

平成27年度 日本学術振興会 科学研究費補助金 (研究成果公開促進費)「研究成果公开发表(B)」

第69回 日本人類学会大会

[公開シンポジウム]

歩くことから。
健康への取り組みをはじめ、
つづけるために

講演要旨集

2015年
10月9日 [金] 13:30~16:00

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
臨海副都心センター 別館11階 会議室

主催：日本人類学会

共催：国立研究開発法人 産業技術総合研究所

プログラム・目次

- 13:30-13:35 挨拶
日本人類学会会長 松浦 秀治
(お茶の水女子大学自然人類学研究室)
- 13:35-13:45 シンポジウムの趣旨説明 3
持丸 正明 (産業技術総合研究所 人間情報研究部門)
- 13:45-14:10 高齢者における歩行の意義..... 4
鈴木 隆雄 (桜美林大学 加齢・発達研究所/国立長寿医療研究センター)
- 14:10-14:35 ロコモティブシンドローム
— 高齢者の運動機能低下と生活機能低下との連関 — 8
岩谷 力 (長野保健医療大学)
- 14:35-15:00 センサによる転倒リスク/歩行特徴評価装置の開発 16
小林 吉之 (産業技術総合研究所 人間情報研究部門)
- 15:00-15:25 歩行特徴の見せる化技術で健康生活を支援する 24
須藤 元喜 (花王株式会社 パーソナルヘルスケア研究所)
- 15:25-16:00 パネルディスカッション
持丸 正明 (産業技術総合研究所 人間情報研究部門)

【事務局】

第 69 回日本人類学会大会事務局
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 人間情報研究部門
デジタルヒューマン研究グループ内
e-mail : jinrui69_ml@aist.go.jp

《お知らせとお願い》

1. 写真撮影やビデオ撮影はご遠慮ください。
2. 本要旨集の転載を禁止します。
3. 携帯電話などはマナーモードに設定し、通話はご遠慮ください。

公開シンポジウムの開催趣旨

平成 27 年度日本学術振興会科学研究費補助金
(研究成果公開促進費)「研究成果公開発表 (B)」

第69回 日本人類学会大会 [公開シンポジウム]

「歩くことから。健康への取り組みをはじめ、つづけるために」

日時：2015年 10月 9日 (金) 13:30～16:00

場所：産業技術総合研究所 臨海副都心センター別館 11階 会議室
(東京都江東区青海 2-4-7)

日本人類学会では戦前から、年に1度開催される学術大会にあわせて、一般向けの公開講演会等を開催してきました。人類学・考古学分野の新たな発見や成果の発表は新聞やテレビ等のマスコミによって取り上げられることも多く、社会的な関心が高いこともあり、過去に開催した講演会・シンポジウムには多くの方々にご参加くださっています。

今回の公開シンポジウム『歩くことから。健康への取り組みをはじめ、つづけるために』は、第69回日本人類学会大会に合わせて開催するもので、近年関心が高まっている歩行と健康に関する最新の科学的知見をご紹介します。健康に関する取り組みは、はじめやすいこと、そして、続けられることが重要です。日常的な活動である「歩行」は、はじめやすさという観点で優れているだけでなく、包括的な健康の指標としても優れていることが明らかになってきています。一方で、歩行という日常活動が損なわれると、それに起因してさまざまな健康問題が派生してくる背景も明らかになってきています。

本シンポジウムでは、歩行の重要さとその評価、歩行と高齢化の関係、高齢化予防のための歩行のあり方について、また、今回のシンポジウムは主催が産総研であることから、これらの歩行と健康の科学のみならず、最新のセンシング技術やモデリング技術を活用して個人の歩行特徴や転倒リスクを評価する方法論、さらに、それを実用化したシステムに至るまで、人類学と健康科学、そして産業界の分野横断的な最新知見を、広く公開発信いたします。多くの方々のご来場をお待ちしております。

本シンポジウムは日本学術振興会の平成 27 年度科学研究費補助金 (研究成果公開促進費)「研究成果公開発表 (B)」を受けて開催されます。ここに記して謝意を表します。

第69回 日本人類学会大会長・実行委員長
産業技術総合研究所 人間情報研究部門 部門長

持丸 正明

高齢者における歩行の意義

鈴木 隆雄

桜美林大学 加齢・発達研究所
国立長寿医療研究センター

1. はじめに — 高齢者と歩行 —

言うまでもなく、歩行（特に二足直立歩行）は人間の最も基本的な移動様式であり、それは下肢筋力、関節回転範囲などの運動機能、視覚、固有感覚などの感覚機能が協調して達成される複合的な機能であるが、加齢あるいは老化に伴い歩行機能（能力）は低下する。

すなわち老化による各種運動機能の低下をはじめとして、歩行と密接に関係する筋骨格系の疾患（サルコペニアや変形性関節症等）あるいは神経疾患（脳卒中やパーキンソン病等）の発症により、歩行能力の低下はもとより、易転倒傾向は増加し、高齢者の行動範囲の制限、生活機能の低下、さらには生命予後にも大きな影響を及ぼし、死亡率は増大することが国内外の多数の研究から明らかにされている。

本論では特に高齢者の歩行障害に基づく老年症候群の顕在化や生活機能的化、さらには生命予後に関する最近の研究を紹介するとともに、歩行能力の維持向上による、高齢期の健康増進や転倒・骨折予防、社会参加や社会貢献に向けた科学的根拠の取組等についても紹介したいと考えている。

2. 歩行と加齢

足の接地は踵からはじまり (heel contact)、足底外側部、小指球を経て拇指球から拇指先端で蹴りだす (toe lift off)。この一連の足部の動きを“あおり”という。このように足が体重を支えている時期を立脚時あるいは接地期 (contact phase, stance phase) といい、体重を支えていない時期を遊脚期あるいは離地期 (swing phase) という。

この円滑な歩行を支えているのは足の骨組みによるアーチ構造であり、下腿からの体重を受ける距骨がアーチの頂上となり、踵骨と足の拇指と小指の中足指節関節 (中足骨と指の基節骨との関節) の3点が底部となるアーチ構造である。踵接地時はアーチがつぶれ、踵接地から体重が支持脚前方へ移動する際、アーチの支点から踵から中足指節関節へと移動し、その間にアーチの反発的復元により抜重され、中足指節関節を支点にして強く蹴りだす (アーチをつぶす) わけであり、このときのアーチの反発的復元で重心を前方に強く押しだされる。

加齢によって歩行にかかわるほぼすべての生体力学的運動様式は変化する。それはまず、歩行中の開脚角度が小さくなる。これはそれを決定している股関節の可動域が小さくなることによる。さらに、踵における接地時の“接地時足角度”および蹴りだすときの“離地時足角度”ともに小さくなり、いわば“すり足歩行”へと変容する。そのためもあって必然的に“歩幅”が狭小化し、“歩行スピード”は低下する。

この加齢に伴う歩行の変化をもたらす理由として、今述べた股関節可動域の減少や変形性膝関節症などがあげられるが、そのほか重要な要因としてアーチ構造の変化、すなわち、“土踏まず”の低下による扁平足さらには開張足などのいわば足の老化自体もあげられる。

3. 高齢期における歩行の意義

高齢者が自立した生活を行っていくうえで、移動能力はもっとも重要かつ必要不可欠な能力である。したがって、高齢期における基礎的運動能力

のなかでも歩行能力の加齢変化はとりわけ重要なものとなる。

歩行能力を含む運動能力の特技性は高齢になるにつれて弱まる傾向にあり、筋力、バランスなどの諸能力は歩行速度との相関が高くなる。また、筋力、バランス、歩行速度、手指運動スピードを要素とする高齢者の基礎的運動能力は歩行速度で代表されることができる¹⁾。高齢者の歩行速度は、日常生活や身体の機能、抑うつ状態や健康自己評価を関連しており、老研式活動指標で評価した生活機能を予測できる。さらに、歩行能力の縦断的な加齢変化の研究によれば ADL や能力低下、施設入所、死亡の予測要因となることが知られている。

我が国の代表的な老化研究であり、地域高齢者を対象とした長期縦断的研究、Tokyo Metropolitan Institute of Gerontology-Longitudinal and Interdisciplinary Study on Aging (TMIG-LISA)²⁾からも、歩行能力の重要性が明確に提示されている。すなわち、著者らの研究では高齢者の基礎的運動能力を総合的に把握するために、実測変数として通常歩行速度、最大歩行速度、握力、指タッピング、開眼片脚立、および閉眼片脚立の 6 項目を取り上げている。これらはその上位の概念として、それぞれ“歩行”、“手のパワー”、および“バランス”という 3 つの潜在変数が想定され、それらの総合されたものが“基礎的運動能力”であるというモデルを設定している。このようなモデルを共分散構造分析によって分析してみると、これらの因果係数はいずれも有意な値を示すことが判明した（図 1）。

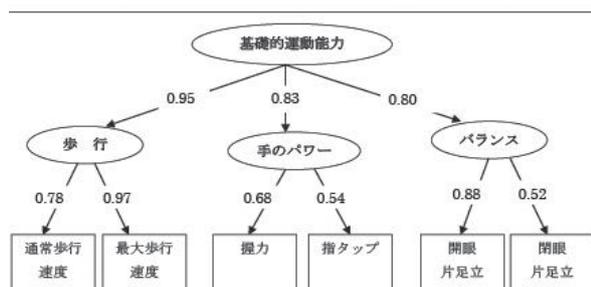


図 1 高齢者における基礎的運動能力（共分散構造分析モデルによる）（文献¹⁾より引用改変）

とくに基礎的運動能力と歩行は 0.95、歩行と最大歩行速度は 0.97 あるいは通常歩行とは 0.78 と高い値を示しており、歩行速度は明らかに極めて有効な指標と推定される。

実際に TMIG-LISA のベースライン（初回調査）で測定された高齢者の最大歩行速度は 5 年後の死亡率や老研式活動能力で測定される手段的 ADL の低下あるいは転倒の有意な予測因子となっていることが報告されている^{3,4,5)}。

4. 歩行障害の原因

運動障害をもたらす原因は多種多様である。年齢に関係なく運動の協調が障害され、その結果として歩行を中心とする随意運動が妨げられる状態であり、中枢神経系にかかわる原因として小脳性失調、感覚性失調（深部感覚伝達系）、および前庭性失調などの障害があげられる。歩行の障害はまたその代表的合併症として、とくに高齢者において転倒・骨折を容易にもたらすことになる⁶⁾。このような高齢者の歩行障害、易転倒性、易要介護状態などをもたらす包括的な概念として、運動器不安定症やロコモティブシンドローム（“ロコモ”）が相次いで提唱されている。“ロコモ”は運動器の障害になり、移動機能（≡歩行能力）の低下した状態であるが、その中核的臨床概念は運動器不安定症ということになる。これは、高齢化によりバランス能力および移動歩行能力に低下が生じ、閉じこもり、転倒リスクが高まった状態と定義され、評価基準として運動機能低下をきたす疾患をもち、①日常生活自立度判定基準ランク J および A（要支援 + 要介護 1、2）、②運動機能評価、開眼片脚起立時間 15 病未満、または移動歩行能力 3m の timed up and go test 11 秒以上とされた（表 1）。

運動機能の測定は、①開眼片脚起立時間、および ② 3m の timed up and go test が選択されている。

<p>運動機能低下をきたす疾患</p> <ul style="list-style-type: none"> ・脊椎圧迫骨折および各種脊柱変形（亀背、高度脊椎後彎・測彎など） ・下肢骨折（大腿骨頸部骨折など） ・骨粗鬆症 ・変形性関節症（股関節、膝関節など） ・腰部脊柱管狭窄症 ・脊髄障害（頸部脊髄症、脊髄損傷など） ・神経・筋疾患 ・関節リウマチおよび各種関節炎 ・下肢切断 ・長期臥床後の運動器廃用 ・高頻度転倒者 <p>機能評価基準</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 日常生活自立度：ランク J または A(要支援+要介護 1, 2) 2. 運動機能：①又は② <ul style="list-style-type: none"> ①開眼片脚起立時間 15秒未満 ②3m timed up and go test 11秒以上 <p>上記の運動機能低下をきたす 11 疾患の既往と罹患と日常生活自立度または運動機能の低下を有する者。</p>
--

