドーパミン作動薬を必要とする病気としてはパーキンソン病 (PD) がある (II. 2. a 参照)。これらの知見は、近年、急激に増加しつつある (その概説論文としては、Teixeira ら (2013) を参照されたい)。

II. 時間知覚のモデル

以上のように、比較的短い時間経験に関しては様々な効果や現象がある。これらの知見に基づいて、ここでは時間知覚を基礎づけるメカニズムについて考えてみたい。時間知覚のモデルとしては、内的時計のモデルがよく知られている。しかし、時間知覚に特化したユニークな時計が、神経生理学的機構として人間の脳内に実際に備わっているか否かについては様々な議論がある。ここでは、それらの議論を見ていくことにする。

1. 時間階層モデル

Pöppel (1985, 1997) は、心理学的時間の様相としての同時性や継時性、順序性、主観的現在、時間の連続性、持続時間などに階層を仮定した時間階層モデルを提唱した。その基本となるシステムは、30 ミリ秒程度の高周波数処理系と3秒程度の低周波数処理系の2つである。彼は、これら2つの時間処理のシステムが様々な事象の認識（同定）の基本的な単位になると考えた。高周波数処理系は神経の振動によって実現されるものであり、非同時性や順序の知覚には少なくとも30 ミリ秒程度の時間が必要であると考えた。その証拠として、反応時間の分布 (Pöppel, 1970, 1985)、追跡眼球運動 (Pöppel & Logothetis, 1986)、聴覚事象電位 (AEP) (Galanbo, Makeing, & Talmachoff, 1981)、また失語者の順序知覚 (von Steinbuchel, Wittmann, & Pöppel, 1996) などを挙げている。もう1つの低周波数処理系は、知覚の単位が3秒程度であり、これが主観的現在である「今」を構成するという考え方である。その証拠として、時間の再生を行うと、3秒までは誤差は小さいが動作遅れによって過大に再生するが、3秒を過ぎると時間変動が急激に大きくなって過小に再生すること (Pöppel, 1971, 1972, 1978)、また前頭葉を損傷した患者の症例研究 (von Steinbuchel et al., 1996)、AEPにおけるミスマッチ陰性電位の最大電位が3秒で観察されること、ネッカー図形の曖昧図形やCU-BA-CUの曖昧言葉 (CUBA か BACU か) の反転時間、詩の朗読の自発的スピーチの区切りの時間の考察、作業記憶の範囲がリハーサルなしで3秒程度であること、指のタッピングは3秒以上の間隔になると変動が大きくなること、等を挙げている。彼はまた、第3のシステムとしての時間の連続性 (temporal continuity) は、3秒単位の各々の主観的現在の中で表象される内容が意味的に結合された結果であると考えた。

このモデルは、時間経験が30 ミリ秒程度の高周波数処理系と3秒程度の低周波数処理系という2つの処理システムを基盤として成り立つことを仮定しており、非常にわかりやすいモデルであるといえる。上述のようにPöppelはこのモデルを支持する多くの証拠を提示したが、それにもかかわらず、このモデルを支持する研究者は必ずしも多くない。検証するに値する

モデルではあるが、いずれの処理系についてもその存在の有無を確証するのが難しいといえよう。

2. 時間知覚のモデル

視覚や聴覚と異なり、時間知覚を司る生理的機構は特定されていない。そのため、なぜ私たちは時計なしでも経過時間を見積ることができるのかという疑問が生じる。その仕組みはまだよくわかっていないが、古くから様々な時間知覚の実験結果を説明するため、内的時計 (internal clock) を仮定したモデルが提案されている (Creelman, 1962; Treisman, 1963)。他方、内的時計を仮定せずに時間の見積もりを説明するモデルも様々な観点から提案されている。

a. 内的時計のモデル

最初に Treisman (1963) の内的時計のモデルを紹介しよう。このモデルでは、蓄積されたパルスのカウンタに基づいて時間を判断することが仮定されている。時間判断に不可欠な要素として、パルスを発生するペースメーカー、パルス数を数えるカウンタ (蓄積器)、その測定値を貯蔵する貯蔵庫、過去と現在のカウンタの値を比較する比較器、また1秒、2分などの言語ラベルを引き出す言語選択機構が仮定されている。Gibbon, Church, & Meck, (1984) は、動物の時間弁別行動を基盤としたスカラー期待理論 (Scalar Expectancy Theory, SET) を提案した。SET では、Treisman のモデルで想定されたペースメーカー、カウンタ、比較器の他に、パルス発生のオン・オフを制御するスイッチ、またパルス数を保持する機構としての作業記憶、判断基準としての参照記憶などが仮定されている。SET の流れを引き継いだ Meck らが提唱する最近の内的時計のモデルでは、処理の流れがクロック段階 (ペースメーカー、スイッチ、蓄積器)、記憶段階 (作業記憶、参照記憶)、決定段階 (比較器) の3段階に分けられている。Meck らはまた、各段階に応じて、蓄積量、参照記憶、そして参照記憶と作業記憶の差という時間要素に確率分布を仮定して持続時間の大きさを推定するベイズ推定モデルを提案し

