

歩くことの効用について考える — 生理学的知見から — On the Effects of Walking — From a Physiological Standpoint

浅井 英典
Hidenori ASAI

Human gait movement, vertical bipedalism, is distinguished from that of other animals. This is the most basic form of movement for humans and is extremely important for supporting health, physical fitness, mental function, and the foundations of society. The plantar area of humans is small, and they are very unstable when stepping forward in relation to the various conditions of the road surface. During walking, the muscles of the lower limbs are active, but the degeneration and atrophy of the muscles that accompanies aging has a great effect on gait movement. It causes, for example, a decrement in step length due to a decrease in the joint angles of the lower limbs, and this causes a decrease in walking speed.

The normal and maximum gait velocity and step length of middle-aged and elderly women who have experienced falls are significantly less than those of women of the same age who have not experienced falls. In regard to the obstacle avoidance movement of those who have experienced falls, their posture is more unstable in the standing phase, and this, it is assumed, increases the danger of falling.

The heart rate while walking the pilgrimage route from Ishiteji Temple to Joruriji Temple, on the outskirts of Matsuyama, was within the range of 100 - 120 bpm, equivalent to 25-35% exercise intensity, and thus a light burden on the body.

Gait movement, which is most fundamental to humans in carrying out the activities of daily life, changes with aging and injury, and falls then become more likely. It is no exaggeration to say that the maintenance and improvement of this type of movement is directly related to living a rich and healthy life. At this time, when the remarkable increase in stress and lifestyle-related illnesses are becoming social problems, it is quite understandable that attention is focusing on walking pilgrimages.

1. 歩くこととその意義

広い意味でヒトも鳥類も二足歩行を行っている。しかし、ヒトの場合は、頭部から体幹が垂直に保たれ、下肢が地面に対して直線的に伸びている。このことは、他の動物とは異なっており、特に直立二足歩行として区別している。しかし、ヒトによって違いはあるが、成人の場合、足底は幅約10cm、長さ22~27cmに過ぎず、両足を併せても極めて小さな面積で体重を支え、1.5~1.9m程度の身体を様々な姿勢変化に応じて支えている。歩行時には、様々な路面状況に応じて足を踏み出して移動しようとするために非常に不安定な状況にある。しかし、歩くことは人間にとっての最も基本的な移動行為であり、体力、精神的機能、社会的基盤を支える極めて重要な行動である。したがって、生涯にわたってこの能力を高いレベルで維持していくことが求められる。しかし、歩行能力の低下は、加齢や傷害によって引き起こされ、歩行能力が低下・阻害されると殆どの場合、Quality of Life (QOL) の低下を引き起こす。既に超高齢社会（総人口に占める65歳以上の高齢者人口の割合（高齢化率）が21%を超えた社会）に直面している我が国においては、07年版「少子化社会白書」において、2005年に1億2777万人だった日本の人口が、2055年には8993万人まで減少すると推計

されている。その一方で、高齢者数は2006年に2660万人であったが、2012年には3000万人を超えて、2042年にピークに達することが予測されている。高齢化率は、2006年に20.8%であったが2055年には50.5%に急増することも見込まれている。健康寿命（自立生活を送ることの可能な期間）を延伸し、豊かな生活を送るためにも、さらに生活習慣病やメタボリックシンドロームなどの予防のためにも、歩行能力を可能な限り高い年齢まで維持していくことが必須な状況に至っている。

2. 歩行動作について（経時的分析）

ヒトの移動行動は、「歩行活動」と「走行活動」に大別される。両者は左右の脚を交互に前方に振り出して、接地し、その後、体重を支えながら後方に蹴り出し（立脚期）、その後他脚を前方に振り出す（遊脚期）という動作自体は同じである。しかし、それらは常にどちらかの足が必ず接地しているのか（歩行活動）、両足が接地していない局面があるのか（走行活動）によって区別される。したがって、歩行活動は経時的に見れば、右（左）片足支持期→両脚支持期→左（右）片足支持期という一連の動作を繰り返している（図1）。

