

早期認知障害検出に向けた 高齢者デュアルタスクデータセットの統計分析

松浦 拓¹ 阪下 和弘¹ 満上 育久² 大倉 史生¹ 八木 康史¹

概要: 認知症は投薬やリハビリテーションにより進行を遅らせることはできるが改善は難しい疾患のため、その初期段階の高齢者を早期に発見することは重要な課題である。しかし、現状の認知症識別手法は医師などの立ち合い人が必要な点や、時間を要するという点で簡便とは言えない。そこで我々は、認知症の予防に有効だとされているデュアルタスクに着目し、その観測により簡易な認知機能を推定できるシステムの実現を目指している。認知機能推定技術の開発には、幅広い認知機能レベルの多数の高齢者データが必要となるため、我々は高齢者が容易にかつ楽しくデュアルタスクを体験できるシステムを開発した。システムでは、認知症に大きくかかわっているとされる計算と足踏みの2つのタスクを採用した。システムはMicrosoft Kinect やボタン操作により自動的・客観的に体験データを収集できる。また様々な様態の体験者データを継続的に収集するために本システムを高齢者施設に常設した。本論文では、そのシステムの仕様や得られたデータの詳細を説明するとともに、体験者の認知機能とデータの分布の関係性について検証する。シングルタスク時・デュアルタスク時の認知機能評価の比較を行い、タスクを組み合わせることの有効性を検証した。また、システムへの慣れによる認知機能評価への影響についても検証した。

キーワード: デュアルタスク, 認知症, 機械学習

1. はじめに

理解・判断・記憶などの脳機能に障害を生じる認知症は、加齢などを原因に440万人以上の高齢者が発症しているといわれている [1]。また若年者でも脳血管の疾患などを原因に約3.7万人発症しており [2]、認知症はいつ誰にでも発症しうる病気であるといえる。認知症は対人関係に支障をきたすだけでなく、気分が落ち込む、眠れないといった鬱病のような症状や、幻覚を見たり興奮するといったせん妄を引き起こす可能性もある。現在、認知症を完全に治療する方法は見つかっていない。しかし、薬やリハビリによって認知症の進行を一時的に遅らせることはできる。そのため、将来的に認知症を治療できる薬が開発される可能性を考えると、認知症を早期に発見することは非常に重要である。特に、早期認知障害 (MCI) と呼ばれる、認知症の初期段階においては、症状が目に見える形で現れにくい。そのため、気づかない間に認知症が進行してしまっていることもあり、日常的に認知機能を評価することが非常に重要である。

認知機能を評価する方法には知能検査テストなどが挙げられる。しかし、これらの方法は一般に医師や臨床心理士の立ち合いのもと行われるため、テスト問題の解釈が人によって異なったりするという問題点がある。また1回の評価に数十分の時間を要するという点で簡便とは言えない。近年、2つのタスクを同時に行うデュアルタスクが認知症の検出に有効であるということが報告されている。デュアルタスクによる評価は、認知タスクを単独で行った場合と比べて軽度な認知症を捉えることが出来るという特徴がある。しかし、デュアルタスクは一般的に認知症のリハビリとして用いられることが多く、診断として用いる際にどのような特徴を用いるかが明らかではない。

このような現状を鑑み、満上らは軽度な認知症を捉えることができるデュアルタスクをゲーム型のシステムに取り入れることで、より短時間で客観的に認知機能を診断することのできる認知機能推定システムを開発を行っている [3], [4]。またそのシステムをベースとして、より簡便で多様な特徴を観測できるシステムを開発し、大阪府内の高齢者施設に常設することで、健常者から認知症高齢者までの様々な様態のデュアルタスクデータの収集を行っている [5]。タスクの内容は「足踏み」と「2 択の計算問題」の2つを採用している。これらのタスクは Kinect やボタン等

¹ 大阪大学
Osaka University

² 広島市立大学
Hiroshima City University

のセンサで観測・解答することができ、システム内で処理することができる。これにより客観的に体験者の様子を測定することが可能となる。システムは画面の指示に従うだけで測定できる仕組みをとっているため、医師や臨床心理士などの特別な立ち合い人は不要である。また1回の測定時間を3分程度にすることで既存の手法に比べて短時間で測定できるようにしてある。本論文では収集したデータを用いて、システムで得られたデータの値の分布と体験者の認知機能の関係性の検証、認知症識別に対するデュアルタスクの有効性を検証し、本システムで得られたデータを用いた認知症識別実験を行う。またその結果から、システムへの慣れと識別結果の関係性の検証をした。

