

# 軽度な認知機能低下を示す高齢者の早期検知

Early Detection of Elderly People with Mild Cognitive Decline

阿部 賢 吾  
Kengo Abe

中島 博文  
Hirobumi Nakajima

松村 吉 浩  
Yoshihiro Matsumura

南雲 亮 佑  
Ryosuke Nagumo

西山 高 史  
Takashi Nishiyama

笹部 孝 司  
Kohji Sasabe

## 要 旨

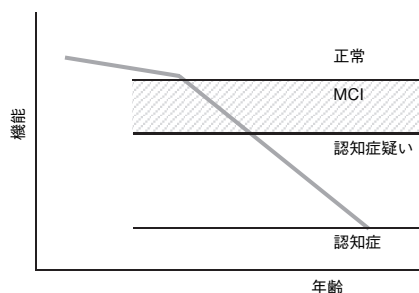
現在日本は高齢化により認知症が社会課題となっており、その予防が急務である。筆者らは認知症予防で重要な軽度な認知機能低下者を早期に検知するシステムの開発を目指し、日常生活においてそれと意識させない非侵襲な各種センサ情報から高齢者の行動変容を捉え、認知機能低下を検知する技術の実証実験を行った。その結果、認知機能と相関の高い特徴量を複数抽出することで心理的負担が低く、かつ比較的取得が容易な活動量、家電操作、音声、歩行のデータから、さりげなく対象者の認知機能低下を検知する可能性が得られた。

## Abstract

Dementia is now a social problem due to the aging in Japan, and its prevention is urgent. The authors conducted a demonstration experiment to develop a system for early detection of Mild Cognitive Decline which is important in dementia prevention. We demonstrated the possibility of casual detection of the cognitive function of the subject from data such as activity amount, home electronics operation, speech and walking which exerts a low psychological burden and can be easily obtained.

## 1. はじめに

現在日本は本格的な超高齢社会となり、2025年に認知症患者は700万人を超えると推定され、その早期発見のシステムと予防が急務である。認知症にはさまざまなレベルがあるが、第1図のイメージ図に示すように個人差はあるが一般的に人は年齢とともに認知機能が徐々に低下し、軽度認知障害（MCI：Mild Cognitive Impairment）を経て、認知症に至る[1]。近年、MCIの段階では適切な介入により認知機能低下の維持や回復が報告されていることから特にMCIが注目されている。これらの背景と、IoT（Internet of Things）データの普及を見込み、筆者らは、あらゆるセンサデータを統合的に分析することで対象者に身体的・心理的負担をかけない方法で軽度な認知機能



第1図 認知機能の低下イメージ

Fig. 1 Declining of cognitive function

低下、ひいてはMCIの検知を行う技術的可能性を検討している。

## 2. 開発目的と技術概要

本研究の目的は、住宅に設置する各種センサデータから、そこに住まう高齢者の日常的な行動変容を捉え、認知機能低下の早期の兆候を検知することである。高齢者の身体の動き、歩行、音声の3つのモードに着目し、2種類の取り組みを推進している。それぞれの特徴イメージと比較対象のベンチマークを第2図に示す。1つが、居住住宅で日常生活を送る際の日常活動変化を非侵襲かつ長期間モニタリングする検知システムの開発（3章に記述）であり、もう1つが、音声や歩行を用いた、比較的短時間で簡単に計測できる簡易スクリーニングシステムの開発（4章に記述で、それぞれの実証実験の状況を報告する）。

	日常活動	簡易スクリーニング	テスト	医療行為
商品イメージ				
検知手段	日常生活の活動、歩行、音声	音声、歩行	記憶などのテスト点数	血液検査
時間	(数か月の経時変化から検知)	5分程度	15分程度	5分程度
心理的負担	低	中	高	高

第2図 ベンチマーク

Fig. 2 Benchmark

なお、本研究は、各共同研究先および（一財）人間工学研究センターの倫理審査の承認を得て行った。

### 3. 日常活動長期モニタリングによる縦断分析

居住住宅で日常生活を送る際の活動変化を長期間モニタリングすることで極力心理的な負担を軽減した状態で認知機能低下を検出する取り組みについて、3.1で基礎データとなる装着型センサで活動量を取得したデータの分析結果について、3.2では実際の住環境に設置した非侵襲なセンサで取得した日常活動データを長期間にわたり個人を複数回観察し分析する縦断研究の結果について述べる。

