生活行為における身体的負担の評価手法の提案

- 車椅子による段差越えを例として -

A PROPOSAL ON THE EVALUATING METHOD
ON THE BURDEN IN DAILY ACTIVITIES

- A case of barrier with wheelchair -

守 明子*, 朝 稲 渉**

Akiko MORI and Wataru ASAINE

This paper proposed the use of the fractal dimension as a quantitative index of the complexity in daily activities. By performing calculation of the fractal dimension from the acceleration waveform obtained by the small accelerometers attached on a human body, the evaluation on a burden was tried. In order to verify the effectiveness of this method, the barriers with wheelchair were employed in this study. As the results, the fractal dimension was considered to be effective for the evaluation on the burden in daily activities, although this research restricted only to barriers.

Keywords : *Mechanical environment, Daily activity, Burden, Accelerometer, Fractal Dimension, Wheelchair*

力学環境, 生活行為, 身体負担, 加速度計, フラクタル次元, 車椅子

1. はじめに

既に高齢社会となった我が国においては、生きとし生ける人が身体機能の程度に関わらず自己決定権による自己実現を建築空間においても継続して確保していくことが重要である。

著者らは既に、身体装着可能な小型の加速度計を用い、生活行為における力学環境の評価手法を提案し、車椅子による段差越え実験を通じて加速度の値と感性評価との関係からその有効性、すなわち、加速度の値は各種生活行為における瞬間的な力学的作用であり、力学的に許容できる範囲を決定する一つの指標になりうるものであることを確認した¹⁾。

しかしながら、実際の生活においては時間の経過とともに身体の状態は常に変化している。また、多様な生活行為の中には身体をねじり、無理な姿勢を強いられるなど身体的・精神的な苦痛を伴う複雑な挙動も考えられ、時として身体機能に悪影響を与えかねない。したがって、住み慣れた住空間で可能な限り自立した生活を維持し続けるためには、各種生活行為における身体的負担の程度について客観的に評価することが不可欠となる。

ところで、近年、医療工学分野における身体機能回復の評価²⁾、複雑な形状の定量的評価³⁾、空間や景観の次元解析⁴⁾、災害発生時

の人間行動形態の評価⁵⁾ などなど、様々な分野でフラクタルの概念を用いた研究がなされているが、これらの研究は人間や空間そのものの評価を目的としている。それに対し、本論文は、「フラクタル」の概念を用いて生活行為における身体的負担の程度の評価手法を提案するものであり、以上のような研究は建築空間と各種生活行為との力学環境の評価を目的とする本研究とはその目的において異なっている。

ちなみに、ここで提案した評価方法を実験によって検証するに對象とする生活行為は、自立生活の継続と社会参加の機会確保にあたり切実な課題であろうと想定される車椅子による段差越えとする。これは本論文が端緒的研究であるので、まずあるひとつの生活行為を對象に検証することから研究を開始するためであり、この結果は複雑系である他の多くの生活行為の検証を行う糸口となるものである。

2. 実験概要

研究對象とする生活行為は自走用手動式車椅子（以下、車椅子と記す。）による室内における段差越えであり、前報¹⁾と同様であるので、ここでは概略を記す。

本論文は、参考文献11)～12)を取りまとめ、加筆したものである。

* 名古屋工業大学工学部建築・デザイン工学科
教授・博士(工学)

** ㈱ジュントスTOCコンサルティンググループ 博士(工学)

Prof., Department of Architecture and Design, Faculty of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.
TOC Consulting Group, Juntos Co., Ltd., Dr. Eng.

