

戦略的イノベーション推進事業として「高齢社会を豊かにする科学・技術・システムの創成」という一種の国家プロジェクトが立ち上がることが決まり、私は福祉工学の立場からそのプロジェクトを担当して欲しいと依頼されました。2010年11月から最長10年にわたる産学連携プロジェクトです。その趣意書の中の一部を引用しながら、今後どのような技術が求められているかを述べたいと思います。

「本プロジェクトでは、高齢社会における『就業等の支援』と個人の『活動の支援』の両方を実現することを目標とし、横断的で長期にわたる『産学連携』による取り組みを行っていただきます。特に高齢者個人が社会活動を行いやすくなるような支援技術を追求めします。

その中でも、人間が知的な社会生活を送る上で重要な生体機能である『感覚』、『脳』、『運動』と、コミュニティの中で必要な生活機能である『情報獲得』、『コミュニケーション』、『移動』を支援する

- 方法を構築します。その支援技術として、主に、インターネットに代表されるようなICT（情報通信技術）やロボットに代表されるようなIRT（情報ロボット技術）を活かす道を確立します。例えば、図2に示したように、以下の5テーマが対象となります。
- (a) 身に付けて感覚・コミュニケーションを支援する「ウェアラブルICT」
 - (b) 通信・放送における情報の獲得や発信を容易にする「インフラICT」
 - (c) 労働や介護・介助の負担を軽減する「労働支援IRT」
 - (d) コミュニティ内を自由に安全に移動できる「移動支援IRT」
 - (e) 理解・記憶・表出を補助し

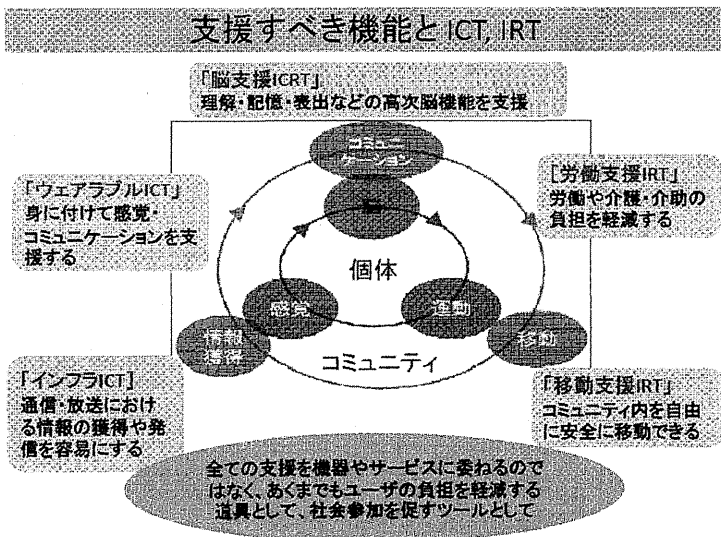


図2 ICTとIRTを利用した5テーマ

促進させる「脳機能支援ICT・IRT」

ただし、ICTやIRTを活用する上で、全ての支援を機器やサービスに委ねるのではなく、あくまでもユーザーの負担を軽減する道具として、社会参加を促すツールとして位置づけています。

この主旨からは、昔は想像さえされなかったインターネットなどの「ICT」、空想科学小説の世界でのみ活躍していたロボットなどの「IRT」の活用が求められており、どれをとっても隔世の観があります。

4-2 高齢者と若年者の違い

文面は以下のように続きます。「一般に高齢化とともに身体機能が低下しても、『経験・知識・技能』が蓄積され、それを生かした「総合力」が優れてきます。一方で、若年者と比べると、高齢化とともに衰えた身体機能を代償する「可塑性」の働きは低下します。したがって、ICTやIRTを元気高齢者の支援に活用する場合、可塑性の機能を維持させ、獲得した知識・経験・技能を生かすとい

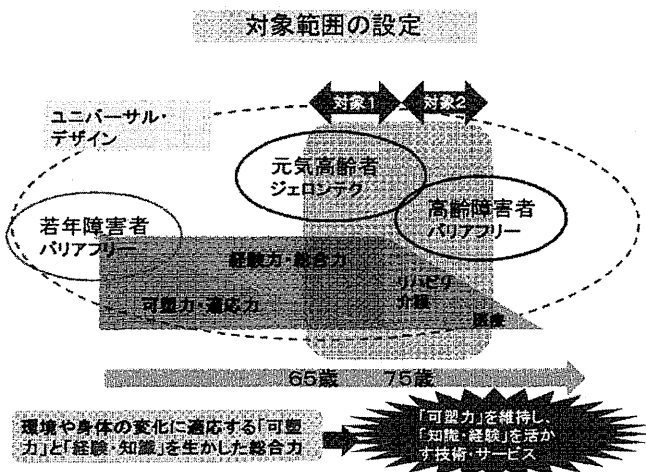


図3 高齢者と若年者の違い

う視点を重視した支援機器やサービスシステムの研究開発を対象とします(図3)。

さらに、元気な高齢者のための支援機器やサービスシステムを発展させることで、障害を持つようになった高齢者の支援にも活かせるようになると考えています。従って、『QOLの向上』と『介護負担の軽減』という提案も対象になります(図4)。」と趣意書は

結んでいます。

この背景には、医療や生活の向上・改善のお陰で、数十年前に比べると高齢者は心身ともに10歳以上も若くなっていることがあります。そして、このような元気な高齢者の70%を超える人達が社会参画や社会貢献を志向していることも分かっています。したがって、この活力を最大限に生か

