



高齢化社会を支える テクノロジー

「老い」を担っていくための技術



日本には、姥捨てにみられる「棄老」の精神と、
儒教思想に発する「敬老」の精神とが、並存しているといわれる。
「棄老」の精神は、物語にもよく描かれるように、
共同体の物質的な限界を動機としている。
これまで科学技術は人にとっての物質的な限界を
克服するために活用されてきた。
とすれば、比喩も含めたさまざまな「棄老」を克服するために、
技術や工学といったテクノロジーは
もっと活用されてしかるべきではないのだろうか。
そんな視点から今回は「老い」によって本人や周囲に生じる
困難を克服するための、先端での研究例に着目してみた。

高齢者と家族の負担軽減に期待がかかるメカトロ介助機器の技術

世界的にも、かつて例をみない高齢化の波が迫りつつある。社会的な対応策がさまざまな角度から検討される一方で、技術的・工学的な支援のノウハウも研究が進んでいる。人間の物理的限界を強力に補助してくれるものが科学技術だとすれば、この分野への技術導入は、必然であるとも考えられるだろう。そうした視点から福祉を技術面から支える福祉工学の研究成果に目を向けてみる。

工学技術によって福祉を支援

現在日本では、6.6人にひとりが65歳以上の高齢者であるといわれている。2010年には4.7人にひとりの割合となり、東京都では100m四方に平均で18人という高齢人口の集中化も起こってくることが予想される。さらに2025年までには高齢者の比率は3.8人にひとりとなり、しかもそのうち約56%が75歳以上の後期高齢人口になるといわれる。

高齢者の比率が増加することによって危惧されるのは「寝たきり」や「痴呆」などの増加である。高齢者本人にとってもつらい時間を過ごすことになるのはもちろんだが、よくいわれるように介護する家族の負担もなみならぬものになる。2020年代には生産に直接かかわらないいわゆる従属人口は7割弱になると考えられるから、年金制度の原則にのっとれば、1.3人の働くおとなで高齢者ひとり分の生活を負担する計算になる。年金制度がどうなるかはさておいても、社会的にもほぼ1対1に近い負担を背負い、個人的にも介護負担を背負わねばならないという現実が社会全体にもたらす影響は、けっして小さなものとは考えられない。こうした危機意識から、介護システムの確立が叫ばれ、そのステップとして先頃、公的介護保険制度の導入が決定されたことも記憶に新しい。

高齢化社会へ向けての社会的な基盤づくりを進めていくことの重要性はもちろんのことだが、負担軽減の方法論として、たとえば家電製品が家事労働の負担を軽減してきたように、工学技術の導入によって介護者の負担を減らし、高齢者自身もより自由に生活ができるような工夫というものも考えられるはずである。

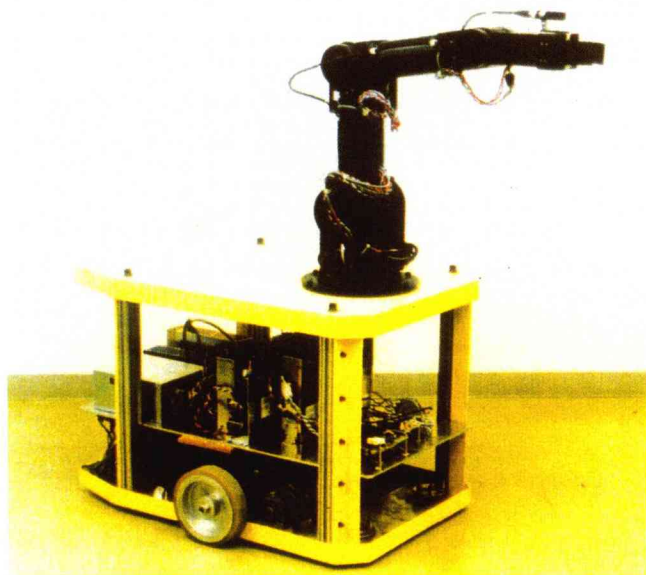
こうした問いに応えるものとして、現在、福祉工学といわれる技術分野に期待がかけられ始めている。障害者も含めて、身体的な自由で制限のある人たちを支えるための工学的な研究である。感覚、運動、内部機能などの障害や生活環境の整備にいたるまで、さまざまな角度からのアプローチがなされているが、身体的不自由を負いがちな高齢者のための技術もその中に見出だすことができる。