表 1 運動器の不安定症の診断

5. 高齢期とサルコペニアと歩行障害

高齢期を迎え、成人期のある時点から潜在的に進行していた筋量や骨量の減少がいつそう進んで顕在化すると、筋肉減少症（サルコペニア；sarcopenia）が出現する。その結果として運動の量と質は徐々に低下して行動範囲は狭まり、骨折や脳卒中などの特別な急性疾患発症がなくともしだいに“動けない”状態に近づくとともに、さまざまなレベルでの日常生活動作能力（activity of daily living：ADL）が、すなわち基本的 ADL から手段的 ADL に至る能力が低下する。このような ADL の低下による要介護状態のリスクの増大化した状態がフレイル（Frailty）と呼ばれている。フレイルでは確実に歩行能力（あるいは移動能力）の低下を伴っており、容易に要支援・要介護の状態へと移行する。

最近このような高齢期におけるサルコペニアやフレイルあるいは易転倒発生に関与するひとつの原因として、血清ビタミン D(25-OH-D) 濃度が注目されるようになった⁷⁾。骨格筋にはビタミン D 受容体（VDR）が分布していることが以前より確認されており、活性型ビタミン D₃ 製剤が筋線維に直接作用し、筋力低下を抑制している可能性が示唆され、ビタミン D 欠乏ではとくに速筋あるいは白筋とよばれる II 型筋線維での萎縮が強く生じることが転倒発生を容易にしていると考えられている。我が国においても大腿骨頸部骨折受

傷女性において血中 25-OH-D が有意に低下し、同時に II 型筋線維が細小化していることが確認されている⁸⁾。

このような血中 25-OH-D 濃度の低下が筋力の低下あるいは筋力の低下に基づく生活機能や身体活動の低下をもたらすとの報告は多い。また、高齢者にビタミン D を投与すると対照群よりも投与群で筋力が優れていたとの報告が多く、我が国でも地域在宅高齢者における血中 25-OH-D と筋力や歩行能力、ひいては転倒発症のリスクとしての重要性を示唆する疫学研究が報告されている^{9),10)}。

6. 歩行能力と生命予後

先述のように高齢期の歩行速度は、日常生活や身体の機能と深く関連しており、また ADL の低下や施設入所さらには死亡の予測因子となることが、多数の研究で知られている。最近、大規模な 9 つのコホート研究から 34,485 名の地域在宅高齢者（65 歳以上）での初回調査での歩行速度の測定から 6～21 年間の追跡データを用いたメタ解析では、男女ともに明らかに歩行速度による死亡率に差の認められることが明らかにされている¹¹⁾。すなわち、例えば 65 歳で歩行速度が遅い（< 0.4m/s）場合の 10 年間の生存割合は男性 53%、女性 58%であり、最も速い場合（≥ 1.4m/s）の各々 93%、87%に比し有意に生存割合が低いことがされている（表 2）。

【参考文献】

- 1) Nagasaki, H. et al.: A physical fitness model of older adults, *Aging (Milano)*, 7(5), 392-397, (1995).
- 2) Suzuki, T. et al.: Walking speed as a good indicator for maintenance of I-ADL among the rural community elderly in Japan: A 5-year follow-up study from TMIG-LISA, *Geriatrics & Gerontology International*, 3, 56-14, (2003).
- 3) Shinkai, S., Watanabe, S., Suzuki, T. et al.: Walking speed as a good predictor for the onset of functional dependence in Japanese rural community population, *Age and Aging*, 29, 441-

Original Contribution | January 5, 2011

Gait Speed and Survival in Older Adults FREE

Stephanie Studenski, MD, MPH; Subashan Perera, PhD; Kushang Patel, PhD; Caterina Rosano, MD, PhD; Kimberly Faulkner, PhD; Marco Inzitari, MD, PhD; Jennifer Brach, PhD; Julie Chandler, PhD; Peggy Cawthon, PhD; Elizabeth Barrett Connor, MD; Michael Nevitt, PhD; Marjolein Visser, PhD; Stephen Kritchevsky, PhD; Stefania Badinelli, MD; Tamara Harris, MD; Anne B. Newman, MD; Jane Cauley, PhD; Luigi Ferrucci, MD, PhD; Jack Guralnik, MD, PhD

JAMA. 2011;305(1):50-58. doi:10.1001/jama.2010.1923.

Table 2. Five- and 10-Year Survival in Men and Women by Age and Gait Speed Group

Gait Speed, m/s	5-Year Survival (95% CI), % ^a						10-Year Survival (95% CI), %					
	Men			Women			Men			Women		
	Age 65-74	Age 75-84	Age ≥85	Age 65-74	Age 75-84	Age ≥85	Age 65-74	Age 75-84	Age ≥85	Age 65-74	Age 75-84	Age ≥85
Speed <0.4	68 (47-82)	60 (38-76)	25 (15-36)	80 (71-86)	69 (58-78)	47 (40-54)	56 (23-80)	15 (4-33)	8 (3-18)	58 (46-69)	35 (24-47)	11 (5-19)
≥0.4 to <0.6	77 (72-81)	57 (49-64)	31 (24-39)	88 (85-90)	75 (68-80)	61 (50-70)	53 (41-64)	23 (15-31)	6 (3-11)	67 (61-72)	42 (36-48)	18 (9-30)
≥0.6 to <0.8	79 (74-83)	65 (57-71)	49 (35-61)	91 (89-93)	82 (78-86)	74 (69-78)	57 (52-62)	31 (24-38)	11 (3-28)	74 (71-77)	52 (46-57)	23 (18-28)
≥0.8 to <1.0	85 (82-88)	75 (69-79)	54 (43-64)	93 (91-95)	89 (86-91)	73 (59-83)	67 (62-71)	43 (36-50)	14 (7-25)	80 (75-83)	62 (56-68)	39 (22-56)
≥1.0 to <1.2	90 (85-93)	83 (76-87)	68 (57-77)	96 (94-98)	91 (87-94)	61 (35-79)	69 (63-74)	53 (46-59)	50 (6-94)	86 (82-89)	73 (70-77)	33 (13-54)
≥1.2 to <1.4	93 (86-96)	85 (79-89)	62 (46-74)	96 (94-97)	93 (87-96)	67 (5-95)	75 (40-91)	51 (16-78)	NE	83 (38-96)	80 (72-86)	NE
Speed ≥1.4	95 (89-97)	93 (86-96)	91 (51-99)	97 (94-99)	95 (72-99)	NE	93 (81-98)	50 (6-84)	NE	87 (71-95)	92 (71-98)	NE
All gait speeds	87 (82-91)	74 (65-81)	46 (39-53)	93 (91-94)	84 (80-87)	64 (58-70)	62 (58-66)	36 (30-42)	10 (8-13)	77 (71-82)	54 (46-60)	22 (15-29)

Abbreviations: CI, confidence interval; NE, not estimable due to small number of participants in categories.
^aSurvival estimates are derived from individual study Kaplan-Meier survival estimates that are pooled across studies using random-effects models with inverse variance weighting.

Copyright ©2015 American Medical Association

表 2

446, (2000).

4) Ishizaki, T., Watanabe, S., Suzuki, T. et al.: Predictor for functional decline among nondisabled older Japanese living in a community during a 3-year follow-up, Journal of the American Geriatrics Society, 48, 1424-1429, (2000).

5) Suzuki, T. and Shibata, H.: An introduction of The TMIG-LISA (1991-2001), Geriatrics & Gerontology International, 3, S1-4, (2003).

6) Suzuki, T., Kim, H., Yoshida, H. et al.: Randomized controlled trial of exercise intervention for the prevention of falls in community-dwelling elderly Japanese women, Journal of Bone and Mineral Metabolism, 22, 602-611, (2004).

7) Pfeifer, M. and Minne, HW.: Vitamin D and hip fracture, Trends in Endocrinology and Metabolism, 10, 417-420, (1999).

8) Sato, Y., Inoue, M., Higuchi, I. et al.: changes in the supporting muscles of the fractured hip in elderly women, Bone, 30, 325-330, (2002).

9) Suzuki, T., Kown, J., Kim, H. et al.: Low serum 25- hydroxyvitamin D levels associated with falls among Japanese community - dwelling elderly. Journal of Bone and Mineral Research, 23(8), 1309-1317, (2008).

10) Shimizu, Y., Kim, H., Suzuki, T. et al.: Serum 25- hydroxyvitamin D level and risk of falls in

Japanese community- dwelling elderly women: a 1-year follow-up study. Osteoporosis International, (Published online a head of print, April) , (2015).

11) Studenski, S., Perera, S., Patel, K. et al.: Gait speed and survival in older adults, JAMA, 305, 50-58, (2011).



鈴木 隆雄 (Takao SUZUKI)

桜美林大学 大学院教授、加齢・発達研究所 所長、国立長寿医療研究センター 理事長（総長）特任補佐

1976年 札幌医科大学医学部卒業、1982年 東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。

札幌医科大学助教授、東京都老人総合研究所副所長、国立長寿医療研究センター研究所長等を経て、2015年より現職。理学博士。著書は「超高齢社会の基礎知識」（講談社 現代新書）他多数

ロコモティブシンドローム

— 高齢者の運動機能低下と生活機能低下との関連 —

岩谷 力 長野保健医療大学

1. はじめに 超高齢社会における健康課題

高齢化は世界的に進行している。我が国においては、2025年には団塊世代が75歳を越え、人口の30%を占める超高齢社会となる¹⁾。2013年における日本の平均寿命は、男性が80.21歳、女性が86.61歳²⁾で、今後さらに伸びると予想されている。75歳以上の高齢者は、虚弱（病気に罹りやすく、運動能力、生活活動能力が低下）である。病気を治療して寿命を伸ばすのみならず、虚弱であっても、日常生活が自立している生存期間（健康寿命）を延伸することが、個人、家族、社会にとって重要な課題となっている。

2. 健康とは

健康は、国際保健機関（WHO）により「病気ではないとか、弱っていないということではなく、肉体的にも、精神的にも、そして社会的にも、すべてが満たされた状態にあること」と定義されている³⁾。高齢者の健康とは、心身の生理的機能が維持され、生活機能（食事、整容、入浴、移動、家事、買い物、付き合い、余暇などの日常生活活動を遂行する能力）が維持されることが、健康と考えることができる。健康で長寿を全うすることが、個人にも、家族にも、社会にも望ましい状態であることから、健康な状態での生存期間（健康寿命）を伸ばすことが国家の健康目標とされている。健康寿命の指標としては、「日常生活に制限のない期間の平均」、「自分が健康であると自覚している期間の平均」、「日常生活動作が自立している期間の平均」、「介護を必要としない期間」などがある。平成25年度厚生労働科学研究費補助金による「健康日本21（第二次）の推進に関する研究班」では、国民生活基礎調査データを用い

て、「日常生活に制限のない期間の平均」、「日常生活動作（起床、衣服着脱、食事、入浴など）の制限がない期間の平均」、「日常生活に制限のある期間の平均」を計算し、2010年の「日常生活動作に制限がない期間の平均」は男70.42年、女73.62年、「日常生活に制限のある期間の平均」は男9.22年、女12.77年と報告している⁴⁾（図1）。