ている (Shi, Church, & Meck, 2013; Gu, Jurkowski, Lake, Malapani, & Meck, 2015)。

近年の神経生理学的研究では、哺乳類の概日リズムを司る時計が視交叉上核 (supra-chiasmatic nuclei, SCN) であることが知られている。時間知覚の研究の立場からすると、これは長い時間単位の時計であるが、これとは逆に、運動制御や声の発生や音楽演奏などの非常に短いミリ秒単位の時間制御に関しては、小脳が関与しているといわれている。SCN と小脳は共に、脳内の局所化された部位であるが、最近では、それらと異なり、もっと多様な目的で数秒から数分の時間を制御する機構として、視床皮質線条体 (thalamocortico-striatal) 回路が推定されている (Buhusi & Meck, 2005; Teixeira et al., 2013)。この回路には、大脳基底核 (basal ganglia)、補足運動野 (SMA)、前頭前野、後頭頂葉、前帯状回などが含まれている。大脳基底核はドーパミン変調という神経生物学的属性を持っており、その神経が変質したパーキンソン病患者は、時間評価課題の遂行が困難であり、時間の過小評価や内的時計の速度の減衰が示唆されている。従来、小脳は短い時間における繰り返し運動や単純な時間弁別課題などで正確に反応する能力と関係があるといわれていた。しかし最近の聴覚刺激を用いた MRI 研究では、小脳は絶対的な音の持続時間の知覚に関わるのに対して、大脳基底核は規則的なビート (拍) が関わる相対的な時間知覚を媒介するという見解が提出されている (Teki, Grube, Kumar, & Griffiths, 2011)。これらの知見を総合すると、心内でのビートのカウントや数秒単位の時間知覚には視床皮質線条体回路が深く関与していると考えられる。この回路は脳中心部の広い範囲にまたがっており、その仕組みの全貌を知るためには、まだ時間が必要であろう。

b. 内的時計を仮定しないモデル

Ornstein (1969) は、内的時計を仮定せずに、記憶や経験などを手掛りとして持続時間を説明する認知的蓄積容量モデルを提唱した (I. 4. b 参照)。このモデルは持続体験を長期記憶にたとえたものであり、持続時間の長さはその時間内に蓄積されて残った情報の関数であるとしている。このモデルで

は、事象の数や複雑性の増加によって持続時間が長く評価されることを蓄積情報量によって説明する。これに対して、Block (1985) は、I. 4. b に示した実験などから、追想的時間は Ornstein が仮定したように取り出される情報量に単純に規定されるものではなく、認知的文脈において想起された変化量の評価を媒介する認知的構成物であると考えた。これらは認知心理学的モデルであるが、動物を対象とした持続弁別の研究においても、パルス蓄積の線形性の仮定の問題を回避した多重時間尺度 (MTS) 馴化モデル (Staddon & Higa, 1999 ; Staddon, 2005) という内的時計を仮定しないモデルが提唱されている。

また、最近の神経生理学の研究では、上述したように時間知覚に関わる脳部位として視床皮質線条体回路が推定されているが、まだ不明なことも多いためか、内的時計の仮定自体を疑問視する研究者もいる。脳神経科学の立場からは、従来の内的時計のモデルとは異なるモデルとして、時間情報が小脳に広く分布して表象されることを仮定した interval-based モデル (Ivry, 1996) や感覚様相の違いに対応した機構を仮定したモデル (Ivry & Schlerf, 2008) などが提案されている (I. 3. b 参照)。なお、I. 3. c に示した繰り返し効果などは、当初より特に内的時計を仮定しなくても神経系の抑制機構のみで説明できると考えられている (Eagleman & Pariyadath, 2009)。

c. 多重モデル

時間知覚が刺激の大きさや数、複雑性などの様々な要因によって変動することを説明するため、時間情報と非時間情報を分けて考える多重モデルも古くから提案されている。ここで時間情報とは刺激の持続時間を意味し、非時間情報とは刺激の時間以外の様々な属性に関する情報を意味している。また時間情報の処理のためにタイマー (内的時計のようなもの) が仮定されている。例えば、Thomas & Weaver (1975) のモデルでは、時間情報 (f) を処理するタイマーとそれ以外の非時間情報 (g) を処理する機構を仮定し、それらにどの程度の注意を配分するかによって時間知覚の変動が説明されている。このように非時間情報処理と時間に対する注意という二つの過程を仮定した

モデルは他にもある（例えば、宮谷，1982；田山，1987；Tayama & Block, 1995）。

Zakay (1993) は、予期的時間と追想的時間の違いを説明するため、タイマーによる処理 $P(t)$ と記憶情報処理 $P(m)$ という二つの過程を仮定したモデルを提案した。このモデルでは、追想的時間に関しては、 $P(m)$ のみが働いて、記憶負荷の大きい複雑な刺激の持続時間を長く評価することを予測する。他方、予期的時間に関しては、刺激が単純であるほど時間経過に対する割り当てが増えて $P(t)$ が大きくなり時間は長く評価されるが、刺激が複雑であるほど時間経過に対する割り当てが減って $P(t)$ が小さくなり時間が短く評価されることが予測される。Block と Zakay はその後、時間評価における様々な結果を相互に比較し (Block & Zakay, 1997), また注意と時間評価の関係を熟慮した上で、注意の影響を重視する注意ゲート・モデル (Zakay & Block, 1996) を提案した。このモデルで内的時計が仮定されているのは予期的時間についてのみである。

