

研究成果報告書

- ・機関及び学部、学科等名 富山県立大学 工学部 知能ロボット工学科
- ・所属ゼミ 佐保レーダー研究室
- ・指導教員 佐保 賢志
- ・代表学生 喜多 萌々香
- ・参加学生 菅野 功貴、柴田 孝則、塩入 慶太朗、犬塚 圭亮、朝見 義樹、大北 真央

【研究題目】レーダーを用いた無拘束な認知症早期発見システムの運動教室における実証実験

1. 課題解決策の要約

レーダー(電波センサ)により、無拘束に認知症を早期発見するシステムの実用化に向け、射水市・富山市・高岡市のデイサービス施設等で実施された運動教室で実証実験を行った。

富山県の認知症患者の割合は全国でも上位であり、このままでは65歳以上の5人に1人が認知症となるとされている。これを防ぐためには認知症の早期発見・予防が必要であるが、従来の認知症検査(認知機能検査)は主に紙・質問ベースの複雑なテストであるため日常的に自主的な検査ができないものが多いことが課題であった。この課題を解決するために、本研究ではよく知られている運動機能と認知機能の関連に着目し、レーダーによる運動機能計測に基づく認知症早期発見システムの開発を狙った。レーダーは電波を用いた速度計測が可能であり、非接触・無拘束に運動機能を評価することが出来るため、上述の課題の解決に有用なセンサーである。

以下に示す本研究の成果により、レーダーによる簡易な非接触認知症検出技術を、多人数の高齢者のデータにより実証でき、実用化へと一歩進めることができた。本研究により認知症の早期発見・予防に関連した課題が解決し、介護者の負担減と地域の活性化へと繋ぐことが出来る技術の礎を築いた。

2. 調査研究の目的

認知症の早期発見・予防を実現するため、本研究室では認知症特有の運動機能低下をレーダーで計測することで、被験者を拘束することなく非接触で認知症を早期発見するシステムを提案してきた。本研究では、運動教室に参加する高齢者を対象に、レーダーによる歩行等の動作計測及び認知症テストを実施し、これらの結果の統計解析に基づき同システムの実用可能性を実証した。さらに、運動教室の認知症予防効果の定量的測定を目指し、運動教室が認知機能改善に与える効果とそれに対応する運動機能の変化のレーダー計測も目的とした。

3. 調査研究の内容

3.1 高齢者デイサービス及び運動教室における計測内容

3.1.1 調査対象

本調査研究では以下の施設を訪問し、高齢者の方の運動機能・認知機能のデータを取得した。

- デイサービス 雅 小杉（射水市）
- デイサービス 雅（高岡市）
- 富山福祉短期大学（射水市）
- 三ヶコミュニティセンター（射水市）

このうち三ヶコミュニティセンターで実施された運動教室、及び富山福祉短期大学の運動教室における健康診断の一環として実施した認知機能テストの実施の様子を図1に示す。なお、当初予定していた富山市の施設は本年度の運動教室が未実施となったため、計測を取りやめた。また、以下の前年度実施した先行研究で訪問した施設のデータも上記で取得したデータと併せて研究に使用した。

- 特別養護老人ホーム あすなろの郷（富山市）

さらに、本学射水キャンパスで実施した高齢者の健康チェックイベント「脳とからだの健康チェック」に参加した高齢者も計測対象とした。同イベントは過去2年も行っており、これらのデータも併せて利用した。なお、本研究は富山県立大学倫理委員会(H29-1)の承認を得て行われ、全被験者に実験内容及び研究目的を十分に説明し、書面での同意を得て行われた。



図1 運動教室(右)及び認知機能テスト(左)の様子

3.1.2 取得データの内容

取得データの内容は以下の通りである。

- レーダーで計測した運動速度データ：歩行、起立着座運動における運動パラメータをレーダーにより計測した(図2：歩行計測実験システム及び実験の概観、図3：起立運動計測の実験システム及び実験の概観)。取得した運動パラメータのリストを表1に示す。
- 認知機能(紙ベースのテスト)：認知症リスクを評価するため、従来の紙ベースの認知機能テストを実施した。評価対象の認知機能として、いわゆる「頭の回転の速さ」に対応する情報処理速度、言語機能のテストを実施した。また認知症をスクリーニングする簡易テストとしてRDST(Rapid Dementia Screening Test)も実施した。表2にRDSTテストの内容を示す。

