

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

松浦 拓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。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、それを大阪府下の高齢者施設に常設し、日々の高齢者のデュアルタスク体験データを収集している。本稿では、そのシステムの概要やそれによって得られるデータ、さらにそのデータを用いた初期的な解析結果について報告する。

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いため、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問診や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高齢者 1 名あたり数十分の時間を要し、また評価に臨床心理士の主観が介在するため診断ごとに結果にばらつきが生じるという

問題がある。

我々は、このような現状を鑑み、より簡便・短時間で客観的に認知機能を診断する技術を目指し、近年高齢者の認知症や転倒のリハビリテーションなどで注目を集めているデュアルタスクを利用した認知機能推定システムの開発を行っている [3], [4]。これまでに、足踏みをしながら計算問題を行うというデュアルタスクを体験者に課して、その足踏みの様子と計算問題への回答をそれぞれ Microsoft Kinect とボタンで観測することのできるゲーム型のデュアルタスク体験システムを製作し、それを科学館で運用してきた。その実績をもとに、同システムを改良し、平成 29 年の春から大阪府内の 3 軒の高齢者施設に常設し、150 名を超える高齢者の日々のデュアルタスク体験データの収集を開始した。本稿ではそのシステムの概要やそれによって得られるデータ、さらにそのデータを用いた初歩的な解説結果について報告する。

2. デュアルタスク

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を、デュアルタスク (二重課題) と呼ぶ。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

¹ 大阪大学
Osaka University

² 広島市立大学
Hiroshima City University



図 1: デュアルタスク体験システム

おり [5], [6], [7], [8], 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 [9]. 我々はこれらの知見から, 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, さらにこれらの先行研究よりも詳細に歩行の変化や回答のタイミングなどを捉えることでより正確な推定が実現できると考え, デュアルタスクの様子を Microsoft Kinect やボタン等で正確かつ客観的に観測できるシステムを構築した.

3. デュアルタスク体験システム

本章では大阪府の高齢者施設に設置してあるデュアルタスク体験システムの概要について説明する.

3.1 体験システムの概要

計測対象は高齢者であることを考えると, 大学内に固定する形でシステムを設置するのではなく, 高齢者施設に設置できるシステムでなければならない. また計測データ数を増やしたいという面で考えても, 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. そこで我々は, 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 (図 1).

デュアルタスク体験システムは主に Kinect, ノート PC, ディスプレイ, 解答用ボタンで構成される. 計測の際には, 体験者は Kinect の前方に立ち, ディスプレイに表示される指示に従う. この環境で, 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

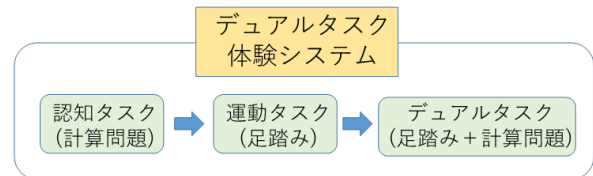


図 2: ゲームの流れ

して, 「100 から 1 ずつ引く」や『か』から始まる言葉を思いつく限り挙げる」といったタスクが一般に用いられるが, これらは口頭による回答のため, その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^{*1}. そのため本システムでは, 体験者は両手に解答用ボタンを持ち, ディスプレイに表示される計算問題とその答えを 2 択から選び左右どちらかのボタンを押すというタスクを採用した. また各体験者の年齢・性別の情報を収集するとともに, 推定すべき認知機能スコアとして, 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) のスコアについても施設の協力を得て収集した. MMSE は口頭試問形式の簡単なテストで, スコアは 30 点満点である. 24 点以上で正常と判断, 10 点未満では高度な知能低下, 20 点未満では中程度の知能低下と判断される.

なお, すべての体験者からデータ収集に関する同意を得ている. また各体験者には個人の ID が割り振られており, そ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する等, 体験者の個人情報の扱いには配慮しデータ収集を行った.

3.2 ゲームと処理の流れ

本システムでは図 2 に示す 3 つのフェーズに沿ってタスクを行う. 図 3 で, その具体的な流れを, 体験中に実際に表示されるゲーム画面に従い説明する.

- (1) 高齢者施設の体験者は体験者の ID が格納された QR コードを所持しており, それをシステムの QR コードリーダーにかざすことでゲームがスタートする (a).
- (2) 右手のボタンをおすことで次の画面に移行する (b).
- (3) 認知タスクである計算問題の難易度及びその内容が表示される (c). 右のボタンを押すことで難易度を選択し, 左のボタンを押すことで決定となる. 決定ボタンが押されると, プログラム内で問題と解答の作成が行われる. 作成が終わると次の画面に移行する (d).
- (4) 計算問題は, 問題が表示されてから (e) 一定時間経過すると問題に対する解答候補が 2 つ表示される (f). 左右のどちらかのスイッチを押すことで解答することが

^{*1} 音声認識による自動化の可能性も考えられるが, 高齢者施設で音響環境をコントロールするのは難しく, また高齢者によっては発話が非常に不明瞭なことがあり, 認識性能を担保するのが実際には困難である.