社会参画・就労からQOL向上・介護負担へ

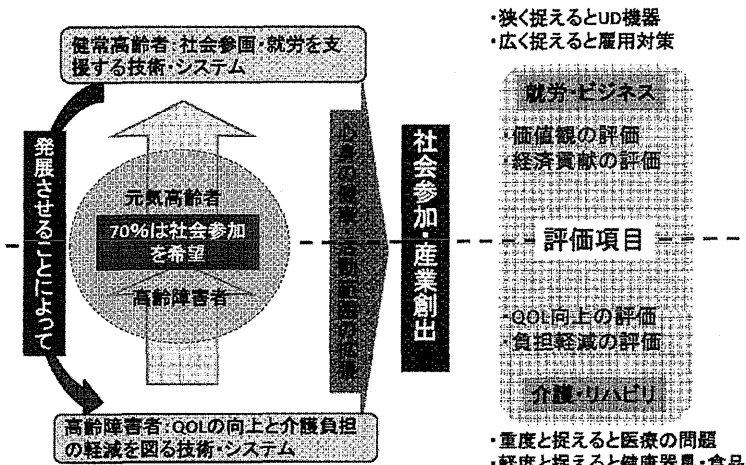


図4 社会参加支援から介護支援へ

すための支援機器やサービスシステムの研究開発を急ぐという主旨は時代の当然の成り行きなのです。

5 おわりに

元気高齢者や元気障害者の強みを生かし、弱いところを支援するための技術の開発を行いなが

ら、その成果を発展させて虚弱高齢者や若年障害者のために生かそうというのは、一種のパラダイムシフトともいえます。その背景には、高齢化は日本ばかりでなく世界的な傾向にあることから、元気高齢者の社会参加を支援する技術・システムは将来大きなマーケットになり、やがては輸出産業にも繋がるという期待があります。

私が医療工学を目指していた頃は、理路整然とした電子工学を学びながら、また、イヌの胸を切り開いて人工心肺を繋ぐのを見ながら、医療と工学の価値観の違いに戸惑っていました。振り返ってみると、二つの価値観を融合させる道を障害者支援のための福祉工学へ求めていたことが遠い昔のこととなりました。社会の高齢化により生まれた新たな課題とそれを解くためのパラダイムシフトは歴史の必然といえるでしょう。福祉・介護テクノの分野でも、この価値観の変容を受け止め、それをプラスに生かす道を考えていただければ幸いです。

「福祉工学が描くパラダイムシフト」

伊福部達 (東京大学・高齢社会総合研究機構)

1. はじめに

筆者は福祉工学という分野を歩き続けて 40 数年になるが、この間に、日本人の価値観は大きく変わり、また、多様化していることを強く感じる。一昔前は、「金持ちになること」、「偉くなること」、「長生きすること」を目標としていた人が多かったのに対して、最近では「いかに楽しいか」、「やりがいがあるか」、そして「いかに快適な生活を送るか」ということに価値を置く人たちが明らかに増えている。そして快適な生活を支援するためのテクノロジーの一つとして、当事者だけでなく産業界でも福祉工学に熱い視線が向けられている。

ここでは筆者が歩んできた福祉工学の道を振り返りながら、そこから学んだこと、これから必要とされること、そこから生まれるパラダイムシフトについて私見をまじえて述べたい。

2. 福祉工学とは

2.1. 時代の要請

我が国は 2010 で既に全人口の約 25% が 65 歳以上の高齢者になり、2055 年にはそれが 40% を超えることが予測されている (図 1、2010 年の高齢社会白書)。世界でも我が国の高齢化率はトップを走り続けており、人類が経験したことがない色々な課題が噴出してきている。特に、介護を必要とする高齢者が急増し、医療にかかる負担が大きくなることが危惧されている。

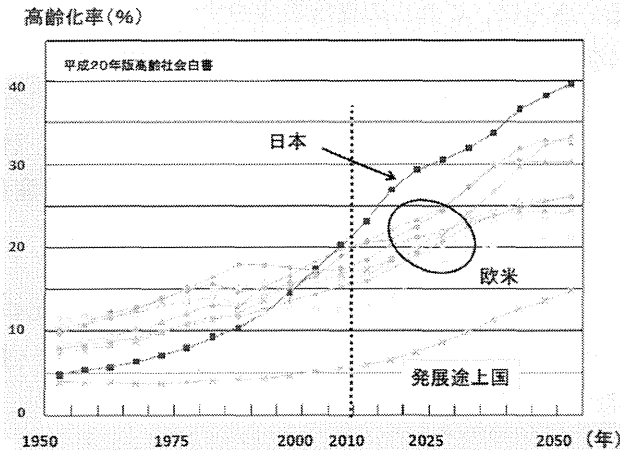
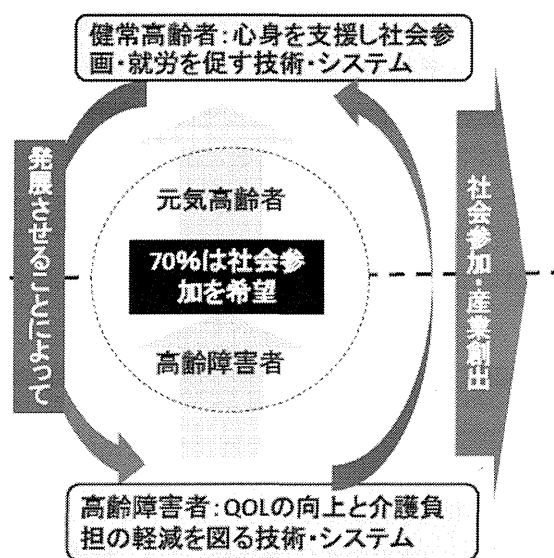


図 1 2010 年の高齢社会白書より

一方では、最近の膨大な人数の高齢者を対象とした調査結果から、日本人の高齢者の心身機能の年齢は十年前と比べると 11 歳ほど若くなっていることが分かっている。65 歳で定年を迎えたといっても多くの人は心身ともに一昔の 54 歳に相当する若さであり、定年後の

長い生活を快適に過ごし、いつまでも社会に参加し、生きがいを持ち続けたいと希望している。それを実現する上でも、福祉工学に大きな期待が寄せられている。

このような背景の下で、2007年に内閣府主催の会議で高齢社会に対処するための科学と技術について、筆者も含めた異分野からなる人たちによる熱い議論がなされ、策定書を作ったことがある。そこでは、疾病・障害が重い高齢者は在宅して自立できるように、疾病・障害が軽い高齢者は社会に出て活動できるようにするためのジェロントロジー（老年学）やバリアフリーの科学・技術の研究を急ぐべきであると提言した。そして、この科学・技術が「生きがい倍増」と「経済の発展」を促すことになるというストーリーを描いた(1)。



また、2010年に国の機構であるJST（独）科学技術振興機構）の「戦略的イノベーション事業（略称：S-イノベ）」の一環として「高齢社会を豊かにする科学・技術・システムの創成」という産学連携研究を推進する国家プロジェクト（2010-2019年）が立ち上がり、筆者は福祉工学の立場からそのプロジェクトを遂行している。その設立趣意の冒頭部は以下の通りである。

