

<研究ノート>

人類進化の視点から探るヒトの身体活動の独自性

新潟大学名誉教授 山崎 健

はじめに

スポーツや踊り、祭祀や芸術に代表される我々の「非生産的な身体活動様式」は極めて特殊な存在である。動物であっても「遊び」や「踊り」のような行為は存在するが「直立二足歩行」によって自由になった上体や上肢を動かしての全身を使った（非生産的）身体活動様式は他に類を見ない。このような非生産的活動と区分されるものが人類を特徴づけたとされる「狩猟採集活動」であるが、ホイジンガ（1938）は本質的機能としての「ホモ・ルーデンス」を「ホモ・ファベル」と並んで一つの地位を占めるに値するものであると指摘した。

この狩猟採集活動と非生産的的身体活動の発生のプロセスとその相互関係を検討することは、我々が「身体活動の独自性」を探るうえで極めて重要な視点を提供するものと考えられる。

人類発生史からの検討

600～700万年にわたる人類進化のプロセスを考えたときに、「直立二足歩行」と上肢の「移動手段からの解放」が大きなインパクト（ホミニンへの道を歩み始めた）であったことは論を待たない（リーバーマン 2015、馬場・海部監修：NHK「人類誕生」制作班 2018）。デシルヴァ（2022）は、直立二足歩行の発生に関する多くの仮説を検討し、検証可能な「唯一」の仮説は確定されないことを指摘した。そして、現棲のゴリラやチンパンジーの「ナックル歩行」は、樹上生活に特殊化した強靱な上肢で「手首が背屈し難くなった」ため

に発生したものであり、四足歩行から二足歩行に移行した可能性を否定している。

現生のホモ・サピエンスにとどまらず、旧人や原人とされるホモ・ネアンデルターレンシスもホモ・ハイデルベルゲンシスも脳の大型化を特徴としている。アフリカでのホモ・エレクトス段階での化石は160万年前とされる有名な「トルカナ・ボーイ」があり、ホモ・サピエンスとされる化石は16万年前とされるエチオピアの「ヘルト人」がアフリカ最古と推定され、その間は140万年を越える。この間の化石人類で70万～20万年前、ホモ・サピエンスとネアンデルタル人の共通祖先とされる「ホモ・ハイデルベルゲンシス」の化石がアフリカでもヨーロッパでも発見されている。身長は145～185cmで脳容積は1100～1400ccと大きく「出アフリカ」を果たしネアンデルタル人につながる重要な系統であり、アフリカに留まった系統からホモ・サピエンスが誕生したとされている（ブラウン・カワード 2018、）。しかし、古代DNA解析の第一人者、ライク（2018）はユーラシアからアフリカに戻ったホモ・エレクトスの系統がホモ・サピエンスにつながった可能性を示している（出アフリカの回数からの推論）。因みにジョンソンら（2020）は、肥満に関わる「儉約遺伝子（少ないエネルギーで生存可能となる）」の起源は、1700万年から1300万年前にかけてヨーロッパで生息していた類人猿の共通祖先が、ヨーロッパでの食糧事情が悪化したことにより尿酸分解に関わる「ウリカーゼ酵素遺伝子」を消失させ、その後アフリカに戻り儉約遺伝子を持たなかったアフリカ固有の類人猿を駆逐し、その後の人類への共通祖先となった可能性

を指摘する。

脳の大型化

脳の大型化は、最初に石器を作成したとされるおよそ250万年前のホモ・ハビリスや190万年前のホモ・エレクトスの段階から始まったことが指摘されているが、その要因についてはいくつかの可能性が指摘されている。

ホモ・エレクトスの特徴づけるものが、体毛の減少と発汗による体温調節機能の獲得とされる。持久狩猟と表現される「狩り」の身体運動様式は、体温調節機能を持たないアンテロープなどの獲物を30Kmほど集団で連携して追いかけて、熱中症状を誘発して仕留めるといったパターンを獲得したことが、安定したタンパク質摂取をもたらした、タンパク質摂取量の増加により脳の大型化に貢献したと指摘されている（リーバーマン 2015、クリガン＝リード 2018）。また、持久狩猟の実施には複数人での共同行動やコミュニケーション、獲物となるべき動物の経験的予測的知識も必要とされることから共同性に関しても大きなインパクトを持つことが推察される。