介護を助けるロボットシステム

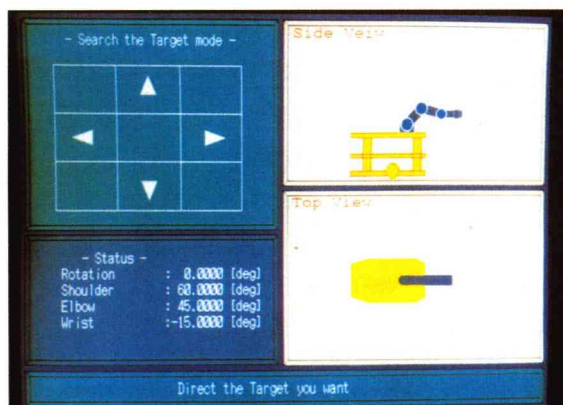
たとえば、いわゆる寝たきり障害者を支援するための技術研究の先駆者としては、1980年前後に芝浦工業大学システム工学部教授の舟久保熙康教授ら（当時東京大学工学部）によって行われた介助機器システムの研究例がある。これは電動の棚に収納した日常生活用品を2本の腕（マニピュレーター）と搬送車によって患者の手元、口元まで運ぶための自動倉庫的なシステムと、カーテンの開閉、電気製品のON/OFF機能を集合させたもので、使用者の身体的自由度に応じて、タッチ・スイッチ、呼吸スイッチ、音声入力装置、ルックサイト・システム（視線と頭の動きで操作）などのインターフェースが組み合わせられるようになっていた。舟久保教授らの研究は、いわば介助ロボットというべき最初のものだったが、かなり大がかりで、実用化を考えるとコスト的にも問題があった。

舟久保教授の流れを継承し、やはり芝浦工業大学で教鞭をとる米田隆志教授は、介助システムの中のとくに物を運んでくる機能だけにしぼりこんで、実用性の高い介助ロボットの可能性を追究する道を選んだ。「現在、家電製品はリモコンが発達して、テレビ、エアコン、照明などは手元で操作できるものが増えましたから、それらの操作はとりあえず除外してもいいだろうと考えました。また食事の世話をしてくれるロボットも研究はされていますが、人の心理まで含めて考えると機能的にとっても微妙なものになり、実用化までの道程は長いものになりそうです。そこで、欲しいものをとってきてくれるという機能を主に考えようということで研究を進めています」（米田教授）。

米田教授のロボットは、物を運ぶ機能にしぼったところから介助用モビルロボットシステムと名づけられた。システムの概要としては、サイドテーブル大の台車に1本のマニピュレーターがついたロボット本体とコントロール用の画面とから構成され、マニピュレーターの先には、カメラが備えつけられている。使用者は画面を見ながら欲しい対象物を探し、指示をあたえる。ロボットはカメラ画像をもとに対象物を認識し、つかんで運んでくれる。対象物を下ろす際につぶしたり落下させたりし



介助用モビルロボットシステムのロボット本体



介助用モビルロボットシステムの操作画面。高齢者の使用を想定し、分かりやすい画面表示を工夫してある。

ないために、力センサーを用いて、下ろす際の対象物の重量変化を感知し握りを放すようになっている。現段階では、円柱状の対象物を認識するのがせいっぱいのため、取手を円柱状にしたトレーに対象物をのせ、それを運ぶようにしているという。現状、平たい物、箱状のものをうまく認識してつかむことは難しい。この課題をクリアーするために、米田教授らは画像による形状認識の向上と、より精妙なハンドの開発に力を入れている。次の段階への改良点としては、カメラをズーム方式にすることと、3本指に掌をそなえたハンドを製作することだという。

この介助ロボットのコストは今のところソフトウェア抜きで500万円くらいかかっており、研究段階のプロトタイプとはいえ将来の実用化を考えると、よりいっそうのコストダウンが課題になるという。