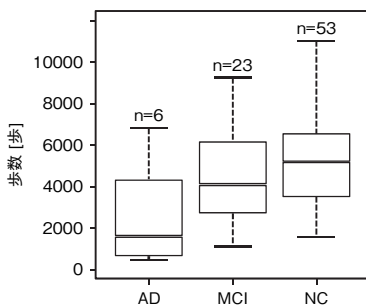
#### 3.1 活動量計を装着したデータの分析

認知機能と運動および身体活動の関連性については、日常身体活動量が多い高齢者が、不活発な高齢者よりも認知症の発症リスクが少ないことや認知機能の低下が穏やかであることが確認されており、身体活動量を元に認知機能の評価ができる可能性が示唆されている[2]。

ここでは認知機能と身体活動量の関連性の検討を行うため、那珂川検証フィールドのうち、高齢者の4年の加齢前後に取得した認知機能評価スケール（以下、スケール）の点数と、腰装着型加速度計（Actimarker、当社製）で計測した2週間程度の活動量データを用いた。

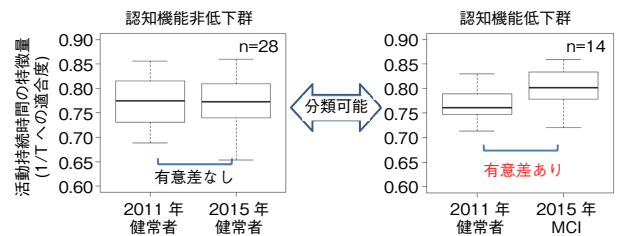
まずは、先行研究をトレースする型で1日の平均歩数について比較を行った。スケールを基に健常（NC）、MCIを含む軽度認知機能低下者（以下便宜上MCIと略す）、認知症（AD）に層別し比較した結果を第3図に示す。群間で有意差が認められ（p値：有意確率、 $p < .01$ ）、これまでの先行研究を支持した。

日常の行動は自身が置かれている状況と環境からの刺激など複合的な要因に基づき決まると言われている[3]、ここでは、持続時間（T）の分布に着目し、1/Tの適



第3図 平均歩数の結果  
Fig. 3 Results of average number of steps walked

合度により、例えば、お菓子を食べ出すと止められないなど一度ある活動を始めるとそれを続けるという、小さな活動の持続時間の増減を分析した。以下の2群に適用した結果を示す。75歳±4歳の対象者が4年後、79歳±4歳になったとき、健常からMCIへ認知機能が低下した低下群（14人：男9、女5）と健常のまま認知機能が低下していない非低下群（28人：男18、女10）を比較した結果を第4図に示す。低下群は4年前後で有意差認める一方（ $p < .05$ ）、非低下群は4年前後で有意差を認めなかった（ $p > .05$ ）。これは、認知機能低下に伴い、社会的交流が薄れ、外部の制約が減少する一方、動作が緩慢となり、小さな活動の持続時間が増加する（行動のメリハリが失われる）ことを現していると推察される。



第4図 活動量の分析結果  
Fig. 4 Results of activity data

#### 3.2 サービス付き高齢者住宅の非侵襲センサによるデータの分析

##### [1] 実証概要

本節では、通常の日常生活を営む際の音声、歩行、活動量を自然に収集し、そのデータを分析することで認知機能変化の検出を検証するものである。当社グループのサービス付き高齢者住宅（以下、サ高住）1棟約20戸に第5図に示すような各種センサを設置した。真値となる認知機能は、タブレットを介して簡便に評価できる“物忘れ



第5図 センサシステム概要  
Fig. 5 Architecture of sensor system

相談プログラム（以下MSP満点15点）”で定期的に評価した[4]。カットオフ値は、健常（15-14点）、MCI（13-12点）、認知症（11-0点）とした。

活動量は、見守りエアコン（当社製）とベッドのマットレス下に設置した電波センサから取得する。また、各部屋の分電盤（スマートコスモ<sup>(注1)</sup>、AiSEG<sup>(注1)</sup>、当社製）を設置し、分電盤の分岐回路ごとの電力を取得する。さらに、テレビのリモコン操作データも取得している。音声データは、サ高住内のナースコールシステムを介した対象者と介護スタッフの会話から取得する。歩行データは、廊下天井に設置されたカメラ映像から対象者の歩行動画を抽出する。