代謝パターンの変容

ポンツァー（2020、2022）は、ゴリラやチンパンジーなどの現生霊長類は、樹上生活の時間が圧倒的に長く食事と睡眠とグルーミング（毛繕い）が主要な行動パターンであるにもかかわらず体脂肪率は10～20%程度であることから、初期人類の場合も直立二足歩行の移動時間はそれほど長くなかったことを指摘する。そしてホモ・エレクトスの段階に至って、発見や捕獲が困難な動物を対象とした持久狩猟での協力と共有を前提とする積極的な行動や認知活動が求められ「動くことに適応した体」を形づくってきたこと。また、代謝エンジンも活動量の増加に応じて進化し、チンパンジーの4倍の最大酸素摂取量と持久性の強い

遅筋系線維の割合の高い脚筋を発達させ、またより多くの赤血球を持ち酸素運搬能力も向上したと指摘する。そして「ヒトはより速い代謝を進化させることで、増加する身体活動や大きな脳など人間特有のエネルギーを食らう形質に必要な燃料を提供できるようになった」、また「身体活動は一日あたりのエネルギー消費量にほとんど影響を与えない」「運動は体のエネルギーの使い方を調節し、重要なタスクを調整する」という「制限的日次カロリー消費モデル」の可能性を指摘した。これらの身体活動の特性は、活動中の筋肉が何百種類ものシグナル分子を体内に放出し、持久力を要する運動実施においてステロイドホルモンやストレスホルモンであるコルチゾールを低下させ2型糖尿病のリスクを低減する（ブドウ糖を中性脂肪ではなく筋グリコーゲンに優先的に変換する）と指摘している。

脳の大型化をもたらしたものは何か

ライクレインら（2020）は、直立して活動的になったホミニンにはバランス維持能力や多くの情報を統合する認知的負荷、さらに生活様式が持久狩猟など高いレベルの有酸素活動が要求されること、さらに遠方への狩猟行動に伴う「空間ナビゲーション」などの認知機能が記憶をつかさどる海馬や前頭前皮質の機能向上を求めることを指摘した。さらに持久狩猟は20km以上を移動しながら高い速度での捕獲対象や周囲の環境など同時遂行の「マルチタスク」が求められることからより高い情報処理が必要とされること、そしてそのような脳を作り上げて維持するためには、新たなニューロンの発生と生存を支える生理学的リソースとエネルギーを必要とし、逆にこのシステムを日常的に使用しないならそれらが失われてしまう可能性が高いことも指摘した。

脳の大型化の要因に関わる最初の仮説は、250万年前とされるホモ・ハビリスの段階から行われていた「腐肉漁り」と「骨髓食」に象徴されるタ

ンパク質摂取量の増加と腐肉や骨髄を摂取するための単純な石器（オールドヴァイ型）の製作と使用により脳が進化したこととされている（クリガン＝リード 2018）。シャーウッド（2020）は、この段階では脳の大型化は単純な増加傾向のプロセスで大きな変節点は現れておらず、変節点がみられるのは190万年前のホモ・エレクトスに至ってからと指摘しているが、問題はこの増加の要因が何であったのかである。

火の賜物（ランガムの指摘）

恒常的狩猟活動によってもたらされた肉の加熱調理に象徴されるホモ・エレクトスの「火の使用」の痕跡は80万年前イスラエルの遺跡で炉床の跡が見つけられている（ランガム 2010、レナード 2020）。腐肉漁りや骨髄摂取を行っていたホモ・ハビリスと異なり、ホモ・エレクトスの段階で「出アフリカ」を果たし、肉の加熱調理を行っていた可能性は否定できない。レナード（2020）は、170～180万年前と推定されるジョージアのドマニシ遺跡での大量の動物化石やオールドヴァン型の粗雑な石器が見つかったことから、食物を得るための大規模な移動（“出アフリカ”を含め）が必須だったことを指摘する。ただ、加熱調理は食物の質を大幅に向上させ脳の大型化を支えた可能性があるもののホモ・エレクトスが「自分で火をおこして利用した」との考古学的証拠は未だ得られていないとしている。