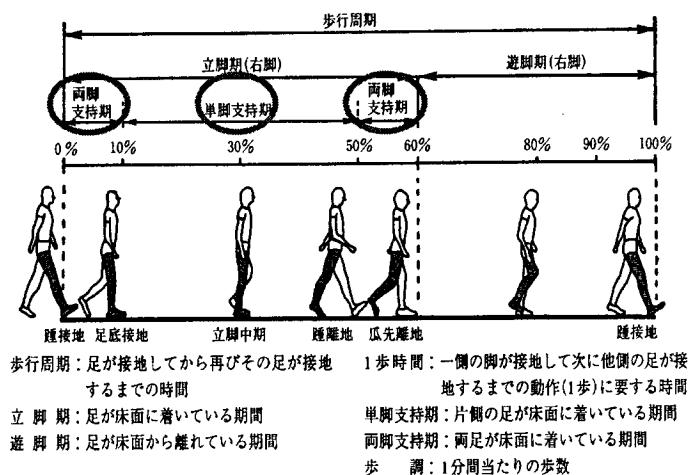


図1. 歩行動作の経時的变化

通常歩行時の速度は70~80m/分、速歩時の速度は100~120m/分であり、これ以上の速度で歩こうとすると運動のエネルギー効率が低下し、駆け足あるいはジョギングをした方が「楽である」と感じる。

3. 歩行運動で働く脚の筋肉と加齢による歩行動作の変容

歩行時には主に以下の下肢筋群が使用される（図2）。

- 大腿四頭筋：下肢全体を持ち上げ、膝関節を伸展させて、下腿部を前に振り出す働きをする。
- 前頸骨筋：着地時に足関節を背屈させて、爪先を上げ、踵から着地することを助ける働きをする。
- 下腿三頭筋：足関節を底屈させて、足底面で地面に対して後方に力を発揮し、身体を前に進めようとする働きをする。
- 大臀筋：下肢全体を後方に推して、身体を前に進める働きをする。
- 大腿二頭筋：後方に蹴った後、膝から下の下腿部を上方に引き上げて、蹴り脚を前方に振り出しやすくする。

加齢とともに身体の筋群は、その機能の低下と組織学的な萎縮が生じる。このことは不可避な現象であり、特に下肢筋群の筋力の低下は著しい。したがって、このことは歩行動作に多大な影響を与えることになる。例えば、歩行速度は、60歳あたりを境にして大きく低下する

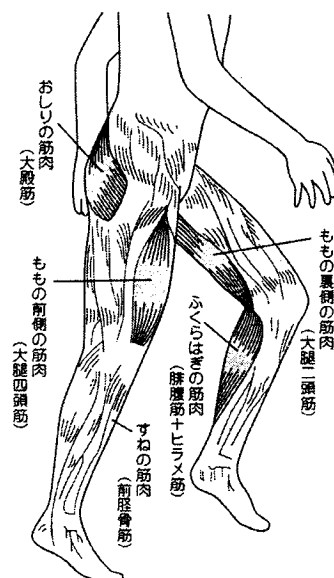


図2. 歩行動作実施時の下肢の主働筋群

傾向が男女ともに認められる。歩調（1分間当たりの歩数）は、加齢とともにほぼ一定の割合で低下していく。これに対して歩幅は、60歳代からの低下が著しいことから、歩行速度の低下は歩幅の低下が主因であると考えられる。また、加齢とともに歩行時の股間、膝、足首などの関節角度変化量が小さくなっており、歩行動作自体が小さくなっていることを意味している。

4. 中高齢転倒経験者と未経験者の通常歩行と障害物跨ぎ越し動作の相違

施設入所高齢者では14.5%の者が、1年間で複数回の転倒を経験し、男性よりも女性で多く発生する（Haga et al., 1986）。また、在宅高齢者では約20%の者が転倒し、その約50%が再び転倒する（Prudham and Evans, 1981）。このような転倒は、歩行中に発生しており、特に高齢者で頻発していることも事実である（Kronhed and Moller, 1998；Nevitt et al., 1991；Stevens et al., 1997；安村ほか, 1994）。転倒経験の有無によって、平衡性、筋力、歩行能力およびADL（Activities of Daily Living：日常生活動作能力）などに有意な相違が認められている（Gehlsen et al., 1990；Stevens et al., 1997）。転倒経験者では、筋機能の低下や深部感覚の情報の減少、および再転倒への恐れに起因した障害物に対する過剰反応などが、転倒に関連していることが示唆されている（浅井ほか）。