本論文の構成を以下に示す。2章では現時点で臨床場面で使われている認知機能検査や、認知症と関係性のあるデュアルタスクについて説明し、本研究の位置づけを明らかにする。3章では開発した体験システムの仕様について詳しく説明し、4章では体験システムにより得られたデータの内容について説明する。そして5章では、得られたデータを用いて体験者の認知機能推定実験と考察を行い、6章で本研究のまとめと今後の課題を述べる。

2. 関連研究

現在、臨床場面で一般的に用いられている認知症検査手法は複数存在する。ここでは、その中でも認知症スクリーニングテストとして用いられている手法として、Mini-Mental State Examination (MMSE)[6]や前頭葉機能検査 (FAB)[7]という手法が存在する。MMSEは1975年にFolsteinらによって開発された質問セットである。30点満点のテストであり、簡単な質問で構成されている。一般的に26点以上で正常、25点以下で早期認知障害 (MCI)、23点以下で認知機能低下と判断される。また、質問は日時・所在地・記憶・7シリーズ・想起・呼称・読字・言語理解・文章理解・文章構成・図形把握の11種類の項目で構成されており、近年ではMMSEの日本語版も開発されている(図1)。MMSEテストは簡単な質問で構成されているため、高齢者でも質問内容を理解しやすいという利点がある。しかし1回のテストで数十分の時間を要するという点で簡便とは言えない。FABは主に前頭前野の機能をみる検査であり、認知症のスクリーニング検査だけでなく、パーキンソン病や脳血管障害の検査にも使われている。質問は類似、語の流暢性、運動系列、葛藤指示、抑制コントロール、把握行動の6種類の項目で構成される(図2)。FABは短時間で検査できるという利点があるが、質問内容がMMSEと比べて難しいことや、質問の解釈が検査を行う人によってばらつくという問題点がある。MMSEやFABなどは共に検査という色合いが強いため、高齢者が意欲的に受診しない恐れがある。受診が遅れることは認知症の発見の遅れにもつながり、気が付いたら認知症が進行しているという事態

図 1: MMSE 設問シート

図 2: FAB 設問シート

に陥る可能性がある。

近年、認知機能と関連性のあるものとしてデュアルタスクが注目されている。デュアルタスクとは一度に2種類の課題(タスク)を同時におこなうことが求められる課題のことを指す。デュアルタスクに関する研究は活発に行われおり、大田らの研究ではデュアルタスクは運動能力評価の補助となり得ることを報告している[8]。また西口らは

デュアルタスクと転倒リスクの関連性について報告している [9]。このようにデュアルタスクについては様々な分野で研究・応用されている。デュアルタスクは、「会話しながら歩く」など、我々が日常的に行っている行為だが、認知機能に疾患のある高齢者にとっては難しく、話しかけると歩行が乱れたり立ち止まってしまう傾向が知られ、それをリハビリテーションに活用する試みが行われている。デュアルタスク能力が高齢者の認知機能と関係しているという事例は複数報告されており [10], [11], [12], [13], 最近では, Montero-Odasso らが, 65 歳以上の軽度認知障害 (MCI) 患者を対象に, 通常の歩行検査と歩行しながら認知機能検査も行うデュアルタスク歩行検査を実施し, デュアルタスク検査時の歩行速度の低下が危険因子になりそうだと報告している [14]。デュアルタスクは軽度の認知症を捉えることができるという利点がある。しかし, 認知症のリハビリとして用いられることが多く, 診断として用いる際にどのような特徴を用いるかが明らかでないという問題点がある。

これらの知見からデュアルタスクは高齢者の認知機能の推定に有用であると考え, デュアルタスクをゲーム形式のシステムに取り入れることで客観的かつ短時間でデュアルタスクの様子を観測できるシステムを開発した。また多くのデータを収集するために本システムを大阪府内の高齢者施設に常設した。