図1に示すような段差可変の通路を表1に示す2種類の車椅子を用いて表2に示す速度で走行した。ここで用いた車椅子の差異は前輪のキャストにある。一つはソリッドタイヤであり（以下、標準キャストと記す。）、もう一つは衝撃を緩和するための緩衝器が付けられているそれ（以下、緩衝器付キャストと記す。）である。また、ここでは加速度計を用いた身体負担の軽重評価の可能性を探るという端緒的研究のために被験者は敢えて表3に示すような日常的に車椅子を使用していない男性1名とした。

加速度の測定に際しては、ピエゾ抵抗型三軸加速度計（A社製）を用いた。この加速度計の特徴は、加速度計と加速度により得られる信号の増幅器を一体化した2×3×4cmの小型で衣服と同様な感覚で装着できることである。

図2に示すように、加速度計の装着位置は被験者の上腕部右側の手背付近⁶⁾（以下、手首と記す。）、身体の重心に近い臍⁶⁾の下部（以下、重心と記す。）車椅子の右側キャスト⁷⁾の車軸上部（以下、キャストと記す。）、右側駆動輪⁷⁾の車軸下部（以下、駆動輪と記す。）との4箇所である。サンプリング周波数は1000Hzとし、測定回数は各要因・水準毎にそれぞれ5回とした。ここで、加速度の軸は、同図に示すような立位時の状態を基本として、進行方向に対する前後方向および上下方向の2方向とした。このうち前方向および上方向をそれぞれの正方向とした。

感性評価にはSD法を用い、図3に示すような形容詞対5項目を評価軸として5段階による評価とした。感性評価は、同一条件下における車椅子移動を5回繰り返した直後に実施した。

以上の実験から得られた加速度波形に基づいて身体の動きの複雑さ、すなわち揺らぎをフラクタル次元として求め、これと感性評価との関係から、生活行為における身体的負担の評価手法としての可能性を探る。

3. 解析方法

加速度波形からフラクタル次元を求めるが、その次元の高低は身体揺らぎをあらわすので、同次元が身体的負担の軽重を示すことになる。

3.1 フラクタル次元の算出方法

ここでは、粗視化の度合いを変える方法として時系列データの解析に優れたHiguchi法⁸⁾を用いて1秒間のデータ（1000個）毎にフラクタル次元を算出した^{注1)}。また、各区間から100個、すなわち0.01秒おきのデータを離散的に解析することでフラクタル次元の時系列変化を求めた。

この手法によるフラクタル次元の取りうる値は1から2の範囲内の非整数値であり、その値が高いほどその時系列内の複雑さが増していることになる。したがって、加速度波形からフラクタル次元を算出することによって生活行為の複雑さ、すなわち身体的負担の軽重を定量的に表現することができる。

3.2 フラクタル次元の算出におけるノイズの除去

図4に加速度計をキャストに装着し、走行速度（以下、速度と記す。）0m/s、すなわち助走なしで段差10mmの段差越えを例として加速度とフラクタル次元の算出結果とを時間軸で示す。同図上段に示すように、一連の測定は、加速度がほぼ軸線にある静止状態から始まり、加速度が急激に増大する段差越えとその後の加速度の小さ

い慣性による移動、ならびに加速度が若干大きくなる強制停止という3種の状態からなる。各状態におけるフラクタル次元は同図下段に示すように、段差直前の静止した状態で最も高く、段差を乗り越える際に低くなり、車椅子を停止する際には再びそれは高くなった。ここで、静止状態の加速度は基本的には0Gで一定となることからそのフラクタル次元は1に近くなることが考えられる。しかしなが

図1 実験装置の概要

表1 実験に使用した車椅子の仕様

種類	標準キャスト	緩衝器付キャスト
質量	13.6kg	12.4kg
全幅	650 mm	630 mm
全長	970 mm	980 mm
材質	ソリッドタイヤ	クッションタイヤ
キャスト直徑	152.4mm (6inch)	152.4mm (6inch)
その他	—	緩衝器付
材質	空気入りタイヤ	空気入りタイヤ
駆動輪直徑	558.8mm (22inch)	558.8mm (22inch)
空気圧	300 kPa	300 kPa