松田 (1985) は、時間評価に影響を及ぼす4つの要因を指摘した。それは、物理的時間 (t)、内的テンポ（心の中で数えるテンポ）の速度 (f)、時間経過に注意を集中する程度 (a)、the more (大きい, 多い) と認知される程度 (b) である。その内、the more と認知される程度 (b) は、刺激の充実性や時空相待現象、運動の効果 (I. 3. a 及び I. 3. b 参照) と関係があり、内的テンポの速度 (f) は、新陳代謝速度や薬物の影響 (I. 3 参照) と関係があるといえよう。松田は、これら4つの要因を掛け合わせた4要因乗法モデルを提案したが (1985, 1996), (t) 及び (f) と (b) の要因による持続経験の変動は、内的時計の仮定によっておおよそ説明できると考えられる。また、(a) の時間経過に向けられた注意の程度に関しても、Zakay らの注意ゲート機構 (パルスを通すスイッチ) のような機構を別に仮定することによって説明できるであろう。

d. 残された問題

以上に示したモデルを総合すると、追想的時間など、記憶や注意が深く関

わる比較的長い時間の時間経験は、Ornstein の蓄積容量モデルのように、特に内的時計を仮定しなくても、どのような情報がどれほど記憶に蓄積したかが推定できれば、大体のことが説明できると考えられる。他方、比較的短い予期的時間に関しては、内的時計を仮定することで、大体のことが説明できると考えられる。ただし、内的時計に関していえば、最近の短い時間に関わる時間知覚に関する脳神経科学の研究では、1つというより複数の内的時計を仮定する方が主流となりつつある。複数の内的時計を仮定する場合には、持続時間の長さに応じて複数の内的時計を考える場合（例えば、Buhashi & Meck, 2005, II. 2. a 参照）と感覚様相の違いに対応した機構を仮定する場合（I. 3. b 及び II. 2. b 参照）がある。

前者のように持続時間の長さに応じて複数の内的時計を考えた場合、ミリ秒単位の時間に関わる同時性や順序の知覚と数秒単位の時間に関わる持続時間の知覚では関連する脳部位が異なり、それぞれに対応するのが小脳と視床皮質線条体回路（II. 2. a 参照）であると考えられる（Buhashi & Meck, 2005; Teki, Grube, & Griffiths, 2012）。本稿では、同時性判断や TOJ の研究知見（I. 1 及び I. 2 参照）と時間知覚や時間評価に及ぼす要因に関する研究知見（I. 3 及び I. 4 参照）を分けて紹介したが、それらはこの2つの区別におおよそ対応している。これら2つの区別はまた、II. 1 の Pöppel (1997) が指摘した30ミリ秒程度の高周波数処理系と3秒程度の低周波数処理系という2つの時間処理システムにもおおよそ対応しているといえよう。ただし、ミリ秒単位の時間（もしくは高周波数処理系）に関わる脳部位としては小脳が考えられるが、既述したように（I. 1 参照）、時間順序判断（TOJ）に関しては頭頂葉の細胞が関与しているといわれている。従って、この短い時間がどの脳部位とどのように関連しているのかその詳細は、まだ明らかではない。また、数秒単位の時間知覚（もしくは低周波数処理系）に関わる脳部位としては視床皮質線条体回路が考えられているが、時間知覚に関する様々な実験的知見とそれらの神経機構の細部との関係は必ずしも明らかではない。それらを明らかにすることは今後の課題といえよう。

他方、感覚様相の違いに応じて異なる測時機構を仮定することは、1つの

固有の内的時計という仮定を必要としない立場であるといえよう。異なる感覚間で持続時間のマッチングができることは、どこかに持続時間の表象を保持する機構を仮定することで説明できるかも知れない。また、例えば、上述した松田（1985）が指摘した the more と認知される程度（b）については、クロック段階ではなく（すなわち内的時計を仮定しなくても）、判断の段階で影響を受けた結果と見なすことも可能である（Ivry & Schlerf, 2008）。このように固有の内的時計を仮定しなくても説明できる現象は他にもいろいろある（例えば、I. 3. bc 参照）。しかしながら、特定の感覚の神経機構のふるまいによって実験結果が説明できるとしても、そのことは必ずしも内的時計の仮定を否定することにならないかも知れない。例えば、時間知覚に及ぼす運動順応の効果は、大脳における視覚系の細胞の順応によって説明できるとしても、それはその細胞と更に接続された視床皮質線条体回路のどこかの細胞が順応した結果かも知れない。また、大脳基底核が規則的なビートと関係があるとしても、それは、例えば、上述の内的テンポの速度（f）との関係はあるが、the more と認知される程度（b）とは関係がないかも知れない。それらについての解明もまた今後の課題であるといえよう。

3. 時間認知モデル

時間知覚のモデルの話の最後に、Toda（1975, 1982）の1次認知機構（primary cognitive subsystem）を紹介しておくことにする。これは時間知覚のモデルというより、時間的側面に着目した仮想的な情報処理機構といえる。この機構は、(i) 外的事象を正確にシミュレートすること、(ii) 莫大な入力情報を処理する能力をもつこと、(iii) 精度の高いリアルタイム・クロックをもつことが仮定されている。この1次認知機構は、精度の高いクロックによって効果的なシミュレーションを行い、予期や期待を絶えず提供する。予期や期待に反さぬ限り、情報処理が記憶に依存せず自動的になされる。1次認知機構はリアルタイムを基盤として作用するが、その時間の正確さは、実際世界からのフィードバックによって作られるかも知れない。しかし、もしも街中で巨大なゴジラを見るなど、全く予期せぬ出来事に遭遇した場合、そ

の情報は、1次認知機構だけでは処理しきれず、2次認知機構に委ねられる。2次認知機構では、1次認知機構で生じた現実の知覚とのギャップを埋めるため、記憶、知識、推論などの処理が活発化する。情報が1次認知機構で処理される限り、主観的時間に大きな歪みは生じない。しかし、全く予期せぬ出来事が起こり、処理が2次認知機構に委ねられると、主観的時間に大きな歪みが生じると考えられる。この1次認知機構と2次認知機構の違いは、Pöppelが提案した時間階層のうち第2システムである3秒単位の低周波数処理系と第3システムの時間連続体（Ⅱ、1参照）の区別にも近いが、冒頭に述べた時間知覚と時間評価における情報処理の違いを明確化したものと見なすこともできるであろう。

