

人間（ひと）と道具から双腕ロボットの世界へ

奨励	廣垣 俊樹【ひろがき・としき】
奨励者紹介	同志社大学理工学部教授
研究テーマ	自動化・自律化に基づく設計・生産システム

彼らの議論を聞いていた一人の律法学者が進み出、イエスが立派にお答えになったのを見て、尋ねた。「あらゆる掟のうちで、どれが第一でしょうか。」イエスはお答えになった。「第一の掟は、これである。『イスラエルよ、聞け、わたしたちの神である主は、唯一の主である。心を尽くし、精神を尽くし、思いを尽くし、力を尽くして、あなたの神である主を愛しなさい。』第二の掟は、これである。『隣人を自分のように愛しなさい。』この二つにまさる掟はほかにない。」

(マルコによる福音書 12章28―31節)

キリスト教主義と
アメリカ生活

ご紹介いただきました理工学部機械システム工学科の廣垣と申します。どういう話をしようかと考えたのですが、理系ですので、このようなタイトルでおつき合いいただきたいと思います。チャペル・アワーですから、キリスト教に関係をもっている方もあるでしょうし、同志社大学に入学されてこういう機会をもたれた方もあると思います。私も6年前、アメリカのカリフォルニアに留学しました。そこでアメリカから見た日本、世界は、キリスト教主義を理解しているかどうか、世界に出ていったときにかかなり大きいことを私自身も実感しました。世界的に見ればキリスト教は世界観としてふれる機会が多い。グローバル社会のなかでやっていく上でキリスト教主義、新島襄先生のキリスト教主義に基づく教育というのは、必ず君たちが将来、グローバル社会でやっていくなかで貴重な視点を与えてくれると思います。その一つの機会として今日は活用していただければと思います。私は同志社大学工学部を卒業し、今日のタイトルに関係する研究をしています。チャペル・アワーということで人とかかわりが深い研究分野について紹介させていただきたいと思っています。

人間と他の動物

この頭蓋骨の写真を見て人類学者は、人間と判断するか、動物の骨と判断するか（資料①）。どのように扱っているか。一見して、人間だと言われれば人間だと見えるし、違う動物だと言われれば違う動物にも見える。どのように見分けていくか。我々人間とその他の動物、生き物が分けられるとすれば、それを分ける学問的な点はどこにあるか。生物学的に言った場合、現在と太古で言うと、サルとかチンパンジーと人間を比べて、より人間に近いのは、尾っぽがあるか、ないかではないだろうか。しかし、これは全然違うのです。以下の三つの点で考えていきたいと思います。

一つは、言葉を使う。人間だったら言葉を使う。人間以外の動物だったら言葉を使わないということで分ける。次に道具を使う。道具を使う生き物だったら人間、人間の仲間であり、そうでなければ人間ではないのか。もう一つは直立二足歩行をする。直立二足で常態的に歩行する。こういう三つの視点で人類学的に見ていきます。

イルカ、クジラ、チンパンジーについて、前者二つの視点について考えてみます。言葉を使うという視点。イルカ類は先端からクリック音を出します。その音によってお互いに群れ全体の統制をとったり、方向を決めたりしています。音を使って情報を伝達する。人間でいうところの言葉を使っているものの一種になります。しかし言葉を使える能力があるから人間に分類される、という考え方は成立しません。イルカも人間に入るか、そうはならないのです。次に道具を使うという視点。チンパンジーのアリ釣り（資料②）。チンパンジーは木の穴の中にいるアリを穴に枝をさしこんで、ここを伝っておりてくるアリをバクツと食べる。この写真は非常に大きな意味があるものですが、朝起きてからチンパンジーはキョロキョロと見て、枝を一つとる。その枝を適当に折って、いろいろな枝もとって、その枝を持ってこの木のところに行きました。そこで適当な穴を見つけて穴に棒をさしこんでアリを食べている。これは食べるための道具で、チンパンジーはかなり高度に道具を使います。朝起きたら、ここで食べようというふうに、このチンパンジーは考えていたのです。朝起きてからあの木に行く。このぐらいの長さの道具を準備して持って行った方が食べやすいだろう、という行動をとっているのが、何度も観察されて分かっています。このチンパンジーは道具を計画的に考えて使っているということです。最近のバイオの研究でチンパンジー、ゴリラ、オランウータンという類人猿はDNAを見れば人間と98%以上同じだと。類人猿は道具を使う、その道具を計画的に自分でつくって使っている。しかし道具を使うからといって、それは人間であるとは普通、分類しないことになります。

直立二足歩行から

人間とその他の動物を分ける学問的な点がどこにあるのかという問いの答えは三つ目の常態的に直立二足歩行をすることです。ゴリラでもしばらくの間は直立で歩けますが、常態的に維持できない。人間であるか、そうでないかは、現在の学説では直立二足歩行をできるか、できないかということが、人間であるか、その他の動物であるかを分けるという話になります。直立二足歩行をすることは両手が自由になる。常態的に二足で移動することは両手が自由になる。それによって両手はどうするか。いろいろな作業をします。食事をするときに茶碗を持って、箸を持つ。その作業が常に脳を刺激し、それによって脳が発達する。そして複雑な作業ができるようになるというサイクルが生じることが分かっています。