表2 実験要因と水準

要因	水準
段差 (mm) (9種類)	0, 3, 5, 10, 15, 18, 20, 25, 30
走行速度 (m/s) (4種類)	助走なし: 0 助走あり: 0.4, 0.7, 1.1
車椅子の種類 (2種類)	標準キャスト, 緩衝器付キャスト

表3 被験者の概要

性別	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)
男	25	178	78

図2 加速度計の装着位置および軸方向の設定

	1	2	3	4	5	
① 通りにくい						通りやすい
② 危険である						安全である
③ 困難である						容易である
④ 安定感がない						安定感がある
⑤ 疲れやすい						疲れにくい

図3 感性評価の内容

ら、実際にはフラクタル次元は高く、その値は約 1.8 であった。これは静止していても加速度計は非常に微小な加速度を検出していることが影響しているものと考えられる。一方、静止状態から段差を乗り越える際にはフラクタル次元が急激に低くなることから、段差を乗り越える際には揺らぎの複雑さが大きく変化していることを窺うことができる。このことから、静止から移動へと状態が変化するには揺らぎが変化するものの、静止状態において既にフラクタル次元が高くなったため、その揺らぎの変化がフラクタル次元の低さとして表現されたのではないかと考えられる。

すなわち、静止→移動→停止という状態の変化に伴う揺らぎの変化をより適切に把握するためには、静止状態の非常に微小な加速度をノイズと見なし、車椅子移動により得られる加速度からこのノイズを除去することが必要であると考えられる。

そこで、加速度波形におけるノイズをウェーブレット解析^{9, 10)}を用いて除去し、改めてフラクタル次元を算出する。ちなみに、これはノイズを含む時系列データに対して離散ウェーブレット変換により各スケールのウェーブレット係数を求め、その絶対値がある閾値より小さいものを 0 に置き換えてデータの再構成を行う手法である。ただし、ここでは段差を越える際の挙動の複雑さを把握するために移動区間におけるフラクタル次元の最大値を検討対象とした。その結果を図 4 中の「ノイズ除去後」として示す。

なお、ここで行なうノイズ除去は、測定機器に一般的に発生する加速度の高周波成分を除去しているものであり、人の動き(体動)にあたる低周波成分を除去したものではない。したがって、本論文のような人の動きに着目した解析においてはさしたる問題はないと考えられる。

ノイズ除去後のフラクタル次元の経時変化は、静止状態では低く、段差を越え始める際には高くなり、その後、停止へと状態が変化するには再びそれは低くなった。したがって、ノイズ除去は静止状態でのフラクタル次元を低くし、静止→移動開始・段差越え→停止という一連の状態の変化に伴う揺らぎの変化を適切に表現することが基本的には可能であると示唆される。また、移動区間ではフラクタル次元が高く、その中でも段差の越え始めにおいて極めて高い。このことから、車椅子の挙動は段差を乗り越える時が最も複雑であ

図 4 加速度波形およびフラクタル次元の解析例
(速度 1.1m/s, 段差 10mm, キャスタ装着, 上下方向)

ることになる。ここで、停止時におけるフラクタル次元が最も高いのは移動中の車椅子を強制的に停止したためと思われる。このことから、停止することの方が段差を乗り越えることよりも挙動が非常に複雑であることがわかる。

以下、「4. 結果」および「5. フラクタル次元による身体負担評価の試み」においてはノイズを除去して得られたフラクタル次元を検討対象とする。

4. 実験結果

4.1 フラクタル次元

加速度計の装着位置、車椅子の速度および段差別のフラクタル次元について車椅子の種類をパラメータとして以下に述べる。

加速度計の装着位置

開口幅や通路幅が狭小な住宅内での車椅子による室内移動を考慮すると速度は小さいことが考えられる。そこで、ここでは段差 15mm, 速度 0m/s を例として加速度計の装着位置とフラクタル次元との関係を図 5 に加速度の前後方向と上下方向とに分けて示す。