音声と歩行は、あとの簡易スクリーニングシステムの章に譲り、ここでは、部屋壁とベッドの電波センサから、居室内活動量を分析した結果とテレビリモコン操作の履歴データを分析した結果についてのみ述べる。

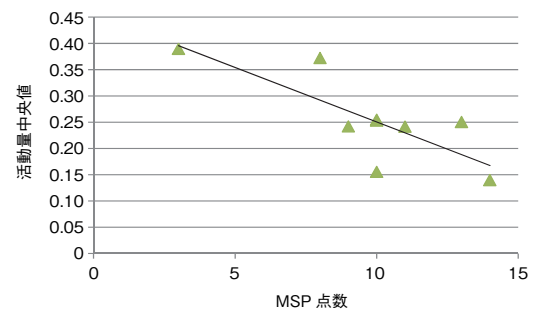
## 〔2〕居室内活動について

サ高住に住まう高齢者の活動量データは、実際の住環境に設置した居室壁およびベッドの電波センサにより取得され、夜間の睡眠状態と昼間の外出割合についてそれぞれ分析を試みた。

まずは睡眠について述べる。高齢者の睡眠に関する研究は多く、特にアルツハイマー型認知症になると、生物時計に相当するSCN（視交叉上核）に障害を起し、サーカディアンリズム障害となり、結果として中途覚醒や睡眠分断などの睡眠障害が出るとされている[5]。これらの症状は、身体活動データにも見られると予想されるので、夜間の睡眠中と想定できる時間帯に着目し、活動量データを分析した。

活動量データは、2017年8月から2018年4月まで、高齢者ごとに毎日、分単位で計測されているので、13種類の統計的特徴量（累積値、平均値、標準偏差値など）について平均値を求めた。また、2017年12月と2018年4月は両月ともMSPの点数が得られているので、両月の各々でMSPの点数と上記の統計的特徴量との相関分析を行い、両月とも相関の高かった「中央値」を特徴量として選んだ。2017年12月の中央値とMSP点数との散布図を例として第6図に示す。活動量中央値とMSPの点数に負の強い相関が見られる（ $r=-0.79, N=9, p<.01$ ）。これは、認知機能の低下に伴って睡眠時間帯の活動量が増えていることを示しており、睡眠分断や中途覚醒などの睡眠障害が発生したためと推察される。

次に外出割合について述べる。認知機能の低下に伴い、生活意欲の低下や社会性の欠如が現れることが知られて

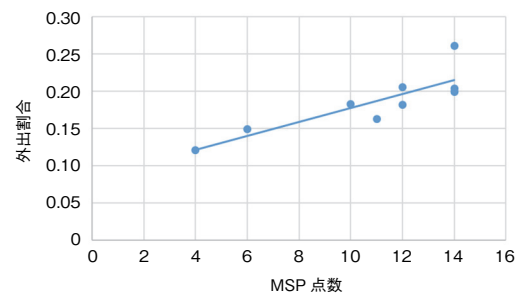


第6図 MSP点数と活動量中央値の散布図

Fig. 6 Scatter diagram of MSP points and activity features

いる[6]。ここでは、日常生活における、活動性を測る1つの指標として、外出割合に着目し、居室壁およびベッドの電波センサから得られる活動量データの分析を行った。居室内の活動が見られない場合は、外出していると想定されるため、居室壁のセンサおよびベッドのセンサの両出力が閾（しきい）値よりも小さい場合は外出と捉え、外出割合とMSPの点数の相関分析を行った結果、強い相関が見られた（ $r=0.85, N=9, p<.01$ ）。散布図を第7図に示す。これは、生活意欲の低下から日常生活における活動性の低下が外出割合として現れたものと推察され、3.1で示した活動の低下や社会的な交流の減少を裏付ける結果が示された。