おわりに

本稿では、近年の時間知覚の研究動向を探ることを目的としたが、冒頭でも述べたように、時間知覚の研究は最近、非常に活発に行われており、研究知見は急激に増加しつつある。そのため、本稿では、比較的短い時間経験の中でも、特に時間知覚のモデルと関わりのある話に焦点を絞って、近年の時間知覚研究の動向について紹介してきた。この執筆によって実感しえたことは、時間知覚についてはまだまだわからないことが多いということである。今後も数多くの研究がなされ、視床皮質線条体回路の詳細など、時間知覚の仕組みが明らかになることを期待したい。

最後に、時間知覚の研究を志す方のために、比較的最近、時間知覚に関して特集が組まれた学術雑誌を紹介しておくことにする。神経心理学の専門誌である *Brain & Cognition* (2005) ではタイミングと時間知覚に関して特集が生まれ、生活科学の専門誌である *Philosophical Transactions of the Royal Society B* (2009, 364) では時間経験（感情、認知、身体と神経系）の神経機構に関する特集が組まれた。心理学の専門誌である *Acta Psychologica* (2014, 147 と 149) では感覚内・感覚間の時間処理に関して特集が生まれ、国内誌の基礎心理学研究 (2015) でも時間認知の解明について特集が組まれた。これ

らを読まれると、最近の時間知覚の研究の動向が掴めるに違いない。時間知覚には様々な研究があり、本稿で取り扱っていないトピックもまたいろいろある。それらについては、Block & Grondin (2014) に、最近の時間知覚研究に関する 23 本のレビュー論文の一覧表があるので、参考にさせていただきたい。

引用文献

- Abe, S. (1935). Experimental study on the co-relation between time and space. *Tohoku Psychological Folia*, 3, 53-68.
- Adhikari, B. M., Goshorn, E. S., Lamichhane, B., & Dhamala, M. (2013). Temporal-order judgment of audiovisual events involves network activity between parietal and prefrontal cortices. *Brain Connectivity*, 3, 536-545.
- Allan, L. G. (1979). The perception of time. *Perception & Psychophysics*, 26, 340-354.
- Anstis, S. M. (1970). Apparent motion. In R. Held, H. W. Leibowitz, & H-L. Teuber (Eds.) *Handbook of Sensory Physiology, Vol. 8. Perception*. (Chapter 21, pp. 654-673.) Berlin: Springer-Verlag.
- Anstis, S. M. (2001). Footsteps and inchworms: Illusions demonstrate that contrast modulates motion salience. *Perception*, 30, 785-794.
- Anstis, S. M. (2004). Factors affecting footsteps: Contrast can change the apparent speed, amplitude and direction of motion. *Vision Research*, 44, 2171-2178.
- Anstis, S. M., & Rogers, B. J. (1975). Illusory reversal of visual depth and movement during changes of contrast. *Vision Research*, 15, 957-61.
- Avant, L. L., Lyman, P. J., & Antes, J. R. (1975). Effects of stimulus familiarity upon judged visual duration. *Perception & Psychophysics*, 9, 327-334.
- Ayhan, I., Bruno, A., Nishida, S., & Johnston, A. (2009). The spatial tuning of adaptation-based time compression. *Journal of Vision*, 9 (11), 2, 1-12.
- Ayhan, I., Bruno, A., Nishida, S., & Johnston, A. (2011). Effect of the luminance signal on adaptation-based time compression. *Journal of Vision*, 11 (7), 22, 1-17.
- Beckman, J. S., & Young, M. E. (2009). Stimulus dynamics and temporal discrimination: Implications for pacemakers. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 35, 525-537.
- Bell, C. R. (1965). Time estimation and increases in body temperature. *Journal of Experimental Psychology*, 70, 232-234.

- Birngruber, T., Schröter, H., & Ulrich, R. (2015). Introducing a control condition in the classic oddball paradigm: Oddballs are overestimated in duration not only because of their oddness. *Attention, Perception & Psychophysics*, *77*, 1737–1749.
- Blewett, A. E. (1992). Abnormal subjective time experience in depression. *The British Journal of Psychiatry*, *161*, 195–200.
- Block, R. A. (1985). Contextual coding in memory: Studies of remembered duration. In J. A. Michon, & J. L. Jackson (Eds.) *Time, Mind and Behavior*. (Chapter 11, pp. 112–130) Berlin: Springer-Verlag.
- Block, R. A., & Grondin, S. (2014). Timing and time perception: A selective review and commentary on recent reviews. *Frontiers in Psychology*, *5*, 1–3.
- Block, R. A., & Reed, M. A. (1978). Remembered duration: Evidence for a contextual-change hypothesis. *Journal of Experimental Psychology, Learning and Memory*, *4*, 656–665.
- Block, R. A., & Zakay, D. (1997). Prospective and retrospective duration judgments: A meta-analytic review. *Psychonomic Bulletin of Review*, *4*, 184–197.
- Block, R. A., & Zakay, D. (2008). Timing and remembering the past, the present, and the future. In S. Grondin (Ed.) *Psychology of Time*. (Chapter 12, pp. 367–394.) UK: Emerald Group Publishing Limited.
- Brown, S. W. (1995). Time, change, and motion: The effect of stimulus movement on temporal perception. *Perception & Psychophysics*, *57*, 105–116.
- Brown, S. W. (2008). Time and attention: Review of the literature. In S. Grondin (Ed.) *Psychology of Time*. (Chapter 4, pp. 111–138.) UK: Emerald Group Publishing Limited.
- Bschor, T., Ising, M., Bauer, M., Lewitzka, U., Skerstuweit, M., Muller-Oerlinghausen, B., & Baethge, C. (2004). Time experience and time judgment in major depression, mania and healthy subjects. A controlled study of 93 subjects. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, *109*, 222–229.
- Buffardi, L. (1971). Factors affecting the filled-duration illusion in the auditory, tactual, and visual modalities. *Perception & Psychophysics*, *10*, 292–294.
- Buhusi, C. V., & Meck, W. H. (2005). What makes us tick? - Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nature Neuroscience*, *6*, 755–765.
- Burr, D., Tozzi, A., & Morrone, M. C. (2007). Neural mechanisms for timing visual events are spatially selective in real-world coordinates. *Nature Neuroscience*, *10*, 423–425.
- Creelman, C. D. (1962). Human discrimination of auditory duration. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *34*, 582–593.
- Davis, B., Christie, J., & Rorden, C. (2009). Temporal order judgments activate temporal parietal junction. *Journal of Neuroscience*, *29*, 3182–3188.
- Droit-Volet, S., & Gil, S. (2009). The time-emotion paradox. *Philosophical Transactions of the*