階段をものともしない移動装置開発の夢

「寝たきり」から少し回復した人たちは、車椅子で街を移動することになるが、これがなかなかやっかいなものである。段差



開発者の米田隆志教授



開発中の新たなマニピュレーターの構造模型

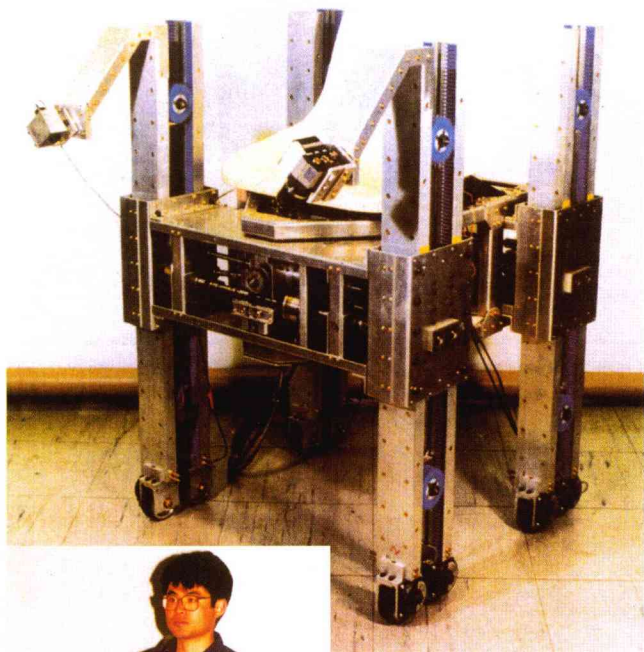
や階段が車椅子にとっては大きな障害になるからだ。高齢化社会の到来を目前に、街や建物のバリアフリー化が叫ばれているが、生活空間のすべてに適用するのは、そう容易なことではないだろう。

段差があってもそれが障害とならない車椅子ができれば、車椅子生活者はもっと気軽に外出できるようになるし、介護者の負担も小さくできる。

こうした発想から米田教授は同じ芝浦工業大学の宮城政雄助教授らと共同で、階段の昇降が可能な8本脚の車椅子を開発した。階段を昇降するメカニズムは、5ページ右上の図のとおりに、4本の脚部がおのおの2本から構成され、合計で8本になっている。段差を探りながら脚の半分ずつが順に昇降し、階段を越えていく。脚部に取り付けられたカメラで階段の段差を測定し、上下の動きを制御する。より小さなバッテリーで運転するために、動作はすべてひとつのDCモーターの動力をクラッチを使って切り替える方法をとっている。座面の安定度が高いのが特徴である。

現状、バッテリーを除いた重量が60kgと比較的軽く、外寸も市販の車椅子にほぼ近い。問題の階段などの走行性能だが、今のところ昇りはかなり順調にいくものの、下りの時には使用者に多少の不安感をあたえることも予想され、信頼性向上や安全対策の強化が今後の改良にあたってめざされている。

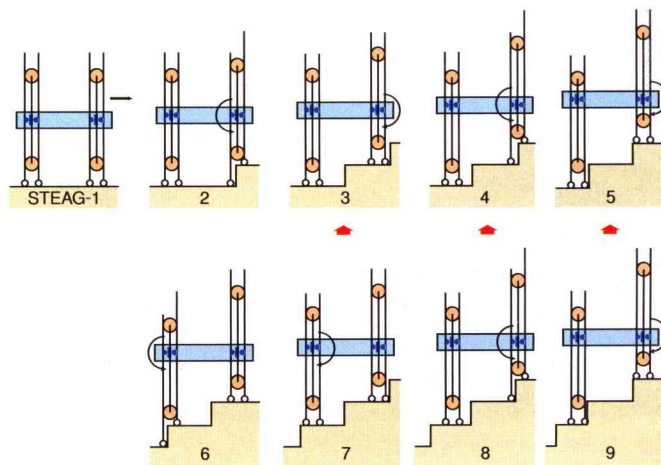
米国では平常時には車輪を使って走行し、階段ではキャタピラのような装置で階段を昇降するタイプの電動車椅子が商品化されている。駅の階段などで重量物の運搬に使われている電動の台車を見かけるが、それに近い移動装置を階段用に用い、傾斜に応じて座面の傾斜を調節する機構を組み込んだものである。信頼性の高いシステムだが、全重量230kgと日本の住