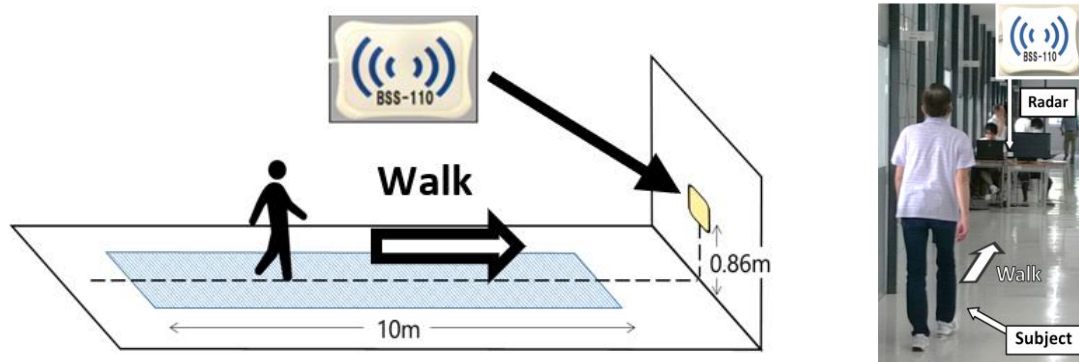


図2 歩行計測レーダー実験システム(右)及び実験の概観(左)

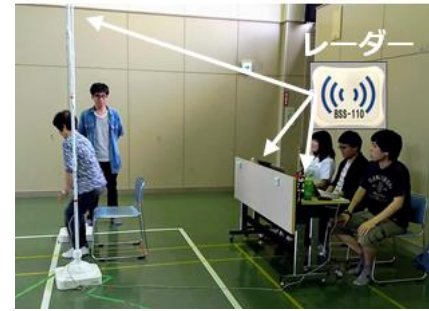
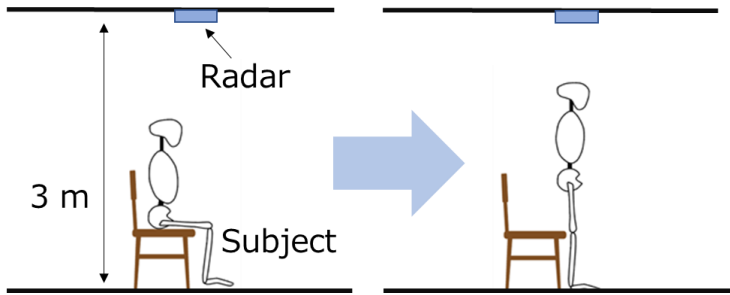


図3 起立運動計測レーダー実験システム(右)及び実験の概観(左)

表1 レーダーで取得した運動データリスト

パラメータ記号	意味
Vm	平均歩行速度
Vu	歩行時の脚の前進運動の平均速度
Vl	歩行時の接地した脚の平均速度
Tstand	起立に要する時間
Tsit	着座に要する時間
Vstand	平均起立速度
Vsit	平均着座速度
Astand	平均起立加速度
Asit	平均着座加速度

表2 RDST の内容

問題1	今から1分以内に、スーパーマーケット、コンビニエンスストア(チェーン店だけでなく個人経営の商店も含む)で買えるものをできるだけたくさん思い出して用紙に記入して下さい。
問題2	漢数字をアラビア数字に、アラビア数字を漢数字に直して下さい。 (1) 209 → (2) 4054 → (3) 六百八十一 → (4) 二千二十七 →