今後は、さらなるデータ蓄積を図り、同一対象者の変化を縦断的に検証することを予定しており、結果が整い次第報告をする予定である。



第7図 MSP点数と外出割合の散布図

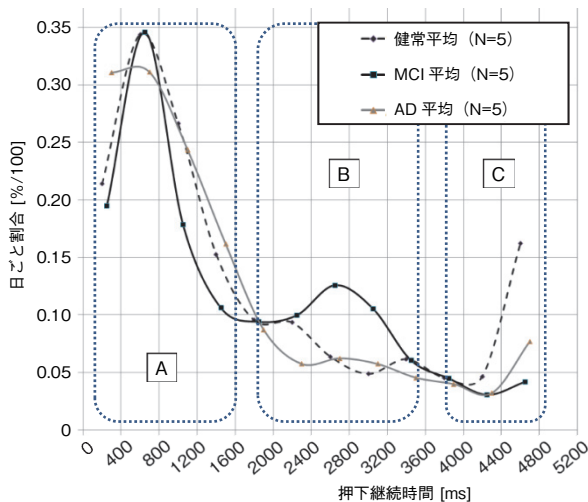
Fig. 7 Scatter diagram of MSP points and outing percentage

## 〔3〕テレビリモコン操作について

認知機能が低下すると実行機能障害で家電操作がうまくいかないとされている[7]。ここでは、テレビのリモコン操作を例に挙げ、具体的にどんな行動や症状が現れるかをサ高住入居者の各居室に設置されたテレビに、リモコン操作時の赤外線を受光するセンサを設置し、家電を日常的に利用する際に認知機能と関連する特徴の存在有無を半年間調査した。

(注1) 当社の日本国内における登録商標。

第8図は入居者のMSPの点数による層別のデータ散布図である。リモコンのボタンを押す際、ボタンに指の圧力がかかっている間は赤外線が200 ms出力され続けることから、ボタン押下の継続時間の日ごとの割合を求め、健常、MCI、ADの3層で明らかな特徴差が見受けられる。



第8図 3層別散布図  
Fig. 8 Three-layer scatter plot

「ボタン押下継続時間」をA～C（A：1秒以下／B：2～3秒／C：4秒以上）の3つに区分けすると、健常からMCIに遷移する際には、AとCが減少し、相対的にBが増加することが認められる。（「中間押下」が増加し、盛り上がる形状）本特徴をそれぞれの領域（A～C）の面積から特徴量 $f$ を（1）式で表現することで健常とMCIを対象にMSPの点数との間に、強い相関が見られた（ $r=0.71$ ,  $N=8$ ,  $p<.01$ ）。

$$f = \frac{B}{A} + \frac{C}{A} \dots\dots\dots (1)$$

これは、認知機能の低下による実行機能障害などの影響で、「すばやい動作」「動作を継続する」ことなどが難しくなってくるのが、リモコンボタンの押下継続時間として現出しているものと推察され、多くの人が保有する代表的な家電であるテレビを利用して日常生活から認知機能の低下を判定できる可能性を示している。なお、本データの取得期間はテレビの使用頻度にも依存するが、約2か月程度の蓄積で第7図の遷移とおおむね一致することがわかった。

続いて、同一対象者の経時変化を見たところ、MSPの点数が健常からMCIに変化したある特定の入居者でMCIに有意な特徴差（ $p<.05$ ）が現れた。テレビを見る頻度は個人差があり、蓄積データ量が異なるため、さらなる調査継続は必要だが、これは、健常からMCIに経時変化す

る際をテレビリモコン操作で検知できる可能性を示している。

#### 4. 簡易スクリーニングを目指した横断分析

3章で述べたモニタリングシステムは、心理的な負担が非常に低いが一定期間の変化の確認を有する。そこで、上記の様態（モード）のなかからその場で簡単に取得でき、単独での検知能力が高いと推察される音声と歩行に着目し、単体の様態を切り出した、簡易スクリーニングの検証について、2016年および2017年に京都学園大学で実施した体力測定会のデータのある1点で観察されたデータを基に分析する横断分析の結果を報告する。ここでは、スケールで低値群またはMCI、高値群または健常者と分類した。

##### 4.1 音声を対象としたデータの分析

音声は音響情報（発話・非発話、基本周波数など）と言語情報（語彙、文構造など）から構成されるが[8]、測定時の心理的負荷を最大限軽減する目的から、まずは音響情報のみを使用して試みた。