同図(a)に示すように、前後方向のフラクタル次元は加速度計を重心に装着した場合に最も低くなった。当初、標準キャストの方が緩衝器付キャストよりも全ての装着位置において高くなると予測されたが、結果は必ずしもそのようではなく、キャストに装着した場合には緩衝器付のほうが逆に高くなった。最も低い重心においては 1.30 前後、他の部位においても 1.40 以下であり、キャストの種類による差異はさほど顕著ではなかった。

一方、同図(b)に示すように、上下方向のフラクタル次元は手首において最低の 1.30~1.38 が得られ、次いで重心・駆動輪・キャストの順に高くなり、1.59 にまで達した。また、前後方向と同様に標準キャストの方が緩衝器付キャストよりも高くなると予測されたが、ここでもそのようではなく、予測通りの結果が得られたのはキャスト装着のみであった。

ちなみに、同図(a)と同図(b)との傾向を見るに、同一装着位置においてキャストの種類によるフラクタル次元は、前後方向において上昇したものは上下方向では下降し、同様に下降したものは上昇している。しかし、ここでは示していないが、他の速度における同一装着位置での測定方向によるその順位には明確な傾向を見出すことは困難であった。

車椅子の走行速度

図 5 に示した結果のうち、同図(b)のなかで比較的フラクタル次元

図 5 加速度計の装着位置とフラクタル次元との関係
(段差 15mm, 速度 0m/s)

の低かった「重心」と最高を示した「キャスト」とについて、さらに詳細に速度との関係で示すと図6のようになる。

同図(a)に示すように、重心では緩衝器の有無に関わらず速度が増加するほどフラクタル次元は速度 0m/s の 1.40 から速度 1.1m/s の 1.30 へと低くなるが、フラクタル次元は緩衝器付キャストの方が概ね低い。しかしながら、同図(b)に示すように、装着位置がキャストにおける標準キャストではこの限りではなく、速度 0m/s でのフラクタル次元が 1.59 であるのに対し速度 0.4m/s のそれは最も高く 1.70 にまで達した。ただし、重心装着の場合と同様に緩衝器付キャストのフラクタル次元は低下し、その低下は各速度において 0.04~0.14 と極めて顕著であり、速度 1.1m/s では 1.51 にまで低下している。また、何れの速度においても手首や重心などの身体装着のほうが車椅子装着よりもフラクタル次元は低く、図5と概ね同様な傾向が確認された。

したがって、図5と図6とからフラクタル次元は加速度計を車椅子に装着するよりも被験者に装着する方が低く、タイヤの材質ならびに緩衝器の有無等により、身体の揺らぎが軽減されている、すなわち、車椅子の仕様に応じて身体への負担軽減化が図られていることが推察される。

段差

図5に示した結果のうち、同図(a) (速度 0m/s) のなかで身体装着である「手首」と「重心」とについて、さらに詳細に段差との関係で示すと図7のようになる。

同図(a)に示すように、手首におけるフラクタル次元は、標準キャストの場合、段差 0mm から同 15mm までは 1.40 を境として若干の

図6 車椅子の速度とフラクタル次元との関係 (上下方向, 段差 15mm)

図7 段差とフラクタル次元との関係 (前後方向, 速度 0m/s)

変動はあるが、それ以上の段差になると高くなり、段差 25mm においては 1.53 にまで達した。しかし、さらに段差が増大して 30mm に達すると低下している。一方、緩衝器付キャストの場合、段差 30mm 以外においては全ての段差において標準キャストよりも 0.02~0.13 低くなっていることから、緩衝器付キャストによって身体の揺らぎが軽減されていることになる。ただし、後述するが、段差 30mm において被験者は乗越えに対する困難さを強く感じており、この値のみによる身体的負担の軽減化を検討するには危うさがあることは否めない。また、同図(b)に示すように、重心においては同図(a)に示す手首においてよりも段差による差異は段差 0~5mm までは 0.05~0.10 であるが、それ以上の段差になるとそれは僅少である。ただし、段差が 30mm にまで達するとそれは 0.08 に増加する。ここでも手首装着同様に標準キャストの方が緩衝器付キャストよりもフラクタル次元が若干高い。