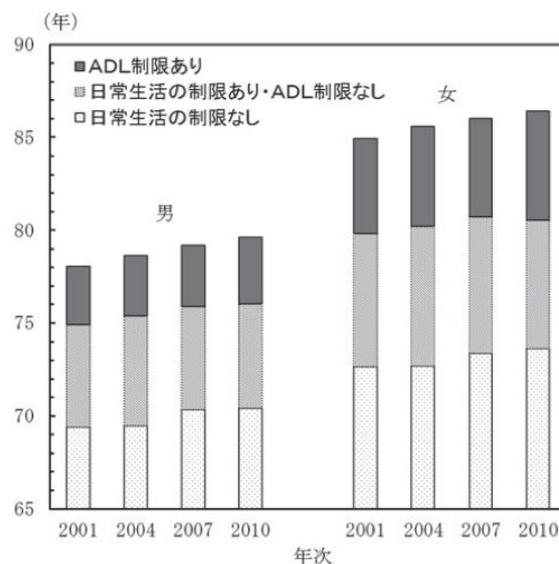


図1 日常生活に制限のある期間、ない期間

健康を二分法（病気か病気でないか）ではなく、生活活動制限の有無を加えた視点からとらえることが必要である。ヒトの行動(functioning)には、身体の(健康)状態、心身機能、生活活動、社会的活動と個人的、環境的要因が関係する。その関連性をWHOは国際生活機能分類(International Classification of Functioning, Disability and Health)としてモデル化している⁵⁾（図2）。

病気は、身体の生命機関としての不調であり、

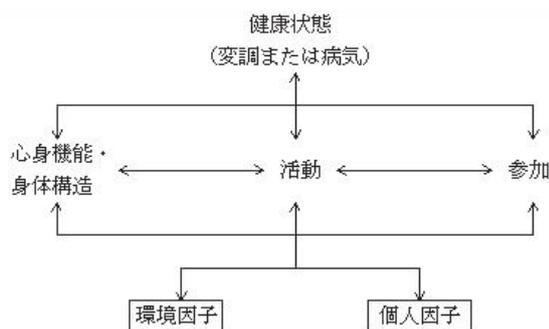


図 2 International Classification of Functioning (ICF) の構成要素間の相互作用

病気により、心身機能（心臓、脳、消化吸収、手足など臓器・器官の働き）が低下し、日常生活活動（食事、整容、移動、家事、外出など）が制限を受け、社会活動（交際、通学、職業、余暇活動など）への参加が制約を受ける。高齢者の生活機能の維持された状態をできる限り長くすることが、健康課題となっている。そのためには、病気（身体の臓器の異常）のみならず、生活、社会、環境にも配慮が必要となっている。

3. 運動器の健康

身体活動量（家事、仕事などを含む）が多い人や、運動習慣がある人は、総死亡、虚血性心疾患、高血圧、糖尿病、肥満、骨粗鬆症、結腸がんなどの罹患率や死亡率が低く、高齢者においても歩行など日常生活における身体活動が、寝たきりや死亡を減少させる効果のあることが示されている⁶⁾。身体活動とは、身体を運動させ、生活活動、社会活動を行うことである。身体運動は、筋肉の活動により身体部分（頭部、四肢、体幹）が空間内で位置を変えることを言う。身体運動に関与する骨、関節、靭帯、筋肉、神経、血管などの器官を運動器と言う（図 3）。

我々は、身体運動を組み合わせ、動作（起き上がる、立ち上がる、歩く、つまむ、握る、投げるなど）を行い、動作を組み合わせ、日常生活活動（移動、洗面、着衣、食事、家事、買い物、仕事など）を行っている。身体運動を起こす筋肉のエネルギーは、心臓から拍出される血液により運搬される酸素とブドウ糖などのエネルギー源に

より供給される。心臓と肺の機能（心肺機能）により全身に酸素を供給される。

身体活動、身体運動を行うためには、運動器の健康状態が保たれ、運動に必要なエネルギーが全身に供給される心肺機能が維持されていることが必要である。高齢者の運動器傷病は年齢とともに増加する。

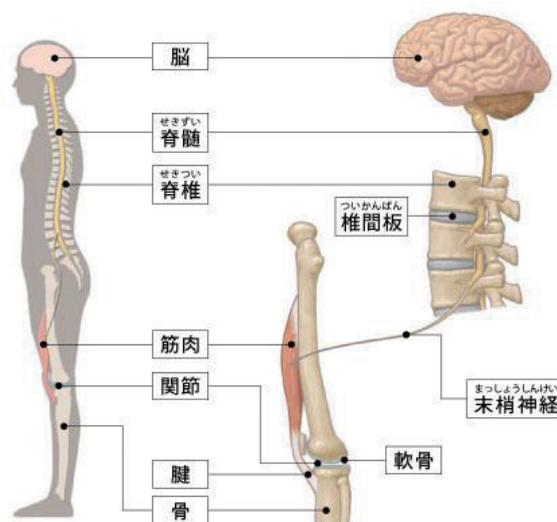


図 3 運動器のしくみ（日本整形外科学会⁷⁾）

4. 高齢者の身体の訴え（有訴者率）

運動器の症状を訴える高齢者が多い。平成 25 年国民生活基礎調査によると、病気やけが等で自覚症状のある高齢者（有訴者）は、人口千に対し、男は 276.8、女は 345.3 であり、男では「腰痛」での有訴者率が最も高く、次いで「頻尿」、「きこえにくい」、「手足の関節痛」、女では「腰痛」が最も高く、次いで「手足の関節痛」、「肩こり」、「目のかすみ」となっている⁸⁾（図 4）。

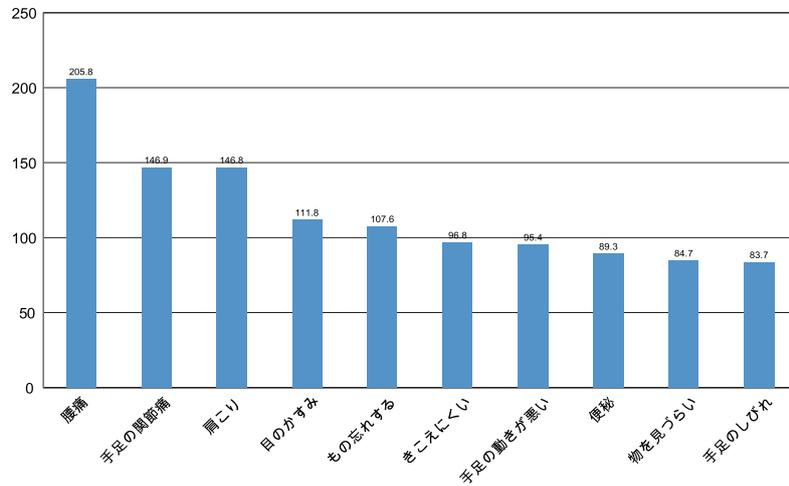
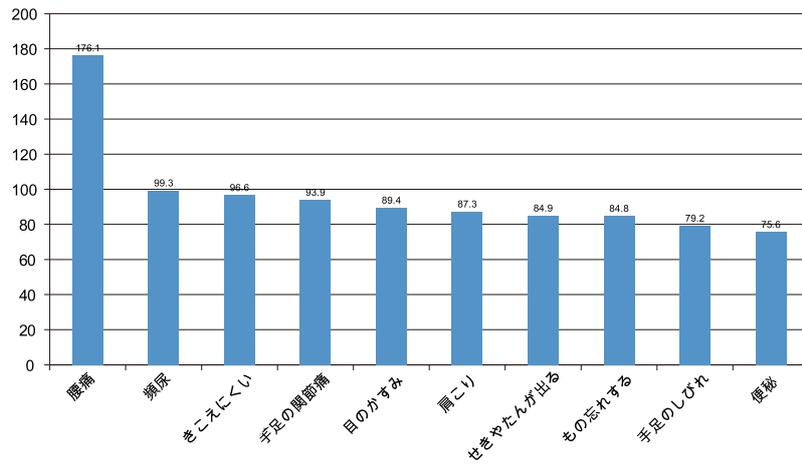


図4 人口千対有訴者率。上：男性，下：女性

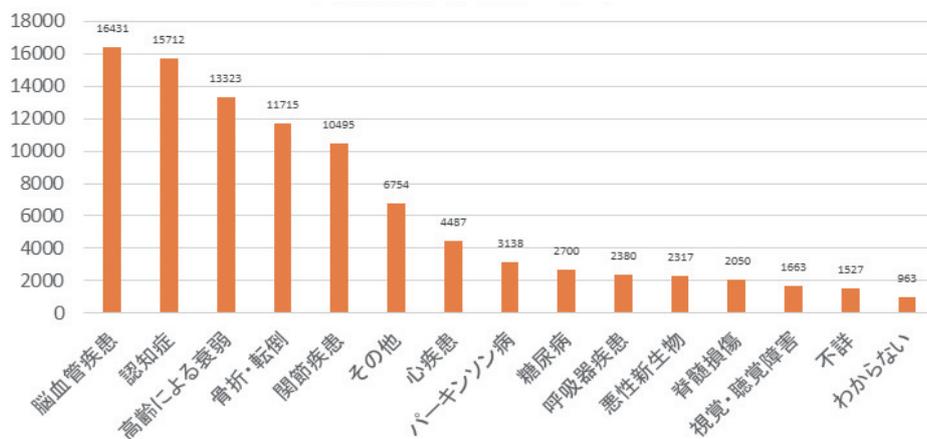


図5 要介護原因疾患人数（介護を要する者数10万対）

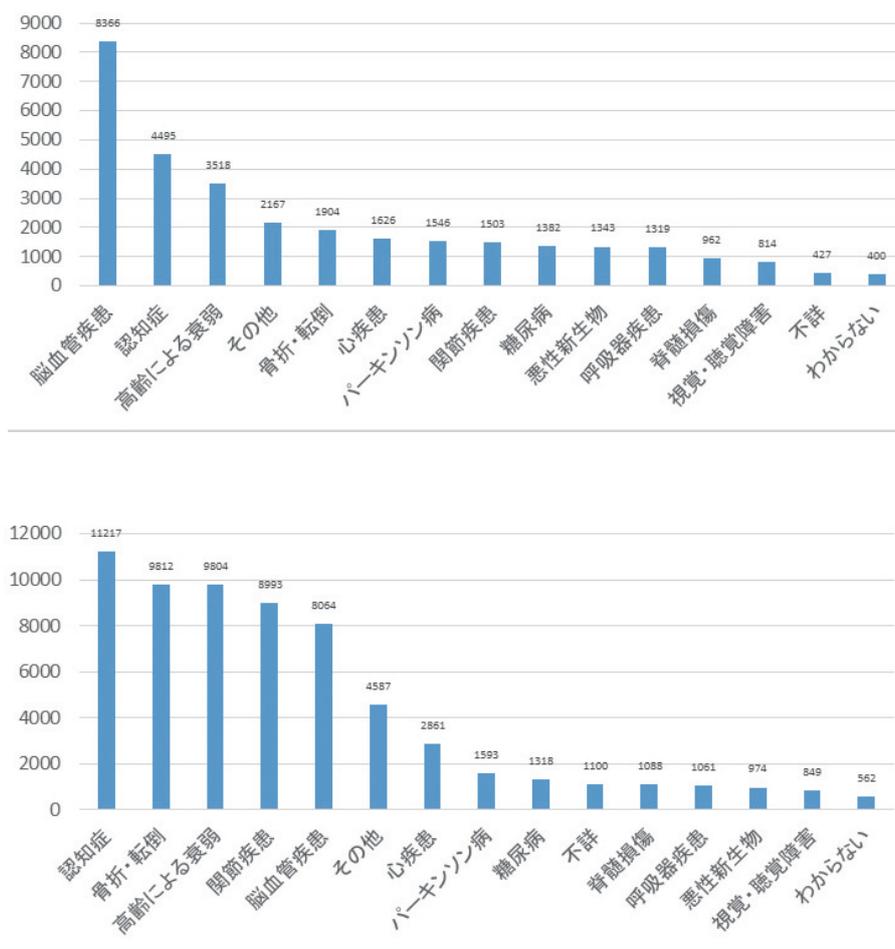


図 6 要介護原因疾患人数 男女別 (介護を要する者数 10 万対)
上：男性，下：女性

5. 要介護の原因としての運動器の傷病

高齢者に多い運動器のけがは骨折、疾患は骨粗鬆症、変形性関節症、変形性脊椎症である。高齢者の骨折は、骨粗鬆症に関連して起こり、大腿骨頸部、脊椎椎体、上腕骨近位部、手関節に多い。大腿骨頸部・転子部骨折は 2007 年に全国で約 15 万例発生していた。女性に多く、年齢とともに発生率が上昇し、人口 1 万人当たりの発生率は、90 歳以上で男 146.62，女 313.58 であった⁹⁾。