一方、高齢者の場合、体幹が前傾した状態で歩行している傾向があり、このことが股関節や膝関節の動作に影響を及ぼす（増田・江橋, 1971）。そして、前述したように、高齢者ほど転倒の頻度が高いことを考慮すれば、歩行動作自体に転倒経験者と未経験者では、何らかの相違が存在することが予測される。そこで、中高齢女性の転倒経験の有無に基づく歩行動作の相違について検討した。

1) 転倒経験の有無による通常および最大歩行時の歩行速度および歩幅の相違

中高齢女性を被験者とし、11mの歩行路上を素足で直線歩行を実施させた。その歩行路上には、スタートラインから3mと8mの地点にテープでマークした。3m地点を越えてはじめて足が接地してから、8m地点を越えて足が接地するまでに要した時間と歩数およびその距離を測定した。歩行課題は、通常速度での歩行1回と最大速度での歩行2回とした。測定したデータから速度（Normal gait_velocity, Maximum gait_velocity）、歩幅（Normal gait_step length, Maximum gait_step length）を算出した。

通常速度および最大速度での歩行実施時の歩行速度および歩幅を表1に示した。通常歩行時の歩行速度は、転倒群が非転倒群より有意に遅かった（ $p < 0.01$ ）。この時の歩幅も転倒群が、非転倒群より有意に小さい値を示した（ $p < 0.01$ ）。同様に最大歩行時の歩行速度も転倒群の方が、非転倒群に比べて有意に遅く（ $p < 0.001$ ）、歩幅も転倒群が非転倒群より有意に小さい値であった（ $p < 0.01$ ）。

表1. 中高齢女性の転倒経験有無による通常歩行および最大歩行時の歩行速度と歩幅の相違

		(Mean—SD)			
		Fallers	Nonfallers	non paired t-test	G-P analysis
Normal gait_velocity	(m/sec)	1.18±0.27	1.33±0.20	**	*
Normal gait_step length	(m)	0.57±0.09	0.62±0.08	**	*
Maximum gait_velocity	(m/sec)	1.58±0.29	1.84±0.27	***	***
Maximum gait_step length	(m)	0.64±0.11	0.70±0.07	**	

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, *** : $p < 0.001$

2) 転倒経験の有無による歩行動作の相違

幅60cm、長さ600cmの歩行コースの中間にフォースプレート（AMTI社製MODEL OR 6-6-2000）を埋設し、コース上で被験者は通常歩行および通常歩行による障害物の跨ぎ越し歩行を行った。障害物の高さは、5、10および15cmとした。通常歩行は障害歩行の前に実施し、3種類の障害高での歩行の実施順序は被験者毎に無作為に実施した。

被験者は、左耳垂、左肩峰、左肘関節における上腕骨外側上顆、左尺骨頭、左大転子、左腓骨頭、左外果、左第5中足骨頭、右脛骨内側顆、右内果、右第1基節骨底の11カ所に反射マーカを装着し、歩行路上を歩いた。その後、ビデオテープに記録された歩行動作の映像を再生し、オフラインで各反射マーカへのデジタイズを行い、各マーカの軌跡と関節角度を求めた。その結果を以下に述べる。

通常歩行および障害物歩行時における前後・左右・上下方向に作用した床反力には、転倒経験の有無による明らかな違いは認められなかった。転倒群での歩行時の肘関節動作範囲は、非転倒群に比べて有意に小さかった。また、転倒群では上肢のスウィング速度が遅く、後方へのスウィング角度に比べて、前方へのスウィング角度が小さい動作様式になっていた。これらのことが手頭部および肘速度の遅延に繋がり、ひいては歩行速度の低下の原因のひとつになっているものと思われる。