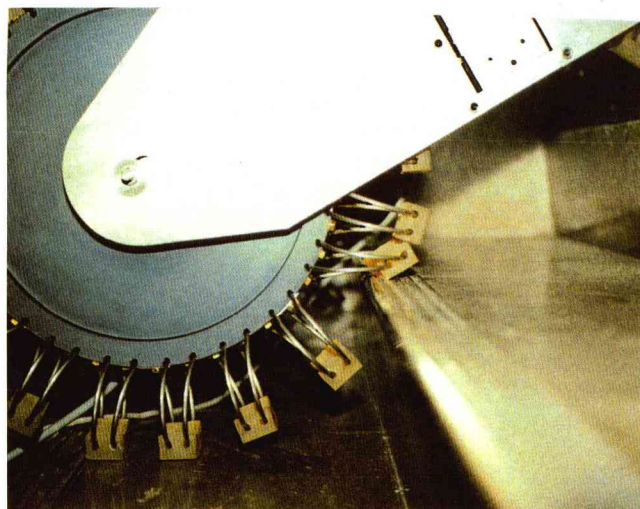
芝浦工業大学の階段昇降車椅子



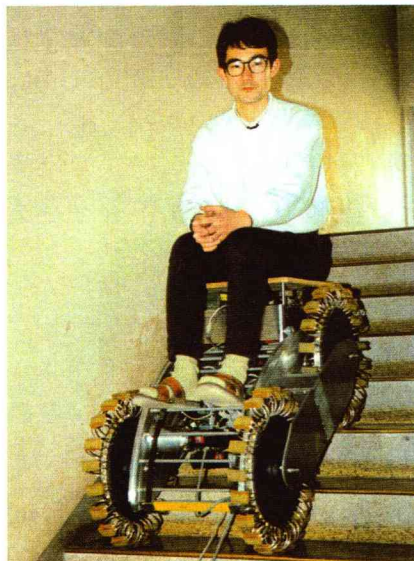
階段昇降車椅子の昇降実験



階段昇降車椅子の昇降メカニズム



階段をグリップするコイルスプリング式駆動輪

広瀬研究室の
階段昇降車椅子

宅事情を考えるとかなり大きい。

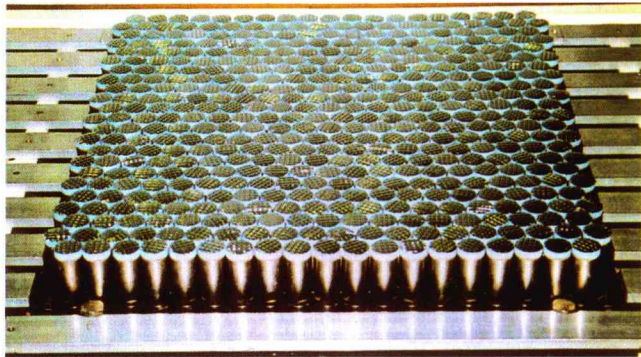
以前本誌の3Kロボット特集 (vol.2 No.5 Techno-scope) で紹介した東京工業大学の広瀬茂男教授の研究室では、ロボット技術を応用した階段昇降式の電動車椅子を開発している。駆動輪を独特なコイルスプリング式にしたもので、平地走行も階段昇降もともに車輪の外周に取り付けられた多数のコイルスプリングの弾力によって車体を支えるようになっている。コイルスプリングには2本にひとつの割合でウレタンゴム製のニップルが取り付けられており、平地ではそれがタイヤのような摩擦力を生む。階段などにさしかかると、コイルスプリングが段をグリップし、車体を支える。座面は円弧状のレールの上を移動することで、水平が保たれるようになっている。4輪で階段をしっかりとグリップするので、安定性がきわめて高いという。

段差を走行できる車椅子の必要性について、米田教授はこんなふうに語る——「最近街でも電動3輪をよく見かけるようになりました。あれが発売された当初は、はたして需要があるのかどうか疑問視されていましたね (重量がかなりあり、

スピードが遅く、バッテリー充電にも時間がかかる)。でも実際に市場に出してみると、予想以上に数が出たようです。脚が悪いために閉じ籠りがちだったお年寄りが、今までより遠出ができるようになるということで、購入に結び付いたんです」脚の



