

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のが決まり、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、横断的に長期にわたる『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・表出を補助する「移動支援IRT」

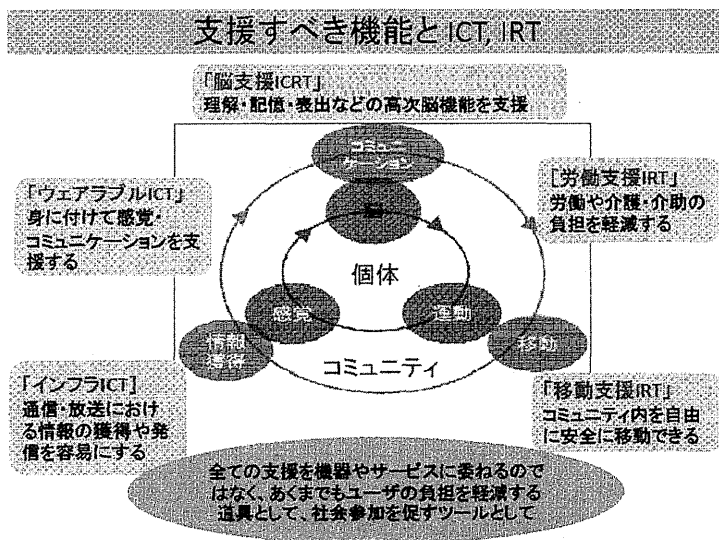


図2 ICTとIRTを利用した5テーマ

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」の活用が求められるており、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

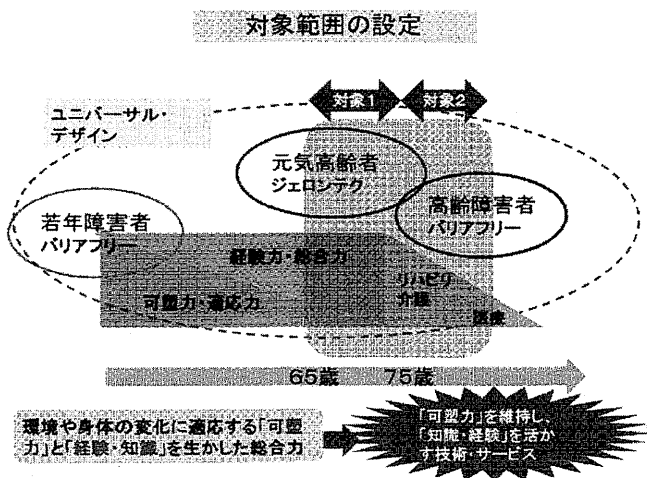


図3 高齢者と若年者の違い

社会参画・就労からQOL向上・介護負担へ

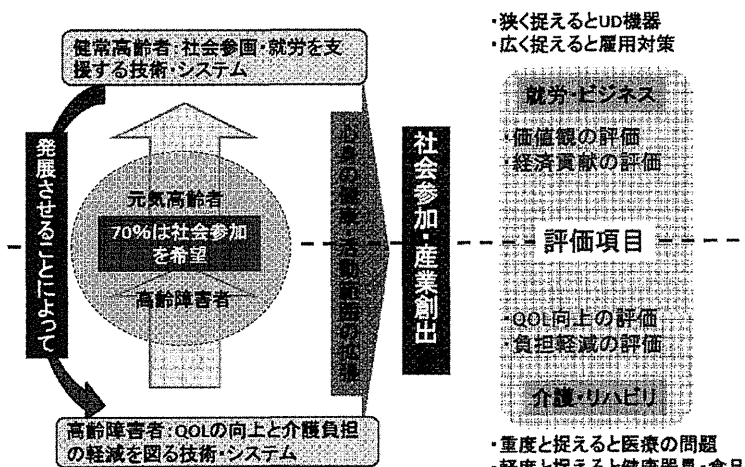


図4 社会参加支援から介護支援へ

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、医療や食生活の向上・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