音響情報は主に2つの情報を含んでいる。1つ目が発話の流暢（りゅうちょう）性である。認知症になると、例えば文章の意味がわからなくなり発話が止まること（失語症）や、口腔（こうこう）運動に困難が生じて発話スピードが落ちること（構音障害）が知られている[9]。そこで、音圧から発話・非発話を検出することで発話の流暢性を定量化することができる[8]。2つ目は発話の明瞭性である。認知症になると鬱や構音障害が併発し、これらが発話の明瞭性に影響を与えることが知られている。例えば、鬱は発話の平坦（へいたん）化に繋がり、それは基本周波数により確かめられる。一方で、構音障害は閉鎖子音と後続有声母音との音圧差の減少、母音フォルマントの変化範囲の減少などに繋がること知られており[10]、基本周波数とフォルマント変化より発話の明瞭性を定量化することができる。

以上を確かめるべく、65歳以上の高齢者137人に協力して頂き、童話「北風と太陽」の約1分間の朗読音声を取得した。まずは、この音声をパワー、基本周波数、フォルマントの3種類の物理量の時系列データに変換することで各特徴量を計算した。最後に、これらの特徴量を説明変数、スケールに基づく健常者またはMCIのラベルを目的変数にしてロジスティック回帰モデルで識別を試みた。10分割の交差検証を行ったところ、識別性能の指標の1つであるROC-AUCは0.68と1次スクリーニング機器として適切な精度が得られた[11]。今回行った朗読試験

は目で見た文字を口で発音するという半ば自動化された動作であるので高次脳機能をさほど使用しないが、さらなる精度向上のためには発生時に脳機能に負荷を与える方法が考えられる[9]。例えば簡単な復唱課題で記憶領域に若干の負荷をかけることや、提示された写真の内容を説明してもらう課題で、発話の自由度を上げることで、被験者に試験をされていると感じさせない範囲で負荷をかけることが可能だと考えられる[8]。つまり、中負荷の課題で得られた音声から抽出した特徴量を用いることで、健常者とMCIのより高性能な検知が可能になると推察できる。現在大規模データで機械学習の技術も用いながら実証中であり、大幅な精度向上が見込めそうである。結果が整い次第、別途報告の予定である。

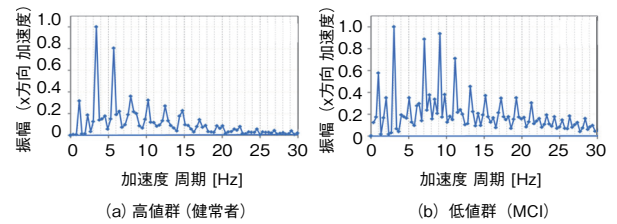
#### 4.2 歩行を対象としたデータの分析

運動機能と認知症の関連性については、動作機能の低下と健康な高齢者における認知機能低下、歩行機能低下と認知症状の進展にそれぞれ相関があることが示されており、さらに近年、縦断的研究により、歩容解析から認知機能低下の臨床評価ができる可能性が示唆されている[12]。

筆者らは認知機能と歩行機能の関連性について検討を行うため、スケールと歩行速度および腰部に装着した3軸加速度センサによる歩行動作との比較検討を行った。

65歳以上の高齢者119名に協力して頂き取得したデータから、まずは、先行研究をトレースする型で歩行速度と認知機能の比較を行った。スケール低値群42名と高値群77名の最大歩行による歩行速度の比較を行ったところ、スケール低値群(5.71(4.28-7.06)秒；中央値(四分位範囲min-max)以下同様)とスケール高値群(5.34(3.81-7.42)秒)は有意差を( $p < .01$ )認めた、これまでの先行研究を支持した結果となった。

次に、指のタッピングリズムの研究から、認知機能と運動制御の関連性が示唆されており[13]、歩行に関連する運動制御と認知機能の関連性について検討を行った。具体的には、3軸加速度データから歩行周期の分析を行うもので、歩行動作中の左右の加速度に着目した。歩き始めと歩き終わりを除いた安定した歩行部分を切り出し、DFT(Discrete Fourier Transform)による周波数解析を行った。MoCA-Jの高値と低値の歩行動作解析の比較例を第9図に示す。低値群は歩行周波数の高周波域(6 Hz~20 Hz)に変動が見られ、両群に有意差( $p < .05$ )を認めた。これは、認知機能が低下し、運動制御が不十分となり、歩行中に左右方向の不随意運動が発生したためと捉えている。