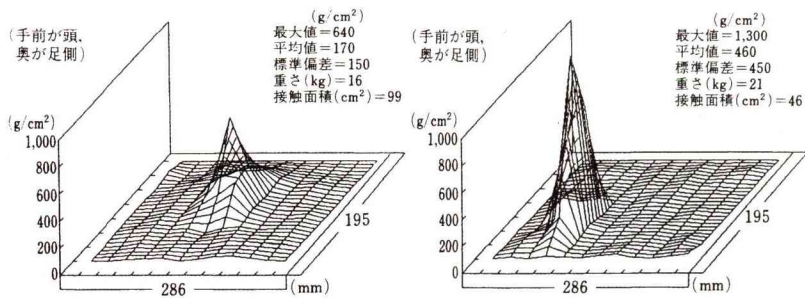
褥瘡予防実験ベッドシステムの外観



ピストンシリンダーがならぶ圧力制御ユニット部分



単体のピストンシリンダー



腰部の圧力分布

痛みや故障に苦しむ高齢者は圧倒的に多い。そして障害者も含め、こうした身体的なハンデが、積極的に外へ出ていくことの精神的なバリアになっていることも否定できないだろう。自分で外出できることの意味は、周囲が考えている以上に当事者にとっては大きい。電動3輪の普及はその証明でもあるというわけだ。そう考えると、階段を自由に乗り越えられる移動装置の意味は大きいものと考えられる。また段差をものともせずに進める脚の代用メカニズムは、寝たきり状態にさせないためにも効果があるといえるだろう。介護者に頼るのではなく、自分の意思で積極的に外出する機会をえることは、自立という観点から、重要な意味をもつはずだからだ。

褥瘡の悩みを解決するために

高齢者、障害者をただ保護するのではなく、自立を助けるという発想は、福祉工学を考える場合に重要なコンセプトになる。しかしやむなく寝たきり生活を強いられるようになってしまった場合、その苦しみや不快をなるべくやわらげてあげるための工夫も必要不可欠であると考えられるだろう。

米田教授が国立リハビリテーションセンターおよびフランスベッドと共同で行った褥瘡^{じょくそう}予防実験ベッドシステムの開発は、寝たきりの人たちにとっての深刻な悩みである褥瘡（床ずれ）予防のノウハウを探る目的で行われた。

褥瘡は寝たきりなどにより長時間圧迫された組織が内部から壊死していくもので、皮膚にできた傷が感染症の原因となるのはもちろん、ひどい場合には大きく開いた孔が骨にまで達してしまい、重傷の傷となることがある。身障者の場合、脊髄損傷者では100%褥瘡経験があるといわれる。寝たきりから車椅子に復帰した後にも、座りっぱなしによって褥瘡ができ、またベッドにもどらざるをえないというケースは少なくないという。車椅子の使用者には2時間に1回、プッシュアップによって体を椅子から持ち上げるように指導されているが、脊髄損傷では身体感覚の一部が麻痺しているため、うっかり忘れてしまい、気づかぬうちに内部から組織が破壊されていることがある。同様に寝たきり高齢者の場合も、感覚が極度に鈍くなっているために褥瘡に悩まされることが多い。

なぜ褥瘡が発生するのかは現在のところ、よく分かっていない。そこで米田教授らは、褥瘡予防実験ベッドシステムによって、まずは褥瘡発生メカニズムを知るために必要なデータ収集をめざした。このシステムは、ベッド面の中央部60cm四方を空洞にし、圧力センサーを内蔵した直径29mmのピストンシリンダーを448本ならべたもので、人がベッドに寝たときの腰部の圧力分布を測定することができ、高い圧力が加わっている部分をコンピュータ制御によって上下動させ減圧することもできるようになっている。

米田教授らはこのシステムを用い、まず寝たときに体（主に腰部）にかかる圧力分布を測定した。その結果、脊髄損傷者では健常者にくらべ、仙骨部（尾底骨の少し上の腰の突端部分で、とくに褥瘡が悪化しやすい部位）に体圧が極端に集中していることが分かった（6ページ図参照）。ただし、ただ強い圧力が加わることだけが褥瘡の原因とは考えがたい。動物実験では肉体の一部を圧迫しているだけでは褥瘡ができることはないことが分かっている。

そこでさらに教授らは身体にさまざまな圧力がかった場合を想定し、身体サーモグラフィ（温度分布測定）によって圧迫される部分の体温（健常者）を測定した。それによると圧迫された身体部位は、はじめ温度が下降し、圧迫が除かれた後は上昇して圧迫前より高くなる。つまり温－冷－過温というパターンを描くことが分かったのである。むしろこの温度変化は血流量に比例したものだと考えられる。米田教授は電気回路に抵抗を付加した場合の電流量にもこれに似たキックバックのパターンが現れることから、体温回復時の測定データを電気回路パターンのモデルにあてはめ、血流量の変化をシミュレート、寝ているときの血流の阻害状態を推測値として割り出した。これによって血流の阻害状態を知るとともに、圧迫によって減少して深い谷を描いた血流量（推定値）が、負荷が除かれた後に急激に上昇してくるパターンもつかめた。

「押しているだけでは褥瘡はできませんから、血流が戻って来るときに、それがどんな悪さをしているのかをつきとめる必要があります」（米田教授）。阪神大震災の時には建物の下敷きになって助け出された被災者が、圧迫部にもどってきた血流により「再還流障害」をおこしてショック死した例が多かった。褥瘡発生のメカニズムにも、それに類するなんらかの生体メカニズムが関わっていることも予想されるという。