3.2 取得データの解析・評価方法

従来の認知機能テストの結果をレーダーデータのみから予測できるかどうかを検証することが本研究の主眼であり、これの実現可能性を調べた。具体的には以下の2種類の解析方法により、構築したレーダーシステムの性能を、前節の方法で収集した高齢被験者のデータに基づき評価した。

3.2.1 レーダーデータを用いた認知症リスク判別の精度評価

認知機能テストの結果に基づき、被験者を認知症高リスク群と低リスク群に分類する。この分類結果をレーダーにより取得した運動データから予測可能かどうかを調べた。まず、両群の運動パラメータに有意差があるか否か(低リスク群が高リスク群より統計的に見て高い運動能力を有しているか)を、有意差検定法の一つであるt検定で調べた。このt検定では、「両群の平均値に差がない」という仮説を棄却できる確率を p 値として推定する。一般的なt検定と同様に p 値が0.05より小さい、即ち上記仮説を棄却できる確率が5%未満(=両群に有意な差がある確率が95%以上)の時、両群に有意差があると判断した。

さらに、レーダーで取得したパラメータのみから高リスク群か否かを判断できるかどうかを、判別分析法により評価する。両群を判別するためのしきい値(例: 歩行速度 1 m/s 以下で認知症高リスク群と判断できる、等)により得られる判別精度を調べ、両群の分類精度を評価する。

3.2.2 運動教室が健康状態にもたらす効果の定量的評価

富山福祉短期大学での運動教室においては、運動教室開始時点と半年間の運動教室終了時点の双方のデータを取得することが出来た。そこでこのデータを用い、「そもそも運動教室が認知機能低下の予防に

効果があるか」、「その効果をレーダーのパラメータのみから評価することは可能か」を調べる。開始時点及び終了時点のデータを異なる群のデータと見なし、両群のデータを t 検定することとした。ただし被験者数が少なく $p < 0.05$ を示す結果を得るには大きな差異が要求されるため、本評価においては有意差を判断する有意水準として主に社会学の分野で用いられている $p < 0.1$ (10%)を用いることとした。

4. 調査研究の成果

4.1 評価結果

上述の 3.2.1 節及び 3.2.2 節における評価の結果を、本調査研究の成果として以下の通り報告する。

4.1.1 認知症リスク判別精度評価結果

表3に本項目における被験者の基本情報を示す。表4にレーダーによる運動パラメータ計測及び ADL の結果を示す。ADL の得点は高いほど、生活の自立度が高いことを示す。この表が示す通り、歩行と起立着座の双方において、両群間に有意差があり、レーダーにより取得した運動パラメータから認知症高リスク群の予測・判別が可能であることが示唆されている。また、認知症リスクと関連のある ADL の得点についても両群に有意差が認められた。この結果は、レーダー計測により認知機能と密接に関連する日常生活能力もある程度判定可能である可能性を示している。

また、判別分析法により評価した結果、最適な判別しきい値において精度(真陽性率; 認知症高リスク群の被験者を正しく判別できる割合)として 80%程度を、偽陽性率(低リスク群を誤って高リスク群と判別する確率)がせいぜい 30%程度という条件下で実現することを確認した。これは診断に用いるには不十分な精度であるものの、認知症の疑いがある被験者に精密検査を薦めるといった、スクリーニングの用途には十分実用可能な精度であり、本研究で開発した技術の有用性を示している。

表 3 認知症リスク判別精度評価における被験者情報

	認知症低リスク群	認知症高リスク群
人数	139(53 men)	35(15 men)
Age (year)	72.6±4.7	78.7±5.1
Height (m)	157.9±8.9	153.1±7.7
Mass (kg)	55.2±9.6	55.3±7.6