「本テーマでは、高齢社会における『就業等の支援』『個人の活動の支援』

図2 JSTの「高齢者」プロジェクトの趣旨

の両方を実現することを目標とし、特に高齢者個人が社会活動を行いやすくするような支援技術を追求する。さらに、これらの支援機器やサービスシステムを発展させることで、障害を持つようになった高齢者の支援にも活かし、『QOLの向上』と『介護負担の軽減』に関わる提案も研究対象とする（図2）。その支援技術として主にインターネットに代表されるようなICT（情報通信技術）やロボットに代表されるようなIRT（情報ロボット技術）を生かす道を確認する」となっている。明らかに、社会参加と新規産業に重点が置かれてきている。

ただし、この夢のようなストーリーを本当に実現させるには、バリアフリーやジェロントロジーに関わる福祉工学の方法論をしっかりと築き上げ、そこから生まれる科学・技術を高齢社会に生かす筋道を立てなければならない。

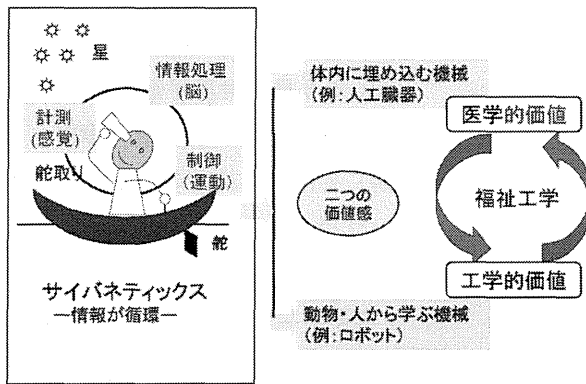


図3 サイバネティクスと福祉工学

2.2. その原点と立場

福祉工学の考え方の原点は、アメリカの数学者で、生物学者、哲学者でもあったノーバート・ウィーナー

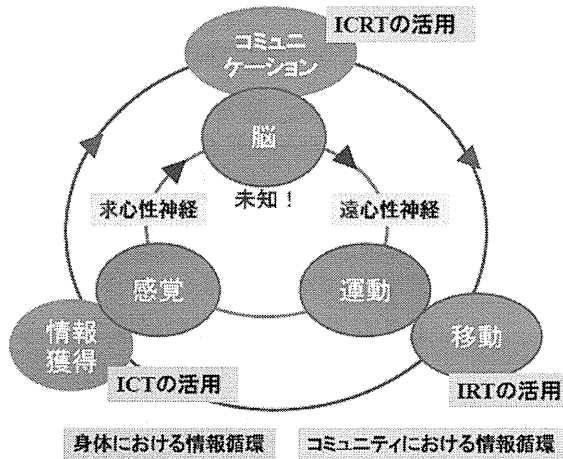
(1894-1964) が提唱した「サイバネティックス (ギリシャ語で「舵取り」の意味)」の概念に遡る。ウィーナーは、ヒトなどの動物と自動機械は「計測 (感覚) - 情報処理 (脳) - 制御 (運動)」の3要素からなるシステムと捉えている。

それを船の「舵取り」になぞらえ、3要素間を循環している「情報」の重要さを述べている (図3)。さらに、動物と機械をとともに3要素からなるシステムとしてとらえると、その類似性 (アナロジー) に基づいた2つの研究分野が生まれることを見通している。

1つは、失われた人体の一部を、同じような機能をもつ機械で置き換えようとする、工学を医療へ応用する方向である。これは人工臓器などの医療工学の道を拓き、今もなお発展し続けている。もう1つは、動物やヒトの優れた機能をヒントに新しいメカニズムを人工的に作り出すという、生理学を工学に活かす方向である。ここから、ヒトの感覚・神経系をモデルとするパターン認識や、ヒトの手足の動きを真似たヒューマノイド型ロボットなどが生まれ、現在に至る。

しかし、「命は地球より重く、金には代えられない」という医療における価値観と「利益にならない製品を作っても意味がない」という工学における価値観を両立させることは困難である。一方、身体機能を機械で支援するバリアフリーやジェロンテクノロジー (高齢者支援技術) は、人間の機能の再建を目的としているので、その価値観は医療と同じになる。逆に、優れた人工の感覚や手足ができれば、それらはセンサやロボットなどの工業製品にも活かされる。このような双方向性を持っているのが福祉工学の特色である。

2.3. 情報ループという視点



2001年5月に世界保健機関(WHO)が採択した「国際生活機能・障害・健康分類」では身体機能の障害を補助するという観点だけでなく、コミュニティの中で生活する上で必要な「情報獲得」「コミュニケーション」「移動」の3つを支援する技術の開発が優先されるべきであるとしている。この3つの生活機能はそれぞれ「感覚」「脳」「運

図4 身体とコミュニティにおける情報ループ

動」の身体機能に対応させて考えることができる。

ただし、これらの3つの機能は独立したものではなく、「感覚→脳→運動」という情報ループの中の一部と見なさなければならない。たとえば、電子義手を自分の意思で指先までも自由に動かせるようにするためには、まず、義手がつかんだ物体の重さ、硬さ、形状、質感などの感覚情報を脳へ送るという道をつける必要がある。これらの感覚情報が脳に送られて初めて、義手をどのように動かすかという意思が働き、運動の制御が実現される。この情報ループが繋がっていなければ電子義手は自己の体の一部として馴染まない。コミュニティ内で必要な3つの生活機能についても「情報獲得→コミュニケーション→移動」という情報ループの一部とみなし、そのループが途切れたのを繋ぐという視点が重要になる。

2.4. 若年者と高齢者

バリアフリーの研究において考慮すべきは、生体には「可塑性」があり、その可塑性により失われた機能が代償される能力があるという視点である。この「代償機能」の例は枚挙に暇がないが、見ることに障害があるとそれを聴覚でカバーしようとし、聴くことに障害があるとそれを触覚で代償しようとする能力が生まれる。したがって、ヒトの「感覚 - 脳 - 運動」というシステムは身体や環境の変化によって機能が変化するダイナミック（動的）なものであると捉え、特に若年者のためのバリアフリーデザインでは代償機能を生かす視点が重要になる。

ただし、高齢になるとともに可塑性の機能は低下するので、ジェロンテクノロジーでは今までに獲得した「知識、経験、技能」をできるだけ生かしながら、低下した認知・行動機能をどのように技術で補完すべきかを考えるべきである。なお、バリアフリーデザイン