現状、褥瘡防止には体圧のかかり方をコントロールする方法のほか、血行をよくするには、振動を与えるなどの方法（バイブレーション式のマッサージ機など）も考えられる。いずれにしても工学的な根拠にもとづいてノウハウを開発していく必要があり、褥瘡のメカニズムの解明とデータの収集をふまえ、今後の研究成果に期待がかかる。

テクノロジーにできること

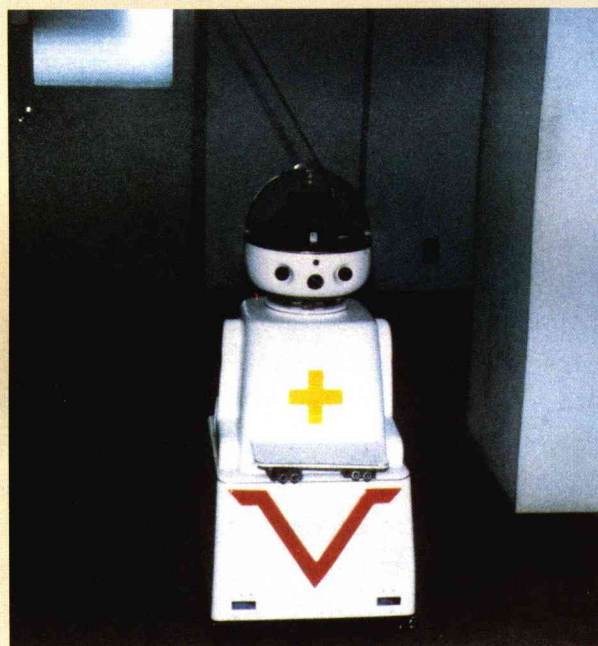
戦争や疫病のない安定した社会を望むなら、「老い」は誰もが避けて通れない道である。そして加齢から死へと向かうことも、生物の運命としては避けられない。老いず、死なず、ということがもし可能になったとしたら、それほど生物種として不健康なことはいないであろうし、また進化の流れから取り残されることも、必然となるだろう。「老い」や「死」は、人という生物種にとっても、やはり避けて通れないものである。

科学技術はこれまで人間にとって快適で文化的な暮らしを実

C O L U M N

写真のかわいらしいロボットは、佐賀大学理工学部の木村一路教授が製作したもので、病院でナースステーションと患者とのコミュニケーションのために使われている。コールがあると、その部屋にロボット君が走っていく。額にはモニターがあり、看護婦さんの顔が映し出されるようになっていて、患者さんからの訴えを聞くことができる。通常のナースコールは声だけで最初のやりとりをする。すばやく駆けつけてくれるこのロボット君はフェース・トゥ・フェースのコミュニケーションを容易にしてくれるというわけだ。導入された病院内では子どもたちに、とりわけ人気が高い。

2000年以降は、家庭にもロボットが入っていくと予想する向きがあるが、こんな愛嬌者のロボット君が仕事を助けてくれれば、家の中の雰囲気も明るくなるかも？



現する道具となってきた。だとすれば「老い」や「死」という人にとって必然の通過点を、快適に、文化的にするために、これを用いることはできないものであろうか。これまで現代医学は確かに救命や延命という側面で絶大な成果を上げてきた。だが、白い部屋に閉じ込められる「老い」や、直前まで裸に剥かれてパイプにつながる現代的な死は、なかなか「人間的」と受けとめにくいことも事実なのではないだろうか。これはむしろ医学上のテクニカルな問題だけではなく、倫理や思想の領域とも関わってくるのかもしれないが、さまざまな物的限界（技術によって改善しうるものという意味で）も、かなりウエイトを占めているのではないだろうか。高齢化社会の到来が科学技術に投げかける試金石として、「老い」や「死」をケアする技術の開発が問われているのかもしれない。

〔取材協力・写真提供：芝浦工大・米田研究室、
東工大・広瀬研究室〕

徘徊老人の居場所をGPSでキャッチ 高齢者保護に応用される デジタル通信技術

痴呆症にかかった老人の場合、もっとも心配なのが、徘徊といわれる行動である。どこという目的地はないのだが、やむにやまれぬ気持ちのうちに外へと足を運び、迷子になってしまう。養護老人ホームなどでは徘徊による行方不明・搜索騒ぎは、年に10件前後にもおよぶという。今、こうした迷子の老人探しにカーナビゲーションでおなじみのGPS技術を適用することが発案され、その開発に期待がかかっている。