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。

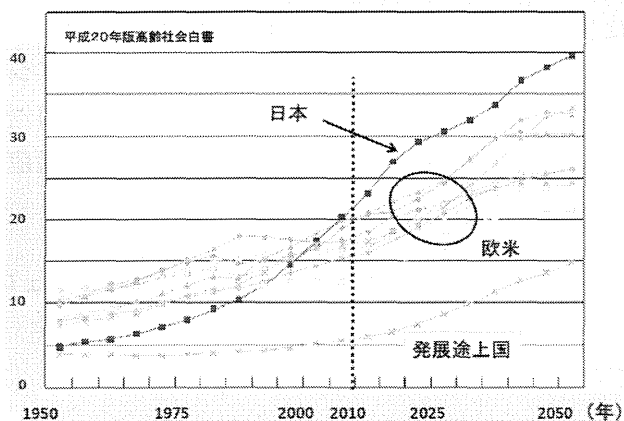
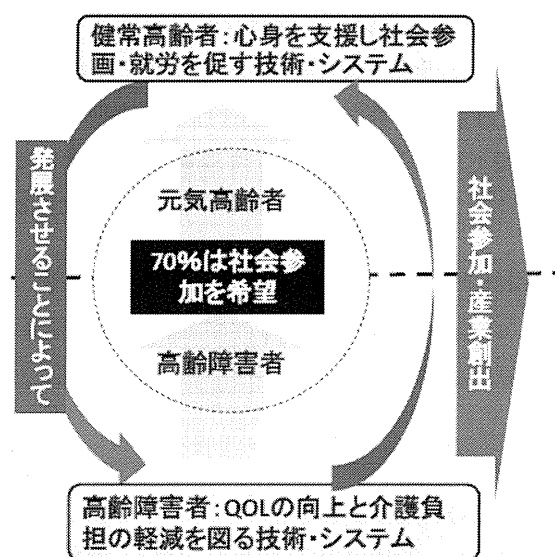


図 1 2010 年の高齢社会白書より

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な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。

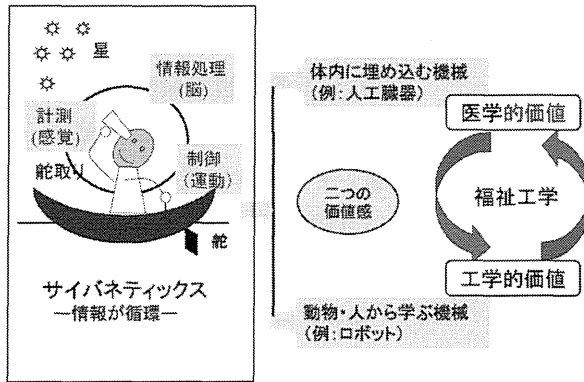


図3 サイバネティクスと福祉工学

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)」

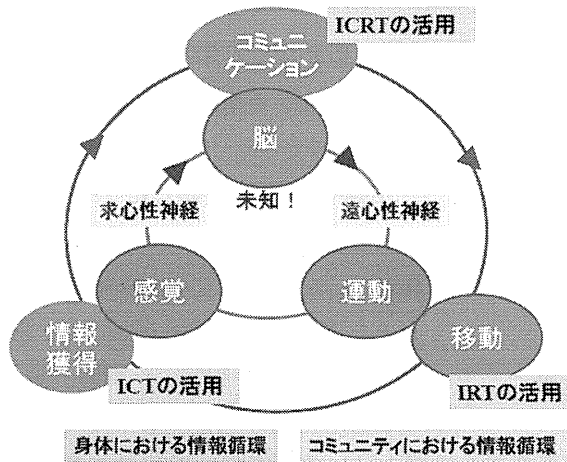
の3要素からなるシステムと捉えている。

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」の重要性を述べている(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