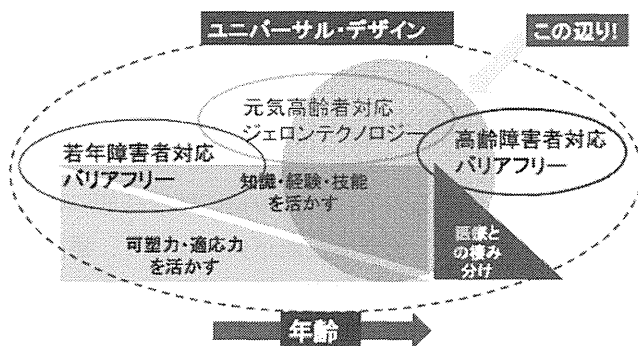


図5 若年者と高齢者の違い

とジェロンテクノロジーに加えて、健常者も含めて誰もが使いやすいようにする考え方をユニバーサルデザインと呼ぶ。

2.5. その方法論

あるモノを設計する場合、一般的には、拠り所となるサイエンスがある。例えば、震度6の地震にも耐える建物を設計しようとするれば、力学や数学を駆使して計算し、1本1本の柱の材料や太さまでも正確に決めることができる。それに対して、例えば、低下した言葉の聞き取り能力を補うための機器を設計するとなると、その拠り所となるサイエンス

は未知の部分の多い聴覚と脳の科学になる。

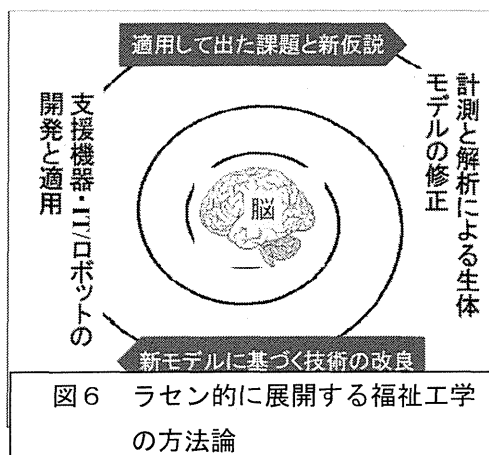


図6 ラセン的に展開する福祉工学の方法論

未知ということで、聴覚や大脳における言葉の処理機構を解明する基礎研究は避けて通れなくなるが、それ自体が中々解けない難題である。その上、脳の可塑性により欠陥部位を代償する機能が働きだすので、脳科学は物理学のように幾つかの方程式で解けるような単純なものではない。

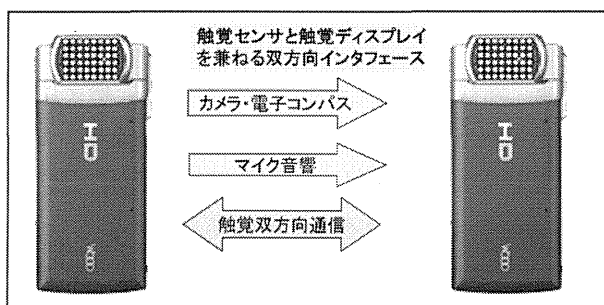
そこで、とりあえずは感覚や脳における障害部位とその情報処理メカニズムの仮説を立てて、それを基にどのように代替・補強すれば良いかを考え、支援機器の設計と開発に進む。当事者に使ってもらってあまり役に立たなければ、なぜ役に立たなかったのかを調べる基礎研究へ戻り、仮説を修正する。その仮説をもとに機器を改良した結果、前よりも良くなれば仮説を間接的に証明したことになる。この「仮説の修正」と「機器の改良」のくり返しの過程から、支援機器が少しずつ役に立つものになり、一方では、未知の脳機能が少しずつ見えてきて、それが新

発見につながることも夢ではなくなる。これが福祉工学におけるラセン的な研究の方法論である。この方法論に基づいて設計した機器の例を幾つか示したい。

3. 脳の潜在能力を生かした福祉技術の例

3.1. 触覚コミュニケーション機能を備えた携帯電話

視覚や聴覚はもともと触覚が進化した感覚であるので、触覚中枢には潜在的に視覚や聴覚の原型となる機能が残されている。従って、視・聴覚の機能が失われたり、極度に低下したりした場合、触覚中枢に残された機能に期待して、文字・画像や音声・音楽を触覚経由で中枢に送るという「感覚代行方式」が役に立つ場合がある。図7はそのことを期待して開発した触覚コミュニケーション機能を備えた携帯電話の概念図である。最近、カメラ

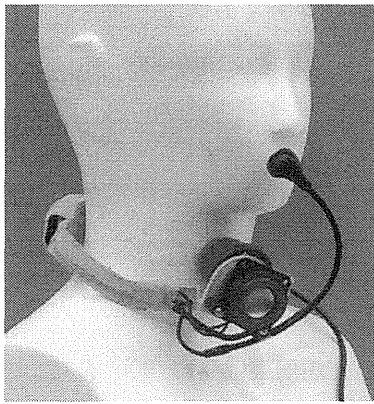


に表示するデバイスを開発している。また、触覚ディスプレイは触覚センサとしても利用できるようにし、センサを叩いたりなぞったりした情報は相手側の触覚ディスプレイにそのまま表示されるようになっている。

図7 触覚を介してコミュニケーションができる携帯電話

3.2. 九官鳥と腹話術から学んだ代用発声法

音声はもともと危険を知らせたり、相手の注意を引いたり、喜びを表したりするのに利用されるコミュニケーション手段であり、言語的な意味以上に感情に関わるイントネーションやリズムなどの「韻律」が重要である。このことは九官鳥など物まね鳥たちがヒトの声のイントネーションを忠実に真似ていることから伺える。



筆者らは喉頭摘出者のための人工喉頭を開発し製品化(商品名:ユアトーン)している。最近では、図8(左図)に示したように、首に取り付けたウェアラブル人工喉頭に発展させているが、これには使用者自らが指や呼気によりイントネーションを制御できる機能がついている。

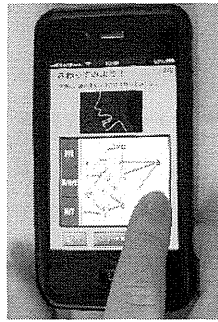


図8 ウェアラブル人工喉頭(左)と指のタッチで音声を生成するアプリ「指で話そう」(右)