ランガム（2010）は、生物人類学的見地から骨や歯の解剖学的特徴を検討し、ホモ・エレクトスとされる79万年前のイスラエルの遺跡に先立つ変化について、200万年前のホモ・エレクトスの段階から、脳の大型化と小さい歯と短い胃腸器官を持つことから恒常的に「料理」を行っていた可能性を指摘する。そして、240万年前のホモ・ハビリスの「腐肉漁り」「骨髄摂取」「根茎」「塊茎」などの食事メニューが第一段階の脳の大型化を促したが、ホモ・エレクトスに至って樹上生活に関

わる類人猿的特徴が後退し、直立二足歩行と持久狩猟に適合した活動エネルギーの劇的増大を必要とした。そして、肉だけではなく澱粉質に富む根茎や塊茎が、加熱することによって変性して消化吸収率の向上を支え、大型化した脳と狩猟採集活動に必要なとされるエネルギーを確保したと推定している。加熱調理によるタンパク質摂取が脳の大型化を促したとの仮説は示されている。2020年NHK放映の「食の起源（ご飯）」や2022年放映の「ヒューマニエンス 糖」では、採取した木の実や根菜、その後の穀物（トウモロコシやイモ、麦やコメ）の加熱調理により炭水化物の「糖」への変換が起こり、脳（糖質と乳酸しかエネルギー源として利用できない）の大型化に貢献したのではないかとの仮説が示されている。脳には「血液脳関門」があり糖と乳酸しか利用できないのでホモ・サピエンスの大型化した脳のエネルギー供給に関してのこの指摘は正しい。また加熱調理による消化器系への負担軽減が相対的に大きな脳と小さな腸をもたらし、結果としてエネルギーを脳に供給することが可能となったことも要因の一つとされている。

狩猟採集活動の進化

ホモ・ハビリス段階での腐肉漁りと「オールドヴァン型石器」製作から、ホモ・エレクトス段階での持久狩猟や「アシュール型石器」の製作へと変化してゆく中で「石器製作の精密化」が脳の運動機能の発達を促し、運動機能の発達と言語に関わる「ブローカ野」の発達との連携をもたらしたことが指摘されている。「もっと鋭い」石器を作るという「具体的思考」は狩猟活動や石器製作の共同作業でのコミュニケーションとしての認知機能の発達を促したことが推測される。そして、その後のホモ・ハイデルベルゲンシスを経て、ネアンデルタール人やホモ・サピエンスに至るプロセスを経て、ネアンデルタール人の「家族単位集団」に対するホモ・サピエンスの数百人規模の「集団

知」へと進化する（馬場・海部監修：NHK『人類誕生』制作班 2018）。

ランガム（2010）は、60～80万年前とされるハイデルベルゲンシス段階でより効率的な狩猟活動が発達した可能性も指摘している。ホモ・エレクトス段階での脳容積は700～1200cc（ホモ・サピエンスの約70%）と推定され、言語機能は未知であるが認知能力や共感能力は高かったと推定され、「持久狩猟行動」や共同分配での発達した認知機能を要求したものとされ、トマセロ（2020）は、生存競争が「協働」や「モラル」を生んだ可能性を指摘する。

脳の大型化という点では、ネアンデルタール人の脳容積はホモ・サピエンスより大きい1600ccと推定されており、言語機能に関しては頭蓋骨や舌骨や咽頭の位置から考えても十分な言語活動を行っていたことが推定されている。このことから、ホモ・エレクトス以降の脳の大型化には「持久狩猟行動」に加えて集団性を維持するための認識機能の発達（石器だけではなく斧や槍などの狩猟採集活動で使用する「道具」の発明とその効率的用途を支える）がかかわり、そのことが脳の機能構造的変化（大型化だけではなく機能局在と連携による脳の形態と機能の変容）をもたらしたとの推察もできる。ライクレインとアレクサンダー（2020）やレイティとハイガーマン（2009）の指摘するように狩猟採集行動における長時間の有酸素的身体運動の実施は「状況判断」「選択－実行」といった認知負荷の高い行動様式と統合して実施されてきた。