すべての障害物歩行において、転倒群の腰部の上下方向への変位量は、非転倒群より大きく、歩行速度も明らかに遅かった。これらのことから、腰部を過剰に高く持ち上げて跨ぎ越し動作を行っている立脚期中に、姿勢が一層不安定にならざるを得ない状況に陥り、転倒の危険性も更に高まっていることが推測された（図3）。

障害物歩行時の跨ぎ越しの1歩目の脚では、両群とも下腿部の前方への振り出しの角度を変えるよりも、大腿部の前方への挙上と膝関節の屈曲の程度を調整することで障害高の変化に対応していた。転倒群では着地時の足関節の底屈角度が小さいために衝撃緩衝能が低下し、床から着地脚に加わる衝撃力を非転倒群ほど緩衝し切れていないものと思われる。

一方、跨ぎ越しの後脚では障害物とのクリアランスを確保するために、両群とも股関節と膝関節の屈曲角度を増すことで下肢の挙上調整されていた。しかし、非転倒群では設置された障害物に接触することを防ぐために、足関節の底屈角度が大きかったのに対して、転倒群では非転倒群に比べて底屈が十分になされ

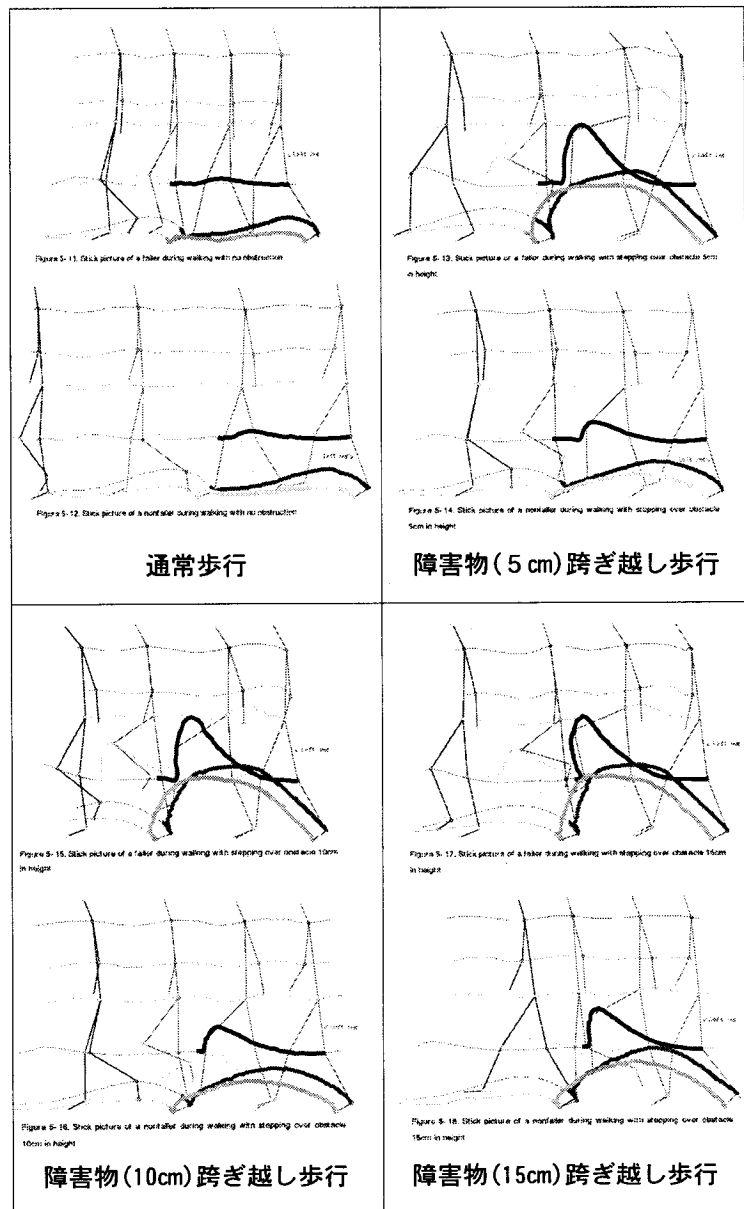


図3. 転倒経験者及び未経験者の通常歩行および5～15cmの障害物跨ぎ越し歩行時のスティックピクチャー
上段：転倒経験者、下段：転倒未経験者

ず、障害物に接触し易い歩行動作になっていた。

転倒群の歩行速度が非転倒群よりも有意に遅いことは、上肢および下肢の運動速度が遅延していることに起因していると考えられる。肘関節角速度、上腕垂直角速度および膝関節角速度は、通常歩行および3種類の障害物歩行課題に共通して、転倒群の方が明らかに低いことが認められた。上肢の前後方向へのスウィング角度にも両群間で明らかな相違が認められたことも考慮すると、下肢だけでなく上肢の動作も転倒に関連する重要な要因になると思われる。

以上のように、転倒経験者の通常歩行および障害物歩行時の歩行動作を非転倒経験者と比べた結果、上肢や下肢の上下運動、動作速度、関節角度などに明らかな違いが認められた。これらの相違は、歩行速度の低下や歩幅の減少をもたらすことから、転倒経験者では、転倒を誘発し易い歩行動作を行っていることが明らかになった。

5. 正しい姿勢と歩き方