表 4 歩行運動パラメータ及び ADL に関する認知症高リスク群及び低リスク群の t 検定結果

	認知症低リスク群	認知症高リスク群	p-value (* : $p < 0.05$)
V_m (m/s)	1.369±0.166	1.250±0.208	0.00325*
V_u (m/s)	2.359±0.272	2.21±0.345	0.0254*
V_l (m/s)	0.558±0.937	0.512±0.0706	0.00228*
T_{stand} (s)	0.649±0.138	0.740±0.190	0.0117*
T_{sit} (s)	0.715±0.145	0.793±0.195	0.0168*
V_{stand} (m/s)	0.485±0.0979	0.440±0.0923	0.150
V_{sit} (m/s)	0.435±0.104	0.393±0.0931	0.0335*
A_{stand} (m/s ²)	0.0124±0.0629	0.00594±0.0428	0.0482*
A_{sit} (m/s ²)	0.0211±0.0648	0.00606±0.0546	0.173
ADL score	12.7±2.59	9.77±3.55	0.0000392*

4.1.2 運動教室効果検証結果

運動教室開始前後の両時点で計測に参加した女性 13 名(運動教室開始時点での年齢 76.5 ± 4.8 歳)のデータを対象に検証を行った。まず認知機能テストの結果を表5に示す。ただし、いずれのテストも点数が高いほど認知機能が高いことを示す。この結果から言語機能が改善していることが分かる。また両計測の間には約 6 カ月の期間があったため、高齢者であればこの間に認知機能が衰えることが多いが、両群間に有意差がなかったことから、他の2つのテストについても認知機能を維持する効果があったと捉えることが出来る。以上より、運動教室により認知機能の改善またはその劣化の予防に効果があることが分かった。

次に表6にレーダーによる取得した運動パラメータの検束結果並びにその t 検定結果を示す。着座時間が短くなり、起立加速度が大きくなるといった、運動機能の改善とみられる効果が得られた。一方で、一般に認知機能と関連が強いとされる歩行については改善が認められなかった。表5の結果は、認知機能が維持されている結果も多く含まれていることから、認知器機能改善に伴う運動機能の向上には繋がらなかったと考えられる。しかし、これまでに解明されていなかった起立着座パラメータと運動教室の効果の関連、さらにその認知機能改善効果の定量的評価への応用可能性を示唆できた。

表5 運動教室開始時及び終了時における認知機能テスト結果

	教室開始時点	教室終了時点	p-value (* : $p < 0.1$)
情報処理速度	59.7 ± 14.9	58.8 ± 15.7	0.408
言語機能	14.8 ± 3.4	16.7 ± 4.2	0.0645*
RDST	8.2 ± 2.9	8.5 ± 3.7	0.773

表6 運動教室開始時及び終了時における運動パラメータ計測結果

	計測開始時点	計測終了時点	p-value (* : $p < 0.1$)
$V_m(m/s)$	1.483 ± 0.197	1.477 ± 0.193	0.589
$V_u(m/s)$	2.117 ± 0.231	2.172 ± 0.204	0.201
$V_l(m/s)$	0.885 ± 0.168	0.807 ± 0.160	0.141
$T_{stand}(s)$	0.883 ± 0.346	0.872 ± 0.228	0.738
$T_{sit}(s)$	1.126 ± 0.378	0.854 ± 0.308	0.0306*
$V_{stand}(m/s)$	0.462 ± 0.127	0.414 ± 0.146	0.310
$V_{sit}(m/s)$	0.337 ± 0.132	0.325 ± 0.137	0.474
$A_{stand}(m/s^2)$	3.218 ± 1.119	2.837 ± 0.829	0.0960*
$A_{sit}(m/s^2)$	1.032 ± 1.108	1.458 ± 0.828	0.457

なお紙面の都合により省略するが、同様の解析方法により、上記の他にも運動習慣の有無(運動教室に定期的に通っている被験者群とそうでない被験者群)によっても認知機能が異なり、レーダーで取得した運動パラメータでそれらを判別可能と考えられる結果を得ている。

4.2 本調査研究に関する学会発表成果

本調査研究で得られた成果の一部を代表学生である喜多が、電気学会情報システム研究会において発表した。発表内容はレーダーと ADL に基づき、認知機能を効率的にかつ無拘束的に評価する方法(上記 4.1.1 節の内容)であった。本調査研究の取り組み内容について、全国から集まった健康情報学及び情報処理システムなどの専門家に興味を持って頂け、発表後の質疑応答では多くの建設的な意見交換がなされ、すぐに実用化すべきとのコメントも出るなど、高い評価を得た。さらに 3 月に予定されている電気学会