- Royal Society B*, 364, 1943-1953.
- Droit-Volet, S., & Izaute, M. (2009). Improving time discrimination in children and adults in a temporal bisection task: The effects of feedback and no forced choice on decision and memory processes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62, 1173-1188.
- Eagleman, D. M., & Pariyadath, V. (2009). Is subjective duration a signature of coding efficiency? *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364, 1841-1851.
- Franssen, V., & Vandierendonck, A. (2002). Time estimation: Does the reference memory mediate the effect of knowledge of results? *Acta Psychologica*, 109, 239-267.
- Fujisaki, W., & Nishida, S. (2007). Feature-based processing of audio-visual synchrony perception revealed by random pulse trains. *Vision Research*, 47, 1075-1093.
- Fujisaki, W., Shimojo, S., Kashino, M., & Nishida, S. (2004). Recalibration of audiovisual simultaneity. *Nature Neuroscience*, 7, 773-778.
- Galanbo, R., Makeig, S., & Talmachoff, P. J. (1981). A 40-Hz auditory potential recorded from the human scalp. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.*, 78, 2643-2647.
- Gibbon, J., Church, R. M., & Meck, W. H. (1984). Scalar timing in memory. In J. Gibbon, & L. Allan (Eds), *Annals of the New York Academy of Sciences*, 423: *Timing and Time Perception*. (pp. 52-77.) New York: New York Academy of Sciences.
- Gibson, B. S., & Egeth, H. (1994). Inhibition and disinhibition of return: Evidence from temporal order judgments. *Perception & Psychophysics*, 56, 669-680.
- Goldstone, S., & Goldfarb, J. L. (1964). Direct comparison of auditory and visual durations. *Journal of Experimental Psychology*, 67, 483-485.
- Gorea, A., & Kim, J. (2015). Time dilates more with apparent than with physical speed. *Journal of Vision*, 15 (1), 7, 1-11.
- Grill-Spector, K., Henson, R., & Martin, A. (2006). Repetition and the brain: Neural models of stimulus-specific effects. *Trends in Cognitive Sciences*, 10, 14-23.
- Grondin, S. (2008). Methods for studying psychological time. In S. Grondin (Ed.), *Psychology of Time*. (Chapter 2, pp. 51-74.) UK: Emerald Group Publishing Limited.
- Grondin, S., & Plourde, M. (2007). Discrimination of time intervals presented in sequences: Spatial effects with multiple auditory sources. *Human Movement Science*, 26, 702-716.
- Gu, B. M., Jurkowski, A. J., Lake, J. I., Malapani, C., & Meck, W. H. (2015). Bayesian models of interval timing and distortions in temporal memory as a function of parkinson's disease and dopamine-related error processing. In A. Vatakis, & M. J. Allman (Eds.) , *Time Distortions in Mind: Temporal Processing in Clinical Populations*. (pp. 284-329.) Boston, MA: Academic Publishers.
- Hagura, N., Kanai, R., Orgs, G., & Haggard, P. (2012). Ready steady slow: Action preparation