第9図 歩行周波数の例

Fig. 9 Examples of gait activities

## 5. まとめ

本報告ではMCIを含む軽度認知機能低下者を身体的・心理的負担が低くかつ取得が容易な音声、歩行、活動量、家電操作のモニタリング情報からさりげなく対象者の認知機能を検知する可能性が得られた。今回の研究の成果に基づき、次にさらなる精度向上をするためにn数を増加し、機械学習を用いた分析を進めている。

今後は、それぞれシステム構成の特徴を元に価値提供の方法を検討し、人に優しい方法で社会課題の解決に少しでも役立つ商品およびサービスの創出に繋げて行きたい。

本研究は、桜美林大学鈴木隆雄教授、京都学園大学、福岡大学と共同で実施を行った内容を基盤としており、関係各位より賜りましたご指導ご助言に感謝致します。

## 参考文献

- [1] R. C. Peterson et al., "Current concepts in mild cognitive impairment," Archives of Neurology, vol.58, no.12, pp.1985-1992, 2001.
- [2] 安永明智 他, "高齢者の認知機能と運動・身体活動の関係 - 前向き研究による検討 -, "健康医科学研究助成論文集, vol. 25, pp.129-136, Mar. 2010.
- [3] 中村亨 他, "自発的身体活動の生成機構と精神疾患における破綻原理の解明," 日本神経回路学会誌, vol.20, no.3, pp.123-134, 2013.
- [4] 浦上他, "認知症予防教室における対象者の判別法と評価法の検討," Dementia Japan 19 :177-186, 2005.
- [5] E. J. W. Van Someren et al., "Circadian Rest-Activity Rhythm Disturbances in Alzheimer's Disease," Society of Biological Psychiatry, vol.40, issue 4, pp.259-270, 1996.
- [6] 寺岡佐和 他, "地域高齢者の日常・社会生活の状況と物忘れ自覚症状との関連性," 日本公衛誌, vol.52, no.10, pp.853-864, 2005.
- [7] 相良二郎 他, "認知力低下に配慮した継続使用が可能な家電製品のデザイン方法に関する研究," 神戸芸術工科大学紀要「芸術工学2013」.

- [8] A. König et al., "Automatic Speech Analysis for Assessment of Patients with Predementia and Alzheimer's Disease," *Alzheimer's & Dementia: Diagnosis, Assessment & Disease Monitoring*, vol. 1, issue 1 pp.112-124, 2015.
- [9] 石合純夫, 高次脳機能障害学, 第2版, 医歯薬出版, 東京, 2012.
- [10] 荻安誠, 神経原性発声発語障害, 医歯薬出版, 東京 2017.
- [11] 片岡浩巳, "CBC検査の白血球粒度分布パターンを用いた感染制御支援システムの構築," 科学研究費助成事業研究成果報告書, <https://kaken.nii.ac.jp/file/KAKENHI-PROJECT-26460865/26460865seika.pdf>, 参照 Oct. 23, 2018.
- [12] M. Richards et al., "Subtle extrapyramidal signs can predict the development of dementia in elderly individuals," *Neurology* vol. 43, no. 11, pp.2184-2188, 1993.
- [13] Müller G. et al., "Finger tapping frequency and accuracy are decreased in early stage primary degenerative dementia," *Dementia*, vol. 2, no. 3, pp.169-172.1991.

## 執筆者紹介



阿部 賢吾 Kengo Abe  
エコソリューションズ社 技術本部  
Engineering Div., Eco Solutions Company



松村 吉浩 Yoshihiro Matsumura  
エコソリューションズ社 技術本部  
Engineering Div., Eco Solutions Company



西山 高史 Takashi Nishiyama  
エコソリューションズ社 技術本部  
Engineering Div., Eco Solutions Company  
博士 (工学)



中島 博文 Hirobumi Nakajima  
エコソリューションズ社 技術本部  
Engineering Div., Eco Solutions Company



南雲 亮佑 Ryosuke Nagumo  
エコソリューションズ社 技術本部  
Engineering Div., Eco Solutions Company



笹部 孝司 Kohji Sasabe  
エコソリューションズ社 技術本部  
Engineering Div., Eco Solutions Company  
博士 (工学)