

# 手と作業

## Hand and occupation

犬丸 敏康<sup>1</sup>, 小島 久典<sup>2</sup>

<sup>1</sup>金城大学医療健康学部, <sup>2</sup>大阪府立大学総合リハビリテーション学部

Toshiyasu Inumaru<sup>1</sup>, Hisanori Kojima<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kinjo University, Faculty of Health Sciences

<sup>2</sup>Osaka Prefecture University, School of Comprehensive Rehabilitation

キーワード：手, 作業, 進化, 手作り

Key words : Hand, Occupation, Evolution, Handmade

### 抄録

ヒトの手は進化の賜物であり, 作業する行為もヒトの進化を語る上で欠かすことはできない. 本論文では, ヒトがヒトらしくあるための重要な要素である手と作業の関係について考察することを目的とした. 第一項では, 手の機構について説明する. 第二項では, 手と脳の関係について説明する. 第三項では, 手とする作業と手作りについて考察する.

## 1. 緒言

手と作業と聞いて, 一般的にはどのように感じるのでしょうか? 我々は作業療法という職種に従事しているために, 作業する際の手の動きについては, 熟知しているつもりである. そのため, 手・作業という言葉にはとても敏感である. しかしながら, 手の外科が専門である医師, 手のロボットを作っている工学者, そして, 我々のような作業療法士, それ以外の方にとっては, あまり手・作業という言葉にはピンと来ないかもしれない. しかしながら, ヒトの手は進化の賜物であり, 作業する行為もヒトの進化を語る上で欠かすことはできない. なぜならば, 手を開放して, その手を自由に使えるようになったことが, ヒトが最もヒトらしく進化できた理由のひとつとして挙げられるからである<sup>1)</sup>. すなわち, 手と作業の関係を捉えることは, その進化の過程も含めてヒトを研究するために避けては通れないことが明らかである<sup>2)</sup>.

そこで, 本論文では, ヒトがヒトらしくあるための重要な要素である手と作業の関係について考察することを目的とした. なお, 本論文では, できるだけ他分野の方にも理解しやすいように, な

るべく平易な表現を用いて記述した. そのため, 一部の内容についてはアカデミックではない用語も散見されるかもしれない. また, ヒトの進化を扱う過程については, 化石などからの類推となるために, 科学的な検証の正確さに欠けるきらいもあるかもしれない. そこは本論文の特質上, お許し願いたい.

## 2. 手の機構

ヒトの手は骨と筋からなる筋骨格システムである. 筋を動かすための神経や関節組織もシステム内にはあるも, それらは筋を収縮させ, 関節に柔軟性などを与える言わば電線やゴムのような細かな部品であり, 手の機構のメインとなる部品は, やはり骨と筋になるであろう. そこで, ここでは, 手の骨と筋を中心に調べてみたい.

手の骨を図1に示す<sup>3)</sup>. 図1は右手の握る側からみた手の骨になる. 手首の近い位置にある一連の小さな骨が, 手根骨を言われるもので, 数を数えると8個あることが分かる. 面白いのは, これらの骨の名が, その形状から, 大小菱形骨, 舟状骨, 有頭骨, 月状骨, 三角骨, 豆状骨, 有鉤骨とされていることである. その形状とその名をあわ