GPSと携帯情報通信で位置を特定

「私は今、人生の黄昏を迎えている……」レーガン元アメリカ合衆国大統領は、アルツハイマー型老人性痴呆症に浸潤されていく自らの姿を、こんな言葉で表現した。

1995年度の東京都の調査によると、老人性痴呆症の発症率は、65歳以上で4.1%、85歳以上で19.3%となっている。老人性痴呆には、レーガン氏のようなアルツハイマー型のほかに脳血管性のものがあるといわれるが、85歳を過ぎると5人に1人の確立で、そのいずれかを発症する可能性があるということになるのか。根本的な解決には、医療現場での原因究明と治療法の発達に期待したいが、現状では介護という立場から最善の対応策を考えていくよりほかには方法がない。

痴呆老人には、しばしば徘徊という行動が見られる。家人が目を放したすきに一人で外出し、行方不明になってしまうというものだ。悲惨なケースでは迷子のまま夜を過ごし、凍死し

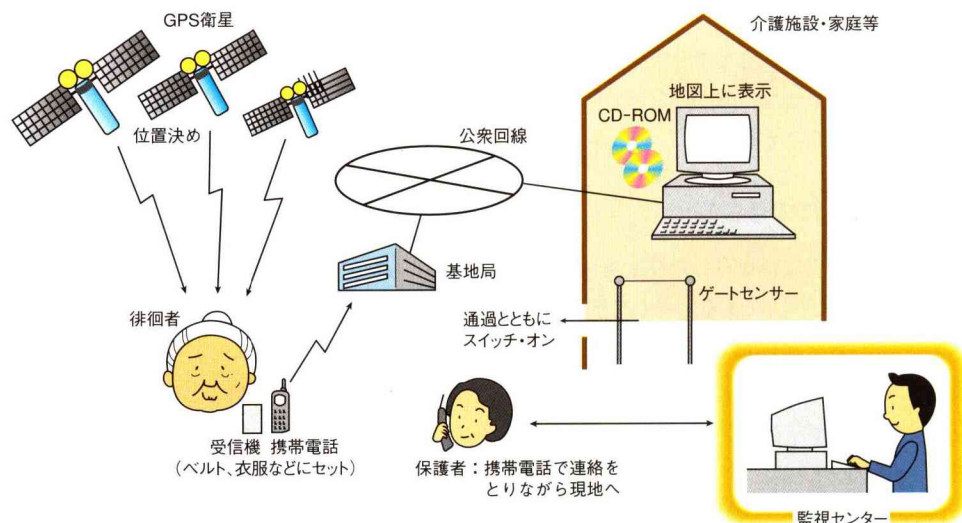
てしまうことなどもある。徘徊にはとくに目的地があるわけではないが、行方不明になると、警察や消防などへの搜索依頼など、おおがかりな事態になってしまうため、介護者である家族の心理的負担も大きい。その結果、本人に外出を禁じたり家の中に閉じ込めたりということにもなりやすい。

NTTデータ通信はこうした徘徊老人の居場所を、カーナビゲーションのシステムを応用してキャッチするシルバー・ナビ探索システム（仮称）を開発している。衛星からのGPS（グローバル・ポジショニング・システム）データをもとに、行方不明になった徘徊者の位置を割り出そうというものである。現状、文庫本大の受信機と携帯電話を本人に持たせる形式をとっている。GPSからの電波を受信機がとらえ、携帯電話を通じてデータ通信を行う、いわゆるモバイル・コンピューティング（移動情報通信）を応用した技術である。

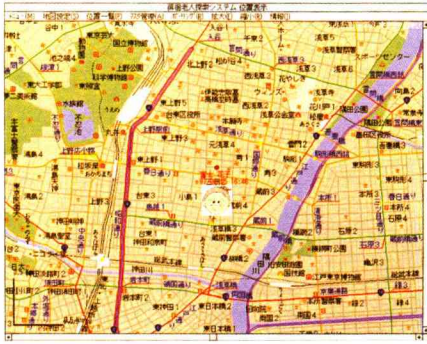
まず携帯装置が出入口に設置されたゲートセンサーを通過すると、パソコンに自動通報され、画面の地図上で現在位置が



システムを装着したところ。ベルトに受信機と携帯電話が下げられ、肩にアンテナが乗せられている。実用にあたっては小型化・一体化がめざされる。モデルはNTTデータ通信の工藤氏（本誌登場）