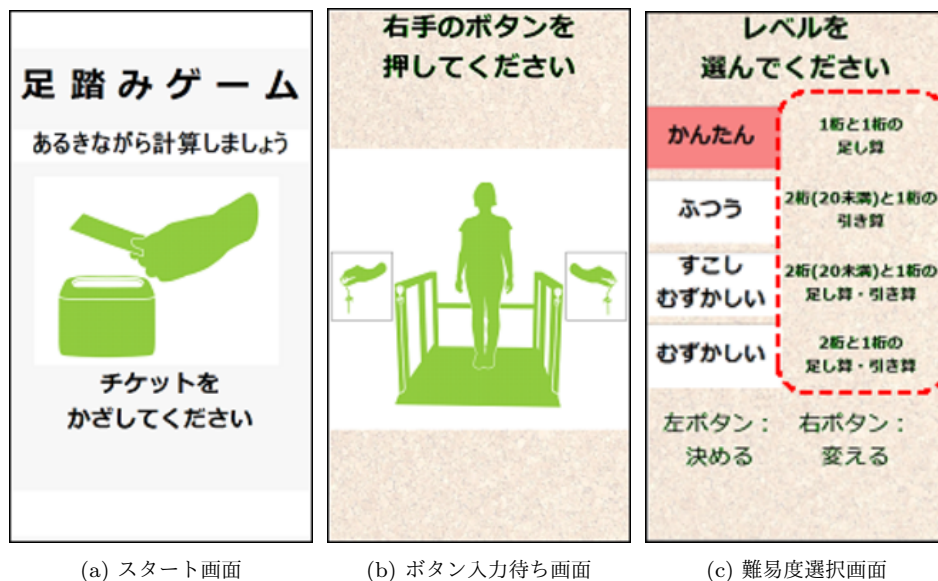


図 3: システム動作画面

できる。

- (5) デュアルタスクが終了すると画面に解答までの速さや正答率、足踏み速度などのデータが前回の記録とともに表示される (g)。またその結果を印刷し体験者に渡している。計測結果を毎回渡すことで、体験者も自分の結果を前回までと比べることができ、目に見える形で残すことで楽しみながらデュアルタスクの計測を行うことができる。

図 4 に、この体験システムのバックグラウンドで動作しているモニター画面を示す。Microsoft Kinect から得られる体験者の骨格情報や、左右ボタンの入力情報がリアルタイムでモニター・蓄積される。



図 4: センサ情報

表 1: csv ファイル例

歩行速度 (S)	歩行速度 (D)	...	解答時間 (D)	Condition
1.9170	1.7090	...	948.714	陰性
1.8384	1.9466	...	935.143	陰性
⋮	⋮		⋮	⋮
1.068.	1.22544	...	993.286	陽性
1.1108	1.12005	...	925.143	陽性

表 2: データ概要

	健常者	認知症有病者	合計
人数	55	28	83
データ数	2164	1385	3549

4. デュアルタスク体験データセット

デュアルタスク体験システムでは 8 種類のデータを取得している。

- 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)

各データは Kinect が捉えたスケルトンデータや問題の解答状況から計算される。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。この手続きによって作成したテーブルの一部を表 1 に示す。表中、(S) はシングルタスク、(D) はデュアルタスク時を表すものとする。「Condition」列は、MMSE スコアが 24 以上の場合は「陰性」、23 以下の場合は「陽性」とした。

本実験の認知機能状態別の体験者数とデータ数は表 2 に示す。また、体験者の年齢分布、MMSE スコアの分布、体験回数分布をそれぞれ図 5、図 6、図 7 に示す。図 7 から、数ヶ月の間に 100 回以上体験をしている体験者がいることが読み取れるが、これは、体験システムの操作を理解するために 1 日に複数回試みた体験者である。現段階では体験回数 10 回以下の体験者が大半であるが、この体験者たちは今後も体験を続けていくため、時間の経過とともにヒストグラムのピークは右にシフトすると予想される。