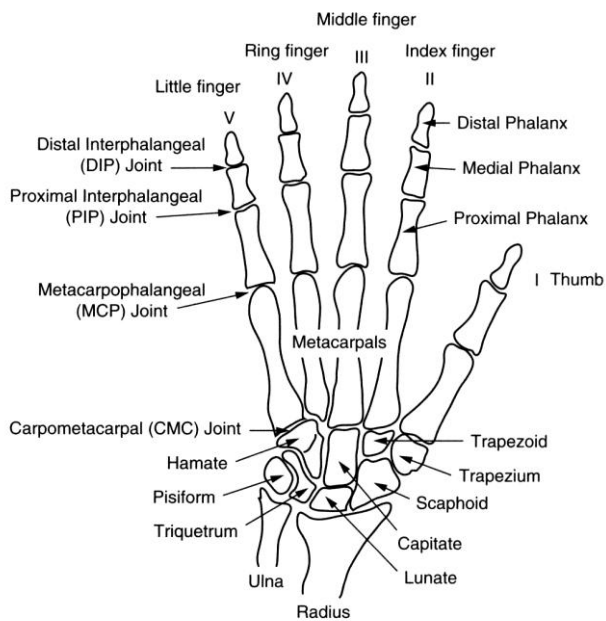


図1 手の骨<sup>3)</sup>

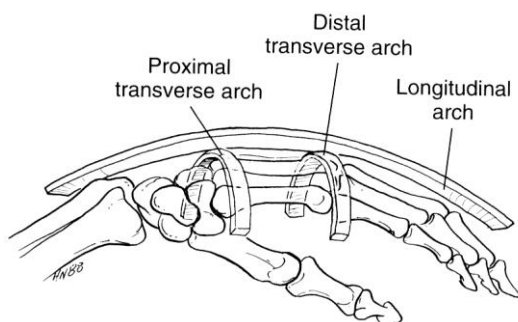


図2 手のアーチ<sup>4)</sup>

せて骨を見ると、そこに先人の名付けに関する知恵が垣間見られる。その8個の手根骨に接続しているやや長めの5つの骨が、中手骨と言われるもので、これを数えると5個ある。その中手骨の先に、親指では2個、人差し指から小指にかけては3個の骨が接続し、これらは末節骨と言われ、指の骨は2個+4指×3個の14個ある。このすべてが手の骨になる。これらを合計すると手の骨は27個もあることが分かる。ここで、一旦、自分の右手を見てもらいたい。手を表面的に眺めると、手の平に相当する握りの大きな骨が1個と、各指の骨をあわせた合計15個だけのようである。しかしながら、前述したように手の平にあたる骨はとても数が多い。なぜこのような骨の数を決定したの

かは、神のみぞ知るだが、これも進化の賜物であり、この多くの骨があることで、手の動きに柔軟性を与えている。ここで、再度、右手を見て、そして、動かしてもらいたい。右手を握ったり、開いたりすると、手の平にあたる部分が横に縮んだり、縦に伸びたりしていることが分かるであろう。足の裏にアーチがあり、そのアーチの存在は多くの方が知っていることと思われるが、手にもアーチなるものがあり、近位と遠位の横アーチ、縦アーチが存在する。これを図2に示す<sup>4)</sup>。このように、手の平にあたる部分の13個の骨からなるアーチと、14個の骨を持つ5本の指が連動して、手の骨に動きがもたらされている。

次に筋について調べてみる。ヒトの手の筋は大きく分けて2種類ある。ひとつは外在筋で、もうひとつは内在筋である。外在筋は、手首より近位で筋の起始があり、手の骨に停止する筋のことであり、内在筋は、手内の骨に起始と停止がある筋のことである。外在筋で手指を曲げる筋として、深指屈筋、浅指屈筋、長母指屈筋の3種あり、手を伸ばす筋として、指伸筋、示指伸筋、小指伸筋、長母指伸筋、短母指伸筋、長母指外転筋の6種ある。内在筋は母指球筋と小指筋と中手筋に分類される。母指球筋は短母指外転筋、短母指屈筋、母指対立筋の3種からなり、小指球筋は短小指屈筋、小指外転筋、小指対立筋、短掌筋の4種からなり、中手筋は掌側・背側骨間筋、中様筋の3種からなる<sup>5)</sup>。これらを合計すると、3+6+3+4+3の19種あることになる。ただし、各筋で分断されている箇所もあるため、総筋の数はもう少し多くなるも、種類としては19種になる。ここで、内在筋のみを図3に示すが<sup>4)</sup>、図にあるように中手骨に密着し、さらに親指に多くの筋が関与していることが分かる。この親指の筋はヒトの特有のものもあり、チンパンジーのような他の類人猿と比較して、ヒトがどのようにして道具を使用できるようになったかというキーポイントでもある。図4にヒトとチンパンジーの親指における解剖図を示す<sup>6)</sup>。また、シミュレーションにおいても背側骨間筋の付着位置の違いがヒトの把握能力に寄与していることが報告されており<sup>7)</sup>、ヒトの手の筋は把握能力の進化の過程で、とても複雑な機構をもたらしたと言えよう<sup>8)</sup>。