3. デュアルタスク体験システム

3.1 タスクの設計

計測対象が高齢者であることや, 継続的にデータを収集していきたいということを考慮すると, 高齢者施設にシステムを設置することが望ましい。しかし高齢者施設に設置するためには, システムが誰でも容易に使えるような構造をしている必要がある。誰でも扱えるシステムにするため, マーカーなどの装着が不要かつデータ計測に特別な立ち合い人を必要としないシステムを構築した。

現在の環境では, 体験者は足踏み (運動タスク) を単体で行うシングルタスクに加えて, 認知機能を利用するタスク (認知タスク), 運動タスクと認知タスクを同時に行うデュアルタスクを実施し, 運動と認知タスクの結果に関するデータを収集している。またシステムによる観測データに加えて, 体験者の年齢・性別・認知機能スコアを収集している。認知機能スコアは, 高齢者施設内で定期的に行っている認知症診断テスト (MMSE: Mini-Mental State Examination) のスコアを用いた。MMSE のスコアをシステムから得られた観測データから推定すべき認知機能スコアとして採用した。認知症の原因として前頭葉の機能の低下が挙げられる。前頭葉では, 計算力や判断力, 遂行力などの役割を果たしているが, 前頭葉の機能低下による影響の中でも計算力は比較的早い段階で衰えが見られる。また川島らの研究によって, 複雑な計算問題のような一生懸命

に集中して考える負荷よりも, 簡単な計算問題の方が前頭葉を含む脳全体がより活性化するということが報告されている [15]。そのため, 認知症を早期発見するという観点では簡単な計算問題が有効と考え, 認知タスクとして計算問題を採用した。計算を用いた認知タスクとしてはリハビリステーションの臨床場面で一般的に行われている方法として, 「100 から 7 ずつ引く」といったタスクが用いられるが, 判断基準が複雑なため正誤判断は人手で行わなければならない, システムの自動化には不向きである。そこでシステムの自動化を実現するために, 両手に解答用のボタンを持ち, 2 択の解答候補から選択するというタスクを採用した。

3.2 システムの概要

本システムの外観と構成要素を図 3 に示す。QR コードリーダーでは体験者の個人 ID を読み取り, 体験データと体験者情報の紐づけを行う。床圧力センサは体験者の足踏みタイミング情報を取得するために用いられ, タイミング情報によりタスク時の足踏み速度などを算出する。左右 2 つの解答用ボタンはシステムの操作や計算問題のボタン解答時に用いられる。Kinect は体験者の骨格情報や深度情報などを取得するために用いられる。計測の際には, 体験者は床圧力センサの上に立ち, ディスプレイに表示される指示に従う。



図 3: デュアルタスク体験システム

3.3 体験者データの取り扱い

本システムで収集するデータは個人情報のため, 体験するにあたって我々の研究やその目的, 情報の取り扱い方法についての同意を確認する必要がある。そこでデータ収集にあたって, はじめに高齢者施設において施設利用者に対して研究についての説明会を行った。説明会で我々が行う研究について理解し, システムによるデータ収集に同意した利用者のみ取り扱いデータの対象とした。ただし利用者自身で判断がつかないと思われるケースは, 利用者の保

護者から同意を伺った。またプライバシーの保護のため、データと体験者の紐づけは予め各体験者に割り振られた個人 ID で行う。体験者と個人 ID の対応表は高齢者施設のみが保持することとし、研究者側では保持できないようにした。

4. デュアルタスク体験データセット

本システムでは、床圧力センサから得られた足踏みタイミング情報、Kinect から得られたカラー画像・深度画像・骨格情報、ボタン入力情報から得られたボタン押しタイミング情報・計算問題解答情報の計 6 種類のデータを取得しており、外付け HDD に随時保存される。HDD に保存されるデータは定期的な物理的な回収が必要なので、HDD に貯まって持ち帰るまではそのデータを閲覧・処理することはできない。そのため、体験の度にローデータから低次元な特徴量を算出し、それについては大学のデータベースサーバにその都度書き込むことにより、単純な特徴量だけではあるが日々の体験データをリアルタイムに閲覧・処理することができる。算出している特徴量は下の通りである。