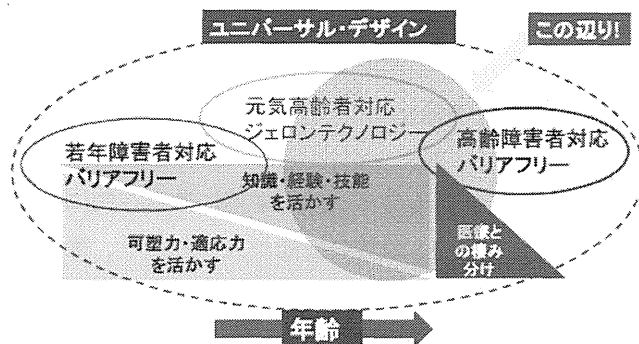
動」の身体機能に対応させて考えることができる。

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い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、杖挙に暇がないが、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



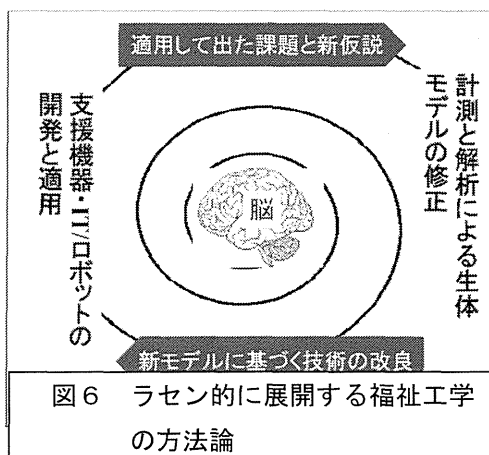
とジェロンテクノロジーに加えて、健常者も含めて誰もが使いやすいようにする考え方をユニバーサルデザインと呼ぶ。

図5 若年者と高齢者の違い

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。



未知ということで、聴覚や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。

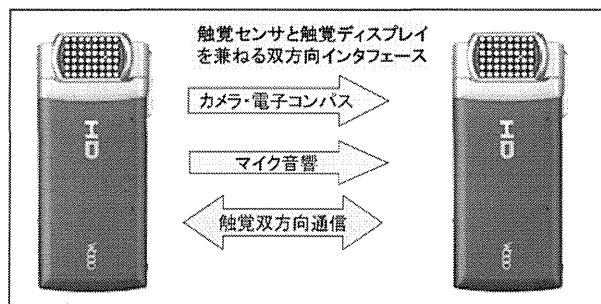
そこで、とりあえずは感覚や脳における障害部位とその情報処理メカニズムの仮説を立てて、それを基にどのように代替・補強すれば良いかを考え、支援機器の設計と開発に進む。当事者に使ってもらってあまり役に立たなければ、なぜ役に立たなかったのかを調べる基礎研究へ戻り、仮説を修正する。その仮説をもとに機器を改良した結果、前よりも良くなれば仮説を間接的に証明したことになる。この「仮説の修正」と「機器の改良」のくり返しの過程から、支援機器が少しずつ役に立つものになり、一方では、未知の脳機能が少しずつ見えてきて、それが新

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

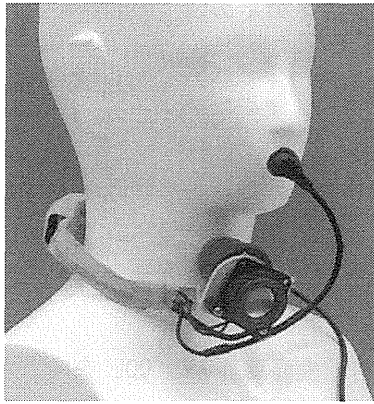


でとらえた映像、マイクで捉えた音情報を触覚ディスプレイ（32チャンネルの振動ピン）に表示するデバイスを開発している。また、触覚ディスプレイは触覚センサとしても利用できるようにし、センサを叩いたりなぞったりした情報は相手側の触覚ディスプレイにそのまま表示されるようになっている。

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
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。