一方、骨と筋のメインとなる部品以外に機構的

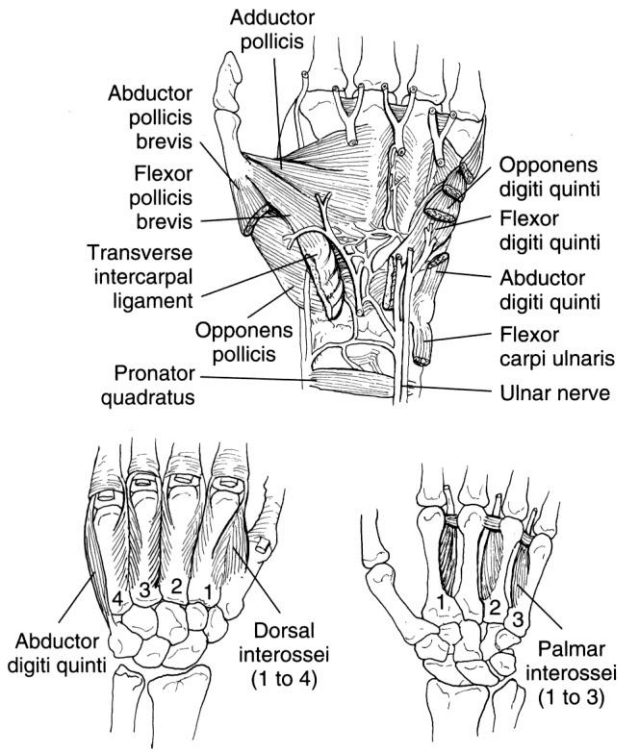


図3 手の内在筋<sup>4)</sup>

のかを調べてみる。

まず指を見ると、指の先端の2つの関節はすべて曲げる伸ばす方向だけとなるので1自由度となる。これを、骨で示せば、親指ならば末節骨の接合部分と末節骨と中手指の接合部分、その他の指は各末節骨の接合部分の関節がこれに当たる。親指以外の末節骨と中手骨の接合部分に当たる関節は、曲げる伸ばす方向だけでなく、左右方向にも動かすことができる。そのため、この部分の関節は2自由度となる。また、親指は特別に中手骨と手根骨の接合部分も動かせるために、ここで2自由度の追加となる。これにより、親指で1+1+2自由度の4自由度、その他の指でも1+1+2自由度の4自由度となり、指だけで見れば、4自由度+4指×4自由度の合計20自由度となる。その他、手の平を開ける閉じるで1自由度、手首の上下、左右、回転で3自由度が追加となる。合計すると、手の自由度は20自由度+1自由度+3自由度の24自由度あることになる。実はこの自由度に伴う関節の動きの制約は、骨の関節面における形状で決定され、図5を見れば<sup>10)</sup>、手の骨にもそれぞれの骨に特有の関節面があることが分かる。

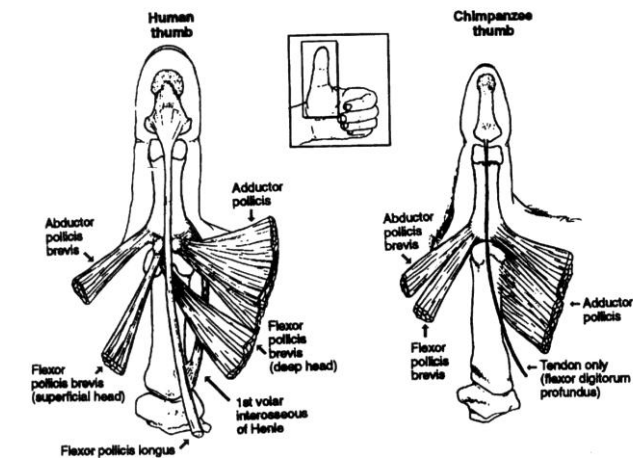


図4 ヒトとチンパンジーの親指における解剖図<sup>6)</sup>

にはとても重要とされるポイントがある。それが自由度と言われるものである。自由度とは関節を動かすことができる方向のことで<sup>9)</sup>、例えば、肘ならば曲がる方向と伸ばす方向の一定方向への動きしかないため、このような場合は1自由度となる。すなわち、肘は1自由度を持つ機構である。これを理解した上で、手の自由度はどのくらいな

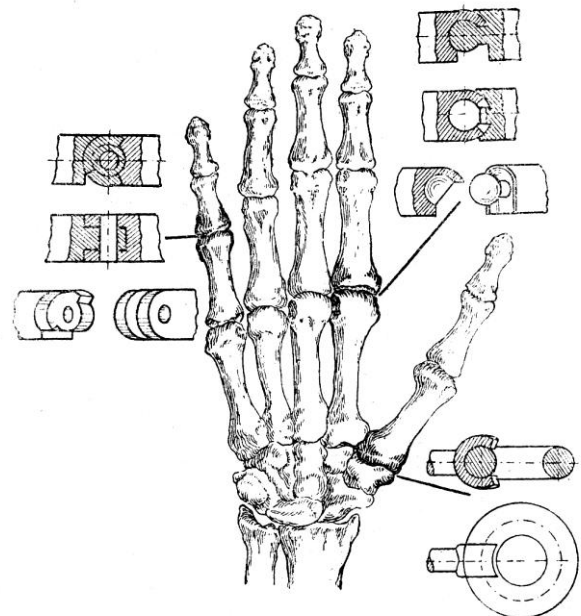


図5 手の骨の関節面<sup>10)</sup>

以上のことから、ヒトの手の筋骨格システムは、27個の骨がある上に、19種の筋が付着し、しかも、手の動きも24自由度あるとても複雑な機構を呈

していることが理解できるよう. 数理的に言えば, 式と解の数が一致していれば, その問題は一意に定まる. 例えば, 連立方程式を考えると, 式は 2 つで解も 2 つであるために解法できる. しかしながら, ヒトの手の機構は, 骨が 27 個, 筋が 19 種, 自由度が 24 と, 数理的に式と解の数がまったく一致していない. このような問題は一般的に不静定問題と言われ<sup>11)</sup>, ヒトをシステムとして見なす場合に, まず念頭に入れておくべき難問である. では, ヒトの手はどのようにしてこの難問を解決しているのだろうか? 言い換えれば, ヒトの手の筋骨格システムは, どのようにして制御されているのだろうか? 第二項でその答えを探したい.