なお、図8(右図)に示したように、筆者らは、失語症や構音機能障害(音声器官を制御できない障害)のために、スマートホンの

表面を指でなぞることにより自分の感情を含んだ声を合成するソフトを開発し、アプリの一つとして「指で話そう」という名前でDENCOMという会社で製品化している。これには腹話術発声の原理を応用している。

3.3. 「気配」の謎解きから生まれる環境認識技術

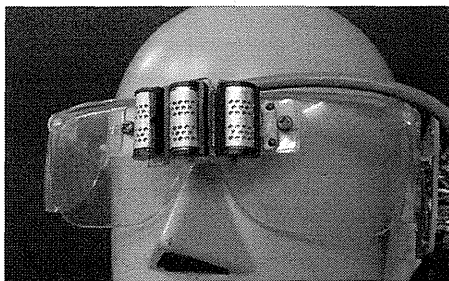


図9 過去に開発した障害物の存在を超音波で知るメガネに障害物知覚機能を付加

全盲の人たちの多くは障害物のまでの距離、障害物の大きさや材質などを「気配」を感じ取るように、聴覚で聞き分けるという「障害物知覚」の能力を獲得する。例えば4m先にある直径6cmの物体の存在がわかり、手前にいる人が着ている服の材質がデニムなのかベルベットなの

かがわかる人もいる。筆者らは、障害物のある周囲に「環境雑音」が存在しなければ気配能力は発揮できなくなる

ことから、障害物知覚の正体は障害物の存在による微妙な音場の変化を知覚する能力にあることを突き止めている。

大昔は、明かりもなく、大きな騒音もないような暗闇では、敵から身を守るために耳を研ぎ澄まし、音の微妙な変化から何かを感じ取ろうとしていたに違いない。進化の過程で獲得した聴覚が、視覚を失ったことにより蘇り、これが「気配」の能力に結びついたと考えることができる。まだまだ未知の現象もあるが、現在、この「気配の能力」を増強して、

より障害物や環境を聞きやすくする支援技術（図9 超音波メガネの例）の開発研究を進めている。

4. おわりに

ここで紹介した福祉工学の考え方は社会の高齢化により生まれた新たな課題とそれを解くための一つのアプローチになると思っている。また、ここで示した感覚・コミュニケーション支援機器の例は高齢障害者を意識したものではないが、ヒトの潜在能力に基づいた機器開発の考え方は高齢者支援機器にも必ず生かされる。

高齢化は日本ばかりでなく世界的な傾向にあることから、虚弱高齢者のQOLを向上させ元気高齢者の社会参加を支援する技術・システムは将来大きなマーケットになり、やがては輸出産業にも繋がる可能性もある。そこから真のイノベーションが生まれ、社会のパラダイムシフトが進むと考えている。心身健康科学の分野でも、価値観の変容を受け止め、それをパラダイムシフトに生かす道を考えて頂ければ幸いである。

なお、本稿は参考文献に掲げた著書を参考にしたものである。

参考文献

伊福部達「福祉工学の挑戦」（中公新書、2004年）

伊福部達「ジェロンテクノロジー（東大がつくった高齢社会の教科書、19章）」
（ベネッセ、2013年）

伊福部達「福祉工学の夢」（ミネルヴァ書房、印刷中）

「トリだよ」と名乗ったインコの話

伊福部達

インコとの出会い

指で聴く研究が暗礁に乗り上げていた頃、私の家でセキセイインコを飼うことになりました。父親が病気で入院し、家の中が暗くなっていたのを慰めてくれるのではと、単なる思い付きから鳥屋で一羽を買いました。そのインコに何と名付けようかと考えたものの妙案が思いつかず、とりあえず「トリ」という名前にすることにしました。しばらく、インコに向かつて「あんたはトリだよ」と話しかけていたところ、ある日、自ら「トリだよ」と名乗ったので、家の者たちは驚きました。以来家族の一員として欠かせない存在になりました。私は「トリだよ」と名乗るトリを見ながら、頭の中は「？」で一杯でした。なぜ、どうやってヒトの声を聞き分け、覚えただのだろうか？ また、ヒトの口とは似ても似つかぬ口ばしでどうやってヒトの耳ではつきりと分かる声を出したのだらうか？ もし、ヒトの声を聞き分けるトリの仕組みが分かれば、聴覚障害者の聞き取りを助ける技術に生かせるかも知れ

ません。そして、もし、声を作り出す仕組みが分かれば、発声に障害のある人たちを助ける技術に生かせるかも知れません。それらのナゾの多くは未だにナゾのままですが、この「トリ事件」はその後の私の研究を方向づけるきっかけとなりました。今回は、ヒトの発声の仕方や音声の物理的な側面について解説し、その上で、物まね鳥の世界で優等生である九官鳥の声がヒトの声と同じなのか違うのかをお話しましょう。

ヒトの発声器官の起源と構造

ヒトの聴覚は魚の側線器が進化したものですが、発声器官の進化も魚から始めると分かりやすいと思います。海に棲む魚は口から海水を飲み、そこから鰓えらで酸素を取り込み、そのまま海水を食道へ送って消化器官で餌を吸収します。つまり、口から入った海水が排出されるまでの通り道は一本の管で良かったといえます。ところがその後、魚から進化した生物が広く餌を求めて陸上生活をするようになり、鰓呼吸から肺呼

吸に転換するために空気と餌を分ける「弁」が必要になりました。こうして、呼吸をするときには弁を気管支側に開き、物を食べるときには弁を食道側に開く構造になったのです。

この「弁」の役割をするのがヒトのノド仏にある「喉頭」と呼ばれるものです。さらに、弁の一部が呼気の流れを利用し、一秒間に二〇〇回前後の速さで急速に開閉できるようになり、それが「声帯」という音源を作る重要な器官になりました。一方で、二足歩行をするようになり脊髄に頭の重みを移すことができた結果、口の中に広い空間が生まれました。その空間の中で舌や口の形を変えることにより、声帯で作られた単調な音源の波形をさまざまな波形すなわち多様な音色に変えることができるようになりました。このように、ややこしい過程を踏み、複雑な構造にはなったものの、おかげでヒトが声や言葉を獲得することができるようになったのです。

ヒトにおける音声の作り方

ところで、口を「ア」や「イ」の形にすると、どうして声の波形すなわち音色が変わるのでしょうか。この発声の仕組みは、聴覚や発声の障害を支援するために、コンピュータで音声認識したり合成したりする技術の基礎になるので、ここで簡単に説明しておきましょう。さて、声帯で作られる音源は、一番低い基本周波数の音（以下、基音あるいはピッチ周波数と呼ぶ）と無数にある倍音からなっています。例えば、一〇〇