- シングルタスク時の歩行速度 (step/sec)
- デュアルタスク時の歩行速度 (step/sec)
- シングルタスク時の歩行速度の標準偏差
- デュアルタスク時の歩行速度の標準偏差
- シングルタスク時の計算問題の正答率
- デュアルタスク時の計算問題の正答率
- シングルタスク時の解答時間平均 (ms)
- デュアルタスク時の解答時間平均 (ms)

これらのデータは体験者 ID ・計測日時とともに保存される。これに加えて、高齢者施設では定期的に各高齢者に対して MMSE を実施しており、本システムにより得られた毎回の体験データに対して、その体験者の MMSE スコアを紐付けることができる。

本実験の認知機能状態別の体験者数とデータ数は表 1 に示す。また、MMSE スコアの分布、体験回数分布をそれぞれ図 4、図 5 に示す。

表 1: データ概要

	健常者	認知症有病者	合計
人数	44	40	84
データ数	2337	2906	5243

5. 実験

5.1 実験設定

ここでは体験者の MMSE スコアに従って認知症「陰性」、 「陽性」の 2 クラスに分類する。MMSE は 30 点満点のテストなので本来は回帰問題として扱うことが妥当であるが、

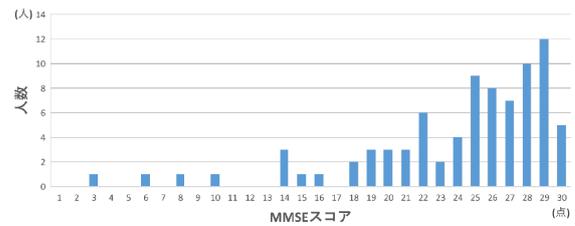


図 4: 体験者の MMSE スコア分布

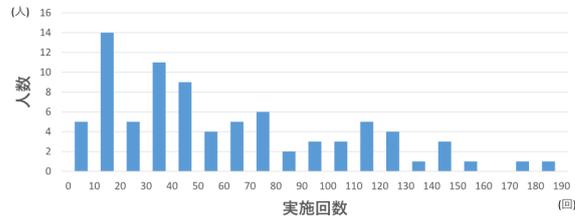


図 5: 体験者の体験回数分布

データ数や体験者数が十分でないため、本実験では 2 クラス分類で識別を行うことにした。なお、識別にはランダムフォレスト [16] を用いた。特徴量は 4 章で示した 8 種類の特徴量を用いた。

5.2 各閾値での識別率比較

一般に認知症の可能性があるとされている MMSE の閾値は 24 程度と言われているが、我々はこの認知症判断の閾値設定の妥当性をデータ分布の観点から検証する。閾値以上の群と閾値未満の群の間でタスク遂行の様子が最もよく区別できる、すなわち、2 つの群の識別性能が最も高くなるような閾値をデータ分布より求める。訓練データとテストデータには同一体験者のデータが含まれないよう、テスト用の体験者を 1 名ランダムに選択し、それ以外の体験者のデータを訓練データに用いた。なお、ここでの識別性能尺度には、医学分野における診断手法の優劣の尺度として一般的にもちいられる「再現率+特異度」の値を用いる。

結果を図 6 に示す。この結果より、デュアルタスク体験システムで得られたデータは、MMSE スコアの閾値を 24、25 とした時が最も高い識別性能が得られることがわかった。体験者の振る舞いが MMSE スコア 24、25 点を境に差が生じていることから、一般に言われている MMSE での認知症の閾値である 24 程度という値が妥当であるということがわかる。