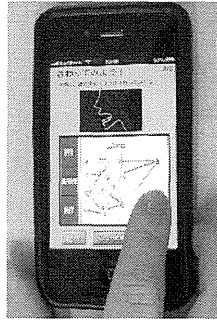


図8 ウェアラブル人工喉頭(左)と指のタッチ
で音声を生成するアプリ「指で話そう」(右)

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DENGCOM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

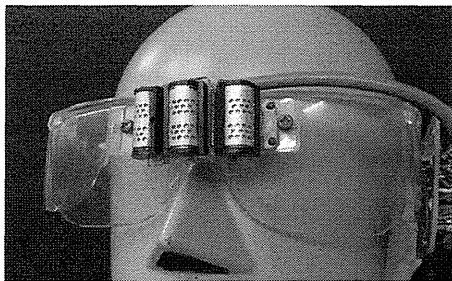


図9 過去に開発した障害物の存在を超音
波で知るメガネに障害物知覚機能を付加

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ふ「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）

「ヒゲの殿下」と人工喉頭

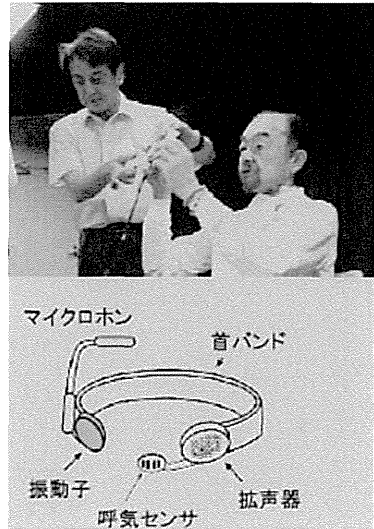
伊福部達

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の口の中に導く「人工喉頭」を使っていらっしゃいました。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計報を耳にし、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後の話

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「ハンスフリー型人工喉頭」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」の原理を抛り所に、トンボの眼をモデル

としたジャンプ飛距離測定器を開発していました。ジャンパーが着地する直前で、トンボの両眼になぞらえた二台のカメラで両足が次々に通過するのを捉えながら、通過速度が着地により急に減速した時点で両足の中央を測定するというものです。研究室の技官がトンボ型カメラを数十台作り、ジャンプ台の着地しそうな場所に並べて現場での実験がスタートしました。私も学生たちはその実験のためジャンプ競技場に何回も駆り出され、オリンピック準備の邪魔にならないように気を使いながらデータ取りを行いました。

結論から言うと、現場では一寸した吹雪でもカメラに雪が付着して使えなくなったり、晴れた日にはジャンパーの影で測定器が反応してしまったりして、実用化にはほど遠い所で断念しました。それでも教授は「トンボの眼を神棚に飾り、かしわ手を打って感謝したい」と新聞のコラムに書いていました。まさか殿下と四〇年後にバイオニックアイの話で盛り上がると思ってもいませんでしたが、人間が簡単そうにやっていることでも、それを機械に置き換えるのは容易でないことは私どもの暗黙の了解になっていました。

会話は進むのですが

その内、共同開発をしていたメーカーが、声の大きさや高さを二個のダイヤルを使って自由に変えられる多機能な人工喉頭を製品化しました。それを贈呈したところ、あるパーティー

の席で「これは伊福部先生が開発したもので、今までのモノよりずっと良いものだ」と自慢げに言われ、その場でお使いになったが、途中で二個のダイヤルの操作で混乱され、「これは使い物にならない」と投げ出されたと聞きました。その後、殿下が研究室にいらしたときに、人が身に付けて使うモノは、特別な訓練をしないでも使えること、メガネのようにシンプルなものではないと私どもを諭されました。私どもの協働研究は原点に戻り、声を大きくするためのポケットサイズの拡声器の開発研究も加わり、御用邸通いも再開しました。