ヘルツの高さに聞こえる声の波形には、基音である一〇〇ヘルツとその整数倍の二〇〇、三〇〇、四〇〇……、三〇〇〇ヘルツの高さを持つ倍音がたくさん混じっています。

一方、ヒトの口は片方に開いた楽器のようなもので、ラッパと同じように音が口の中で「共鳴」します。音源が、声帯から口元までの道（声道）を通過するときにも何回か共鳴します。この口のの中でも音量が増強される成分が幾つか現れます。この口の中の共鳴によって増強された成分を「ホルマント」と呼び、ヒトの声の場合は三つのホルマントがはっきり現れます。特に低い方の第一ホルマント、第二ホルマントの高さが舌の位置や口の形で大きく変わり、その結果、多様な音色が作られます。ヒトは、この原理を利用し、舌の位置や口の形を変えることにより色々な音色すなわち母音を作り出すようになりました。また、舌の位置や口の形を激しく動かすと、当然、ホルマントの高さも激しく変化します。実は、この変化の違いで多くの子音が作られます。このように、ヒトの発声では声帯と口の中の共鳴が不可欠になります。

九官鳥の声のナツ

ところで、皆から可愛がられていた家のインコは「トリだよ」の真似声だけで意外にも皆が喜んでくれたことで満足したのか、それ以上に言葉のレパートリーを増やそうとしませんでした。それでも、私の物まね鳥への好奇心は増すばかり

でしたので、インコには申し訳ありませんが、それよりも遙かに頭が良さそうで言葉のレパートリーも多そうな「九官鳥」へ心移りました。「物まね鳥の飼い方」という教科書によると、九官鳥には二種類あつて、鳥の側頭部から後頭部にのびている黄色いはち巻きが後ろで切れている「小耳九官鳥」だけが物まねをするとのこと。また、生まれてから六ヶ月ほどして換羽（毛替わり）が過ぎた頃から言葉を真似し始めるのであつて、年老いた鳥の場合はなかなか覚えてくれません。覚える時間帯も、朝食後の水浴びが終わつて、気分がリラックスしているときが最も良いということでした。なお、その教科書によると、物まねに優れた鳥は止まり木から落ちると「イテテテ」と鳴くということでしたが、残念ながら現在に至るまでそのような鳥には出会っていません。

三五年ほど前、こうした予備知識を得てから多弁で発音も明瞭な九官鳥探しをしました。幸い、札幌市内に我々の目的に適う九官鳥がいると聞き、その後はこの九官鳥にしばらく協力してもらいました。一方、研究室でも生後六ヶ月というペット屋の言葉を信じ、消耗品として一羽を購入しました。早速、九官鳥音声の採録とその分析研究が始まりました。この研究には当時大学院生であつたH君が実質的に取り組むことになりました。まず最初に行つたのは、九官鳥はホルマントに相当するものを共鳴で作っているかどうかを調べる実験でした。そこで思いついたのが「ヘリウム酸素気体」の中で

九官鳥に喋らせたらどうなるのだろうかということでした。

ヘリウム音声で分かったこと

もともとヘリウム酸素気体は潜水夫が水圧の高い深海で作業しているときに、空気ボンベ内の窒素が肺を通して血液内に入つて「窒素病」になるのを防ぐために使われます。お祭りの夜店でもヘリウム酸素の入つた風船のようなものを売っています。それを吸つて喋るとデイズニー映画で出てくるドナルドダックのような甲高い声になってしまいます。ヘリウムは窒素より遙かに軽い気体なので、その中では音速が速くなり、そのためホルマントも高い方にシフトし、その結果、甲高い声になるのです。もし、九官鳥もヘリウム酸素気体の中で喋つた声が多ナルドダック調になればヒトと同様にホルマントを口の中の共鳴で作っていることになりました。

そこで、九官鳥の入つた籠がすっぽり収まるテントを作り、その中にヘリウム酸素気体を充満させて、九官鳥に喋らせました。普通の気体とヘリウム酸素中で喋らせた音声のホルマントの高さを比較してみると、意外なことが分かりました。ヘリウム酸素内では飼主の声は明らかに二つのホルマントが高い方にシフトしていましたが、九官鳥の場合はヒトと大きく違つており、とくに第二ホルマントの高さは全く変わっていませんでした。つまり、第二ホルマントは口の中での共鳴で作られているのではないことが分かりました。一方では、

真似声の基音はヒトと同じ高さであり、その時間変化すなわちイントネーションは驚くほどヒトと似ていました。恐らく、九官鳥はイントネーションを上手に真似ることにより、ヒトの耳に声らしく聞こえるようにしたのでしょう。

以上から、九官鳥にはヒトの声帯に相当する発音体が二個あり、それぞれ高さを変えられると考えました。一つはイントネーションの基となる基音を出す発音体、もう一つは直接第二ホルマントを出す発音体です。この仮説を裏付けたのは九官鳥の気管支にある二つの「鳴管」という発音体でした。

九官鳥の末路

研究室で飼っていた九官鳥にも言葉を繰り返し聞かせたのですが、なかなか覚えてくれません。もつとも効率を考えて、エンドレステープに「オハヨウ」とか「コンニチワ」を録音し、朝から晩まで聴かせたのですが、それがどうも気に入らなかつたようです。テープで教えたのでは、やはり教師としての熱意が伝わらなかつたものと反省し、自宅に連れて帰って特訓をしました。何とか自分の名前の「クロコ」という言葉だけは覚えたようですが、家の水が合わなかつたのか、原因不明の死を遂げてしまいました。それで、この鳥の冥福を祈った後、ノドを開き気管支のところを調べてみたところ、気管支の付け根の所に二個の鳴管を見つけることができました。文献を調べてみると、この二個の鳴管は大脳中枢から異

なる神経支配を受けていることから別々の音を出せる可能性があるという論文もあり、九官鳥二音源説はますます信憑性が高いものとなりました。当然ながら、九官鳥とヒトの発声の仕方は大きく違うので、声の波形も程遠いものでした。しかしそれでも、九官鳥が意図していたような声に聞こえるのです。九官鳥のナゾは完全には解明されていませんが、次回から述べるように、そこからヒントを得て聴覚や発声に障害のある人のための幾つかの福祉技術が生まれました。