### 3. 手と脳の関係

脳はすべての身体の器官を牛耳る. これをコンピューターで言えば, 中央処理演算装置 (CPU) とメモリー (RAM) とハードディスク (HDD) の機能を併せ持つようなものである. すなわち, 身体からの各器官からの情報を統合 (RAM)・処理 (CPU), 記憶する (HDD) ことが, 脳における最大の役割である. もちろん, 手の操作の際にも脳の機能が大いに働いている. 手と脳の間関係を理解するには, 手が働く際に脳の働きの割合がどのくらい必要なのかが判断の目安となる. 身体の働きと脳の働きの関係を図示したものにホムンクルスがある. ホムンクルスとは, ラテン語でこびとの意味があり, 脳外科医であった Penfield がてんかん患者の脳を直接電極によって刺激することで身体の感覚や運動が得られた脳の働きをマッピングにより図示したものである<sup>12)</sup>. 図 6 は, そのマッピングをもとに, こびとを彫刻で再現したものである. 図

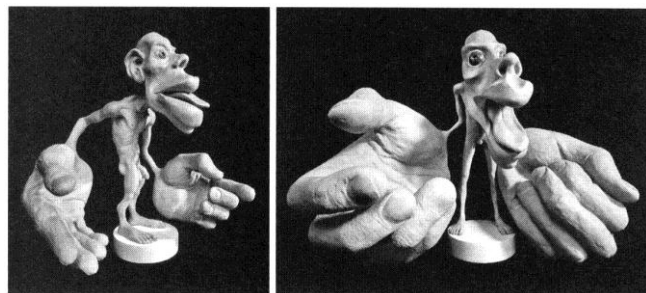


図 6 ホムンクルスの彫刻<sup>12)</sup>

を見れば分かるように, 非常に不格好なこびととなっている. ちなみに, 図の左が感覚, 右が運動を司る領域の範囲のこびとである. 左と右にある感覚と運動でのホムンクルスの見た目に大きな違いはないが, 両方で共通していることは, 頭・顔と手が異様に大きいことであろう. これは, 頭・顔と手の感覚・運動ともに脳の働きが占める割合が非常に大きいことを示している. ことわざに「目は口ほどに物を言う」とあるが, このホムンクルスから「手は口ほどに物を言う」と言えるくらいに, 顔の表情の発達とともに手の発達がヒトの脳の進化で重要であったことを示唆している. そのため, 手は外部の脳とも言われ, 手を巧みに動かすことで脳の働きを活性化させることができる. これは若年者や高齢者の健常者のみならず, 片麻痺患者にみられるような麻痺した手であっても同様であり, 手を上手に動かすことによって脳は新たな手の動きを学び, 新しい手の動きに関する脳神経回路を作ることができる<sup>13)</sup>.

ホムンクルスを作図した Penfield の研究は, 現在では倫理上の問題から実施することはできない. しかしながら, 感覚のみの検証であれば, これを間接的に調べる方法もある. 感覚の検査のひとつに, 二点識別と言われるものがある. これは間隔のことなる 2 つの針先を皮膚に刺激し, それが 2 点として判別できるか, もしくは, 1 点として判別されるかを調べるものである. 図 7 に二点識別の検査器具を示す<sup>14)</sup>. 8 角形の検査器具の各辺に針がついているが, これを閉眼した状態で皮膚にあて, 間隔が小さくても 2 点と識別できれば, その部位の感覚が鋭いと判断できる. これを手と足で比較しながら行くと, 手では 2 点と判断できても, 同じ間隔で足では 2 点と判断できないこと