経験知の蓄積と継承

ホモ・エレクトス段階での狩猟採集活動は生存にとって不可欠の行為である。特に狩猟活動を巧みに行うためには多くの「経験知」が求められたものと考えられる。身体活動の反復はこの経験知を豊富にするとともに必然的に動きの効率化（精度や力強さの向上）をもたらす。

初期人類の生存条件の拡大を考えたとき、狩猟採集活動の「伝承」において未経験な若い個体が集団の中で狩猟活動の「模倣」を行うことは容易に想像できる。また、石器や道具の製作においても経験豊富な個体からの「模倣」も想定される。フランス人類学の大御所であるイヴ・コパンが科学監修を行ったFrance 3：A SPACIES' ODYSSEY（DVD：2002年）では、ホモ・エレクトス段階で子どもに石器製作を教えているシーンが収録されている。

模倣行動の神経メカニズム

模倣行動を支える神経系のメカニズムとして想定されているものが1990年代にリゾラッティの指摘した運動前野のミラーニューロンである（リゾラッティとシニガリア 2023）。虫明（2007）は、観察した運動と行う運動とに関わる運動前野のミラー細胞について、模倣が腕などの形をまねる階層から目標達成の動作レベルでの模倣の階層、更に動作の目標を模倣する階層が存在することを指摘する。松波（2000）は「合同ミラーニューロン」という概念が「模倣」に対応することを指摘し、更に運動を模倣するときに加えて「予測」を含めて運動を要素に分解し、他の類似の運動とも区別できてその運動が実行できるものとしている。

藤井（2005）は「予想脳（Predicting Brain）」という概念を示し、“次に生ずる未来を常に予想して、絶えず流入してくる自動処理された外界環境情報と自己が予想した未来とを比較することが脳の本質的な機能である”とし、エネルギーを有効に使うためのメカニズムと指摘する。乾と坂口（2020、2021）は、「能動的推論」というフリストンら（2022）の概念について、知覚過程は外界の情報によってもたらされるものではなく、事前の知覚的推論に対する感覚信号のサプライズ情報（予測との誤差量）を小さくするように推論を再構築するもの（「信念更新」と表現する）と定

義している。そして、この感覚情報の精度に関連するドーパミン作動性のシステムの存在を指摘する。つまり運動のメカニズムと知覚のメカニズムは同一であるとの統一的概念を示している。

木村 (2000) は、瞬時の適切な行動系の選択には大脳基底核が関与しており、その際中脳から基底核線条体へのドーパミン系が「予測報酬誤差ゼロ」に近づける強化学習に関わって習慣的行動を運動の連鎖として導き出すことを指摘した。そして、現在得られている強化と評価の予測値の時間変化の和をゼロにするTD (temporal difference) 学習の可能性があることを指摘し、報酬につながることを確認できる感覚をてがかりとして「報酬」のように考えるようになると解釈している。

このことから「模倣」行動は、「経験知の反復」により相手方の動きを予測し、その模倣行動の誤差を修正しゼロにするプロセスの反復と考えられ、その意味で社会性や集団性や文化性を表現し受容し実現する行動を支えるものと考えられる。特に「報酬予測誤差ゼロ」がドーパミン投射による「褒賞系」の性質を持つことは、模倣の成果に対する「肯定的感情」を醸成する可能性が高い。このことは、狩猟採集活動などの直接的で生産的な報酬とは異なり「生産性のない成果」に対する肯定的感情としての「充実感」「幸福感」「達成感」等の強化学習システムとして働いている可能性が推測できる。

身体運動実施にともなう変化

レイティら (2009, 2014) は、身体運動を行うことが「脳由来神経栄養因子 (BDNF)」「インシュリン様成長因子 (IGF-1)」「線維芽細胞成長因子 (FGF-2)」「血管内皮成長因子 (VEGF)」「心房性利尿ペプチド (ANP)」などの体内ネットワークを担う重要な物質を分泌することを指摘し、過栄養と運動不足に起因するメタボリックシンドロームだけではなく、ストレスの増加による