エピソード

ところで、インコを飼っていた頃、父親の入院で我が家が人手不足になったことから、お手伝いさんに来てもらっていました。家の者はインコには興味を示さなくなっていました。が、お手伝いさんは大そう可愛がってくれました。寝る時も一緒というほどの溺愛でしたが、ある日、インコを抱きながら昼寝をしていて、寝返りを打ったときに押しつぶしてしまいました。お手伝いさんは申し訳ない気持ちと悲しい気持ちで一杯だったようですが、介抱の甲斐もなくインコは他界してしまいました。それ以来、インコのこととはしばらく話題にならなくなりましたが、私の福祉工学研究の方向づけをしてくれた恩人として今でも心の中で生き続けています。

いふくべ・とおる

東京大学名誉教授（東大高齢社会総合研究機構・特任研究員）

超腹話術のナゾ解きから生まれたモノ

伊福部達

物まね鳥研究から生まれた新たな疑問

物まね鳥でも九官鳥とインコでは声の作り方に大きな違いがあることを先の号で書きましたが、両者ともに口ばしを開けたままでどのようにして／パ／バ／マ／を発音しているのかという新たな疑問が生まれました。ヒトが「両唇音」である／パ／バ／マ／の声を出すときには、両唇を閉じた状態から素早く口を開けるといふ動作が必要になります。私は歯学部矯正歯科教室と約二〇年にわたり、両唇を閉じることのできない「口唇口蓋裂者」の音声の研究をしてきましたが、患者さんに両唇音を正しく発声させることは至難の業であることを経験してきました。口を閉じないで両唇音を出せる方法が見つかれば口唇口蓋裂者にとってはこの上ない福音となります。また、唇だけでなく舌や顎などの「構音器官」を自由に動かせない発話障害を支援するためのヒントも得られるかも知れません。しかし、なかなか良いアイデアが生まれないうままです。九官鳥研究から一五年ほど経ってから

天才的な腹話術師のI氏に出会い、そのナゾ解きが一気に前進しました。今回は、超腹話術のナゾ解き研究と、そこから生まれた、舌の代わりに「指の動き」で楽器を扱うようにして声を出す発話障害者のための「音声楽器」を紹介します。

腹話術師I氏との出会い

一六年ほど前になりますが、お笑い番組の「笑点」に出演した腹話術師のI氏が口を閉じないでいとも簡単に／パ／バ／マ／を発音していたのを見て驚きました。急いでビデオに収録し、番組終了後、何回も再生して本当に口を閉じていないかを確かめました。画像の解像度が悪くてその結論を出すまでには至りませんでした。それからしばらくしてI氏が札幌の近くにある温泉地のレジャーセンターで公演をするという情報が入りました。当日はたまたま人工喉頭についてある学会から招待講演を依頼され、その後の懇親会にも出る予定でしたが、講演を終えるや否やタクシーを飛ばして公演会

かに一〇〇%の正解率に近いことがわかりました。しかし、「ピ、ペ」や「ミ、メ」などのイ列とエ列の子音では正答率は五〇%以下と低くなっていました。これは「イ」、「エ」は狭舌母音といって口の中を大きく開けずに発声する母音なので、舌の動く範囲も制約され、腹話術の発声もやりづらくなつたためです。このことは腹話術発声では、「口の中での自由な舌の動き」が不可欠であることを物語っています。

次に、腹話術発声の／pa／pi／pu／pe／po／の中の／p／の部分に注意深く抽出し、それがどの子音部に聞こえたかを学生に答えさせました。その結果、四〇%位の割合で腹話術発声の／p／は通常発声の／t／に聞こえると答えました。そこで、腹話術発声では／pa／の／p／よりも／a／の部分に秘密がありそうだと考えました。腹話術発声の／a／を頭から三〇ミリ秒ほど切り出して、それを通常発声の／t／にくつつけた音を作り、皆に聞いてもらうと、全員、／pa／に聞こえると答えました。どうも、バ行の腹話術発声では、／pa／の／a／の頭から三〇ミリ秒位の波形があれば完全に／pa／に聞こえるようです。恐らく、I氏は口を閉じずに、／ta／の／t／の音を出してから素早く／pa／の／a／に切り替えているのでしょう。さらに、／pa／の／a／の始まりの波形と五、六個目の波形を比べると微妙に違います。これは、母音に至るまでに舌を素早く動かしているのです。口の中での共鳴すなわちホルマントも時間的に激しく変化するから

です。これを「ホルマント遷移」といって、この遷移の仕方の違いでヒトの耳には色々な子音に聞こえるのです。腹話術発声は口を閉じることができない口唇口蓋裂患者が／p／バ／マ／を出す訓練に生かされる可能性があるのです。

この結果を学会で発表後、日本腹話術協会から第三回世界腹話術の祭典で「先端科学技術による腹話術のなぞとき」と題した講演を依頼されました。その時に、「腹話術の技術が解明されれば発音に障害を持つ人々を助けるのに生かせるかも知れません」と結ぶと会場から大きな拍手があがりました。

指の動きで声や歌を作る「音声楽器」

数年前、コンピュータで音声を作る「音声生成器」の研究をしたいので指導して欲しいと、都内にあるS大学の院生が電動車椅子を運転し研究室を訪ねてきました。本人は舌や口の形を自由に変えることができないという「構音障害」もあり、自分の意志や感情をリアルタイムで声にして伝えることができないもどかしさを訴えていました。そのため会話の中でいつも取り残されてしまうので、そのハンディを克服できるような研究をしたいと言っていました。また、キーボードなどで文章をコンピュータに入力し、それを音声にして聞かせる補助手段を試したが、どうしても感情を交えた声をタイミング良く出せないことから、従来のキー入力による方法はあきらめたとのことでした。



図 舌の動きを指の動きで代用して声を生成する「音声楽器」

指の動きで制御させるのですが、声を作ろうという発想です。

その大学院生は四年を超える試行錯誤の研究からコンピュータのタッチパッドを指先でなぞることでもリアルタイムで舌の動きのパラメータを制御するプログラムを完成させ、

車椅子で訪ねてきた大学院生が巧みにコンピュータのマウスを動かしてプログラムを作る様子を見ながら、私は、指や手の動きで発話できるような装置の開発を研究テーマにしたかどうかと助言しました。腹

話術師が口の形を変えずに舌の動きだけで自然な声を出せるのだから、舌の動きを指や手の動きで代用できれば、腹話術と同じような声を作り出せるはずだと考えました。実際には、コンピュータにある音声合成プログラムの舌の動きを制御するパラメータだけを