- slows the subjective passage of time. *Proceeding of the Royal Society of Biological Sciences B*, 279, 4399-4406.
- Hasuo, E., Nakajima, Y., Tomimatsu, E., Grondin, S., & Ueda, K. (2014). The occurrence of the filled duration illusion: A comparison of the method of adjustment with the method of magnitude estimation. *Acta Psychologica*, 147, 111-121.
- Healy, K., McNally, L., Ruxton, G. D., Cooper, N., & Jackson, A. L. (2013). Metabolic rate and body size are linked with perception of temporal information. *Animal Behaviour*, 86, 685-696.
- Henson, R., & Rugg, M. D. (2003). Neural response suppression, hemodynamic repetition effects, and behavioral priming. *Neuropsychologia*, 41, 263-270.
- Hikosaka, O., Miyauchi, S., & Shimojo, S. (1993). Focal visual attention produces illusory temporal order and motion sensation. *Vision Research*, 33, 1219-1240.
- Hirsh, I. J., & Sherrick, C. E. (1961). Perceived order in different sense modalities. *Journal of Experimental Psychology*, 62, 423-432.
- Hoagland, H. (1933). The physiological control of judgments of duration: Evidence for a chemical clock. *Journal of General Psychology*, 9, 267-287.
- Hodinott-Hill, I., Thilo, K. V., Cowey, A., & Walsh, V. (2002). Auditory chronostasis: Hanging on the telephone. *Current Biology*, 12, 1779-1781.
- 伊藤友記 (2001). 動的状况下における時間評価の特性. 九州スポーツ心理学研究, 13, 66.
- Ivry, R. B. (1996). The representation of temporal information in perception and motor control. *Current Opinion in Neurobiology*, 6, 851-857.
- Ivry, R. B., & Schlerf, J. E. (2008). Dedicated and intrinsic models of time perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 12, 273-80.
- James, W. (1890). *The Principles of Psychology*. New York: Holt.
- Jaskowski, P. (1993). Selective attention and temporal-order judgment. *Perception*, 22, 681-689.
- 神宮英夫 (1989). 時間知覚の内的過程の研究. 風間書房.
- Johnstone, A., Arnold, D. H., & Nishida, S. (2006). Spatially localized distortions of event time. *Current Biology*, 16, 472-479.
- Kanai, K., Ikeda, K., & Tayama, T. (2007). The effect of exogenous spatial attention on auditory information processing. *Psychological Research*, 71, 418-426.
- Kanai, R., Paffen, C. L. E., Hogendoorn, H., & Verstraten, F. A. J. (2006). Time dilation in dynamic visual display. *Journal of Vision*, 6, 1421-1430.
- Kaneko, S., & Murakami, I. (2009). Perceived duration of visual motion increases with speed. *Journal of Vision*, 9 (7), 14, 1-12.
- Kawahara, J. & Yokosawa, K. (2001). Preattentive perception of multiple illusory line

- motion: A formal model of parallel independent-detection in visual search. *Journal of General Psychology*, 128, 357-383.
- Kawahara, J., Yokosawa, K., Nishida, S., & Sato, T. (1996). Illusory line motion in visual search: Attentional facilitation or apparent motion? *Perception*, 25, 901-921.
- Kleber, R. J., Lhamon, W. T., & Goldstone, S. (1963). Hyperthermia, hyperthyroidism, and time judgment. *Journal of Comparative & Physiological Psychology*, 56, 362-365.
- Kuhs, H., Hermann, W., Kammer, K., & Tölle, R. (1991). Time estimation and the experience of time in endogenous depression (Melancholia): An experimental investigation. *Psychopathology*, 24, 7-11.
- Lahmon, W. T., & Goldstone, S. (1975). Movement and judged duration of visual targets. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 5, 53-54.
- Mahlberg, R., Kienast, T., Bschor, T., & Adli, M. (2008). Evaluation of time memory in acutely depressed patients, manic patients, and healthy controls using a time reproduction task. *European Psychiatry*, 23, 430-433.
- Mate, J., Pires, A. C., Campoy, G., & Estaún, S. (2009). Estimating the duration of visual stimuli in motion environment. *Psicológica*, 30, 287-300.
- 松田文子 (1985). 時間評価とその発達に関するモデル. 心理学評論, 28, 4, 597-623.
- 松田文子 (1994). 時間間隔と空間間隔の知覚における相互作用. 大山正・今井省吾・和気典二 (編) 感覚・知覚心理学ハンドブック. (第Ⅷ部, 4, pp.1580-1587.) 誠心書房.
- 松田文子 (1996). 時間評価のモデル. 松田文子・調枝孝治・甲村和三・神宮英夫・山崎勝之・平伸二 (編) (1996). 心理的時間 — その広くて深い謎. (第2章第4節, pp. 129-144.) 北大路書房.
- Matthews, W. J. (2011a). How do changes in speed affect the perception of duration? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 37, 1617-1627.
- Matthews, W. J. (2011b). Stimulus repetition and the perception of time: The effects of prior exposure on temporal discrimination, judgment, and production. *PLoS ONE*, 6, e19815.
- Matthews, W. J. (2015). Time perception: The surprising effects of surprising stimuli. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144, 172-197.
- 宮谷真人 (1982). 時間評価の基礎となる2つの処理系. 心理学研究, 53, 9-15.
- Mo, S. S. (1975). Temporal reproduction of duration as a function of numerosity. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 5, 165-167.
- Moutoussis, K., & Zeki, S. (1997). A direct demonstration of perceptual asynchrony in vision. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 264, 393-399.
- Nijhawan, R. (1994). Motion extrapolation in catching. *Nature*, 370, 256-257.
- Nijhawan, R. (2002). Neural delays, visual motion and the flash-lag effect. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 387-393.