ちなみに、ここでは示していないが、フラクタル次元が最も高かったキャスト装着においては何れの車椅子においても概ね段差の増加に伴いフラクタル次元は高く、速度 0.4m/s・段差 30mm においては標準キャストでは 1.72、緩衝器付キャストでは 1.61 に達した。

以上の結果より、加速度計の装着位置で比較するに、概ね車椅子のキャストに装着したフラクタル次元が高い。これはキャストが段差に直接衝突する箇所であり、その衝撃は車椅子への負担が重いことの表れであると考えられる。一方、身体へ及ぼす影響についてみるに、重心よりも車椅子のハンドリムを操作する手首においてフラクタル次元は高い。この結果は、作用部において顕著な差異が得られるという著者らの報告¹⁾とも合致している。

4.2 感性評価

図8に感性評価の結果を感性評価項目のうち同③「困難である-容易である」を例として速度と緩衝器の有無別に感性評価点と段差との関係を示す。

まず、標準キャストにおいては速度が 0m/s、すなわち助走なしの場合、段差無しの場合の感性評価点 (以下、評価点と記す。) は最高の 5 点であるが、段差の僅かな増大でも評価点は低下し、概ね段

図8 感性評価項目③「困難である-容易である」における段差と感性評価点との関係

差が 18mm 以上になると評価点は最低 (1 点) となる。また、速度が増大すると同様の傾向ではあるが、段差が 15mm 以上において既に最低の評価点 (1 点) となった。さらに同速度が 1.1 m/s になると段差がない場合でも他の速度と比較して評価点は 3 点と低く、段差増大に伴うその後の傾向は他の速度の場合と同様である。すなわち、速度の増大は段差の小さい時点で感性評価点の低下を発生させていることがわかる。

次に、緩衝器付キャスタにおいてみるに、段差の増大と共に評価点が低下するという基本的な傾向は標準キャスタと類似ではあるものの、大きく異なっているのは全ての速度において段差無しでは最高点 (5 点) であること、段差 10mm までは速度の全てにおいて最高点が維持されていることである。これはこの程度の段差越えに対し被験者は特段の負担を感じていないことになる。さらに同 15mm においても 4 点が確保されており、これは標準キャスタにおける段差 3mm に対応している。さらに全ての速度において評価点が最低 (1 点) となるのは段差が 30mm に達したときのみである。

すなわち、速度 0m/s の場合、緩衝器付キャスタでは横軸切片 a ($0 \leq a \leq 30$) と縦軸切片 b ($1 \leq b \leq 5$) をもつ楕円に類似した形状の曲線の上半分を形成する曲線 (ここでは曲線 L とする) に、また、標準キャスタでは、横軸切片 a と縦軸切片 b とを結ぶ直線に対して曲線 L と線対称となる形状の曲線 (ここでは曲線 G とする) にそれぞれなり、二つの曲線により閉鎖空間が描かれている。速度が 0.4m/s に増加すると曲線 L と同 G により形成されるその閉鎖空間の面積は大きくなり、さらに増加すると横軸切片 a は不変のまま縦軸切片 b が速度 0m/s より減少する形状となっている。実際問題として室内移動における速度は 0~0.4m/s であることがほとんどであることから、段差の増加に伴う感性評価の変化は基本的に上記のような曲線 L と同 G とによる閉鎖空間で描かれ、かつ速度が増加するとその面積は増大する傾向を窺うことができる。したがって、車椅子の選定に際しては段差と感性評価点との関係をプロットすることにより得られる曲線で囲まれる面積の変遷が有用である可能性を示唆していることになる。なお、これらの傾向は他の感性評価項目においても概ね同様であった。

以上のことから、段差および速度の増加に伴い評価点が低下する傾向は車椅子の種類によって異なるものの、自走用手動式車椅子としてみた場合、段差 15mm までならば被験者の身体的負担がさほど重くはない段差の許容値ということになる。