実験場である殿下の応接間には一台のピアノがあります。その上には明治天皇を始め過去の皇族方の写真が所せましと並び置かれており、殿下が天皇家にいかにか強い誇りを持つていらつしやるかを肌で感じることができました。実は、伊福部家は因幡（現在の鳥取県）で最も古い家系で、大和時代に活躍したそうですが、代々長男しか名字を継ぐことができなない厳しい仕来りがあり、それから逃れるように明治の初めに北海道に移りました。その歴史の中で、一五〇〇年ほど前になりますが、先祖の一人に采女^{うねめ}として天皇に仕えた女性がいきました。その女性は大変寵愛されたのですが、若くして亡くなり、女性としては日本で初めての火葬として、故郷の因幡の稲葉山に葬られたという記録があります。その話をしたあと「お礼が遅くなりましたが、その折には大変お世話

になりました」と冗談半分で言ったところ、ニコニコしながら面白そうに聞いていらつしゃいました。その後も、殿下が主催された音楽会に招待されたり、私は作曲家の叔父の曲が入ったCDをプレゼントしたりするなど、仕事以外でも親しくさせて頂きました。

しかし、肝心の新しい人工喉頭の研究はますます暗礁に乗り上げていました。改良のための予算が尽きたことを知った殿下は、会長を務められていた福祉団体から大学を通して研究室へ寄付して下さったこともありました。何とかご希望に応えなければと思いつつも、暫く空回りの状態が続いていました。そのような中で殿下から、二〇一〇年一〇月に浜松市で国際ユニバーサルデザイン（UD）会議があるので、もしよろしければお越しくださいという連絡が入りました。殿下は会議組織委員会の総裁も務められており、特別控室で私どもを迎え入れてくださいました。会場についてお話しは殿下に挨拶し、研究の現状とその後の計画についてお話ししました。相変わらず飄々とした感じでお聞きになっていましたが、成果をお見せできないまま、これがお会いした最後となりました。

天国から光を

実は、殿下が改良を希望されていたことは、人工喉頭ユーザの長年の願いでもあります。携帯電話のように最先端技術

がびつしり詰まっていますが、あれほど使い勝手が良く、しかも安くできる時代に、なぜ人工喉頭ユーザの希望を叶えることができないのか不思議に思う人も多いでしょう。それには二、三の理由があります。一つは、二万人ほどの喉頭摘出者の内で人工喉頭を使っている人はわずか数千人であり、首尾よく完成しても市場が小さいことから大きな利益が生まれなことです。したがって、メーカーとしては改良のために資金を使うことは難しく、また大学でもこの分野の研究者は皆無に等しいことから基礎研究が進みません。第二に、トンボのバイオニクタイが実現しなかったのと似ていて、一般に、人間が簡単に行っていることでも機械で実現しようとすると途方もなく難しくなることです。しかもメガネのように身に付けても違和感を感じさせない福祉機器となるとさらに問題は難しくなります。到来しつつある超高齢社会では、生活する上で重要な機能を失ったまま生きていく人たちはますます増えることが予想されます。天国の殿下に、希望を叶えることができなかったことを心からお詫びすると共に、その願いを必ず果たすことをお約束したいと思います。同時に、福祉機器が抱えている問題を理解して頂き、超高齢社会で必要になる技術に天国から光を与えてくださればと思います。ご冥福を祈りつつ。

(平成二四年六月九日)

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）

福祉工学の夢（最終回）

福祉工学の本丸

— 脳の深部に迫る

伊福部達

三途の川

ジャングルに棲んでいたサルたちが、何万年という長い年月をかけて移り住んだ緑豊かなサバンナには、必ず大きな川があり、春になるとその周りは花畑で覆われていました。サルからヒトに進化する過程で、その記憶がヒトの脳の深部に刻み込まれていったのでしょうか。臨死体験をした人たちの話の共通点に、暗闇に一条の光がさし込むとともに美しい川と花畑が見えたというのがあるそうです。三途の川を渡る前に呼び戻されたというのもありそうな話です。