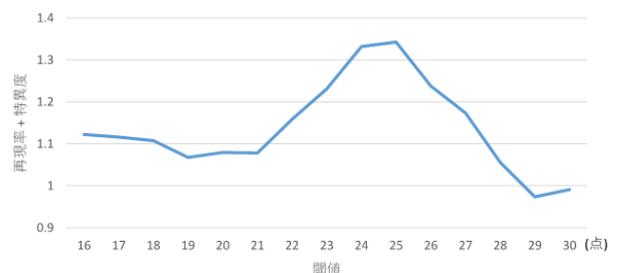


図 6: 閾値別識別性能

5.3 シングルタスクとデュアルタスクの識別率比較

本節では認知症識別に対するデュアルタスクの有効性と本システムで得られたデータの認知症識別精度について検証する。そこで、シングルタスク時・デュアルタスク時の全8特徴量を識別に用いてシングルタスク時とデュアルタスク時での識別率の比較実験を行う。また早期認知障害(MCI)のMMSEの閾値に則って、MMSEスコアが25点以下をMCI「陽性」、26点以上を「陰性」とする。まず、シングルタスクの特徴量のみを学習させた識別器、デュアルタスクの特徴量のみを学習させた識別器、全特徴量を学習させた識別器の3組を作成する。これらの識別器を用いて5.2節と同じく交差検証を行う。出力結果から受信者動作特性(Receiver Operating Characteristic;Roc)に基づくArea Under the Curve (AUC)の値を比較することでそれぞれの識別器の性能を比較する。

5.3.1 実験結果

タスク別の識別器のROC曲線を図7に示す。また、それぞれのAUCの値をまとめたものを表2に示す。シングルタスク、デュアルタスク単体で識別器を作成した場合に比べて、シングルタスクとデュアルタスクを組み合わせることで識別精度が向上することがわかる。しかしデータ全体を用いた際でもAUCは60.1と低い結果であった。ランダムフォレストが出力する各パラメータの重要度を図8に示す。これより解答時間平均や歩行速度平均が、認知機能を識別する有効であることが分かる。

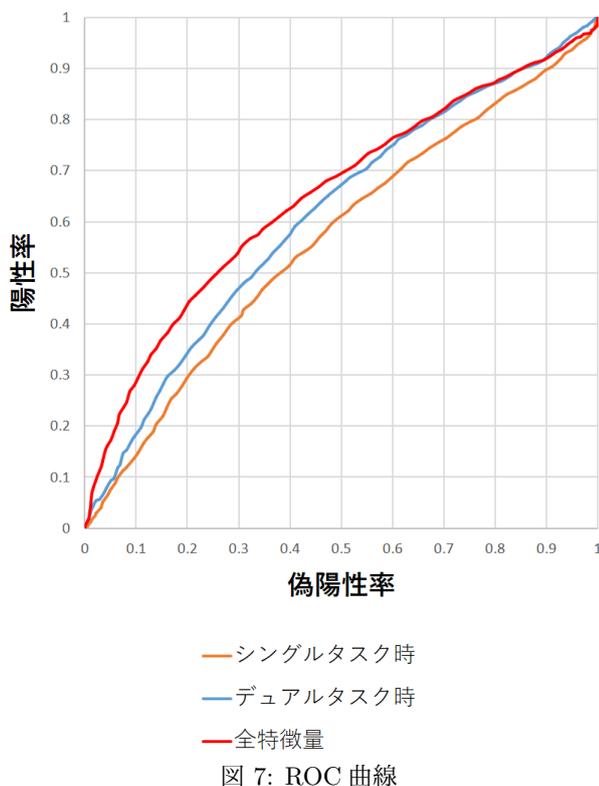


図 7: ROC 曲線

表 2: 評価値

	シングルタスク時	デュアルタスク時	全特徴量
AUC [%]	57.0	59.0	60.1

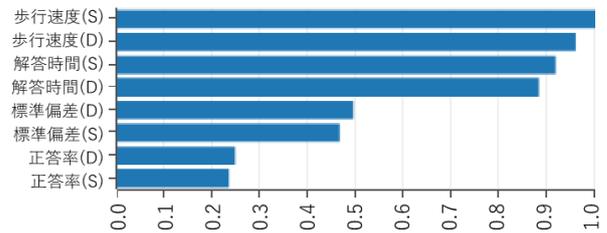


図 8: 各パラメータの重要度

5.3.2 体験データの時間変化に関する分析

これらの結果から、陰性の群に対する識別の正解率に比べて、陽性の群に対する正解率が非常に低いことが分かる。ここではその原因について調査するため、識別に対する寄与の度合いが高い解答時間平均に着目して分析を行う。

体験者の解答時間平均が計測のたびにどのように推移しているのか確認するために、適当な体験者の各計測回の解答時間平均をプロットしたものを図9に示す。このグラフより計測を重ねるにつれ値が収束していくことがわかる。