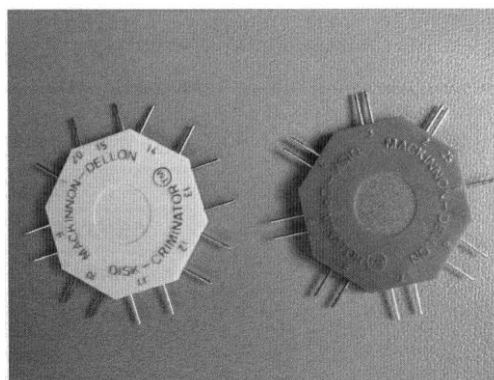


図 7 二点識別覚の検査器具<sup>14)</sup>

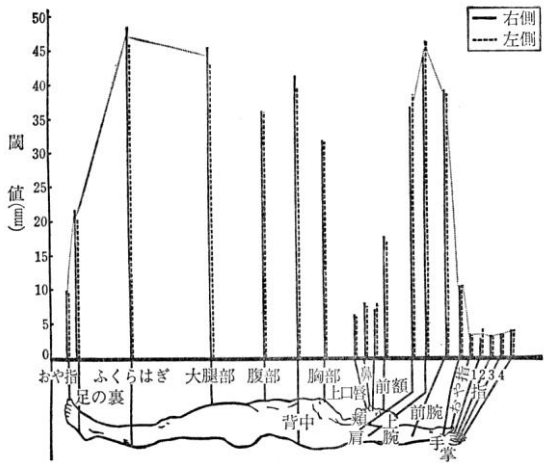


図8 二点識別覚の閾値<sup>13)</sup>

が多い。二点識別覚を詳細に調べると、如何に手の感覚が優れているのかが分かる。図8に二点識別覚の閾値を示す<sup>13)</sup>。まさに感覚検査からホームクルスの手の大きさが理解できる。また、一方で、手の指先による運動精度と身体の粗大運動の間には密接な関係があり、手の指の感覚が身体にとっても重要であることも指摘されている<sup>15)</sup>。

ここまでで、手の感覚・運動の領域はともに脳の働きが占める割合が大きかった。それでは、手を動かす際の脳内はどのようになっているのであろうか？ それを図9に示す<sup>16)</sup>。手を動かす際には、まず46野（前頭連合野）で考えが起こり、次に手を動かすための運動プログラムの指令が6野（運動連合野）で作られる。その指令情報が、今度は4野（運動野）へ送られ、力を出す度合いを決めた後、最終的に筋に伝えられて手の動きとなる。ヒトはこの中でも特に46野と6野に高度な発達が見られる。言い換えると、手を動かす際の考えとプログラムの発達が見られる。また、小脳や大脳基底核も手の

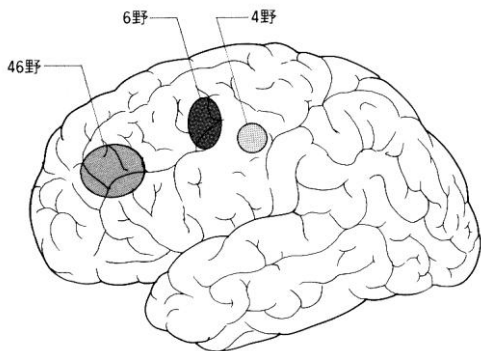


図9 手を動かす際の脳の領域<sup>16)</sup>

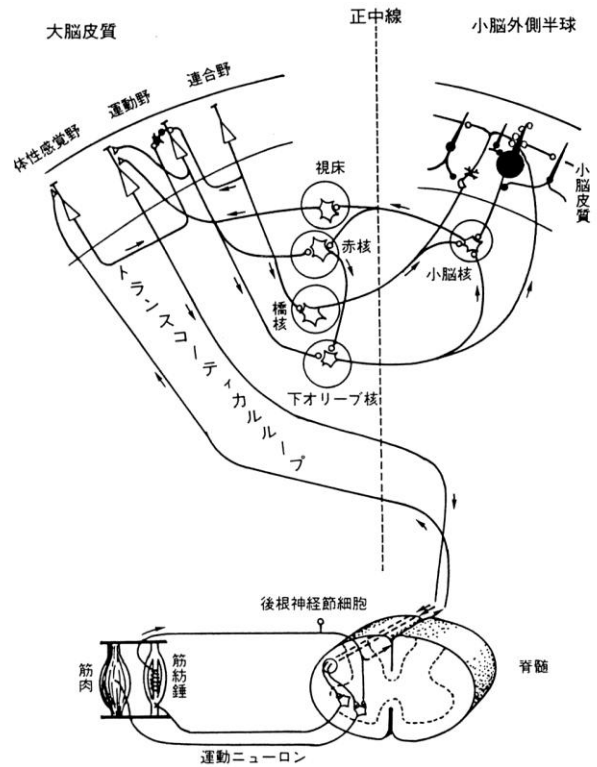


図10 手の動きの神経機構<sup>17)</sup>

動きの際に重要で、図10に示すように運動と感覚が一体となってループを作り<sup>17)</sup>、最終的にはより精度の高い手の動きを学習することができるのも、ヒトの脳の特徴である。その脳と手を使ってヒトは他の動物とは異なり、様々な道具を生み出した<sup>2)</sup>。道具の製作は、手と脳の関係性を強固にするとともに、ヒトが明らかな作業を始めたきっかけでもある。

ヒトが手を使って具体的な道具を作成した痕跡は、約180万年前まで遡ることができる<sup>18)</sup>。現在のヒトの学名は、ホモ・サピエンスであるが、当時はホモ・ハビリス、または、それに続くホモ・エルガスタという初期のホモ属にあたる。その当時のホモ属の脳の容量は800 CC程度であるが、我々ホモ・サピエンスはその2倍にあたる1600 CCとなった<sup>19)</sup>。このように脳容量が増加した理由は、手の能力の発達もあるが、図6のホームクルスから、顔の表情に基づくコミュニケーション能力の発達もあったことが推測される。間違いなく、この過程で能力が「脳力」となったのであろう。