レントゲン写真で診断される高齢者の運動器疾患の頻度は変形性膝関節症が 2,500 万人、変形性腰椎症が 3,790 万人、大腿骨頸部の骨粗鬆症が、1,070 万人と推計されている¹⁰⁾。

運動器の傷病（けが及び疾患）は、要介護状態

の原因疾患としても重要である。平成 25 年国民生活基礎調査によると、介護が必要となった原因疾患の第一位は脳卒中であり、次いで、認知症、高齢による衰弱、転倒骨折、関節疾患と続く。運動器の傷病（転倒・骨折、関節疾患）により介護が必要となった者数は、介護が必要となった者数 10 万に対し、22,723 で、脳卒中の 18,456 を超える¹¹⁾。

男女別に見ると、男性では、脳血管障害、認知症、高齢による衰弱、その他、骨折・転倒の順に多いが、女性では、認知症、転倒・骨折、高齢による衰弱、関節疾患、脳血管障害の順となる。女性において、運動器疾患が要介護の原因となる頻度が高いことがわかる（図 6）。

6. 運動器の健康増進：運動器機能低下の早期発見と予防—ロコモティブシンドローム

運動器の老化、運動器の傷病が要介護状態と関係していることが強く推測されることから、日本整形外科学会はロコモティブシンドロームという概念を提唱し、運動器の機能低下、疾患の予防、早期発見運動を展開している^{12),13)} (図7)。ロコモティブシンドロームとは、2009年に「運動器の障害による要介護の状態や要介護リスクの高い状態」として定義され¹⁴⁾、2014年に「運動器の障害による移動機能の低下した状態」と変更されている。健康寿命の延伸に貢献する運動器疾患対策は、運動器の傷病に起因する要介護状態となるリスクのある人を早期に発見し、運動機能の維持を図るとともに、すでに要介護状態にある人の機能低下、生活活動の制限 (disability: 障害) の重症化を防止することにある¹⁵⁾。

ロコモティブシンドローム早期発見のために、7つの動作からなるロコモチェック、2つの運動機能テストと25問の質問表 (ロコモ25) からなるロコモ度テストが提唱されている¹³⁾。

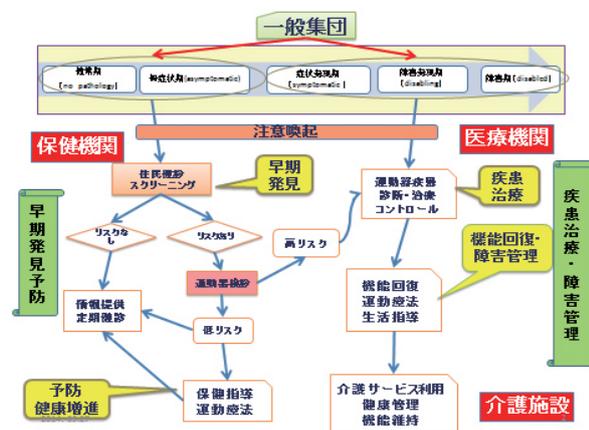


図7 運動器の傷病に対する対策 (文献15より)

7. 運動器疾患を持つ高齢者の障害化過程

筆者らは、運動器の傷病が、要介護状態となる過程と関連要因を検討し、要介護状態にある運動器疾患を持つ高齢者の生活機能、社会機能を維持・向上を図る方策を探るためにLDP study(厚生労働科学研究 (H21 - 長寿 - 一般 - 006) 「運動器

疾患の発症及び重症化を予防するための適切な口トコール開発に関する調査研究」)を行った。

全国の5カ所の整形外科診療施設ならび併設介護施設 (会津若松、東京都江戸川区、浜松市、広島市、中津市) において、65歳以上の314名の運動器疾患患者を対象とし、病歴、運動器治療の状況、環境、転倒・骨折歴、認知、情緒、感覚障害、運動器機能 (関節可動域、徒手筋力テスト、神経症状)、動作能力テスト (開眼片脚起立時間、握力、下肢伸展力、体前屈テスト、100歩足踏み時間)、痛み (腰痛、臀部痛、大腿部痛、膝痛) ならびに生活機能に関する質問 (ロコモ25, 表1) など392項目の測定を半年毎に4回繰返し行った。

ロコモ25は、運動器疾患に関連する日常生活活動の不自由さ、痛みなど25問の質問に自記式で回答する質問表である^{16),17)}。各設問に5段階 (0~4) に段階づけられた回答肢が選択され、各設問への回答総点 (0~100) により生活活動の不自由度が評価される。

表1 ロコモ25

設問	選択回答肢	
1 頸・肩・腕・手のどこかに痛みがある	1. 痛くない 2. 少し痛い	
2 背中・腰・お尻のどこかに痛みがある	3. 中程度痛い	
3 下肢のどこかに痛みがある	4. かなり痛い 5. ひどく痛い	
4 普段の生活でからだを動かすのが辛い	1. 辛くない 2. 少し辛い 3. 中程度辛い 4. かなり辛い 5. ひどく辛い	
5 ベッドや寝床から起きたり、横になったりするのが困難である	1. 困難でない 2. 少し困難 3. 中程度困難 4. かなり困難 5. ひどく困難	
6 腰かけから立ち上がるのが困難である		
7 家の中を歩くのが困難である		
8 シャツを着たり脱いだりするのが困難である		
9 スボンやパンツを着たり脱いだりするのが困難である		
10 トイレで用足をするのが困難である		
11 風呂で身体を洗うのが困難である		
12 階段の昇り降りが困難である		
13 急ぎ足で歩くのが困難である		
14 外に出かけるとき、身だしなみを整えるのが困難である		
15 休まずにどれぐらい歩くことができるか		1. 2-3km以上 2. 1km程度 3. 300m程度 4. 100m程度 5. 10m程度
16 隣・近所に外出するのが困難である		1. 困難でない 2. 少し困難 3. 中程度困難 4. かなり困難 5. ひどく困難
17 2kg程度の買い物をして持ち帰るのが困難である		
18 電車やバスを利用して外出するのが困難である		
19 家の軽い仕事に困難である		
20 家のやや重い仕事に困難である		
21 スポーツや踊りが困難である		
22 親しい人や友人との付き合いを控えている	1. 控えていない 2. 少し控えている 3. 中程度控えている 4. かなり控えている 5. 全く控えている	
23 地域での活動やイベント、行事への参加を控えている	1. 不安はない 2. 少し不安 3. 中程度不安 4. かなり不安 5. ひどく不安	
24 家の中で転ぶのではないかと不安である		
25 先行き歩けなくなるのではないかと不安である		

LDP study の参加者は、65 歳以上の高齢者で、整形外科専門医により運動器疾患の診断をうけ、運動器症状があり、体幹下肢に痛みを有し、運動機能が低下した者で、過半数が医師により要介護リスクがあると判定されていたことから、この集団は日整会の提唱したロコモティブシンドロームの定義に合致すると考えられた。

ロコモ 25 スコア（総点）は、医師が判定した要介護リスク、股関節屈曲制限、腸腰筋、大腿四頭筋、前脛骨筋、下腿三頭筋の筋力低下、下腿の感覚低下、臀部痛、大腿痛（大腿後面の痛み）、膝痛と有意な関連性が認められた。さらに上記の 6 運動器症状の症状数、腰背部痛、臀部痛、大腿痛、膝痛の痛みの部位数とも有意な相関が認められ、ロコモ 25 スコアの高い群では症状数、痛みの部位数が多かった¹⁸⁾。また、LDP Study の参加高齢者の多くは、複数の疾患を持ち、症状が多彩で、運動機能が低下し、速足歩行、階段昇降、長距離歩行などが困難で、身辺処理動作が困難となり、家事、社会活動参加に困難さを感じている存在であった¹⁹⁾。運動機能の低下により生活活動に困難性が増す過程（障害化課程）は、痛み、スポーツ活動、重い家事、買い物、イベント参加、起居動作、親しい人との付き合い、公共交通機関の利用、身辺処理の順で困難となることが明らかとなった。これらの解析結果から、ロコモティブシンドロームの障害を伴った状態の臨床像は、複数の運動器疾患があり、複数部位に痛みがあり、体力（握力低下）、下肢伸展力低下、バランス機能低下など運動機能低下があり、移動のみならず、身辺処理動作にいたる日常生活活動に困難性が認められ、従来の変形性膝関節症、骨粗鬆症、変形性脊椎症などの単独疾患モデルではとらえきれない状態であり、ロコモ 25 により、その生活機能障害の重症度を段階的に評価できることが示された²⁰⁾。

要介護リスクのあるロコモティブシンドロームの状態に対する介入は、注意を喚起し、早期にリスクに気づき、運動の習慣化を促す啓発活動である。要介護状態にあるロコモティブシンドロームに対しては、身体機能の維持・向上、障害の重

症化予防が必要である²⁰⁾。大腿四頭筋筋力増強、ラバー体操、ストレッチ、ダイナミックフラミンゴ体操などの運動介入により、6 か月の経過で起き上がり動作、立ち上がり動作、屋内歩行、公共交通機関の利用などの困難性を改善することが報告されている²¹⁾。

ロコモティブシンドロームは、運動器傷病により運動機能が低下し、生活活動に不自由（障害）が生じた状態である。この状態は、従来の変形性膝関節症、変形性腰椎症、骨粗鬆症などの単一疾患モデルでは説明ができない状態である。その治療戦略は、予防、疾患コントロール、障害（日常生活活動制限）の予防と重症化防止である。このような治療戦略には、予防医学、治療医学、リハビリテーション治療、生活支援を含めた福祉的介入が必要である。

【参考文献】

- 1) 内閣府：平成 25 年版高齢社会白書，(2013).
- 2) 厚生労働省：平成 25 年簡易生命表，(2014).
- 3) 日本 WHO 協会：健康の定義について，(2015/7/1 確認)
<http://www.japan-who.or.jp/commodity/kenko.html>
- 4) 橋本修二，川戸美由紀，尾島俊之：健康寿命の指標化に関する研究—健康日本 21（第二次）等の健康寿命の課題—，厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業）分担研究報告書，(2013).
- 5) 厚生労働省：国際生活機能分類—国際障害分類改訂版—（日本語版），(2002).
- 6) 厚生労働省：健康日本 21（身体活動・運動），(2015/7/1 確認)
http://www1.mhlw.go.jp/topics/kenko21_11/b2.html#A21
- 7) 日本整形外科学会：運動器のしくみ，(2015/7/1 確認)
<http://www.joa.or.jp/jp/public/about/locomotorium.html>
- 8) 厚生労働省：平成 25 年国民生活基礎調査 3 健康票第 2 巻第 77 表，(2014).
- 9) 日本整形外科学会，日本骨折治療学会：大腿骨頸部/転子部骨折診療ガイドライン改訂第 2 版，南江堂，(2011).
- 10) Yoshimura, N., Muraki, S., Oka, H. et al.:

Prevalence of knee osteoarthritis, lumbar spondylosis and osteoporosis in Japanese men and women: the research on osteoarthritis/osteoporosis against disability study, *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, 27, 620-628, (2009).

11) 厚生労働省：平成25年国民生活基礎調査4介護票第2巻第16表, (2014).

12) 泉田良一：ロコモ啓発活動戦略について：ロコモ チャレンジ! 推進協議会活動報告 (シンポジウム ロコモティブシンドローム：概念と操作定義に基づく治療戦略), *日本整形外科学会雑誌*, 88, 750-756, (2014).