- 西田眞也・藤崎和香 (2009). 時間的同期にもとづく感覚属性のバインディング. *日本神経回路学会誌*, 16, 1, 22-30.
- Nishida, S., & Johnston, A. (2002). Marker correspondence, not processing latency, determines temporal binding of visual attributes. *Current Biology*, 12, 359-368.
- Ono, F., & Kawahara, J. (2007). The subjective size of visual stimuli affects the perceived duration of their presentation. *Perception & Psychophysics*, 69, 952-957.
- 折原茂樹 (1991). 歩行課題を用いた生活時間評価について. *国士舘大学教育論叢*, 10, 132-144.
- Ornstein, R. E. (1969). *On the Experience of Time*. Harmondsworth: Penguin Books. (本田時雄 (訳) (1975). 時間体験の心理 岩崎学術出版)
- Pariyadath, V., & Eagleman, D. M. (2007). The effect of predictability on subjective duration. *PLoS ONE*, 2, e1264.
- Pariyadath, V., & Eagleman, D. M. (2012). Subjective duration distortions mirror neural repetition suppression. *PLoS ONE*, 7, e49362.
- Piéron, H. (1952). *La Sensation* (Collection Que Sais-je? N° 555). Presses Universitaires de France. (島崎敏樹・豊田三郎 (訳) (1958). 感覚 白水社)
- Pöppel, E. (1970). Excitability cycles in central intermittency. *Psychologische Forschung*, 34, 1-9
- Pöppel, E. (1971). Oscillations as possible basis for time perception. *Studium Generale*, 24, 85-107.
- Pöppel, E. (1972). Oscillations as possible basis for time perception. In J. T. Fraser, F. C. Haber, & G. H. Muller (Eds.) *The Study of Time*. (pp.219-241.) Berlin: Springer-Verlag.
- Pöppel, E. (1997). A hierarchical model of temporal perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 1, 56-61.
- Pöppel, E. (1978). Time perception. In R. Held, H. W. Leibowitz, & H-L. Teuber (Eds.) *Handbook of Sensory Physiology, Vol. 8. Perception*. (Chapter 23, pp. 713-729.) Berlin: Springer-Verlag.
- Pöppel, E. (1985). *Grenzen des Bewußseins: Über Wirklichkeit und Welterfahrung*. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt GmbH. (田山忠行・尾形敬次 (訳) (1995). 意識のなかの時間. 岩波書店)
- Pöppel E., & Logothetis, N. (1986). Neuronal oscillations in the brain. Discontinuous initiations of pursuit eye movements indicate a 30 Hz temporal framework for visual information processing. *Naturwissenschaften*, 73, 267-268.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Posner, M. I., Nissen, M. J., & Ogden, W. C. (1978). Attended and unattended processing

- modes: The role of set for spatial location. In H. L. Pick, & E. Saltzman (Eds.), *Modes of Perceiving and Processing Information*. (Chapter 7, pp. 137-157.) Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rammsayer, T. H., & Verner, M. (2015). Larger visual stimuli are perceived to last longer from time to time: The internal clock is not affected by nontemporal visual stimulus size. *Journal of Vision*, 15 (3), 5, 1-11.
- Recanzone, G. H., & Sutter, N. L. (2008). The biological basis of audition. *Annual Review of Psychology*, 59, 119-142.
- Roussel, M., Grondin, S., & Killeen, P. (2009). Spatial effects on temporal categorisation. *Perception*, 38, 748-762.
- Ryan, L. J., & Fritz, M. S. (2007). Erroneous knowledge of results affects decision and memory processes on timing tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 1468-1482.
- 斎藤千尋 (2011). タイミングに及ぼす正・誤フィードバックの影響. 北海道大学大学院文学研究科修士論文.
- Saito, C., Janssen, S. M. J., & Tayama, T. (2015). The effects of performance feedback on interval timing: Learning and generalization. *The Japanese Journal of Psychonomic Science*, 34, 27-34.
- Saunders, R. McD. (1975). The critical duration of temporal summation in the human central fovea. *Vision Research*, 15, 699-703.
- Schmolesky, M. T., Wang, Y., Hanes, D. P., Thompson, K. G., Leutgeb, S., Schall, J. D., & Leventhal, A. G. (1998). Signal timing across the macaque visual system. *Journal of Neurophysiology*, 79, 3272-3278.
- Shi, Z., Church, R. M., & Meck, W. H. (2013). Bayesian optimization of time perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 17, 556-564.
- Shi, J., & Huang, X. (2017). The colour red affects time perception differently in different contexts. *International Journal of Psychology*, 52, 77-80.
- Shibasaki, M., & Masataka, N. (2014). The color red distorts time perception for men, but not for woman. *Scientific Reports*, 4, 1-4.
- Shima, S., Murai, Y., Hashimoto, Y., & Yotsumoto, Y. (2016). Duration adaptation occurs across the sub- and supra-second systems. *Frontiers in Psychology*, 7, 1-9.
- Spence, C., & Parise, C. V. (2010). Prior-entry: A review. *Consciousness & Cognition*, 19, 364-379.
- Spence, C., Shore, D. I., & Klein, R. M. (2001). Multisensory prior entry. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 799-832.
- Staddon, J. E. R. (2005). Interval timing: Memory, not a clock. *Trends in Cognitive Sciences*,

- 9, 312-314.
- Staddon, J. E. R., & Higa, J. J. (1999). Time and memory: Towards a pacemaker-free theory of interval timing. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 71, 215-251.
- Stelmach, L. B., & Herdman, C. M. (1991). Directed attention and perception of temporal order. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 539-550.
- 須藤容治 (1952). 触空間における S 効果の研究 (I) 心理学研究, 22, 189-201.
- 須藤容治 (1955). 触空間における S 効果の研究 (II) — 皮膚上の S 効果に関する視覚機能の役割について —. 心理学研究, 26, 94-99.
- 田山忠行 (1986). 集中的注意による時間評価に及ぼす空間的影響の減少. 心理学研究, 57, 95-99.
- 田山忠行 (1987). 時間知覚のモデルと時間評価のモデル. 心理学評論, 30, 423-451.
- 田山忠行 (2006). 運動パターンを見ているときの持続時間の知覚. 基礎心理学研究, 25, 212-220.
- 田山忠行 (2012). 運動刺激と静止刺激に対する時間評価 — 異なる刺激と実験方法による比較. 北海道大学文学研究科紀要, 138, 63-99.
- Tayama, T., & Block, R. A. (1996). Models of time perception and time estimation. *Technical Report, No.3*. (Sapporo, Japan: Hokkaido University, Department of Psychology).
- 田山忠行・藤田大地 (2017). サッカー・オフサイド判定における時間順序判断. 日本心理学会第 81 回大会.
- 田山忠行・前川祐弥 (2016). 時間周波数順応下での時間知覚. *Technical Report, No. 74*, 1-14. (Sapporo, Japan: Hokkaido University, Department of Psychology).
- Tayama, T., & Mistuboshi, M. (2011). Temporal order judgments of two objects. *i-Perception*, 2 (4), 386-386.
- Tayama, T., Nakamura, M., & Aiba, T. S. (1987). Estimated duration for rotating-spot-pattern. *Japanese Psychological Research*, 29, 173-183.
- 田山忠行・邵 瓊瑤 (2015). 時間知覚に及ぼす繰り返し効果に関するクロスモダル研究. 基礎心理学研究, 34, 35-44.
- Tayama, T., & Tandoh, K. (2008). Velocity influence on detection and prediction of changes in color and motion direction. *Journal of the Graduate School of Letters (Hokkaido University)*, 3, 55-68.
- ten Hoopen, G., Miyauchi, R., & Nakajima, Y. (2008). Time-based illusions in the auditory mode. In S. Grondin (Ed.), *Psychology of Time*. (Chapter 5, pp. 139-188.) UK: Emerald Group Publishing Limited.
- Teixeira, S., Machado, S., Paes, F., Velasques, B., Silva, J. G., Sanfim, A. L., Minc, D., Anghinah, R., Menegaldo, L. L., Salama, M., Cagy, M., Nardi, A. E., Pöppel, E., Bao, Y., Szegel, E.,