ここで、第一項の「ヒトの手の筋骨格システムは、どのようにして制御されているのであろうか？」に対する解を探したい。この解の解法には、

前述した「脳力」が役立っていることには間違いない。しかしながら、実はこの解は現在も解かれてはいない。いくつかの諸説があり、制御の際に、ある評価基準でもって運動の最適化がなされていることが提示されている。しかしながら、その評価基準すら諸家により様々である<sup>20)</sup>。この辺については、今後の研究が期待される。

#### 4. 手による作業と手作り

ヒトが何かの作業するのは、実はヒトがヒトらしくあるための必要条件である。すなわち、ヒトならば作業し、作業するからヒトである。米国の作業療法の父と言われるダントンも「人間にとって作業は水や食物と同じように必要なものである」とし<sup>21, 22)</sup>、作業はヒトにとって不可欠なものであることを述べた。その作業の定義については文献<sup>23)</sup>を参照して頂きたいが、同業者の弊害を恐れず、作業を一言で言えば、「何らかの意味のある生活の行為そのもの」となろう。それゆえ、キーワードは「意味」である。それでは、作業療法では具体的にどのような作業が行われているかと言

うと、それを表1に示す<sup>24)</sup>。この表を見れば分かるように、基本的能力から社会的能力までの幅広い内容を作業として扱っている。しかしながら、理学療法士及び作業療法士法の第2条第1項において、作業療法には「手芸、工作その他の作業」という文言があることから、先の表の創作活動のみがクローズアップされやすく、作業療法は医療現場で手工芸を行わせるといった認識が一般的には多い。近年、作業療法では、その作業に「意味」があるのかという点を重視していることから、別に手工芸でなくても、その作業を行うことで、そのヒトにとって「意味」があれば、実際の作業種目は何でもよいことになる。日常生活動作でもスポーツでも、あるヒトにすれば、「意味」があり作業となる。

一方、作業療法士協会では「作業することで健康になれる」と謳っている。また、久保田によれば、健康とは、外からの刺激に積極的に働きかける体力があり、生きている喜びが感じられる状態としている。そのためには、手を創造的に使うことを提案している<sup>13)</sup>。これらのつながりから、先の「意味」、その根底には潜在的にある言葉が内包されている。

それは、健康である。

健康であることは、まさしくヒトが生きる上での「意味」になるに違いない。ここで、先ほどの久保田の提案を解釈しなおすと、「手による作業で、創造的に行う、これが健康になれる秘訣である」とまとめられるのかもしれない。ヒトの進化の歴史においても、石器の様な単純な、しかし、意図的な道具を作成した時点からヒトがヒトらしくなり、さらに火を操れるようになるまでに「脳力」を進化させたことが、現在のヒトの繁栄のベースになっていることは明らかである<sup>25)</sup>。このように人類史を辿ってみても、ヒトの発展のきっかけには「手による作業で、創造的に行った、これが進化した原因である」という結論が導き出される。

作業療法で行う手による作業は数多くある。しかしながら、手によることから、それは結局のところ、先頃の創作活動に行きつくことになるかもしれない。なぜならば、「(ア) 木工室 (イ) 金工室 (ウ) 陶工室 (エ) 織物室 (オ) 手工芸室 (カ) 絵画室 (キ) レクリエーション室 (ク) 装具加工室 (ケ) 日常動作訓練室 (ク) については、理学療法士養

表1 作業療法における作業<sup>24)</sup>を改表

作業療法で用いる活動	具体例
感覚・運動活動	物理的感覚運動刺激(準備運動を含む)、トランポリン・滑り台、サンディングボード、プラスチックパテ、ダンス、ベグボード、プラスチックコーン、体操、風船バレー、軽スポーツなど
生活活動	食事、更衣、排泄、入浴などのセルフケア、起居・移動、物品・道具の操作、金銭管理、火の元や貴重品などの管理練習、コミュニケーション練習など
創作活動	絵画、音楽、園芸、陶芸、書道、写真、茶道、はり絵、モザイク、草細工、籐細工、編み物、囲碁・将棋、各種ゲーム、川柳や俳句など
仕事・学習活動	書字、計算、パソコン、対人技能訓練、生活圏拡大のための外出活動、銀行や役所など各種社会資源の利用、公共交通機関の利用、一般交通の利用など
用具の提供、環境整備、相談・指導・調整	自助具、スプリント、福祉用具の考案作成適合、住宅等生活環境の改修・整備、家庭内・職場内での関係者との相談調整、住環境に関する相談調整など
把握・利用・再設計	生活状況の確認、作業のききとり、興味・関心の確認、対象者にとって意味のある作業の提供に利用、価値のある作業ができるように支援、ライフスタイルの再設計など