石器時代から人間は、両手を使ってものをつくりあげ、それを道具として人類は発展してきた。人間と他の動物との違い、何千年前から象、キリンなどがいますが、彼らは何千年前と同じ姿で生活しています。我々は何千年前と今では生活が違う。一番の原動力は直立二足歩行をして、それによって両手が自由になり、道具をつくりだす作業をするようになったことが一番のポイントです。直立二足歩行をするか、しないかは、どうやって見分けるか。分かりやすいのは骨盤で見分けることになります（資料③）。人間の骨盤は重力に対して、背骨を支えられるようになっている。それに対して類人猿は直立しているが、常態的には二足歩行はできない。最初の写真の頭蓋骨は人間の仲間なのか、そうでないかは、このあたりを見ていかないと分からないということになります。

機械の誕生

直立二足歩行ができるようになり、両手が自由になって道具をつくりだす。それがドンドン複雑に進化します。そうすると、人間も高度に進化する。道具が複雑になったものが、私の専門分野でいうと機械になります。世の中にたくさんの機械がありますが、機械は道具が複雑になったものです。19世紀のイギリスのルローが言う、「道具のなかで抵抗力を有する物体の組み合わせで、その助けで一定の運動を生ずるように組み合わせられたもの」というのが、現在、長く支持されている機械の定義です。つまり、次の三つを満たすものが機械と言われるものになります。予想される外力が加わっても抵抗力をもつ物体でつくられている。これらの物体は互いに限定された相対運動をする。エネルギーの供給を受け、有効な仕事をする。

道具の歴史を見ていきます。これは14世紀の機械・道具の写真です（資料④）。レオナルド・ダ・ヴィンチが考えた道具の一つですが、空を飛ばたいとヘリコプターのようなものを考えた。ダ・ヴィンチは芸術家としても有名で、「最後の晩餐」とか「モナリザ」を描いていますが、科学者としても優秀な人で、何とかして自分で空を飛ばうと考えた。人間がエネルギーの供給源になるということで、これは立派な機械であると思います。

第一次産業革命では、18世紀にワットが蒸気機関を発明し、石炭を燃やしてそのエネルギーで軽工業がつくられました。19世紀、第二次産業革命では主に石油を使い、モーターを回して発電し、重工業を発展させ、このあたりから普段、よく使う列車、プロペラ機が生まれてきました。

マザーマシン

ここで、道具と人間とかかわり、機械や道具と人間との共生について考えてみたいと思います。機械や道具は我々の生活を豊かにしてくれて、それが他の動物とは違って高度なものをドンドン生み出していつている。では機械や道具はどのようにして生まれてくるか。たとえば茶碗です。これはご飯を食べるのに茶碗と箸があれば便利なので典型的な道具として使っている。これに盛りつけることで食べやすい。食べるための道具として茶碗は優秀で、便利です。この茶碗どうやってつくりますのか。小学校で習っているかと思いますが、陶芸品をつくるには、ろくろでクルクル粘土を回していきます。美的なものもありますし、機能的にも優秀なものができます。ここが類人猿と我々の考え方の違いです。チンパンジーは道具をつくりたいと思うと、その材料を使って形を考える。我々はこれをつくりたいと思うと、場合によっては下にろくろを引いた方が簡単ではないだろうか、と思います。これは実は我々が頭の中で二つの道具を考えていることになります。茶碗も道具、下に敷いてあるろくろ、これも道具です。ということは道具の上に道具が乗っている。それぞれの道具の役割が少し違うのです。上の道具は「一次的道具」と呼び、直接、我々が便利だからと思ひ浮かべたものです。下は一次的道具を生み出すためには実は、こういう道具を考えた方がいいのではないかと発想した道具です。ろくろは道具を生み出すための道具です。機械を生み出すための機械。これを「二次的道具」と呼び、機械を生み出すための機械なので「マザーマシン」という名称呼びます。

類人猿は道具を思い浮かべることはできるのですが、ひとつ階層の深い、そのための道具をつくる方がいいのではないかととは至らないという定説になっています。二次的道具を思い浮かべられるのが人間として発達してきた分岐点になっていることが分かっています。

豊かな社会の始まり

二次的道具を考えていったとき、産業ロボットや工作機械といった道具が生まれてきて、マザーマシンと呼ばれる二次的道具にコンピュータの制御技術が融合されます。1946年に世界初のコンピュータがアメリカで開発され、そこから3年たってコンピュータを使って機械を制御する技術がアメリカで開発されました。1962年には、ロボットを動かせば生