「うつ」や「パニック障害」「ADHD」など様々な精神性疾患への改善可能性が指摘されている。

前川 (2020) は、海馬の神経新生を促進する刺激としてラットなどの回転ゲージでの自発的運動があるとのヴァンプラッグの研究から、運動によって発現が亢進するIL-6 (炎症性タンパク質だが「善玉」として作用する) やBDNF (脳由来神経栄養因子) などが認知機能の改善に関わることを指摘した。そして、認知機能向上に必須なBDNFの発現する運動モデルについて自発性回転運動や低～中程度の全身持久性運動が有効であることを指摘するとともに強度の高い運動モデルであっても筋力や有酸素能の向上と合わせて認知機能の改善ももたらすことを指摘した。また、運動実施による筋などの末梢組織からのマイオカインや血液中のCTSB (カテプシンB) が脳の血液脳関門を通過して認知機能を向上させること、エネルギー生産に関わるミトコンドリア合成に関わるPCG 1- α やKYN (キヌニレン) がうつ症状の改善やストレス耐性を向上させていること、などの様々な研究報告を示した。

身体系と神経系への肯定的影響

このことから身体運動の実施に伴って分泌されるホルモンが神経新生や記憶向上、BDNFの増加やうつ症状の改善に関わることは、ホモ・サピエンスに至る進化のプロセスでの身体運動様式と脳の大型化との不可分の関係にあることが推測される。ライクレインら (2020) は、運動だけを実施する条件と比較して認知的刺激の多い環境へのアクセスと運動を組み合わせたマウスの海馬でのニューロン成長に付加的な価値があることから「運動と認知課題をどのように組み合わせるのが最適か」が重要であると指摘する。

レイティ (2014) は、トレイルランに代表される「野生の身体感覚」獲得の有効性について、有酸素運動と筋力トレーニングの効果にとどまらず認知能力やIQの改善可能性を示唆している。

そして、グリーンローの「曲芸ラット（平均台や不安定な障害物、ゴム製のはしごなどの複雑な運動技能が要求される飼育環境）」で小脳のBDNFが35%増加していたとの結果へのコメント「技能の習得と有酸素運動を含めるべき」を引用し、有酸素運動で神経伝達物質や成長因子を増加させた状態で小脳と大脳基底核と前頭前野という複雑な運動回路を巧妙に実行することによる脳の可塑性の改善可能性を指摘する。

これは、ローゼンバイクラ（1972）がサイエンス誌に報告した「経験が引き起こす脳の変化」でのネズミの「豊かな飼育環境（Enrich Environment）」が脳重量やシナプス接続部の数、学習関与物質等が増加するとの研究結果以降脈々と継続されている研究である。そして「それではホモ・サピエンスにとっての『豊かな環境条件』とは何か？」が問われてくる。

非生産的¹身体運動の自己目的化

山崎（2020）は、人類進化のプロセスで重要な役割を果たしてきたと考えられる狩猟採集活動や渡海や河川遡上技術など生存域拡大のための運動様式とともに、集団の結びつきや調停での「祭祀」「踊り」「儀式」「狩猟行動の訓練」などの「生産性を持たない身体運動」が「自己目的化」してホモ・サピエンスを特徴づけてきたことを指摘した。

ラザフォード（2017）は、およそ1万年前の農業の発生がヒトの遺伝子を根本的に変化させたことを指摘し、炭水化物を分解するアミラーゼ遺伝子が栄養分の豊かな塊茎（イモ類）を食べる方向への自然淘汰があり狩猟民から農耕民への変化や遊牧民の乳糖を分解するラクターゼ遺伝子の変化などをもたらしたことを指摘する（農耕民は狩猟民よりも身長が低くなった）。12000年前の宗教的施設とされるトルコのギョベクリ・テペ遺跡では、異なる信仰対象を持つ複数の集団が調停と融和の場であったことと祭祀用のビールを作っ

いた痕跡が見つかっている（ブラウン・カワード2018）。この段階での祭祀はまさに「非生産的¹身体活動」に相当するものと考えられる。

リーバーマン（2015）は進化の代償として身体運動を実施しないと様々な“ミスマッチ病”を引き起こすことを指摘した。大型化する脳には糖質を優先的に供給し、脂肪細胞の遊離脂肪酸を狩猟採集活動のエネルギーとして利用していたこと、そしてその代償（トレードオフ）として運動不足による内臓脂肪蓄積やメタボリックシンドロームの発症が指摘されている。そして、いまだに狩猟採集活動を行っているアフリカのハッザ族などの生活とは異なり、現代社会では、狩猟採集などの生産的²身体運動は激減していることが懸念されている。