13) 泉田良一：ロコモ度テストの展開, *日本整形外科学会雑誌*, 89, 376-382, (2015).

14) 中村耕三：ロコモティブシンドローム (運動器症候群) —超高齢社会における健康寿命と運動器—, *日本整形外科学会雑誌*, 83, 1-2. (2009).

15) 岩谷力：運動器疾患の高齢者の健康へのインパクト, *Monthly Book Orthopaedics*, 27, 1-10, (2011).

16) 星野雄一, 星地亜都司, 岩谷力, 赤居正美, 飛松好子, 土肥徳秀：ロコモティブシンドローム診断ツール (足腰25) の開発：運動器不安定症 (マーズ) との対比, *運動療法と物理療法*, 20, 311-318, (2009).

17) Seichi, A., Hoshino, Y., Doi, T., Akai, M., Tobimatsu, Y. and Iwaya, T.: Development of a screening tool for risk of locomotive syndrome in the elderly: the 25-question Geriatric Locomotive Function Scale, *Journal of Orthopaedic Science*, 17, 163-172, (2012).

18) 岩谷力, 土肥徳秀, 中村耕三, 赤居正美, 飛松好子, 星野雄一, 星地亜都司：ロコモティブシンドロームの操作的定義, *日本整形外科学会雑誌*, 88, 731-738, (2014).

19) 岩谷力, 赤居正美, 土肥徳秀：ロコモは鶴か, *Bone Joint Nerve*, 4, 393-401, (2014).

20) 岩谷力, 赤居正美, 土肥徳秀：ロコモティブシンドロームの疾患概念, *日本整形外科学会雑誌*, 89, 365-372, (2015).

21) 飛松好子：ロコモの臨床像と重症化過程, *Bone Joint Nerve*, 4, 467-472, (2014).



岩谷 力 (Tsutomu IWAYA)

1968年東京大学医学部卒。医学博士。

自治医科大学助教授、日本大学医学部助教授、東北大学大学院医学系研究科肢体不自由学分野教授を経て、2004年国立障害者リハビリテーションセンター更生訓練所長、2008年同総長。

2011年国際医療福祉大学大学院副大学院長。

2015年4月長野保健医療大学学長。

センサによる転倒リスク／ 歩行特徴評価装置の開発

小林 吉之 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
人間情報研究部門

1. はじめに

現在我々は、個々人の転倒の発生リスク（以下、転倒リスクと記す）を歩くだけで評価でき、その結果をフィードバックすることによってユーザが様々な健康増進策を「はじめる」、「つづける」ことができるようにするための転倒リスク評価装置を開発している。本稿ではこれまで行ってきた研究開発の変遷と、開発した装置を用いた今後の展望について紹介する。

2. 先行研究と我々の立ち位置

転倒については世界中で様々な研究が進められている。それらの中には、転倒するリスクを減少させるための具体的な対策についての研究も数多くあり、運動介入プログラム¹⁻³⁾や、手軽に身に着けられる装具⁴⁻⁵⁾などの効果が報告されている。しかし運動習慣のある者は全体の3割から4割程度である⁶⁾という報告などを鑑みると、上記のような効果的な対策を「はじめる」もしくは「つづける」ことができていない可能性が指摘できる。実際、厚労省や東京消防庁からの報告をまとめると、転倒に伴う死亡事故や救急搬送人数は依然として増加傾向にあることがわかる⁹⁻²⁰⁾ (図1)。このような背景をうけ、転倒リスクを減少させることが示されている上記のような対策を、「はじめる」もしくは「つづける」ことができるようにするための支援技術を開発することを我々の立ち位置とし、2010年度から研究開発を開始した。

3. 歩行評価装置の開発

科学的な効果が示されている運動介入プログラムを継続できず、ドロップアウトした者の特徴を調べた先行研究によると、このような者は、同様

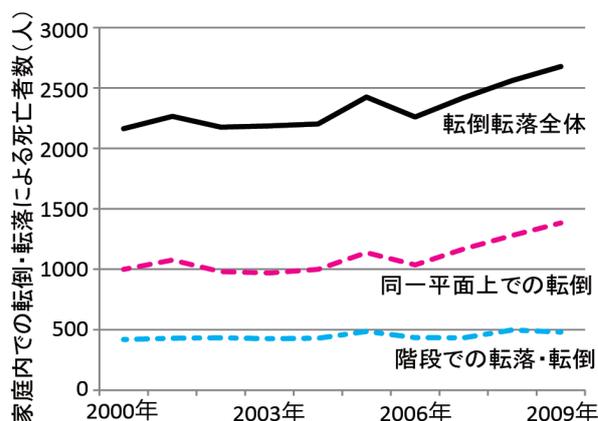


図1 家庭内での転倒による死亡者数の推移（上段）と転倒による救急搬送人数の推移（下段）

のプログラムを継続できた者に比べて以下のような特徴があることが報告されている：介入の必要性を感じていない²¹⁾、セルフエフィカシーが低い²²⁻²⁷⁾、効果に対する期待が薄い²²⁾、周囲のサポートが少ない²⁷⁻²⁸⁾。このような傾向は、情報技術を用いれば、例えば、介入の必要性を感じていない者に対しては、個々人の状態を簡単に評価できるようにする、セルフエフィカシーが低い者に対しては、できていることがわかるようにする、効果に対する期待が薄い者に対しては、他者と比較できるようにする、そして周囲のサポートが少ない者に対しては、いつでもサポートできるように身に着けられるようにする、もしくはネットワークを介して他者と繋がれるようにするなど、比較的容易に補うことができる可能性が考えられる。そこで我々はこれらを実現するための方法と装置を開発することとした。

3.1 つまずきリスク評価装置の開発（2011 年度）

—個々人の状態を簡単に評価できるようにする—

本研究を開始した 2011 年度は、誰もが容易に転倒リスクを測ることができ、それによって介入の必要性を実感してもらえるような装置を開発することとした。

開発当時、類似の研究として、“足部もしくは下腿部に装着した加速度センサ”によって、歩行中のつまずきやすさを表す指標として知られている最少つま先クリアランス（Minimum Toe Clearance, 以下 MTC と記す）を推定し、ユーザにフィードバックするという装置の開発研究が複数報告されていた²⁹⁻³⁰。なお、McGrath らの研究では Minimum Ground Clearance²⁹ と、Lai らの研究では Minimum Foot Clearance³⁰ とそれぞれ記されているが、本稿では MTC で統一する。これらの研究が提案する手法は、いずれもユーザが加速度センサを下腿部や足部に装着しなければならず、また上述のような、ユーザがドロップアウトすることに対する対策はなにも組み込まれていないものであった。そこで我々は、“何も身につけなくても”MTC を評価する技術をまず開発し、それに追加でドロップアウトしないようにするための機能を追加していくことを考えた。具体的に 2011 年度は、力センサをトレッドミルに装着し、その上を歩くだけで歩行者の MTC を評価できるようにした。

この装置で用いる、床反力からその際の MTC を推定するモデルの開発研究³¹では、20 名の若年者を対象とした。研究では被験者から計測したデータから重回帰分析を用いてモデルを構築し、そのモデルの精度を別の若年者 6 名及び高齢者 6 名のデータで評価した。その結果、若年者は $4.6 \pm 0.7\text{mm}$ 、高齢者は $6.4 \pm 0.5\text{mm}$ の誤差があることが確認され、加速度センサを用いた先行研究で報告されている 3.7mm ³⁰ に近い値を示した。

次に上記のモデル式を用いて、“何も身につけなくても”MTC の観点からつまずきの発生リスク（以下つまずきリスクと記す）を評価できるよ



図 2 2011 年度版つまずきリスク評価装置とそのデモ

うにするために、つまずきリスク評価装置（2011 年度版、図 2 上段）に実装した³²。この装置のハードウェアは、市販のトレッドミル（コナミスポーツ & ライフ社製、エアロウォーカ 2200）の下に 4 機の 3 軸力覚センサ（共和電業社製、LSM-B-1KNSA97-4）を装着することで、トレッドミル上を歩行中の床反力を計測できるように改造したものである。ソフトウェアは、本装置で計測された床反力をローパスフィルタや正規化処理

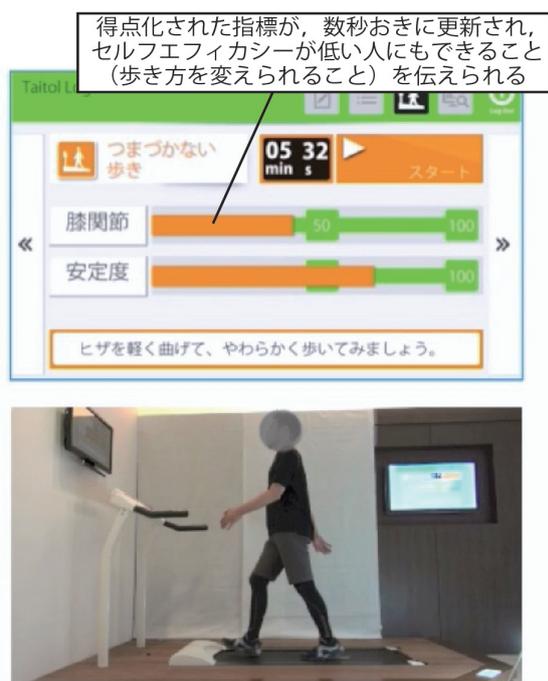


図3 2012年度版つまずきリスク評価装置

を施した後、上記のモデル式に投入し、ユーザのMTCを表示するものである。この装置開発後は、各地の健康増進関連のイベントなどでデモを行った(図2下段)。

3.2 つまずきリスク評価装置の効果検証(2012年度) —できていることがわかるようにする—

2011年度に開発したつまずきリスク評価装置を各地でデモを行ったところ、複数の参加者より、“MTCが表示されるだけでは、それが十分なのかどうか分かりにくい”という指摘があった。そこで2012年度には、ユーザが本人のつまずきリスクを直感的に解釈できるようにすること、できていることがわかるようにすることを目的とした。

まず、つまずきリスクを直感的に解釈できるようにするために、我々は年齢に応じたつまずきリスクを表す指標として、「つまずきリスク年齢」を開発した³³⁾。この指標は、産総研DHRCが公開している歩行データベース³⁴⁾から取得したMTCと年齢の関係を対数曲線で近似することによって、つまずきリスク評価装置などから得られるMTCが何歳相当なのかを示し、ユーザが本

人の実年齢と比較できるようにしたものである。

このつまずきリスク年齢の効果については、45歳から63歳の中高齢者18名(55.3 ± 6.2歳)を対象に以下のような評価を行った(35)。被験者らを、コントロール群(A群)、MTCの生値を伝える群(B群)、及び「つまずきリスク年齢」を伝える群(C群)の3群に均等に分け、間に休憩をはさんだ2つのセッションでMTCを計測した。B群とC群にはセッション間の休憩中にそれぞれの値が口頭で伝えた。分析の結果、A群とC群との間に有意傾向が確認され($p < 0.1$)、今回提案した「つまずきリスク年齢」を伝えることで、つまずきリスクを減少させられるような影響を与えられる可能性が示唆された。

そのうえで、ユーザが(何らかの介入がきちんと)できていることがわかるようにするために、結果が数秒おきに更新されるようつまずきリスク評価装置のソフトウェアを改良した(図3)。改良した装置については、東日本大震災の被災地などでデモを行い、主観的ではあるものの、ユーザから2011年度版よりもわかりやすいという評価を受けることができた。

3.3 転倒リスク評価装置への展開(2013年度) —他者と比較できるようにする—

これまで開発してきたつまずきリスク評価装置は、あくまで転倒の一要因であるつまずきリスクのみを評価できるものであった。そこで2013年度は、より広範に歩行中の転倒リスクを評価できるようにすること、及びこれまでのデモでも要望が多かった、他者との比較ができるようにすることの2点を目的とした。