活に便利なものをつくりだせるという考え方がアメリカで生まれ、日本では1968年ごろに川崎重工がその技術を導入して、産業用ロボットを初めてつくりました。これは川崎重工の博物館の写真です（資料⑤）。道具をつくるための道具を発展させた形から産業用ロボットが生まれてきました。

このグラフでは、横軸に年代、縦軸にエネルギーの消費量をとっています（資料⑥）。地球環境の問題で世界エネルギー消費の変遷を見ているのですが、どういこうところからエネルギーを取り出しているかを示しています。石炭、石油、天然ガス、水力、原子力の割合。第一次産業革命の1700年代ではエネルギーはほとんど使っていませんでした。少し石炭を使っていた程度です。第二次産業革命から石油を使いだして、次第に増えてきてグラフの急に曲がる点があります。ここから世界はいろいろなものをエネルギーとして使いだしました。この点が1950年ぐらいにあたり、工作機械、ロボットが生まれて自動化され、二次的な道具として、よく働くようになりました。我々は高度な一次的な道具、スマートフォンや自動車など生活を豊かにしてくれるものを得ることができたのです。産業用ロボットの世界が大きく社会を変化させた技術の一つになることが、エネルギー消費を見ても分かります。また逆に、ロボットの進化は社会にとっても大きな影響を与えます。ロボットは我々の高度な、豊かな生活を支えるための基盤になっているのです。たとえば、新幹線を生み出し、新幹線を便利に使います。東京と京都を2時間半でつなぎますので、東京に出張しても日帰りで行けます。このようなものをつくるために産業用ロボット、高度な機械、マザーマシンを開発したり、研究したりしています。

直立二足歩行が、人間か、そうでないかということを分けてきた。それによって両手が自由になる。両手を協調させて複雑な道具をつくりだし、その道具を使うことによって脳が刺激を受けて文明が進化する。私の研究室では「人間」と「マザーマシン」と「道具」を「人類進化のトライアングル」と呼んでいて、これが大きなサイクルになっているのです。

道具の高度な操り動作

私の研究室ではロボットといっても基本的には両手が自由になる「双腕協調」、両手の協調をドンドン高度化していく研究を行っています。この写真はロボットが道具を使う例の一つです（資料⑦・⑧）。1枚のプレートにボールを乗せて板を傾けてクルクル回す。板は道具の一種で、使うのに便利です。お盆をうまく扱うことによって高度な作業をしていこうということです。グラスプレスマニピュレーション。物体をできるだけ掴まないでマニピュレーション、コントロールしていく。重力をうまく使いながら動かすのです。人間がボールを回そうとして練習すると、最初はボロンと落ちますが、ある程度は回せるようになります。しかし、この円にそって安定して動かすことは難しい。こちらが開発している運動制御法で、ボールが円にそってほとんど誤差なくコントロールできます。人間がやってもできない動作を、ロボットの両手の協調作業によって実現した例です。

次に、双腕協調による道具の操り研究で、柔軟なバチを用いた鉄琴の演奏です（資料⑨）。産業的にはものを叩いて不良品を探すために利用するものですが、この技術を使えば鉄琴も、うまく弾くことができます。センサーでものを見ながら、ねらいをつけてやるのですが、一つの研究室で複数のタイプの異なる双腕ロボットを使った研究は全国の大学でも例がなく、おそらく本学だけのはずです。双腕協調の動作を、産業用ロボットを使って研究していますので、興味のある方は見に来てほしいと思います。

双腕ロボットの研究とは

最後になりますが、2005年の朝日新聞に掲載されたもので、アフリカでの写真です（資料⑩）。ゴリラが棒を持っていて、その前には小さな小川が流れていて、小川の深さを棒で測って足を入れるべきかどうかを考えています。先にお見せしたアリ釣りをしているチンパンジーの写真は京都大学霊長類研究所のもでしたが、この写真は、野生のゴリラも実は道具を計画的に使っていることを表しています。この棒を使って、ここの深さを測りながら前に進むことをやっており、ほぼ類人猿は一次的道具をつくり、使うことが分かりますが、一方で道具をつくるための機械・道具、すなわち二次的道具をつくることはできない。ここが我々、人間とチンパンジーの違いになっており、両手で作業することに大きな原因があるということです。つまり、直立二足歩行をすることが、人間と他の動物との決定的な違いであり、それによって人間は両手を使えるようになったのです。

同志社大学では、両手の協調作業とマザーマシンの考察から最新の双腕ロボットを使って道具にこだわりの、ロボットが双腕で道具を操っていくという高度化の研究を行っています。人間と道具とのかわりから、今は双腕ロボットの研究につながってきているということです。同志社大学で、このような研究を行っていますので、こういうことに興味がある方はいつでもおいでくださって勉強していただければと思います。この機会に、同志社大学で学が場として有効に活用してもらえるヒントになればと思ひまして、お時間をいただきました。本日はありがとうございました。

2013年6月19日 京田辺水曜チャペル・アワー「奨励」記録