- Ribeiro, P., & Arias-Carrión, O. (2013). Time perception distortion in neuropsychiatric and neurological disorders. *CNS & Neurological Disorders - Drug Targets*, *12*, 567-582.
- Teki, S., Grube, M., & Griffiths, T. D. (2012). A unified model of time perception accounts for duration-based and beat-based timing mechanisms. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, *5*, 90, 1-7.
- Teki, S., Grube, M., Kumar, S., & Griffiths, T. D. (2011). Distinct neural substrates of duration-based and neat-based auditory timing. *The Journal of Neuroscience*, *31*, 3805-3812.
- Thomas, E. A. C., & Canter, N. E. (1976). Simultaneous time and size perception. *Perception & Psychophysics*, *19*, 353-360.
- Thomas, E. A. C., & Weaver, W. B. (1975). Cognitive processing and time perception. *Perception & Psychophysics*, *17*, 363-367.
- Titchener, E. B. (1908). *Lectures on the Elementary Psychology of Feeling and Attention*. New York: Macmillan.
- Toda, M. (1975). Time and the structure of human cognition. In J. T. Fraser, & N. Lawrence (Eds.), *The Study of Time II*. (pp. 314-324.) New York: Springer-Verlag.
- Toda, M. (1982). *Man, Robot, and Society*. (Chapter 4, pp. 59-72.) Boston: Martinus Nijhoff Publishing.
- Treisman, M. (1963). Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the "internal clock." *Psychological Monographs*, *77*, 13, 1-31.
- Tse, P. U., Intriligator, J., Rivest, J., & Cavanagh, P. (2004). Attention and the subjective expansion of time. *Perception & Psychophysics*, *66*, 1171-1189.
- van Wassenhove, V., Buonomano, D. V., Shimojo, S., & Shams, L. (2008). Distortions of subjective time perception within and across senses. *PLoS ONE*, *3*, e1473.
- von Steinbüchel, N., Wittmann, M., & Pöppel, E. (1996). In M. A. Pastor, & J. Artieda (Eds.), *Time, Internal Clocks, and Movement*. (pp. 281-304.) Amsterdam: Elsevier Science.
- Wahl, O. F., & Sieg, D. (1980). Time estimation among schizophrenics. *Perceptual & Motor Skills*, *50*, 535-541.
- Walker, J. T., & Scott, K. J. (1981). Auditory-visual conflicts in the perceived duration of lights, tones and gaps. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *7*, 1327-1339.
- Wearden, J. H. (2016). *The Psychology of Time Perception*. Palgrave Macmillan.
- Wearden, J. H., Edwards, H., Fakhri, M., & Percival, A. (1998). Why "sounds are judged longer than lights": Application of a model of the internal clock in humans. *Quarterly Journal of Experimental Psychology. B, Comparative and Physiological Psychology*, *51*, 97-120.

- Woo, S. H., Kim, K. H., & Lee, K. M. (2009). The role of the right posterior parietal cortex in temporal order judgment. *Brain Cognition*, *69*, 337-343.
- Yamamoto, S., & Kitazawa, S. (2001). Reversal of subjective temporal order due to arm crossing. *Nature Neuroscience*, *4*, 759-765.
- Yamamoto, K., & Miura, K. (2012). Perceived duration of plaid motion increases with pattern speed rather than component speed. *Journal of Vision*, *12* (4), 1, 1-13.
- Yarrow, K., Haggard, P., Heal, R., Brown, P., & Rothwell, J. (2001). Illusory perceptions of space and time preserve cross-saccadic perceptual continuity. *Nature*, *414*, 302-305.
- Yarrow, K., & Rothwell, J. C. (2003). Manual chronostasis: Tactile perception precedes physical contact. *Current Biology*, *13*, 1134-1139.
- Zakay, D. (1993). Relative and absolute duration judgments under prospective and retrospective paradigms. *Perception & Psychophysics*, *54*, 656-664.
- Zakay, D. (1998). Attention allocation policy influences prospective timing. *Psychonomic Bulletin & Review*, *5*, 114-118.
- Zakay, D., & Block, R. A. (1996). The role of attention in time estimation processes. In M. A. Pastor, & J. Artieda (Eds.) *Time, Internal Clocks and Movement*. (pp.143-164.) Amsterdam: Elsevier Science.