正しい姿勢で歩行することは、長時間歩行時の疲労の軽減や傷害予防に重要である。その前提として正しい立位姿勢がとれているか否かが重要となる。頭部から体幹にかけて直立姿勢を保ったまま、四肢を前後方向に振り子運動をさせることで、正しい歩行運動は成立する。また脚の動きでは、前方に振り出した足の爪先を持ち上げて踵が最初に接地し、踵から爪先へと体重を支えるポイントが移動し、最後に爪先で後方に蹴り出す事に心がけることが重要である。腕の振り子運動の速さと振り幅が、歩行のピッチ（足の運びの速さ）と歩幅と密接に関係し、結果的に歩行速度を決定することになる。

6. 歩いている際の身体の負担の推測（目標心拍数の計算方法）

歩行中の身体への負担度（運動強度）は、健康な人では1分間当たりの心拍数（脈拍数）を測ることで推定することが可能である。逆に言えば、目安となる心拍数（目標心拍数）は、以下に示した式に年齢、安静時心拍数（脈拍数）、実施したい運動強度を代入して計算することができる。これは、現在最も利用されている方法（心拍予備法あるいはカルボネン法）であり、運動強度が何パーセントの時に脈拍数が幾つになるかを知っておくと安全で効果的な運動を実施する上で非常に有効なツールに成り得る。

$$\textcircled{C} \text{ 最高心拍数(拍/分)} = 220 - \text{年齢(歳)}$$

$$\textcircled{C} \text{ 目標心拍数(拍/分)} = (\text{最高心拍数(拍/分)} - \text{安静時心拍数(拍/分)}) \times (\text{運動強度}/100) + \text{安静時心拍数(拍/分)}$$

7. 歩くことの効用

歩行運動は、定期的な実施によって以下のようなメリットが生じることが認められている。

- 1) 呼吸循環機能を高める：毎分120mの速さで歩くと、運動に必要なエネルギー量は安静時の7～8倍となり、呼吸循環機能の向上につながる。
- 2) 中高年の体力向上に効果的である：歩く速度が十分確保されれば、1回15分間程度のウォーキングでも中高年の体力や運動機能向上には有効である。
- 3) 肥満の予防と改善に最適である：食事制限なしに1日に30分間以上歩いた肥満者の体重が減少したという調査もあり、肥満の予防と改善に歩行は有効な手段である。