成施設と同様とする」と、作業療法士学校養成施設指定規則には作業療法実習室に有することが明記されているが、この中でも(ア)～(カ)までは表1の創作活動と合致するからである。しかしながら、現状では医療制度の改定から、退院日数を減らすことが最優先され、実際の臨床現場での作業療法は、上述した創作活動に重きが置けない。また、世の中の技術の発展とともに、手作りする機会も少なくなり、逆に機械で作られた既製品の方が安く手に入るようになった。結果として、健康を導くはずの手作りの「意味」も薄れてきた。作業療法では割とメジャーな作業である組みひもやマクラメ、段通などは、一般的には耳にしたことがない方も多いであろう。時折、我々でも作業療法以外では、すでに世の中からなくなった作業ではなかろうか？ と思うような創作活動的作業もなくなっている。しかしながら、そのような作業においても、科学的な視点で分析し<sup>22)</sup>、作業療法士だからこそ知っている創作活動的作業の科学性の「意味」を、今、見直さなければいけない時期が迫っている。

少し前まで、二足歩行ロボットは21世紀内には完成しないとされていた。しかしながら、本田

技研工業が1996年にASIMOを発表し、今では二足歩行ロボットの存在は当たり前となった。その後、ロボット工学の技術も目覚ましいものがあり、従来では考えられなかったお手玉といった遊びもロボットに行わせることが実施されている<sup>26)</sup>。さらに、我々が以前研究した創作活動的作業である折り紙も<sup>27)</sup>、ロボットの作業種目となった<sup>28)</sup>。そのうち、あらゆる創作活動的作業を、ロボットによって扱われる日もそう遠くないであろう。その上、インターネットの普及から、人工知能の発達も著しく、ホーキング博士やイーロン・マスクを始めとして、名だたる知識人が人工知能の発達に警戒をし始めている。近いうちに、その人工知能を使ってヒトの創造性を超えるような事態もやがて起こりうるかもしれない。その時に、作業療法士としてヒトの創作活動的作業が持つ手作りのよさをしっかりと科学できている、少なくとも、科学的な視点でもって創作活動的作業によるヒトの治療ができている、そう伝えることができなければならぬまい。

## 5. 結言

「ローマは一日にしてならず」ということわざがあるように、作業を科学することもそう簡単に道にはならない。特に今までの科学は常にものを対象としていたため、扱いやすい側面があった。しかしながら、作業はものではないため、捉えにくい。この点が、作業療法士であっても、結局は作業って何だろう？ という方が多い要因ではなかろうか。

ある意味ヒトの手は、ヒトが進化の中で作業を行った結果としての形態を有している。そのため、手を見れば人類の作業の歴史も見やすいかもしれない。ヘリッヒ<sup>10)</sup>によると、図11のように石器を使う際の手とヘリッヒの時代の道具を使う際の手に関して、道具との接手面で大きな差異が見られなかった。このことは、ヒトが石器を扱うようになった時代から、ヒトの手の形状やヒトの道具の扱いが著しく異なっていないことを示唆している。

Windows 95でもってインターネットが普及し、さらにiPhoneなどのスマートフォンによってWebに対する扱いが大きく様変わりした。そのため、

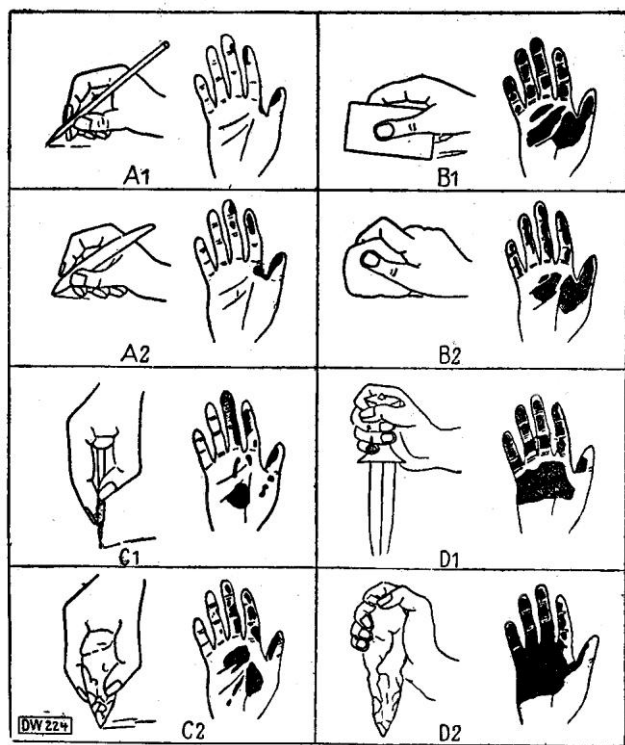


図11 石器と現代道具の接手面の比較<sup>10)</sup>

今の時代、何かを作っているよりも、スマートフォンを触っていることが常識となりつつある。しかしながら、ヒトがヒトらしくあるためには、手と脳の間を繋げる手作り(創作活動的作業)が大事であり、その手作りがヒトに健康をもたらす。その考えを忘れずに、今後も手を眺めつつ、手と作業の関係を深く研究したい。