これら2点の目的を達成するために、我々は様々な原因で転倒した者に共通する歩き方の特徴を、主成分分析によって明らかにし³⁶⁾、その主成分得点を転倒リスク装置で評価できるようにすることで、ユーザの得点を他者の得点や全体の平均値(0点)と比較できるようにしようと考えた。そこで高齢者37名(うち18名は過去1年間に様々な理由で歩行中に転倒したことがある者であった)の歩容を、モーションキャプチャス

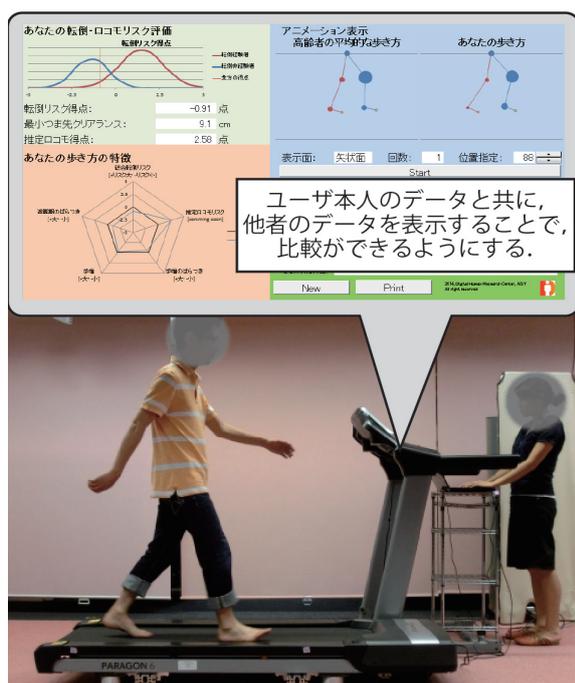


図 4 2013 年度版転倒リスク評価装置

テム（Vicon Nexus, Vicon 社製）と床反力計（BP400600-10000PT, AMTI 社製）を用いて 5 試行ずつ計測した。計測されたデータから、下肢 3 関節の関節角度（矢状面・前額面・水平面）の平均値と標準偏差の時系列データを取得し、主成分分析で分析した。

その結果、第 5 主成分のみが転倒経験に関連することが明らかになったため、第 5 主成分の主成分得点を床反力から推定するためのモデル式を重回帰分析で構築し、転倒リスク評価装置として実装した（図 4）。なお、装置のハードウェアは、これまで使用してきたトレッドミルが老朽化したため、この時点で HORIZON FITNESS 社製の PARAGON 6 に変更している。

なおこの装置については、2013 年 10 月下旬にパシフィコ横浜で開催された Smart City Week2013 にて展示を行い、多くのフィードバックを得た。

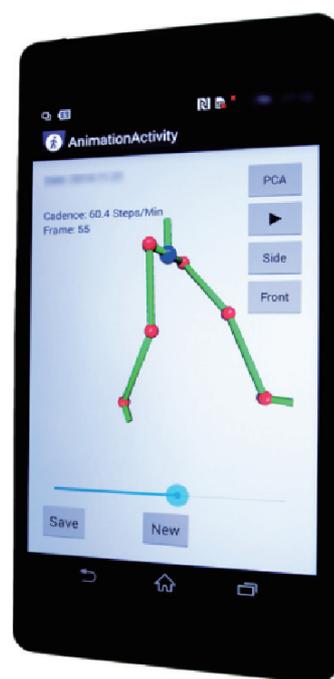


図 5 スマートフォン型歩行評価装置

3.4 スマートフォン型歩行評価装置の開発（2014 年度） — 身に着けられるようにする・他者につながる —

2014 年度には、これまで開発してきたつまずきリスク評価装置及び転倒リスク評価装置の機能を加速度センサが内蔵されているスマートフォンに実装するために、まず歩行評価装置の機能を実装した（図 5）。これは、周囲のサポートが少ないというドロップアウトの原因に対するものと位置づけており、加速度センサが内蔵されているスマートフォンに実装することで、普段から転倒リスクを評価でき、かつスマートフォンの通信機能を用いて他者と情報を共有できるようにすることを目指している。

加速度センサが内蔵されているスマートフォンに実装するにあたって、転倒リスクの評価モデルの再構築を行った。このモデルでは、産総研が管理している歩行データベース 2015²⁾ に登録された高齢者 40 名分（うち 20 名は計測前 1 年間の転倒経験者）の歩行データから、仙骨部の加速度を用いており、8 割以上の正答率を確認している³⁷⁾。

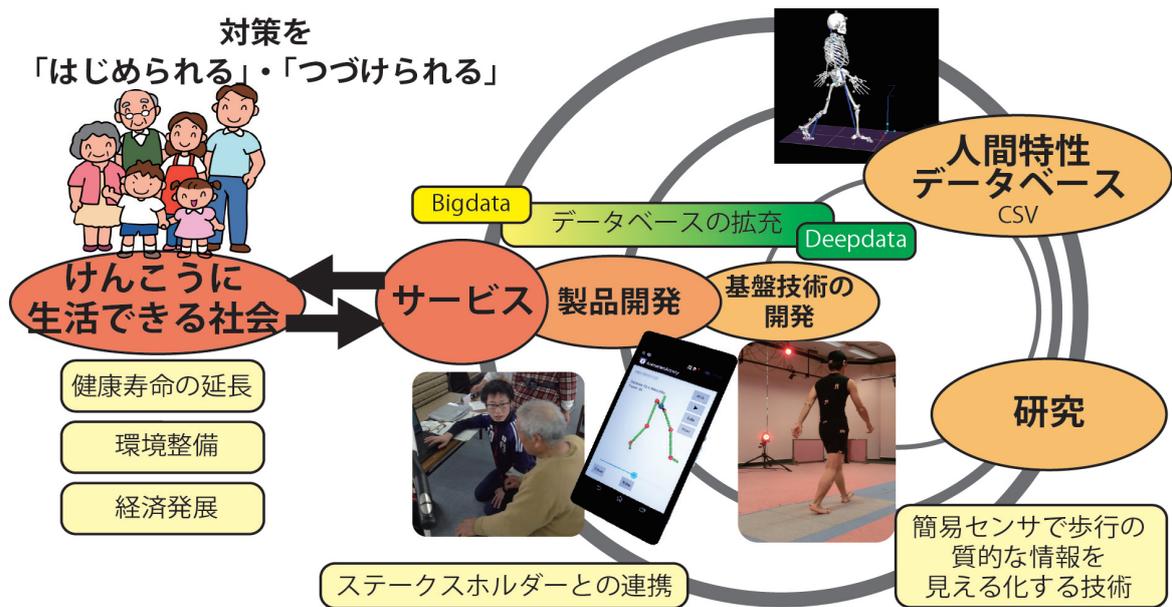


図6 本技術を用いた、deep dataとbig dataの紐づけ

4. 今後の展望：Deep dataとBig dataの紐づけ

これまで紹介してきたつまずきリスク評価装置、転倒リスク評価装置及び歩行評価装置では、力センサや加速度センサを用いてきたが、我々が開発した技術で用いることができるセンサはこれらだけではない。例えばMicrosoft社から販売されているKinectのような光学センサや、圧力分布を計測するマット型のセンサなどでも同様のシステムを構築することができる。これは、我々が開発してきた技術でつまずきリスクや転倒リスクを評価する際に用いるモデル式は、モーションキャプチャシステムや床反力計といった主に研究用途で用いられている装置を用いて全身の動きを計測した、精密なデータから構築しているためである（我々はこのようなデータをDeep dataと呼んでいる）。また現在は、今回紹介した転倒リスクの評価のように、歩行中に生じる事故や障害のリスク評価を行っているが、我々の技術は歩行だけでなく、走行や様々な日常生活動作にも応用することができる。

このように汎用性の高い技術を用いて、今後我々はユーザのデータを収集することによってそれぞれの動作に関するデータベース（big data）を構築し、それを新たな製品開発や研究の基盤として価値に繋げていくことを考えている（図6）。

本稿で紹介した転倒リスク評価装置について我々は、当然、この技術だけで起こりうるすべての転倒を防ぐことはできないと考えている。これまで開発してきた装置では、先行研究に基づいて運動介入プログラムをドロップアウトした者に対する対策を盛り込んでおり、デモや試験などでその有効性も確認しているが、ユーザの中にはこのような対策が有効に働かない者もいることが想定される。そこで本装置を用いたサービスを通して、ユーザの心理セグメントについても分析していき、より多くの選択肢を提供できるようにしていく必要もあると考えている。

5. 謝辞

本稿で紹介したつまずきリスク評価装置及び転倒リスク評価装置は、本研究はH23年度～26年度にかけて、日本学術振興会 科学研究費補助金（若手A）：「歩行中の転倒リスク評価・警告装置の開発－日常の歩容を見守ることによる転倒数減少策」の助成を受けて開発した。また、本稿で紹介しました装置の開発において、データ収集や分析、デモ展示に協力いただいたすべての方に深く感謝する。

【参考文献】

- 1) Campbell AJ, Robertson MC, Gardner MM, Norton RN, Tilyard MW, Buchner DM: Randomised controlled trial of a general practice programme of home based exercise to prevent falls in elderly women. *BMJ* 1997; 315: 1065-1069
- 2) Suzuki T, Kim H, Yoshida H, Ishizaki T: Randomized controlled intervention for the prevention of falls in community-dwelling elderly Japanese women. *J Bone Miner Metab* 2004; 22: 602-611.
- 3) 金 憲経, 鈴木隆雄: 転倒経験者に対する転倒予防戦略—運動中心プログラムの効果検証—. *Geriatr Med* 2009; 47: 751-754.
- 4) 神谷奈津美, 浦辺幸夫, 新宅悦雄, 転倒予防靴下着用による母趾伸展角度, 足関節背屈角度の変化, 靴の医学, 22-2, 1-6, 2009.
- 5) Lauritzen JB, Petersen MM, Lund B: Effect of external hip protectors on hip fractures. *Lancet*, 341: 11-13, 1993.
- 6) 厚労省, 平成 23 年国民健康・栄養調査報告, 2013 年 3 月
- 7) 厚労省, 平成 12 年人口動態統計, 死亡第 18 表, 2001.
- 8) 厚労省, 平成 13 年人口動態統計, 死亡第 18 表, 2002.
- 9) 厚労省, 平成 14 年人口動態統計, 死亡第 18 表, 2003.
- 10) 厚労省, 平成 15 年人口動態統計, 死亡第 18 表, 2004.
- 11) 厚労省, 平成 16 年人口動態統計, 死亡第 18 表, 2005.
- 12) 厚労省, 平成 17 年人口動態統計, 死亡第 18 表, 2006.
- 13) 厚労省, 平成 18 年人口動態統計, 死亡第 18 表, 2007.
- 14) 厚労省, 平成 19 年人口動態統計, 死亡第 18 表, 2008.
- 15) 厚労省, 平成 20 年人口動態統計, 死亡第 18 表, 2009.
- 16) 厚労省, 平成 21 年人口動態統計, 死亡第 18 表, 2010.
- 17) 厚労省:平成 22 年人口動態統計, 上巻 死亡 第 5.35 表, 2011.
- 18) 厚労省:平成 23 年人口動態統計, 上巻 死亡 第 5.35 表, 2012.
- 19) 厚労省:平成 24 年人口動態統計, 上巻 死亡 第 5.35 表, 2013.
- 20) 東京消防庁, 救急搬送データから見る高齢者の事故, 2013.
- 21) King AC, Kiernan M, Oman RF, Kraemer HC, Ahn D. Can we identify who will adhere to long-term physical activity? Signal detection methodology as a potential aid to clinical decision making. *Health Psychol* 1997; 16: 380-9.
- 22) Bock BC, Marcus BH, Pinto BM. Maintenance of physical activity following an individualized motivationally tailored intervention. *Ann Behav Med* 2001; 23: 79-87.
- 23) Desharnais R, Bouillon J, Godin G. Self-efficacy and outcome expectations as determinants of exercise adherence. *Psychol Rep* 1986; 59: 1155-9.
- 24) Jette AM, Rooks D, Lachman M, et al. Home-based resistance training: predictors of participation and adherence. *Gerontologist* 1998; 38: 412-21.
- 25) McAuley E. Self-efficacy and the maintenance of exercise participation in older adults. *J Behav Med* 1993; 16: 103-13.
- 26) Oman RF, King AC. Predicting the adoption and maintenance of exercise participation using self-efficacy and previous exercise participation rates. *Am J Health Promotion* 1998; 12: 154-61.
- 27) Rhodes RE, Martin AD, Taunton JE. Temporal relationships of self-efficacy and social support as predictors of adherence in a 6-month strength-training program for older women. *Percept Mot Skills* 2001; 93: 693-703.
- 28) Oka RK, King AC, Young DR. Sources of social support as predictors of exercise adherence in women and men aged 50 to 65 years. *Womens Health* 1995; 1: 161-75.
- 29) McGrath D1, Greene BR, Walsh C, Caulfield B. Estimation of minimum ground clearance (MGC) using body-worn inertial sensors, *J Biomech*. 44(6):1083-8, 2011
- 30) Lai DT1, Taylor SB, Begg RK. Prediction of foot clearance parameters as a precursor to forecasting the risk of tripping and falling, *Hum Mov Sci*. 31(2):271-83, 2012.
- 31) 小林吉之, 青木慶, 持丸正明, 床反力による最小つま先クリアランスの推定手法の提案, *バイオメカニズム学会誌*, 37(4), 233-242, 2013.
- 32) Yoshiyuki Kobayashi, Kei Aoki, Eijiro Shibusawa and Masaaki Mochimaru, Development of tripping risk evaluation system in terms of minimum toe clearance using ground reaction force, XXIV Congress of International Society of Biomechanics, CD-ROM, Natal, Brazil, (2013).
- 33) 小林吉之, 青木慶, 持丸正明, 歩行中の転倒リスク評価・警告装置の開発 2 — クリアランスのばらつきと年齢との関係, *日本生活支援工学会第 4 回若手研究者発表会*, 東京, (06/2012).
- 34) 小林吉之, 持丸正明, *AIST 歩行データベース* 2013, 2013. *1
- 35) 小林吉之, 青木慶, 持丸正明, 歩行中の転倒リスク