5.4 体験回数と識別率の関係

体験回数と識別率の関係性を検証するために、体験回数の少ない群と多い群に分けて、その性能を調べる。そのために、体験回数が50回以上である体験者を対象とし、その初期の30回分のデータと、それ以降のデータ、さらにそれらを統合した全体験データという3種類のデータ群を用意し識別器を作成した。なお、本実験の認知機能状態別の体験者数とデータ数は表3の通りである。

表 3: データ概要

	健常者	認知症有病者	合計
人数	19	21	40
データ数	1739	2384	4123

各データ群を用いた識別器のROC曲線を図10に示す。それぞれのAUCの値をまとめたものを表4に示す。また、図11は表4の対象データを示したグラフである。この結果から、体験者データを2つに分けた際、30回目以降のデータを用いた識別器のAUCが高いことから、計測回数を重ねるにつれMCIの識別率が向上することがわかる。

表 4: 評価値

	1 - 30 回目	30 回目以降	全データ
AUC [%]	57.4	63.3	61.0

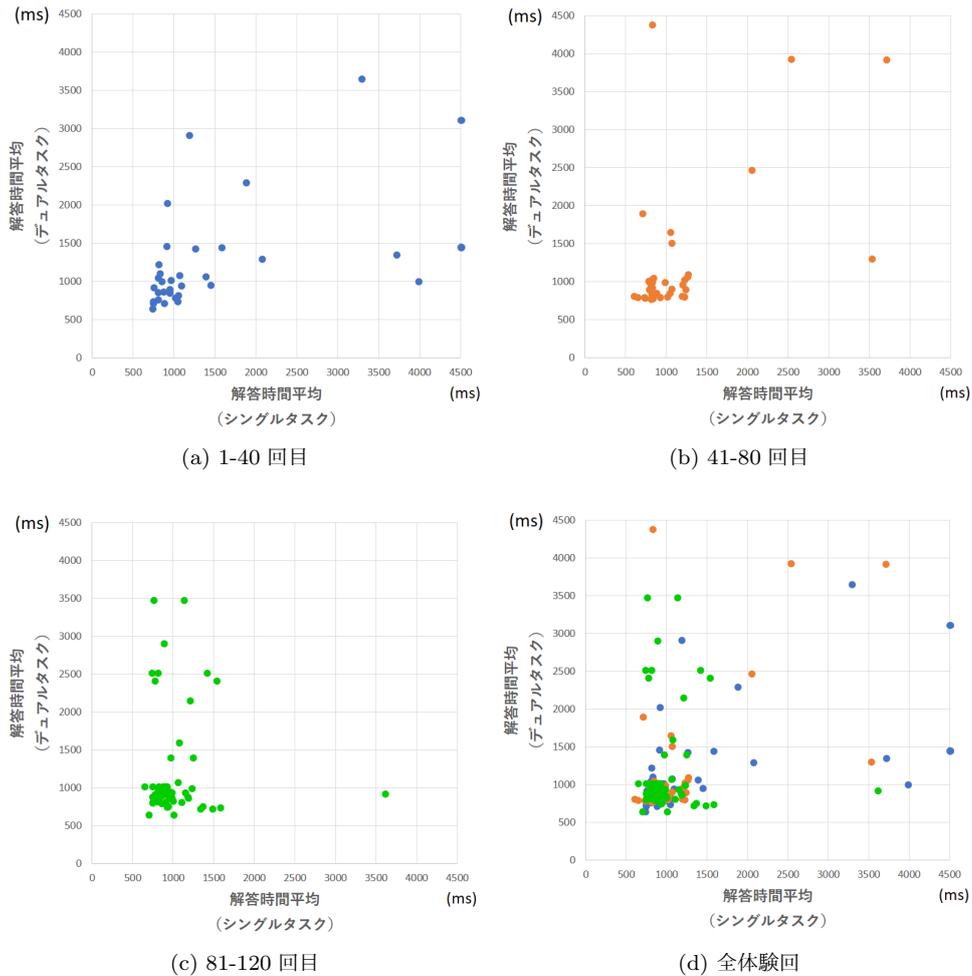


図 9: 認知症有病者の解答時間平均

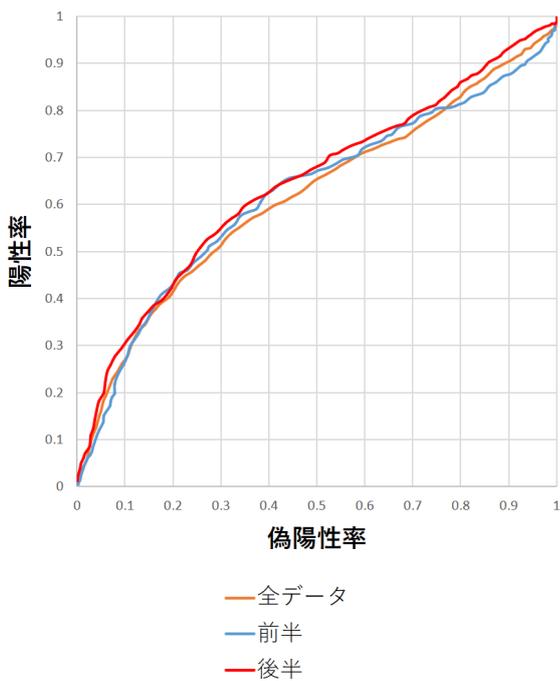


図 10: ROC 曲線

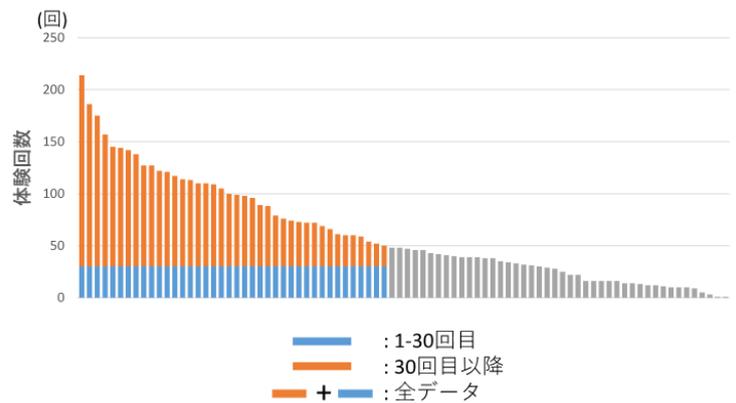


図 11: 体験者別体験回数

6. おわりに

本論文では、高齢者施設に常設しているデュアルタスク体験システムの概要と、そのシステムにより獲得された体験データを用いた初期的な分析結果について述べた。この体験システムは高齢者施設に常設され自動運用できるよう設計されており、体験者のデュアルタスクの様子を