実は、私は幼稚園の時に家の裏庭にある大きな杏の木に登り、足を滑らせて庭石に頭から落ちて頭蓋骨陥没で意識不明になったことがあります。杏の木から落ちるときに、庭石がゆっくりと目の前に近づいてきて、その後は真っ暗になりました。意識が戻らないまま半日以上も生死の境をさまよっていたようですが、目が覚める直前に暗闇から光が差し込むような感覚を覚え、少しずつ明るくなっていったことを思い出

します。入院中は手術をした先生が修復する前と後の頭蓋骨とその中にある脳のレントゲン写真を見せてくれました。三途の川で呼び戻されたという記憶はないのですが、その空白の不思議な感覚と自分の頭蓋骨や脳の映像が今でも心に残っています。

私が所属する高齢社会総合研究機構では、病院ではなく在宅で最期を迎えるための医療システム、死の直前まで健康体を保つための予防医学が大きな研究テーマとなっています。また、脳機能そのものが変わって認知症や失語症になった場合、医療や技術でそれらをどこまで救うことができるのかも議論されています。今回は、コンピュータと脳の違いを概説し、福祉工学の本丸である脳機能の深部を探る研究から、感覚や運動そして脳を支援するためのアプローチについて私見を述べます。

脳の進化とコンピュータの進化

生物が多細胞になることでそれぞれの細胞に役割分担がで

き、細胞同士の情報を授受できるようにするために神経細胞ができました。初めはホルモンという形で情報の伝達物質を目的の細胞に送っていたのが、それでは遅すぎることから細胞の一部から神経線維が伸びてそこに神経インパルスを送らせることで、目的の細胞のごく近くで伝達物質を放出するようになりました。さらに神経インパルスの伝搬を速くするために神経線維の周りに電気の流れや髄鞘すいしょうを並べた「有髄神経」になり、結果的に神経インパルスは一秒間に数十メートルも伝搬することが可能になりました。一方で、呼吸や循環など生命維持に不可欠な「脳幹」や運動を司る「小脳」ができ、本能、感情、記憶に関わる「大脳辺縁系」ができ、さらに意欲、抑制、思考に関わる「大脳新皮質」などの層ができて、脳は約一五〇億個の細胞群からなる巨大な神経回路に進化していきました。各層ではさらに細かく機能分担がなされていき、例えば大脳辺縁系の中では本能、感情、記憶の部位は異なっていますし、大脳新皮質では感覚、言語、運動に関わる部位も特化されていきます。それぞれの層や部位の間でも多くの情報のやり取りが行われており、それらの情報が複雑に絡み合っています。

「個体発生は系統発生を繰り返す」と言われているように、この脳の進化の過程は胎児の段階で繰り返され、生まれるときには脳細胞はほぼ出揃っており、成人と変わらない数にまで増えています。ただし、神経線維は生後二〜三歳まで伸び

続け、その多くは二〇歳位までに神経線維の周りに鞘を付ける髄鞘化が進みます。この過程で脳にどのような情報が送られたかによって神経回路の形成のされ方も変わっていくので、若い頃に聞いたり見たりした情報がいかに重要かは脳の発達過程からも窺い知ることができます。

翻って人工の脳と呼ばれるコンピュータの進化はどうでしょう。私が電子工学科を出た一九七〇年頃、コンピュータが研究室にも入るようになり、それが使えることで最先端の教育を受けているという誇りを感じました。当時の第一世代と呼ばれるコンピュータの中を覗くとトランジスタがびっしりと並んでいて、コンピュータの前面には十数個のスイッチが一列に配列されていました。そのスイッチをオンやオフにすることで0と1からなる機械語でプログラムを作っていました。八キロバイトのメモリが一〇〇万円もするほど高価なもので、演算回路やプリンタなど一式をそろえると一千万円は優に超えてしまいました。一方、演算速度は、現在の一〇万円ほどで買えるような安価なコンピュータと比べても千分の一に満たない速度でした。