シルバー・ナビ探索システムのイメージ



徘徊位置表示画面 (1/12500). 赤い点が現在位置



徘徊位置表示画面 (1/6500). 赤い点が現在位置



徘徊軌跡表示画面. 緑の点を結ぶ白線で表示、日付と時刻が表示される

表示される。老人が家を出た瞬間からコンピュータが足跡を追ってくれるわけだ。保護者はその情報をもとに、徘徊者を見つけ出すのだが、その間の活動を、データを共有する監視センターがサポートしてくれるようになっている。徘徊者が電波の届かない場所（地下やトンネルなど）に入り込んでしまうと、居場所の特定ができなくなる可能性があるが、そんな場合には過去の徘徊時の履歴データと最後の消息から、現在位置の推定をするノウハウもシステムには組み込まれている。

実用化・商品化へ向けて試験適用開始

シルバー・ナビ探索システムは、今年の10月から郵政省が群馬県・館林市で試験実施する「ケア・タウン構想」の中のひとつの柱として導入される。同構想はICカードやパソコンネットワークなどのいわゆるハイテクを積極的に高齢化社会に適用するとともに、介護知識・技術を広範に普及させていくための実験的な試みに取り組んでいこうというもの。その一環としてシルバー・ナビ探索システムの実用性の検証が行われる。地元の市養護老人ホームで家族の承認を得て、実際に徘徊の可能性がある老人に着用してもらう予定である。同老人ホームでは年に10件ほど入所者が行方不明になり、職員が捜索に奔走する事件があるという。ここで実用性が検証されるとともに、量産によってコスト問題が解決されれば、一般家庭でも利用できるものが製造可能になる可能性が高くなる。

「実のところ、少なくともあと1～2年の間は商品化が難しいだろうと見ています」（NTTデータ通信(株)第三公共システム事業部医療企画担当部長・下總孝司氏）。現状での第一の課題は携帯システムの小型化にあるという。受信機と携帯電話の両方を常に老人の身体にくくりつけておくのは、たしかに困難が予想される。「将来商品化するとすれば、携帯電話と受信機を一体化してより小型にする必要があるでしょう。またバッテリーもより小型で長時間使えるものにしていかなくてはなりません」（同医療企画担当課長代理・工藤明彦氏）電源には現状単3乾電池が使用されているが、将来はニッケル水素電池など小型でしかも容量が大きいバッテリーを採用する必要があ

ると考えられている。

小型化とともに考慮しなくてはならないのが装着性である。機器が何であるかを理解することができなくなっている老人に、いついかなる時にも外さずにいるように説得することは難しいだろう。「お年寄りひとりひとりの体の動きをよく考慮した装着性をもたせることをこれからは考えていかなければならないと思います」（前出・工藤氏）ベルトの一部として気にならないような大きさに近づけたり、外見をお守り袋にしまうなど、人間工学的な配慮を取り入れていくことも考えられるという。こうした細部にわたる課題や可能性も館林での試験導入で洗い出されることになる。

痴呆老人にとっては、徘徊とされる行為も実は重要な生活上の営みとなっているとの見方が最近では有力になってきている。老人にとって外出を禁じられることは、いわば軟禁状態におかれることを意味している。自立を助ける意味でも、症状を悪化させないためにも、過度のしほりつけは避けるほうがよい。徘徊に出かけたら、その後をついていってあげるのが、本当はいちばんよい対処法なのだともいわれるが、日常生活でずっと目を放さずにいることは難しいし、気をつけていても、ふといなくなってしまうからこそ大騒ぎになる。また痴呆症とまでいなくても、二世帯同居などで住居を移った場合や、親類に引き取られた場合など、慣れない環境に老人が迷子になるケースは案外多い。価格さえ下がれば（試作段階では受信機のみで100万円以上）、こうしたケースにも適用が考えられる。シルバー・ナビの成功が徘徊者本人の安全と介護者の負担軽減につながることを期待したい。

さらにこのシステムは、将来的には徘徊者の保護のみにとどまらず、さまざまな利用方法が考えられるという。たとえばイベント会場などで多数のスタッフや器材の現在位置をつかんだり、小型化・低価格化が進めば子供の迷子対策にも使えるだろう。衛星移動電話（本誌VOL.1 NO.5「話題のプロダクツ」で紹介したイリジウム計画など）が実現すれば、登山者の遭難防止用にも使えるようになるという。

[取材協力：NTTデータ通信]