Microsoft Kinect やボタン操作ログの形で自動的・客観的に収集できる。各高齢者が日々継続して体験しており、現時点でのべ6000回以上の体験データが得られており、今後日々増加していく。これまでに得られたデータに関する初期的な分析として、体験者をMMSEスコアの高低で2つのクラスに分け、その識別率を調べた。その結果として、シングルタスクよりもデュアルタスクを課すことで識別率が向上することや、また、慣れの影響があり、ある程度体験回数を重ねた方がMCIの識別率が向上することなどを確認した。

今後は、このデータ収集を継続しデータ量を増やして、より信頼性の高い結果を得ることである。本実験結果では、全体験者データを用いた識別器と体験回数が30回以上のデータを用いた識別器の性能にほとんど違いはないが、データ数を増やすことで残りのデータを用いた識別器の性能が向上することが考えられる。また現時点ではデータ数が不十分のため、MMSEスコアで2クラスに分けその識別問題として処理しているが、最終的には各スコアに対して充分数の体験者のデータを収集し、MMSEスコアを回帰問題として推定できることを目指す。また、現在は歩行速度や解答時間などの人手で選んだ特徴量のみで推定を行っているが、今後はMicrosoft Kinect で得られる体験者全身の高次元の情報を用いることで推定性能の向上を図る。データ数が潤沢になれば、同センサから得られる奥行き画像の時系列そのものを用いてConvolutional Neural Network (CNN) を適用するなどのアプローチも考えられる。