それから間もなく、トランジスタ回路が集積回路（IC）に置き換わり、すぐに大規模集積回路（LSI）に換わり、第三世代のコンピュータの時代を迎えました。機械語から記号列のアセンブリ言語が使えるようになり、フォートランやC言語と呼ばれる高級言語が開発されて、以前よりもはるか

に簡単にコンピュータを操作できるようになりました。それが、瞬く間に超高速、超小型、超廉価になり、さらに電話回線と繋がって世界中に文字や画像を送受信できるコンピュータネットワークに発展し、現在の情報化時代を迎えることになりました。最近、スマートフォンを使いこなしている人たちを見ると、コンピュータの黎明期で悪戦苦闘してきた私どもは羨ましいような悔しいような気持ちになります。

コンピュータの構造は脳と似ているといつて脳になぞらえて話すことがあります。本当に似ているのでしょうか。最新のコンピュータを開けるとLSIの層があり、それをめくとICの層が現れ、その奥にはトランジスタ回路が並んでおり、さらに奥に行くと真空管が見えてくる、ということであればコンピュータを脳になぞらえられます。しかし、実際には構造の進化の仕方という面から見ると両者は著しく違います。脳は過去の産物の上に新しい産物を積み重ねながら進化してきたのに対して、コンピュータは世代が変わる度に過去の産物を一掃してきたと言えるのです。

話が長くなってしまいました。次に、脳とコンピュータの違いを十分に踏まえた上で、コンピュータで感覚や脳を支援する福祉工学の研究アプローチについて私見を述べます。

「ラセン的」に展開する研究アプローチ

本連載で何回か述べてきたように、感覚や運動機能が衰え

たり失われたりするとそれを代償しようとして脳内での情報の流れ方が変わる「可塑性」の力が働きます。そのお陰で、視覚を失うことにより音だけで周囲の環境を知る「気配」能力が備わり、盲ろう者は指先の触覚だけでコミュニケーションができるようになり、手が不自由になると足の指でタイプライターを打てるようになるのです。このことは感覚や運動の機能を失うことで脳の深部に潜んでいた潜在的な能力が蘇ったと考えることもできます。

脳の構造はあまりにも複雑で、その機能の多くは未知のままですが、福祉工学の研究では、まず分かっている範囲でコンピュータのプログラミングにより脳の構造モデルを作り出す。つまり進化の過程でできた幾つかの層、層内で機能分担している部位、各部位から別の部位への神経の結びつきなど構造的な側面をソフトウェアで脳モデルに組み込みます。その準備を終えたら、感覚や運動さらに脳機能の障害により脳内の情報の流れ方がどのように変わったかという可塑性と脳の深部に潜んでいる潜在能力に関する仮説を立てて、その仮説を脳モデルに組み込みます。次に、脳モデルを通してどのような感覚刺激でどのような運動が発現されるかを予測しながら、障害を支援するのに相応しい機器やリハビリ法を開発します。当事者に適用して役に立たない所があれば、それが何故なのかを基礎研究へ戻って調べ、その原因の一部でも分かれば可塑性や潜在能力の仮説を修正しそれを脳モデルに組

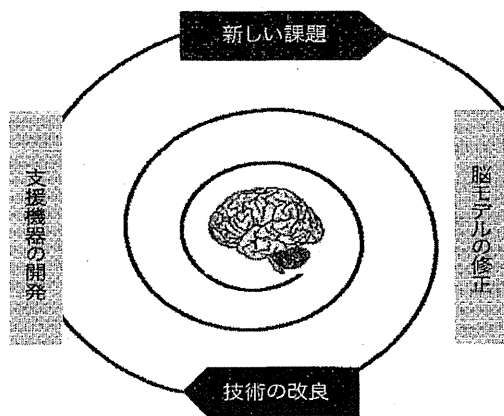


図 脳機能と支援法の循環モデル

リハビリ法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あります。これが私が描いてきた福祉工学におけるラセン的な研究アプローチ（図）です。