- 4) 高血圧の予防と改善に効果的である：歩行のような全身を使う持久的運動は、脂質代謝を高め、体脂肪を減らし、結果的に体重が減少することで、血圧を下げる効果がある。
- 5) 狭心症・心筋梗塞の予防に有効である：毎日の規則的な歩行は、冠動脈の老化を遅らせ、心臓病の予防にもつながる。
- 6) 血圧およびコレステロール値を改善する：収縮期血圧および拡張期血圧が高かった者は、歩くことを含めた全身運動の定期的な実践によって、正常値である120～130mmHgおよび80mmHgに向かって改善することが報告されている。また、血液中の余分なコレステロールは動脈硬化を発生させるが、HDLコレステロールの量が多いと動脈硬化が抑制され、逆に肝臓から全身に運び出されているLDLコレステロールが多くなると動脈硬化が発生しやすくなる。最高血圧（収縮期血圧）や最低血圧（拡張期血圧）は、運動の実践によって改善され、歩行などの全身を使った長時間運動は、HDLコレステロールを増加させ、反対にLDLコレステロールを低下させる働きがあることが示されている。

8. ミニお遍路の心拍数・運動強度および歩行数・消費エネルギー

松山市近郊にある浄瑠璃寺 → 八坂寺 → 西林寺 → 浄土寺 → 繁多寺 → 石手寺の経路で歩いた際の心拍数の変化を図4に示した。寺毎に参拝をするなどして休憩をとったが、遍路中の心拍数は、100～120拍/分の範囲にあり、運動強度で表すと25～35%であり、身体が受けている負担度は、小さなものであった。

浄瑠璃寺をスタート地点として、各寺までの歩数と体重と歩数から計算したおおよその消費カロリーを表2に示した。浄瑠璃寺から石手寺までの3名の平均歩数は、約22,000歩であり、消費カロリーは約760kcalであった。このカロリー

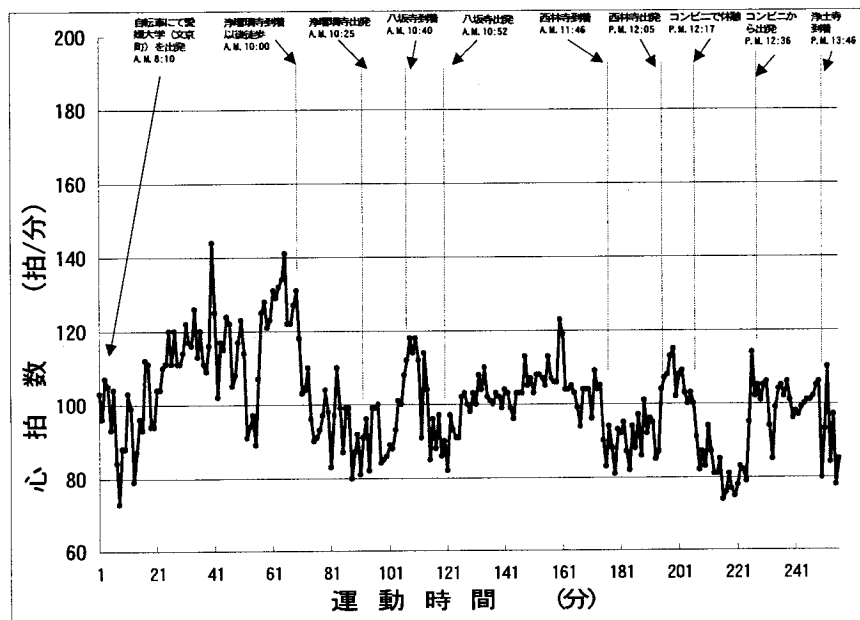


図4. 遍路実施中の心拍数の変化

は、食品に換算すると鰻丼1人前、ハンバーガー2.6個、カップヌードル2個分に相当する。また、45kgの女性のゆっくりとした歩行6.5時間分、ジョギング2.4時間に相当する。

表2. 遍路実施中の歩行数および消費カロリー

		八坂寺	西林寺	休憩地点	浄土寺	繁多寺	石手寺
お遍路A	歩数(歩)	2150	8352	10261	13025	15485	20697
	消費カロリー(kcal)	69.5	308.3	380.2	475.4	567.3	662.5
お遍路B	歩数(歩)	3679	9854	11838	14615	17144	22117
	消費カロリー(kcal)	127.7	381.4	456.7	567.5	668.1	865.1
お遍路C	歩数(歩)	3493	9667	11742	14506	17128	22034
	消費カロリー(kcal)	105.7	324.2	394.2	489.4	578.6	744.0