評価・警告装置の開発 3 つまづきリスク年齢をフィードバックすることによる MTC への短期的影響, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 (LIFE2012), 名古屋, (11/2012).

36) Yoshiyuki Kobayashi, Hiroaki Hobara, Shiho Matsushita, Masaaki Mochimaru, Key joint kinematics characteristics of the gait of fallers identified by principal component analysis, J Biomech, 47(10):2424-9, 2014.

37) 小林吉之, 保原浩明, 持丸正明, 身の回りに設置可能なセンサによる転倒リスクの評価 - 主成分分析によって明らかとなった転倒経験者の歩行特徴を用いた手法 -, バイオメカニズム学術講演会, 岡山, (11/2014).

*1 <http://www.dh.aist.go.jp/database/gait2013/>

*2 <http://www.dh.aist.go.jp/database/gait2015/>



小林 吉之 (Yoshiyuki KOBAYASHI)

2007年 早稲田大学大学院 人間科学研究科修了 博士 (人間科学)

同年 国立障害者リハビリテーションセンター研究所

2009年 日本学術振興会特別研究員

2010年 (独) 産業技術総合研究所デジタルヒューマン工学研究センター

現在, 国立研究開発法人産業技術総合研究所人間情報研究部門の主任研究員として, 歩行や転倒に関する研究開発に従事. バイオメカニズム学会, 日本福祉のまちづくり学会, 日本生活支援工学会などの会員.

歩行特徴の見せる化技術で 健康生活を支援する

須藤 元喜

花王株式会社
パーソナルヘルスケア研究所

1. 歩行の研究

歩行の研究は、主に骨折や靭帯損傷などの整形外科的疾患のリハビリテーション分野で発展してきた。多くの研究がそうであるように、命に係わるテーマが重点的な研究課題となるからである。医療現場での見せる化は、レントゲンによる骨折部位の確認や、リハビリテーションにおける筋力測定による回復効果の見せる化などがあげられる。これらの見せる化は、本人の痛みや生活上の機能低下などの自覚を伴うことが多く、その意味では見せる化の役割は補助的なものである。その一方で、歩行研究が遅れた分野が、健康増進分野と健常者歩行の分野である。それに伴い、健常歩行の見せる化も、医学分野に比べて発展が遅れた。

ところで、健常歩行の見せる化は必要なのか？そもそもそんなに違うものなのか？違ふとすれば、歩行状態は、どのような要因に影響を受けるのか。歩行は、成長、老化、性差、身体サイズなど日々の変動の小さい要因（または変動しない要因）と、気分や感情など脳の変化、筋肉や骨、血管機能、心肺機能などの運動器の変化、天候や道路、服装などの環境の変化といった、比較的変動の大きな要因が複雑に影響する¹⁾。このような複雑な機構で形成されるにも関わらず、ひとは固有の歩き方を持っている。自分の歩き方を特徴づけて語るのは難しくても、親しい人の歩き方は容易に想像できるのではないか。これは、ひとの歩行が個性に溢れていることを示すと同時に、そのとらえ方は非常に感覚的であることを示している。

次に、歩行の実態に目を向けてみる。近年、予防医学的観点から生活習慣病という言葉が広く知られるようになった。そこでの習慣とは、食習慣

と運動習慣に代表される。運動習慣というと、スポーツを想像されるかたも多いかと思うが、もっとも習慣性のある日々の運動は、歩行であると言える。

予防医学の領域では、特定の集団を追跡して調査する縦断研究が実施され、将来リスクの推定に役だてている。介護が必要となる、生活機能の低下についても追跡調査がおこなわれた。既往歴、血液検査、運動機能など複数の検査を実施し、生活機能の低下を追跡調査した結果、歩行速度が速い人は、遅い人に比べて将来の日常の生活機能の低下リスクが低いこと²⁾や、歩行によるリスク判定は、病歴や血液検査などに比べて精度が高いことが示された³⁾。

このように、歩行の状態は、将来のリスクを推定できる大きな要因となっているのである。それでは、日常の歩行についてはどのような研究が行われてきたのか。

日常歩行の研究は、活動量計という、歩数だけでなく、運動強度を一緒に計測可能な機器によって行われている。中でも、長期に追跡調査を実施した群馬県中之条の研究は有名である⁴⁾。日々の生活データを活動量計により計測し、2000年からの追跡調査の結果から、1年間の平均歩数が8000歩以上かつ、中強度以上(3Mets以上：軽く汗ばむ程度の速度)の運動時間が20分以上あることで、メタボリックシンドロームの予防になることを明らかとした。さらに、高血圧、糖尿病、骨粗鬆症、がん、認知症、心疾患、脳卒中、うつ病といった、非常に多岐にわたる疾患群の予防と、その基準を定量的に示した(図1)。

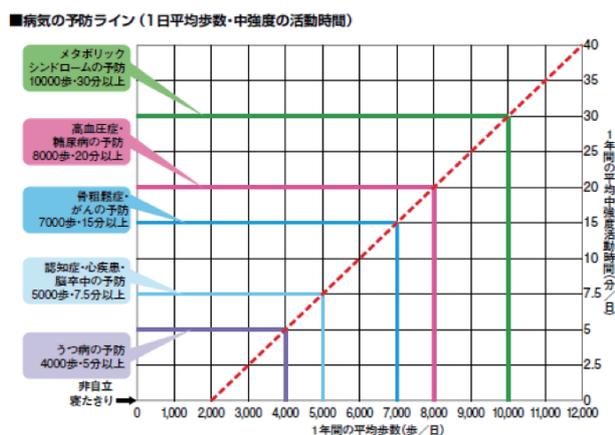


図 1. 各病気の予防ライン。1 日 8000 歩・中強度活動時間 20 分の歩行が生活習慣病や認知症を予防し、健康づくりに効果的とされる。

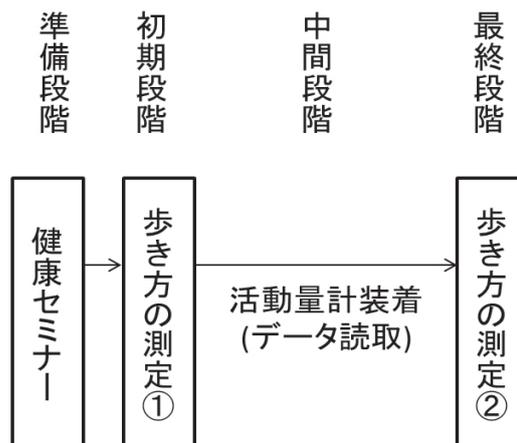


図 2. 歩行支援プログラムの各段階とイベント

このように、日常の歩き方も、重大な疾患や、介護のリスクを予測する大事なファクターであることが今までの研究で示されている。また、日常の歩行生活も、個性に溢れていることは容易に想像がつくだろう。

2. 歩行支援プログラムの作成

歩き方や、歩行生活が健康状態の予測因子になることや、個性に溢れていることを説明してきた。では、正しい歩き方というものはあるのか？その答えは「ない」である。何を正しい（正解）とするかは目的によって変わってきてしまうからだ。例えば、ハイヒールを履く歩行が美しい一方で、ヘルスケア面では、疲労を増長する。一義に良い歩行を定義することは難しそうである。ただし、疾患や介護のリスクを推定できるなら、そのリスクを減らすように歩き方を支援することは出来るのではないだろうか。歩き方が個性に溢れていること、歩き方は健康リスクに関与していること、この 2 つの要素から、個人に応じた歩き方を健康視点で見せる化をし、歩行生活を支援するために考え出されたのが、花王が作成した歩行支援プログラムである⁵⁾。

歩行支援プログラムは、数週間から数ヶ月の期間で実施され、各ステージに応じた見せる化により、歩行そのものを身近に感じ、健康効果を実感していくことを特徴としている⁶⁾(図 2)。

歩行支援プログラムの見せる化を図 2 の段階に沿って、説明していく。

まず、準備段階として健康セミナーを実施し、健康維持と歩行の関連性を見せる化をする。そして、初期段階として、基礎的な歩行能力の見せる化をする。歩き方の測定を圧力センターで実施し、自分の歩行動画の前後方向、左右方向のビデオ画像(図 3)、圧力データによる足の使い方(図 4)、同年代・同性標準値とのデータ比較(図 5)、がに股・内股、二直線・一直線などの歩行特徴(図 6)、膝痛・腰痛・転倒・失禁・虚弱の歩行タイプ⁷⁾と総合的な歩行年齢を算出する(図 7)⁸⁾。これらの結果を 1 枚のシートでフィードバックし、歩き方による個性と健康状態の見せる化をする。