5. フラクタル次元による身体的負担評価の試み

著者らは前報において加速度の最大値と最小値との差、すなわち絶対加速度と感性評価点との関係から、加速度計による力学環境評価の可能性を示した¹⁾。ここでは、フラクタル次元、絶対加速度および感性評価点という 3 項目の相互関係から、フラクタル次元に基づく身体的負担の評価を試みる。

まず、身体的負担の軽い行為を考えるに、身体揺らぎが少なく、小さな力を発揮する程度のものであろうことが推察される。すなわち、フラクタル次元は 1 に、絶対加速度は 0G に、感性評価点は 5 点にそれぞれ近いことになる。さらに換言すると、この三者を 3 次元空間に表示した場合、各項目における上記の値をそれぞれの軸の原点とすると、各項目の値と原点との距離が最も小さい行為が身体

的負担の軽いそれに該当する。

そこで、加速度計を手首に装着した場合の速度 0m/s、前後方向を例として 3 次元空間に表示すると図 9 のようになる。ここで、各項目のとり得る範囲が数値の絶対値としては異なるので、この影響を排除するために実験により得られた数値に各項目別に処理を施す。すなわち、フラクタル次元については実験により得られた値に係数 5 を乗じ、この値から 5 を減ずることによってフラクタル次元 1 が原点 0 に、同 2 が最大値 5 とした。同様に絶対加速度についてはその範囲が 0~10G であったので係数 2 で除す。感性評価点は素点として原点を 5 点とする。これらの値を補正值として各軸の括弧書きで示す。

同図に示すように、標準キャスタにおいてフラクタル次元が 1.45 (補正值 2.25) と中程度であっても、絶対加速度は 1.40 (補正值 0.70)、感性評価点は 5 点 (補正值 1 点) というものの中にはあるが、概ね車椅子の種類にかかわらずフラクタル次元および絶対加速度が小さいほど、感性評価点は高い。したがって、各点と原点との距離が小さいほど身体的負担が軽いことになり、この距離によって身体的負担の程度を表現できるものと考えられる。

そこで、図 9 から求めた原点からの距離を段差との関係で重心装着についても併せて示すと図 10 のようになる。ここで距離の算定にあたっては補正值を用いた。

まず標準キャスタについて見るに、図 10 (a) に示す手首装着の場合、段差無しの距離は 2.34 で最も小さいことから、身体的負担が最も軽いことになる。段差が 5mm では距離は 3.75 に、さらに 18mm では 4.79 となり、段差の増加に伴い身体的負担が重くなることになる。図 10 (b) に示すように、重心装着の場合においても段差増大に伴う距離の増加傾向、すなわち身体的負担の程度は手首装着の場合と同様である。次に緩衝器付キャスタについては、加速度計の装着位置にかかわらず、段差の増加に伴い距離も増大することは標準キャスタと類似しているものの、その傾向は異なっており、概ね段差 18mm を契機に急激に増大し、段差 30mm では標準キャスタと同程度となった。ここで、車椅子移動について考えるに水平面の移動よりも段差のある方が、しかもその段差が大きい方が身体的負担は重いであろうことは想像するに難くない。本実験においても段差が大きくなるほど身体的負担の程度を意味する距離は大きくなることから、車椅子の種類にかかわらず低い段差ほど身体的負担は軽いことが改め

図 9 フラクタル次元、絶対加速度および感性評価点との関係 (手首装着, 速度 0m/s, 前後方向)

て判る。ちなみに、ここでは示していないが、他の加速度計装着位置ならびに速度においても同様の結果が得られた。

ところで、「4.2 感性評価」で段差の許容値が約 15mm であること示した。そこで図 10 と同様に段差 15mm を例として距離と速度との関係を示すと図 11 が得られる。