しかし、ポンツァー（2020）の指摘する「限定的日次カロリー消費モデル」からは、ハッザ族も工業国で生活する欧米人でも総消費カロリーは1900～2600kcalと大差はないことも指摘されている。レヴィン（2016）は、カロリー消費における運動性活動熱生産（EAT）と非運動性熱生産（NEAT）との関係からNEATに相当する仕事と余暇の立位や移動に関して消費カロリー量が多い例（2000kcal）を指摘している（1時間のランニングは500kcal相当）。

明確なガイドラインはない？

狩猟採集活動や「持久狩猟」、石器の製作や共同行動に代表される身体活動がヒトの進化の上で「独自の」であったと仮定すれば、それが脳の大型化に大きな貢献をもたらしたことは十分に推察できる。

しかし、個々人の健康状態には、ブレデセン（2018）の認知症に関わる36の要因を含め、アルツハイマー病のリスクの高いApoE 4の遺伝的要因、毒物暴露、加齢や健康レベル（糖尿病や高血圧、高脂血症、脳血管障害などの程度）、食事と運動の実施状況等々様々な生活習慣上の要因が複

雑に関与して決定されている。さらに、生活習慣（日常活動や食事習慣や運動習慣）が消費カロリーと摂取カロリーの関係を変化させ、肥満に関わる遺伝子の後成的変化（エピジェネティック）とも関連していることも指摘されている（NHK『人体』取材班 2020）。それ故、我々の「総合的な健康」にかかわる「生産的身体活動」と「非生産的身体活動」との関係やそれを実現してゆくための具体的で明確なガイドラインは未だ得られていない。

終わりの始まり

「模倣」に起源をもち「予想」と「達成」に応じて「報酬系」が作動すると考えられる非生産的身体活動は、祭祀での踊りや様々な芸術活動、習慣的な散歩やウォーキング・ランニング、レクリエーションやスポーツ活動などの様々な様式で実現されている。

その意味では多様な「生産的身体活動」や「非生産的身体活動」が、個別具体的にどのようなプロセスを経て「自己目的化」されるのかを解明することが今後の重要な課題であり、個別事例の「要素還元主義的」な検討に終わることなく、統合的な「構造主義的研究」をいかに構築して行くかが問われているものと思われる。

参考文献

1. D.ブレデセン、認知症を食い止める&わからないことだらけ&臨床から研究、そしてまた臨床へ、山口茜訳：アルツハイマー病 真実と終焉、ソシム、2018年、pp.20-45、92-142
2. K.L.ブラウン・F.カワード、人類&狩猟者から農民へ、A.ロバーツ編・黒田真知・森登美子訳：人類の進化大図鑑（コンパクト版）、河出書房新社、2018年、pp.56-173、210-211
3. J.デシルヴァ、「人類が直立したわけ」と二足歩行に関するその他の「なぜなぜ物語」、赤根洋子訳：直立二足行の人類史、文芸春秋、2022年、pp.61-