この方法で感情を交えた自然な声を出せるようになりました。ただし、どの学会で発表しても、そんなことできるはずがないといわれたので、本人が実演をしたところやっと認められるようになりました。現在は、電子楽器や音楽ソフトを利用することで自由に歌も歌える「音声楽器」(図)に発展しており、そのソフトはインターネットでダウンロードできます。

身近な科学が果たす役割

身近な音に耳を傾けていると不思議に思うことがたくさんあります。そのナゾ解きから福祉機器を開発するヒントが得られ、それが誰かの役に立ったり、楽しんでもらったりする技術へ発展する可能性があります。手指だけでなく、身体の動きで舌のパラメータを自由に制御できるようにすれば、誰もがジェスチャーをしながら、あるいは踊りながらゲーム感覚で歌を作り出せるようになります。また、脳血管障害などで大脳左半球の言語中枢に損傷ができて発話失行に陥るいわゆる「ブローカ失語」の患者は右麻痺の症状がでて、一般には左側の手足は正常に働きます。その正常に働く手指でこの音声楽器を動かすことができれば、彼らの会話支援にもなるでしょう。身近な科学を振り所にする福祉工学から、予想もしないような応用が生まれるのではと思っています。

いふくべ・とおる

東京大学名誉教授(東大高齢社会総合研究機構 特任研究員)

「ヒゲの殿下」と人工喉頭

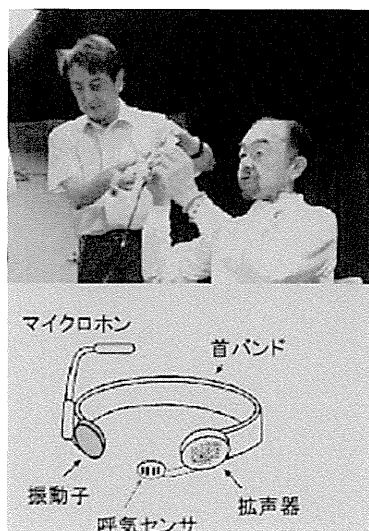
伊福部達

殿下の願い

「ヒゲの殿下」と呼ばれていた寛仁親王殿下は障害者福祉やスポーツ振興に貢献されたことで広く知られています。その殿下が今年の六月六日に六六歳という年齢で亡くなられました。三年半ほど前になりますが、殿下からもっと良い人工喉頭を作って欲しいという依頼がありました。二〇〇八年に食道ガンが原因で発声機能を失われた殿下は、手に持ったバイブレータをノドに押し当てながら声帯音源に相当する音を口の中に導く「人工喉頭」を使っていらっしやいました。とりあえず、人工喉頭をどのように改良して欲しいかを詳しくお聞きするために、大学の研究室まで来て頂くことにしました。要人の警護をする数名のSP（セキュリティポリス）に囲まれながら、緊張した雰囲気の中で人工喉頭から出る殿下の声を傾けました。その願いは二つあって、一つは今使っているバイブレータによる声を大きくして欲しいということ、もう一つは食事や仕事をしながら使えるようにして欲しい

いとのことでした。確かに、数名の人の前で話す場合には人工喉頭の声は十分に届くのですが、広い部屋で二〇〜三〇人もいる中で話すとなると、全員に聞き取れるためには声が小さすぎます。また、話しながら仕事をしたり食事をしたりしているときに、バイブレータを持つたり置いたりするのは煩わしいことでしょう。特に外国の要人が訪日したときに開く晩餐会のように数十名が集まる場所で話す機会が多い殿下にとっては、この二つの要望は特に強かったと思います。

殿下は新しい人工喉頭を開発する上で喜んで「モルモット」になると申し出られたので、殿下に研究室に来て頂いたり、私が赤坂御用邸に行ったりして、約二年にわたる協働研究が続きました。それが実を結ぶ前に殿下が亡くなられたという訃報を耳にし、記帳のため御用邸まで行きましたが、その帰り道はとても口惜しく、また、悔しい思いでいっぱいになりました。今回は、その協働研究で殿下と語り合ったことを懐かしく思い出しながら、もっと良い人工喉頭の開発は未だ諦



めていないことを天国の殿下に伝えたいと思います。

札幌オリンピック前夜の話

私どもの人工喉頭は、本体に付いているバイブレータと抑揚制御のための呼吸センサからなっています。まず、バイブレータと呼吸センサを本体からはずして首に巻いたバンドに取り付けることで、手を使わないで済むように改良しました。これは、呼吸をしたときにだけバイブレータが働き、しかも呼吸を強くすると声を高くできる「ハンズフリー型人工喉頭」です。突貫工事で作った試作機を研究室にいらした殿下に試して頂いたり(写真)、私が御用邸に持って行ったりしながら、何とか協働研究を軌道に乗せることができました。そんな中、赤坂の御用邸で試作機のテストを終えたあと、「ところで君

はバイオニックアイとそれを開発した、確か吉本とかいう名の先生を知っているかね」と尋ねられびつくりしました。

バイオニックアイとは私の指導教官であった吉本教授が名付けたジャンプの飛距離自動測定器のことです。当時、吉本教授は一九七二年に札幌で開催される冬季オリンピックの委員をしていましたが、本来の専門である医療計測研究を生かしてジャンプの飛距離を自動測定する方法はないかと模索していました。一方、殿下はスキーマの指導員も務める名スキーヤーでもあったことから、一時的に皇室を離れて民間人の立場でオリンピックの準備の一部を仕切っておられました。その場で二人が協働作業をしていたことを初めて知り驚きました。

ジャンパーが着地する寸前には一般に両足を前後に開きますが、着地したときの両足の中央をもって着地点とします。ジャンプの飛距離測定では、選手が着地したのを五〇センチおきに並んだ測定委員が眼で見え判断し、着地と判定されれば直ぐに手旗を上げるといふ方法をとっています。殿下は応接間で立ちあがって、両足を開きながら、「この両足の中央が着地点なのだが、ここを眼だけで判断するのが大変なんだ」と仰っていました。実際、数名の測定員が違った距離の所で旗を上げることがしばしばあり、その時にどこをもって着地点とするかが問題になっていました。

吉本教授は「トンボは、ハエが動き出した瞬間を素早く眼で捉えて捕まえる」の原理を拠り所に、トンボの眼をモデル