また、デュアルタスクにおける運動タスク・認知タスクの選択についても検討の余地があると考えられる。現在は、計算問題の解答方法はボタンを用いて解答しているが、2択の計算問題のため必ずしも体験者が計算問題の解答を頭に思い浮かべなくても解答することができるため、適切に認知的な負荷をかけられている保証がない。そこで現在、計算問題の解答方法としてボタンよりも直感的な、音声やジェスチャーによる解答ができるようシステムを拡張している。音声解答では複数の解答候補から答えを選ぶ必要があるため、体験者の認知機能を正しく測定することができる可能性がある。またジェスチャー解答では、認知機能に加えて身体機能も用いる。認知症の進行に伴い身体機能が低下するという報告もあるため、2つの機能を同時に用いることでより明確に認知機能を測定することができる。一方これらの解答方法はボタン解答に比べて精度が低い問題やタスク難度が高いといった欠点もあるため、今後これらの解答方法を体験してもらい、それぞれの使い勝手の調査や、得られたデータによる認知症推定精度の比較を行う予定である。

参考文献

- [1] <http://www.mhlw.go.jp/stf/kouhou/kaikenshiryou/2013/dl/130607-01.pdf>.
- [2] <http://www.mhlw.go.jp/houdou/2009/03/h0319-2.html>.
- [3] Y. Yagi, I. Mitsugami, S. Shioiri, and H. Habe. Behavior understanding based on intention-gait model. *Human-Harmonized Information Technology, Springer*, Vol. 2, pp. 139–172, 2017.
- [4] 満上育久, 周成菊, 丹羽真隆, 大倉史生, 八木康史. 高齢者認知機能推定のためのデュアルタスク解析. 第60回システム制御情報学会研究発表講演会, 2016.
- [5] 松浦拓, 満上育久, 大倉史生, 八木康史. デュアルタスク体験システムによる認知症高齢者データの収集とその解析. Technical Report 10, nov 2017.
- [6] Marshal F Folstein, Susan E Folstein, and Paul R McHugh. “mini-mental state”: a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of psychiatric research*, Vol. 12, No. 3, pp. 189–198, 1975.
- [7] B. Dubois, A. Slachevsky, I. Litvan, and B. Pillon. The fab. *Neurology*, Vol. 55, No. 11, pp. 1621–1626, 2000.
- [8] 穂大田, 朝博木塚. ソフトボールにおける状況判断を伴う捕送球技能の評価. *体育学研究*, Vol. 59, pp. 17–28, 2014.
- [9] 周西口, 実山田, 朋樹青山. デュアルタスク下の歩行関連動作能力の評価と転倒リスク (特集能力評価におけるデュアルタスクの可能性). *体育の科学*, Vol. 65, No. 5, pp. 319–323, may 2015.
- [10] 島広人, 池添冬芽. 加齢による二重課題バランス能力低下と転倒及び認知機能との関連について. *理学療法科学*, Vol. 24, No. 6, pp. 841–845, 2009.
- [11] 市橋則明. 高齢者の機能障害に対する運動療法. 文光堂, 2010.
- [12] M. Yamada, T. Aoyama, H. Arai, K. Nagai, B. Tanaka, K. Uemura, S. Mori, and N. Ichihashi. Dual-task walk is a reliable predictor of falls in robust elderly adults. *Journal of American Geriatrics Society*, Vol. 59, No. 1, pp. 163–164, 2011.
- [13] V. E. Kelly, A. J. Eusterbrock, and A. Shumway-Cook. A review of dual-task walking deficits in people with parkinson’s disease: Motor and cognitive contributions, mechanisms, and clinical implications. *Parkinson’s Disease*, Vol. 2012, , 2012.
- [14] M. M. Montero-Odasso, Y. Sarquis-Adamson, M. Speechley, and et al. Association of dual-task gait with incident dementia in mild cognitive impairment: Results from the gait and brain study. *JAMA Neurol*, Vol. 74, No. 7, pp. 857–865, 2017.
- [15] Kawashima R and et al. Reading aloud and arithmetic calculation improve frontal function of people with dementia. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, Vol. 60, No. 3, pp. 380–384, 2005.
- [16] L. Breiman. Random forests. *Machine Learning*, Vol. 45, No. 1, pp. 5–32, 2001.