81

4. 藤井直敬、予想脳&従来の解釈と予想脳による解釈、予想脳 Predicting Brain、岩波書店、2005年、pp.35-55、57-79
5. J.ホイジンガ・高橋英夫訳：ホモ・ルーデンス、中公文庫、1973年、pp.11-14
6. 乾敏郎・坂口豊、脳の大統一理論 自由エネルギー原理とは何か、岩波書店、2020年、pp.1-68
7. 乾敏郎・坂口豊、能動的推論と行動決定、自由エネルギー原理入門、岩波書店、2021年、pp.61-94
8. R.J.ジョンソン・P.アンドリュース、姿現す肥満遺伝子、別冊日経サイエンス No.237「食と健康」、日経サイエンス、2020年、pp.41-47
9. 木村實、大脳基底核、運動の神経科学、NAP、2000年、pp.50-60
10. V.クリガン＝リード、ヒトは「移動」で進化した&「人新世」以前の身体、水谷淳・鍛原多恵子訳：サピエンス異変 新たな時代「人新世」の衝撃、飛鳥新社、2018年、pp.30-59
11. W.R.レナード、美食が人類を進化させた、別冊日経サイエンス No.237、2020年、pp.102-112
12. J.A.レヴィン、食べよう 動こう、鈴木素子訳：GET UP！座りっぱなしが死を招く、角川書店、2016年、pp.35-60
13. D.E.リーバーマン、最初の狩猟採集民&進歩とミスマッチとデイスエボリューション、塩原通緒訳：人体600万年史(上)、早川書房、2015年、pp.110-148、239-271
14. M.ローゼンバイク・ベネット・M.ダイアモンド、今村護郎訳：経験が引き起こす脳の変化、サイエンス日本版、1972年、pp.72-80
15. 前川貴郊、運動が脳にもたらす効果とその分子メカニズム、実験医学 Vol.37(8)、羊土社、2019年、pp.1230-1234
16. 松波謙一、運動前野、運動と脳 体を動かす脳のメカニズム、サイエンス社、2000年、pp.64-80
17. 虫明元、器用さの学習のメカニズムーニューロン活動の働きから、久保田競編：学習と脳、サイエンス社、2007年、pp.13-64

18. NHKスペシャル「人類誕生」制作班：馬場悠男・海部陽介監修、二足歩行は妻子のためだった&そして私たちだけが生き残った、大逆転！奇跡の人類史、NHK出版、2018年、pp.8-34、35-66
19. NHKスペシャル「人体」取材班編、あなたも“ヒーローDNAの持ち主かもしれない&受け継がれる“DNAスイッチ”、遺伝子、医学書院、2020年、pp.86-117、166-191
20. T.パー・J.ペッツェロ・K.フリストン、能動的推論への常道、乾敏郎訳：能動的推論-心、脳、行動の自由エネルギー原理、ミネルヴァ書房、2022年、pp.15-42
21. H.ポンツァー、運動のパラドックス なぜやせられないのか、別冊日経サイエンス No.237「食と健康」、日経サイエンス、2020年、pp.34-40
22. H.ポンツァー、運動しなければならない進化上の理由、篠田謙一編：別冊日経サイエンス No.242「人間らしさの起源」、日経サイエンス、2020年、pp.108-115
23. H.ポンツァー、ヒトと類人猿の代謝の定説が覆った、小巻靖子訳：運動しても痩せないのはなぜか、草思社、2022年、pp.9-40
24. D.A.ライクレン・G.E.アレクサンダー、運動が記憶力を改善する訳（篠田編：前掲書）、2020年、pp.116-121
25. J.レイティ with E.ヘイガーマン、学習-脳細胞を育てよう&鍛錬-脳を作る、野中香方子訳：脳を鍛えるには運動しかない、NHK出版、2009年、pp.47-71、pp.307-335
26. J.レイティ&R.マニング、野生の運動、野中香方子訳：GO WILD 野生のからだを取り戻せ！、NHK出版、2014年、pp.110-136
27. D.ライク、ゲノムが明かすわたしたちの過去、日向やよい訳：交雑する人類、NHK出版、2018年、pp.32-59
28. A.ラザフォード、農業革命と突然変異、垂水雄二訳：ゲノムが語る人類全史、文芸春秋、2017年、pp.86-160
29. C.C.シャーウッド、データでみる脳の違い、（篠田編：前掲書）、2020年、pp.72-75
30. M.トマセロ、モラルを生んだ生存競争（篠田編：前掲書）、2020年、pp.88-93
31. G.リゾラッティ・C.シニガリア、行為の理解、柴田裕之訳：ミラーニューロン、紀伊国屋書店、2023年、pp.95-132
32. R.ランガム、料理の始まり&料理と旅、依田卓己訳：火の賜物 ヒトは料理で進化した、NTT出版、2010年、pp.84-104、177-192
33. 山崎健、ヒトの健康と身体活動・スポーツの意味するもの、月間社会教育 2020年12月号 (No.775)、旬報社、2020年、pp.4-12