U-21 学生発表会(21歳以下の学生に限定された発表会)において、参加学生である朝見及び大北の二名が、本研究の成果の一部または本研究と密接に関連する成果を各々一件ずつ発表する予定であり、既に二件ともに採択が決定済みである。発表の情報を以下に示す。これらの成果発表を実現するに至ったのは本助成事業の多大な支援によるものであり、ここに深謝の意を表す。

【学会発表成果リスト】

※ ○印は発表者を、太字は本研究の参加学生を、下線は指導教員を、下二重線は本調査において施設等での実験にご協力いただいた研究協力者を示す。

- [1] ○喜多 萌々香, 佐保 賢志, **菅野 功貴**, 上村 一貴, 松本 三千人, “レーダによる日常動作計測と簡易質問紙を組み合わせた認知機能評価法”, 電気学会情報システム研究会, 大学コンソーシアム富山(富山市), 2019年11月9日. 4.1.1節の一部の内容.
- [2] ○大北 真央 (発表者は連名者も含め 21歳以下の学生に限定), “ドップラーレーダを用いた歩行計測による腰椎圧迫骨折の判別システム”, 電気学会 U-21 学生研究発表会, 東京電機大学千住キャンパス(東京都足立区), 2020年3月13日発表予定. 4.1.2節の内容と関連する成果.
- [3] ○朝見 義樹 (発表者は連名者も含め 21歳以下の学生に限定), “ドップラーレーダを用いた運動計測より得られたパラメータの解析”, 電気学会 U-21 学生研究発表会, 東京電機大学千住キャンパス(東京都足立区), 2020年3月13日発表予定. 4.1.1節の一部の内容.

5. 調査研究に基づく提言

本調査研究により得られた結果は、運動教室や地域のイベントにおいて計測することで認知症が軽度の段階で早期発見できることを示している。さらにレーダーにより定量化された認知症リスクという形で、認知機能を数値として「見える化」することが可能となるため、これを体重測定のように普段の健康管理に応用する未来を拓きたい。このためにも、運動教室等の認知機能や身体機能の改善を目的とした活動を通じてさらに強固なエビデンスを得ることで、実用化を目指して引き続き多方面に働きかけることとしたい。

さらに本調査研究を通じて最も提言したいことは、「レーダーをもっと応用して欲しい」ということである。本研究で用いたレーダーはマイクロドップラーレーダーと呼ばれる、2010年代前半頃に市販品が出始めた比較的歴史の浅いセンサーであり、遠隔で速度情報を直接計測できる現在のところ唯一のセンサーである。さらに、光学式モーションキャプチャシステムなどと異なり被験者の服装や運動が制限されることもなく、カメラのように照明条件で計測精度が劣化することもなく、プライバシーの問題もない。しかし、まだ工学以外の分野ではあまり知られていないため、有用なセンサーとして認知されるよう努力したい。

6. 課題解決策の自己評価

まず上記5節での提言の通り、レーダーという一般にはこの用途(健康科学、人体運動計測)では広く知られておらずまだほとんど用いられていないセンサーの有用性を、多くの高齢被験者のデータを用いて実証できた点は、客観的に見ても高く評価できる点だと考えている。その他の解析やレーダーシステム開発においても、概ね狙い通りの成果を得ることが出来たが、いくつかの課題があるとも評価している。まず、同じ被験者に対して運動教室の効果を把握するための、その前後時点での解析が1施設でしかできなかったことにより、「運動教室における実証」という点においてはまだデータが足りないこととなった。さらに、開始時と終了時だけでなく、定期的なデータ取得によりその効果を精密に検証することも望まれる。従って、これらの問題点を解決するための定期的な実験を、地域や行政などとさらに連携を強化して実施していくことを目指したい。これが実現し、検証が終了すれば、あとはコストの問題が解決すればほぼ実用化可能なレベルに達すると評価している。