加速度計の装着位置で比較すると、重心よりも作用部である手首の方が一様に距離は大きくなり、手首の負担が重いことがわかる。車椅子の種類別についてみるに、まず標準キャストの場合、いずれの装着位置においても速度が増加するほど距離も大きくなっており、速度増加に伴い身体的負担も重くなることになる。ただし、手首装着では速度 0.7m/s 以上、重心装着では同 0.4m/s 以上では距離に差異は殆ど見られない。一方、緩衝器付キャストでは手首装着における距離は微増であり、重心装着においては速度による変化が認められない。これらの要因を考えると以下のことが挙げられる。まず、既に報告したように¹⁾高い速度を維持するには車椅子のハンドリムを操作する作用部である手首の負担が重く、速度増加に伴い絶対加速度は大きくなる。また、同速度増加は車椅子の進行方向への推進力の増加を意味しており、それにより段差衝突における衝撃が大きくなる。同時に、前項「4.1 フラクタル次元」で述べたように、高い速度を維持するには無駄な動きを可能な限り回避することが求められ、被験者は無意識のうちに身体の安定を図ろうとするために、結果として揺らぎを意味するフラクタル次元は速度の増加と共に低くなったものと考えられる。さらに、緩衝器により段差衝突に伴う衝撃がある程度は軽減されている。

このように、身体的負担を考えるに走行条件や車椅子の仕様などが複雑に影響していることが推察されるが、ここで提案した身体的負担の包括的な評価である「距離」を求めることによって、速度が増加するほど身体への負担が増し、特に作用部である手首への負担が重いことがわかる。

図 10 段差と「距離」との関係 (速度 0m/s, 前後方向)

図 11 走行速度と「距離」との関係 (段差 15mm, 前後方向)

したがって、瞬間的な力を表す絶対加速度ならびに挙動の複雑さを表すフラクタル次元など個々の評価の重要性を否定するものではないが、それらと感性評価点との関係、すなわちそれらの組み合わせである「距離」を求めるという、ここで提案した手法には生活行為における身体的負担の軽重を定量的に評価するに有用であると考えられる。

以上の結果は、自走用手動式車椅子による室内移動という特定の生活行為のみにより検証した結果である。しかしながら生活行為は多種多様であり、自走用手動式車椅子による室内移動のほかにも例えば階段の昇降、入浴、排泄、室内移動に伴うドアの開閉、着座・起立等々、枚挙に遑がない。これらの生活行為に関しての検証を継続することにより、本評価手法を確実なものとする必要があることは言うまでもない。

6. まとめ

加速度測定から算出されるフラクタル次元を用いた生活行為における身体的負担の軽重に関する評価手法を提案し、評価手法の有効性を多様な生活行為のうち自走用手動式車椅子による段差越えを対象に検証した。

得られた結果は以下の通りである。

- 1) フラクタル次元で表される身体挙動の複雑さは車椅子移動における静止に始まり、移動を経由して停止で終了するという状態の変化に伴って変化する。
- 2) 段差を越える際のフラクタル次元は身体作用部である手首ならびに段差に直接衝突するキャストにおいて高く、高い段差ほどその傾向は顕著である。
- 3) 身体的負担の軽重は、フラクタル次元、絶対加速度および感性評価点を各軸とした 3 次元空間における原点からの「距離」として示される。

ここで提案した評価手法の活用は、生きとし生ける人が住み慣れた住空間で可能な限り自立した生活を維持し続けるための設計に対しても有用であると考えられる。

謝辞

研究を遂行するにあたり富山大学准教授 中島一樹氏ならびに東京都立産業技術高等専門学校准教授 吉村拓巳氏には有益な助言を頂いた。また、実験を遂行するにあたり 2005 年度名古屋工業大学大学院修論生 山口理人氏、曙ブレーキ工業株式会社 坂井孝氏、社会福祉法人 AJU 自立の家サマリアハウス施設長 浅井貴代子氏、ならびに同法人 AJU 自立の家ピア名古屋所長 江戸徹氏の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