9. 歩いている時の水分摂取とエネルギーの補給について

歩行中も含めて運動を行うことによって、体内の水分を消耗する。特に我が国の夏季のような高温多湿の環境の下で長時間にわたる運動を実施した場合、多量の水と塩分が汗となって身体から失われる。もし、損失した水分と塩分が24時間以内に補給されなければ、熱障害が起こる可能性が高まる。この理由から、運動中の水分の補給は我慢したり、制限すべきではない。100-200ml程度の水分を10-15分毎に飲むための休息をとるべきである。しかも摂取する飲料は、冷たい低糖の飲み物を摂るべきである。

筋肉に蓄積された糖分（筋グリコーゲン）が多いほど、全身持久力は高くなることは既に明らかになっている。したがって、長時間にわたって歩行のような低強度運動を行う場合は、身体により多くの筋グリコーゲンが蓄積されているほど、楽に歩くための条件が整うことになる。

ではどのようにすれば、筋グリコーゲンを通常以上に蓄積することができるのであろうか。同じ人が3日間の通常の食事（混合食）を摂った時に筋に蓄積されたグリコーゲン量に比べて、脂肪とタンパク質成分が主体となった食事では、その蓄積量は大幅に減ったのに対して、脂肪やタンパク質ではなく炭水化物を主成分とした食事（糖質食：米類、パン、麺類など）によって、逆にその蓄積量が著しく増加することが確かめられている。つまり、慢性的な疲労からの回復や長時間の活動を行う際には、通常以上に炭水化物を摂取する必要がある。

以上のことから、歩くことは人間が生活を営む上で最も基盤となる行為の1つである。この動作自体は、加齢や傷害の発生などの理由から変容していくが、これの維持・改善は、豊かで健やかな日常生活を送ることに直結しているといっても過言ではない。ストレスの激増、肥満、生活習慣病、メタボリックシンドロームが社会問題としてクローズアップされる現代にあっては、「歩き遍路」に注目が集まることも充分理解できることであると思われる。

【参考文献】

- 浅井英典、大柿哲朗、小宮秀一(2004) 中高齢女性の転倒経験の有無による体力および動的平衡性の相違について。体育学研究 49 : 447-456.
- Gehlsen, G.M., Mitchell, H., and Whaley, M.S. (1990a) Falls in the elderly: Parts I, gait. Archphys. Med. Rehabil. 71: 735-738.
- Gehlsen, G.M., Mitchell, H., and Whaley, M.S.(1990b) Falls in the elderly: Parts II, balance, strength and flexibility. Archphys. Med. Rehabil. 71: 739-741.
- Haga, H., Shibata, H., Shichita, K., Matsuzaki, T., and Hatano, S. (1986) Falls in the institutionalized elderly in Japan. Arch. Gerontol. Geriatr. 5: 1-9.
- Kronhed, A.C.G. and Moller, M. (1998) Effects of physical exercise on bone mass, balance skill and aerobic capacity in women and men with low bone mineral density, after one year training: A prospective study. Scand. J. Med. Sci. Sports 8: 232-238.
- 増田允、江橋博(1971) 中高年令者の歩行姿勢について。体力研究 21: 28-36.
- Nevitt, M.C., Cummings, S.R., and Hudes, E.S. (1991) Risk factors for injurious falls: A prospective study. J. Gerontol. 46: M164-170.
- Prudham, D. and Evans, J.G. (1981) Factors associated with falls in the elderly: A community study. Age and aging 10:

141-146.

Stevens, J.A., Powell, K., Smith, S.M., Wingo, P.A., and Sattin, R.W. (1997) Physical activity, functional limitations, and the risk of fall-related fractures in community-dwelling elderly. *Ann. Epidemiol.* 7: 54-61.

安村誠司、芳賀博、永井晴美、柴田博、岩崎清、小川裕、阿彦忠之、井原一成、崎原盛造 (1994)
農村部の在宅高齢者における転倒の発生要因. *日本公衆衛生誌* 41: 323-327.