脳の深部にある未知なるモノを求めて

ただし、いくらコンピュータが技術的に優れているといっても、福祉工学の本丸である脳機能を攻めるには私どもの知恵と技術はあまりにも未熟です。私事になりますが、ゴジラ

み込みます。その脳モデルを基に機器やリハビリの改良をさらに進め、それらを適用して前よりも良くなれば仮説が間接的に証明されたことになります。この「仮説の修正」と「機器の改良」の繰り返しから、機器や音楽で有名になった作曲家の叔父は七〇年にわたり民族に根差した音楽を書き続けていました。彼の芸術論は「優れた音楽は、民族の特殊性を通過して初めて、普遍性に到達する」という視点に立っていました。普遍的なものに到達するには、脳の深部で響く民族的な音に耳を傾ける必要があります。そのもつと深部には民族を超えた人類あるいは生命が共有する感性が息づいていると信じ、そこに到達したいという思いが叔父の音楽から伝わってきます。また、宗教の中には過酷な修行を経て自分を「無」にすることにより「悟り」の境地に至るとありますが、これも脳の深部にある桃源郷に辿りついたという願いのなかもしれない。そして、認知症と呼ばれる人たちの中には大脳新皮質よりも脳の深部でものを感じ、行動するようになり、もしかしたら桃源郷を彷徨っているのかもしれない。脳の深部を知り、それを支援することは福祉工学の永遠の課題なのかもしれませんが、人間とは何かという根源的なことに触れる魅力あるテーマといえます。

家の者には、杏の木から落ちて以来、私の脳の深部は壊れたままになっているのではとよく言われますが、それをコンピュータで修復するような研究をこれからも続けていきたいと思っています。

いふくべ・とおる

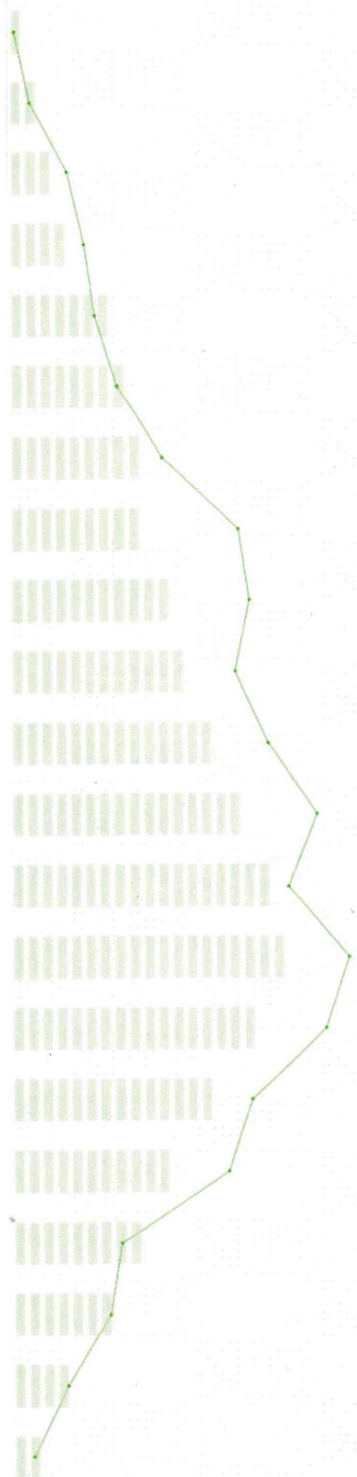
東京大学名誉教授（東大高齢社会総合研究機構・特任研究員）

東大がつくった

確かな未来視点を持つための

高齢社会の教科書

GERONTOLOGY LITERACY TEST OFFICIAL TEXT



Benesse®

編著



東京大学 高齢社会総合研究機構
INSTITUTE OF GERONTOLOGY, The University of Tokyo

19章

ジェロンテクノロジー

1. ジェロンテクノロジーをめぐる現状
2. ジェロンテクノロジーという技術

伊福部 達