注

注 1) 粗視化の度合いを変える方法として、時系列データの解析に優れ Higuchi 法⁸⁾を用いた。具体的な方法は以下の通りである。まず、元になる時系列を $X(1), X(2), \dots, X(N)$ とした場合、式 (1) のように k で粗視化した時系列の組を k 個構成する。

$$\tilde{X}_m(k); (m, X(m+k), X(m+2k), \dots, X(m + \left\lfloor \frac{N-m}{k} \right\rfloor \cdot k)) \quad (m=1, 2, \dots, k) \quad (1)$$

ここで、 $\lfloor \cdot \rfloor$ はガウス記号を表す。

構成された一つ一つの $\tilde{X}_m(k)$ に対して長さ $L_m(k)$ を式 (2) のように求める。

$$L_m(k) = \left\{ \left(\sum_{i=1}^{\left\lfloor \frac{N-m}{k} \right\rfloor} |X(m+ik) - X(m+(i-1)k)| \right) \left(\frac{N-1}{\left\lfloor \frac{N-m}{k} \right\rfloor} \right) \right\} / k \quad (2)$$

さらに、 k で粗視化された時の時系列の長さを、上で求めた k 個の $L_m(k)$ の算術平均によって式 (3) のように定義する。

$$\langle L(k) \rangle = \frac{\sum_{m=1}^k L_m(k)}{k} \quad (3)$$

その後、粗視化の度合い k を変えて

$$k \propto \langle L(k) \rangle^{-D} \quad (4)$$

となる関係を満たす場合、この時系列がフラクタルであると言え、式 (5) によりフラクタル次元 D を推定することができる。

$$D = \frac{\log \langle L(k) \rangle}{\log k} \quad (5)$$

参考文献

- 1) 守明子, 朝稲渉: 生活行為における力学環境の評価手法の提案 — 車椅子による段差越えを例として —, 日本建築学会計画系論文集, No.597, pp.37-44, 2005.11
- 2) 関根正樹, Metin Akay, 関本満義, 東祐二, 藤元登四郎, 田村俊世, 福井康裕: ウェーブレット-フラクタル解析を用いた脳卒中片麻痺患者の運動障害の評価, 第40回日本エム・イー学会大会, pp.294, 2001.5

- 3) 高安秀樹: フラクタル, 朝倉書店, 1986
- 4) 蝶名林秀明, 根来宏典, 大内宏友: フラクタル次元解析を用いた景観認知による可視化モデルの複雑性の定量化手法, 日本建築学会技術報告集, 第22号, pp.549-552, 2005.12
- 5) 横山秀史, 永田茂, 山崎文雄, 片山恒雄: フラクタル次元を用いた人間行動動線の定量的分析, 土木学会論文集, No.450/I-20, pp.181-187, 1992.7
- 6) 日本建築学会編: 建築設計資料集成3 単位空間 I, 丸善株式会社, pp.1, 1980
- 7) 日本工業規格, 手動車いす, JIS T9201-1998
- 8) 樋口知之: 時系列のフラクタル解析, 統計数理, 第37巻, No.2, pp.209-233, 1989
- 9) 中野宏毅, 山本鎮男, 吉田靖夫: ウェーブレットによる信号処理と画像処理, 共立出版, 1999
- 10) D.L.Donoho: De-noising by Soft-thresholding, IEEE Transactions on Information Theory, Vol.41, No.3, pp.613-627, 1995
- 11) 朝稲渉, 守明子: 住宅の力学環境評価手法に関する研究 その6 車椅子移動による段差乗越えにおける加速度波形のフラクタル解析, 日本建築学会大会 (近畿) 学術講演梗概集, E-1 分冊, pp.837-838, 2005.9
- 12) 朝稲渉, 守明子: 住宅の力学環境評価手法に関する研究 その8 車椅子による段差越えにおけるフラクタル解析の再検討, 日本建築学会大会 (関東) 学術講演梗概集, E-1 分冊, pp.773-774, 2006.9

(2007年3月29日原稿受理, 2007年8月16日採用決定)