#### 参考文献

- 1) 犬丸敏康: 人類学的な解釈に基づくこねる行為の起源とその価値. 日本作業文脈学雑誌 1: 1-7, 2013.
- 2) 犬丸敏康: ヒトの機能拡張としての道具に関する諸考察. 道具学論集 20: 28-36, 2014.
- 3) Freivalds A: Biomechanics of the upper limbs: mechanics, modeling, and musculoskeletal injuries. CRC Press, New York, 1990, pp195-231.
- 4) Nordin M, Frankel V: Basic biomechanics of the musculoskeletal system. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore, 2001, pp358-387.
- 5) 川島敏生: 手関節・手指に作用する筋. 栗山節郎(編), 筋肉・関節の動きとしくみ事典. 成美堂, 東京, 2012, pp38-43.
- 6) Susman R: Fossil evidence for early hominid tool use. Science 265: 1570-1573, 1994.
- 7) 荻原直道, 工内毅郎, 中務真人: チンパンジー手部構造の解剖学的精密筋骨格モデル. バイオメカニズム 18: 35-44, 2006.
- 8) 犬丸敏康, 川口朋子, 渡辺豊明, 酒野直樹, 猪狩もとみ, 他: 物品把握に伴う手の適合性に関する実験的研究. 金城大学紀要 15: 11-18, 2015.
- 9) ベルンシュタイン・ニコライ(工藤和俊訳): デクステリティ巧みさとその発達. 金子書房, 東京, 2003, p29.
- 10) ヘリッヒ・フリドリッヒ(勝見 勝訳): 手と機械. 科学新興社, 東京, 1944, pp5-72.
- 11) Breme B, Heydiger G, Cappozzo A(広川俊二訳): 解剖学的関節に伝わる荷重の計算. Morecki A(編), バイオメカニクス工学. 養賢堂, 東京, 1991, pp57-90.
- 12) ブレイクスリー・サランドラ, ブレイクスリー・マシュー(小松淳子訳): 脳の中の身体地図. インターシフト, 東京, 2009, p33.
- 13) 久保田競: 手と脳. 紀伊国屋書店, 東京, 1982.
- 14) 内藤泰男: 感覚. 佐竹勝(編), 作業療法評価学. Medical View, 東京, 2012, pp63-71.
- 15) 小島久典, 犬丸敏康, 宮島愛弓, 上田任克: 高齢者による手指で押す力の調節における日常運動の影響. 医学と生物学 156: 660-665, 2012.
- 16) 久保田競: 「手」と「脳」の進化と関連性. NHK取材班(著), 生

- 命 5. 日本放送出版協会. NHK 出版, 東京, 1982, pp52-53.
- 17) 川人光男: 脳の計算理論. 産業図書, 東京, 1996, pp75-117.
- 18) Leakey L, Tobias P, Napier J: A new species of genus Homo from Olduvai Gorge. Nature 202: 7-9, 1964.
- 19) Klein R: The human career. Chicago Press, Chicago, 2009, pp307-308.
- 20) Inumaru T, Ikuta M, Shibata K, Nishimura S: An optimization-based model for analyzing the exertion of force vector at the human. J Tsuruma Health Sci Soc 29: 69-76, 2005.
- 21) 鎌倉矩子: 作業療法の世界. 三輪書店, 東京, 2004, pp119-154.
- 22) 関昌家: 作業療法の科学. 作業療法関連科学研究会(編), 作業の科学. 協同医書出版, 1999, pp1-25.
- 23) 犬丸敏康: 初期人類の進化から探った「作業」の本質. 金城大学紀要 14: 157-165, 2014.
- 24) 日本作業療法士協会: 作業療法ガイドライン. 2012.
- 25) 犬丸敏康: 調理の意味を進化から再考する. 日本作業文脈学雑誌 2: 7-12, 2014.
- 26) メンゼル・ピーター, ダルシオ・フェイス(桃井緑美子訳): ロボサビエンス. 河出書房新社, 東京, 2001.
- 27) 小島久典, 内藤泰男, 上田任克, 高畑進一: 折り動作における示指押し力と外転力の経時変化. J Rehab Health Sci 3: 3-6, 2005.
- 28) Miyashita S, Guitron S, Ludersdorfer M, Sung C, Rus D: An untethered miniature origami robot that self-folds, walks, swims, and degrades. ICRA, 2015.

(受理日: 2015年8月11日)