図 3. 歩行動画の提示
左：矢状面、右：前額面、同期した動画を PC で再生し、提示する



図 4. 圧力データによる足の使い方
上：足圧中心の軌跡、左下：鉛直方向荷重の時系列変化、
右下：左右歩行時の圧力分布



図 5. 標準値との比較
性年代別の歩行速度、ピッチ（ケイデンス）、歩幅、歩隔、
歩行角度、つま先角度の各標準値と、個人の値を対比し
て表示

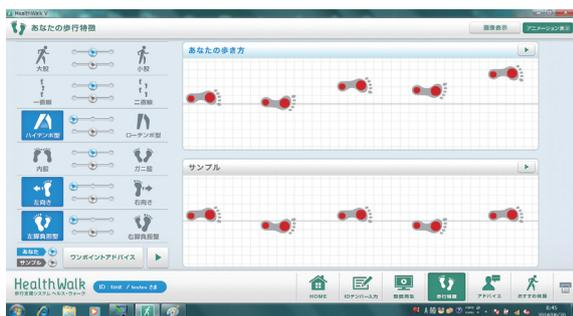


図 6. 6つの歩行特徴軸による歩行特徴の提示。青塗り四角は該当する歩行特徴、青塗り四角のない特徴はニュートラル。右側にイラストを表示。



図 7. 歩容から推定された歩行年齢、日常生活力、老年症候群別の歩行パターンチャート

さらに、中間段階では歩行生活の見せる化をする。活動量計を装着して生活を送り、月に1回、または2週間に1回ほどの頻度で、任意にデータ読取端末設置拠点に活動量計を持参する。歩行の質（歩行速度）⁹⁾、歩行の量（歩数）、パターン（習慣性）、目標成果（個別目標）をカレンダー形式の1枚シートで実施拠点のスタッフからフィードバックを受け取る（図8）。歩き方の測定フィードバックを、毎日の生活で忘れることなく、意識し続けるために、実施拠点でのフィードバックは重要な役割を果たしている。

最終段階で、もう一度、歩行の測定を実施し、事前事後の歩行特徴や健康状態を比較フィードバックすることで、効果の見せる化をおこなう。このように、準備段階、初期段階、中間段階、最終段階の各段階で見せる化を実施し、その後は歩行の測定と、活動量計によるフィードバックを繰り返すことで、健康モチベーションを維持し、健康増進、維持に役立てる。

3. 歩行支援プログラムの活用

基本的な歩行機能と、歩行生活の2つの見せる化を特徴とする歩行支援プログラムは、自治体、運動教室、流通、職域、高齢者施設など様々な場所で実施し、1万人弱の方々々が体験している。

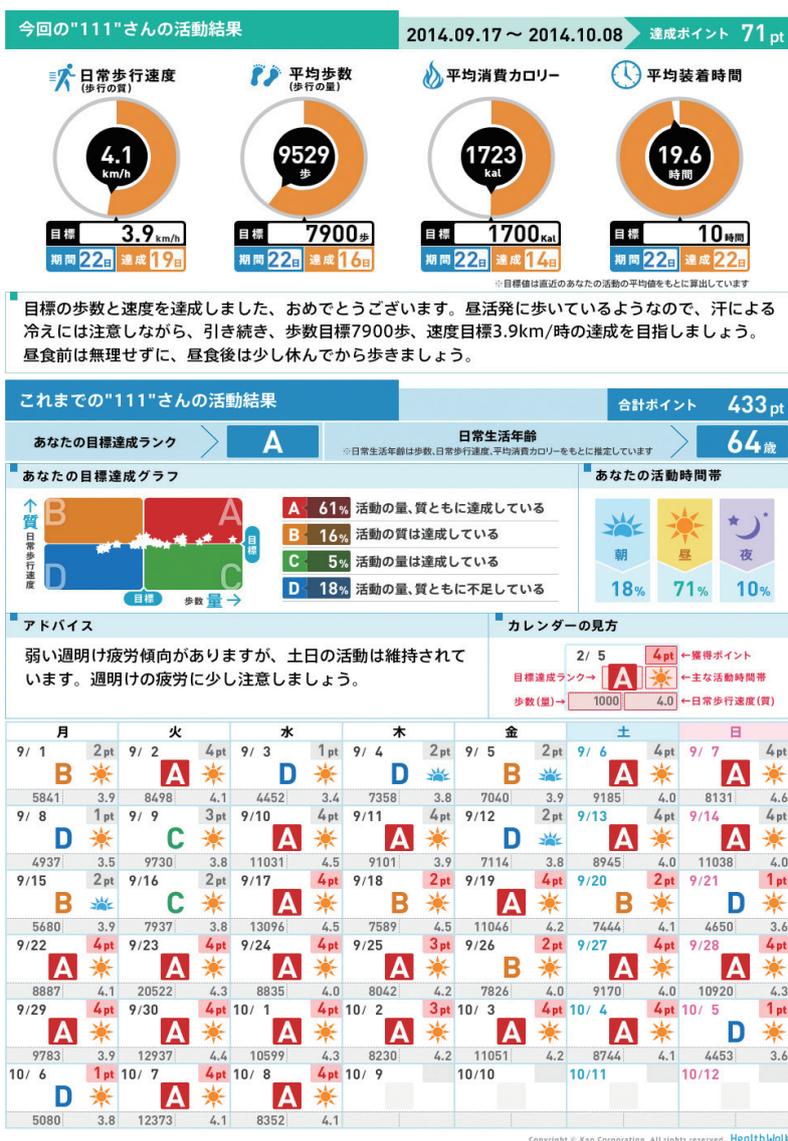


図 8. 日常歩行のフィードバックシート

日常歩行の質を歩行速度、量を歩数として、質と量の目標を満たしていれば A、質を満たしていれば B、量を満たしていれば C、両方足りなければ D をカレンダー上に示す。

歩行支援プログラムの大きな特徴の 1 つに、日常歩行の結果プリントを、それぞれの実施・運営するスタッフが手渡すことにより、地域のコミュニケーションが活性化することがあげられる。具体的には、自治体介護予防担当の保健師、運動教室のトレーナー、流通であるドラッグストアの薬剤師、職域の産業医と保健師スタッフ、高齢者施設のリハビリを担当する理学療法士が、基礎歩行力や歩行生活の見せる化フィードバックを介して、それぞれの地域利用者の生活と悩みを共

有し、会話を膨らます。歩行支援プログラムの大きな効果のひとつにコミュニケーションの増加があげられ、運動面以外でも、閉じこもりや認知症への予防効果も期待される。

4. 全国の実践

花王で取り組んだ歩行支援プログラムによる、基礎的な歩行能力、歩行生活の見せる化であるが、全国では、活動量計を用いた日常運動の見せる化による取組が盛んに行われるようになってきた。

いくつか代表的な取組をあげると、先にあげた群馬県中之条町の「健康づくりサロン」。青柳先生の取り組みをそのまま実践に活かす形で、中之条町保健環境課が運営している。また、奈良県でも2014年から「おでかけ健康法」、「奈良県健康ステーション」を、奈良県観光福祉部健康づくり推進課で運営しており、2023年までに、健康寿命を全国日本1位にすることを目指している。また、兵庫県神戸市では「こうべ歩 KING・歩 QUEEN 決定戦!」、「KOBE 健康くらぶ」といったイベントシステムを活用した取組を、神戸市保健福祉局健康部、地域保健課・健康づくり支援課が運営している。ほかにも、和歌山県田辺市の「速歩き健康塾」、神奈川県横浜市の「横浜ウォーキングポイント事業」など、全国で18の都道府県が活動量計による健康づくりを開始している。

どのプログラムも共通して言えることは、質と量で評価すること、競わせることや仲間を作ること、コミュニティの強化も図っている点である。さらに、評価基準のエビデンス強化をすることを目指している。

全国に広がる活動量計による健康取組には、課題もある。例えば、運動の計測には、質と量のデータ算出方法の異なる数10種類の活動量計や、異なる視点のフィードバックシートが使われること、さらに、日常活動データの集積場所は統一されていない。

そこで、経済産業省ヘルスケア産業課では、活動量計のガイドライン作成に2014年から取り組んでいる。ヘルスケア産業は医療以上に裏付けが難しい分野であることから、エビデンスのあるヘルスケア商品については、その価値をしっかりと伝え、民間の企業や医療機関などに散らばったデータを集約して活用する仕組みづくりを目標としている。

5. 最後に

歩行に着目し、基礎的な歩行能力と、健康状態を示し、歩行生活の見せる化をすることで健康生活を支援する取組は、活動量計を用いることでポピュレーションアプローチを可能としている。一

方で、個別の歩き方を丁寧に説明し、支援するには、カウンセリングの時間と人手がかかり、急速なポピュレーションの拡大は期待できない。この点については、日常でも、歩き方の詳細を計測する技術の確立を目指している。

また、今まで後期高齢者を中心に、ロコモティブシンドロームに対応するプログラムを作成したが、近年はプレロコモティブシンドロームにも魅力あるフィードバックを実現するため、歩行による、行動体力要素の見せる化に取り組んでいる。敏捷性・筋力・平衡性に関しては、歩行データによる高い推定精度があることを確認した。さらに、肥満になりにくい歩き方や、美容視点での研究も進めており、今後も、コンテンツのさらなる拡充を目標に研究をおこなう。

【参考文献】

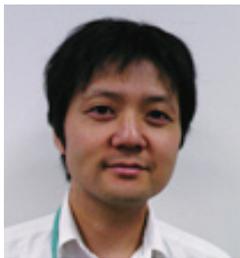
- 1) Stacy, F. and Michelle, L.: White Paper: "Waking Speed: the Sixth Vital Sign", *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 32(2), 46-49, (2009).
- 2) Shouji, S., Shuichiro, W., Shu, K., Yoshinori, F., Hidenori, A., Hideyo, Y., Tatsuro, I., Harumi, Y., Takao, S. and Hiroshi, S.: Walking speed as a good predictor for the onset of functional dependence in Japanese rural community population, *Age and Aging*, 29, 441-446, (2000).
- 3) Takao, S., Hideyo, Y., Hunkyung, K., Harumi, Y., Miho, S., Taketo, F., Satoshi, N., Shu, K., Shoji, S., Tatsuro, I., Shuichiro, W. and Hiroshi, S.: Walking speed as a good predictor for maintenance of I-ADL among the rural community elderly in Japan: A 5-year follow-up study from TMIG-LISA, *Geriatrics and Gerontology International*, 3, S6-14, (2003).
- 4) Yukitoshi, A. and Roy, JS.: Habitual physical activity and health in the elderly: The Nakanojo Study, *Geriatrics and Gerontology International*, 10(Suppl.1), S236-S243, (2010).
- 5) 須藤元喜：歩行と健康リスク（転倒）予防プログラムの活用について，*バイオメカニズム学会誌*，38(4)，259-264，(2014)
- 6) 宮永真澄，藤井将彦，酒井弘和，森本恵子，須藤元喜，

仁木佳文, 時光一郎: 要支援・軽度要介護高齢者における活動量計を活用した歩行支援プログラムの有用性の検討, 体力科学, 64(2), 233-242, (2015)

7) 金憲経, 鈴木隆雄, 吉田英世, 島田裕之, 山城由華吏, 須藤元喜, 仁木佳文: 都市部在住高齢女性の膝痛, 尿失禁, 転倒に関連する歩行要因, 日本老年医学学会誌, 50(4), 528-535, (2013)

8) 須藤元喜, 山城由華吏, 上野加奈子, 金憲経: シート式圧力センサーを用いて計測した歩容左右差による年齢の推定, 日本生理人類学会, 18(3), 125-132, (2013)

9) 高柳直人, 山城由華吏, 須藤元喜, 仁木佳文, 時光一郎, 金美芝, 金憲経: 活動量計を用いた日常歩行速度と ADL 低下に関する研究, 厚生指標, 61(4), 15-20, (2014)



須藤 元喜 (Motoki SUDO)

2002 年 早稲田大学 人間科学生命科学専攻 修士課程修了。2002 年 花王株式会社入社。2011 年 早稲田大学人間科学博士取得。現在、花王株式会社パーソナルヘルスケア研究所 主任研究員。姿勢、歩行の機能研究、健康ソリューションの研究開発に従事。体力医学会、公衆衛生学会、老年医学会、日本生理人類学会、赤ちゃん学会、発育発達学会の会員。

第69回 日本人類学会大会 [公開シンポジウム]
「歩くことから。健康への取り組みをはじめ、つづけるために」
講演要旨集

発行：2015年10月9日

発行者：第69回 日本人類学会大会 事務局
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 人間情報研究部門
デジタルヒューマン研究グループ内
135-0064 東京都江東区青海 2-3-26

デザイン：INABA STUDIO

印刷：谷田部印刷株式会社
305-0861 茨城県つくば市大字 谷田部 1979-1