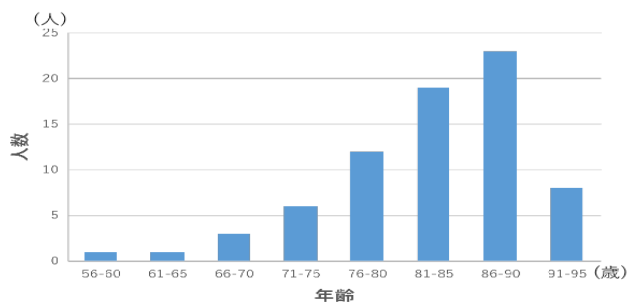


図 5: 体験者の年齢分布

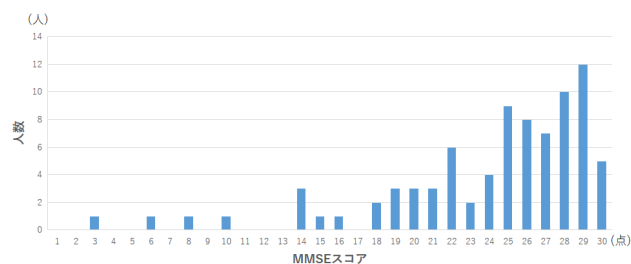


図 6: 体験者の MMSE スコア分布

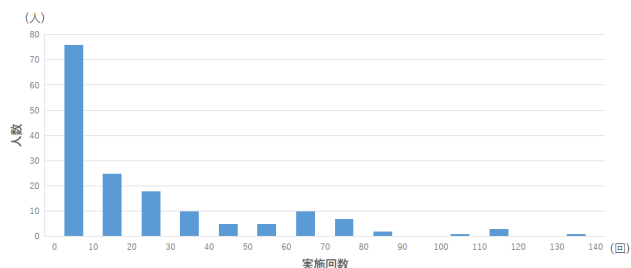


図 7: 体験者の体験回数分布

5. 実験

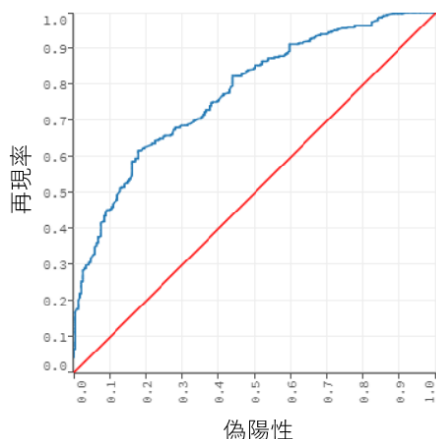
本稿では、得られた体験データを用いて行ったいくつかの初期的な実験結果について報告する。これらの実験では、MMSE スコアが 24 以上の体験者を認知症「陰性」、23 点以下の体験者を「陽性」とラベル付けし、この 2 クラスの識別問題として取り扱う。なお、識別にはランダムフォレスト [10] を用いた。

5.1 シングルタスクとデュアルタスクの識別性能比較

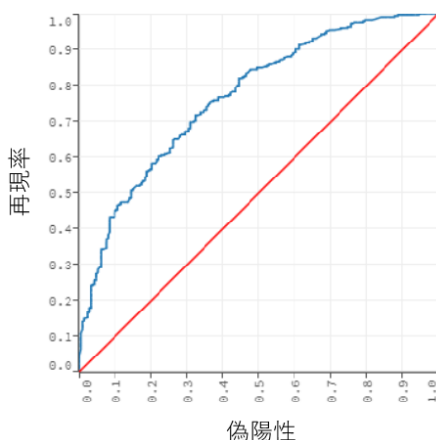
まず、シングルタスクのデータのみを学習させた識別器、デュアルタスクのデータのみを学習させた識別器、両方を組み合わせたデータを学習させた識別器の 3 組を作成する。作成した識別器に同一のテストデータを入力し、出力される受信者動作特性 (Receiver Operating Characteristic; ROC) に基づく Area Under the Curve (AUC) の値を比較することでそれぞれの識別器の性能を評価する。

本システムで得られた全データを 3:1 の割合でランダムに分割し、前者を学習データ、後者をテストデータとして使用する。分割されたデータの中から、3 組の条件に則ったパラメータを取り出し識別器を作成していく。

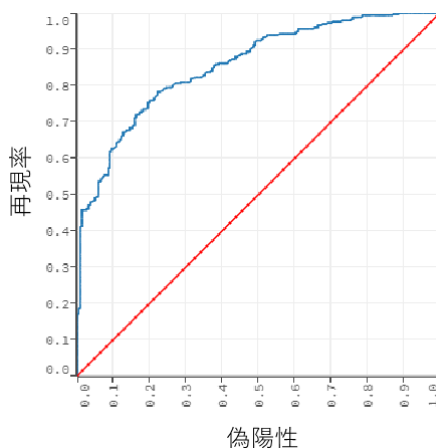
タスク別の識別器の ROC 曲線を図 8 に示す。また、そ



(a) シングルタスクのみ



(b) デュアルタスクのみ



(c) シングルタスク+デュアルタスク

図 8: ROC 曲線

それぞれの AUC の値をまとめたものを表 3 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。また、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 9 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。

表 3: AUC

	(S)	(D)	(S) & (D)
AUC	0.78	0.77	0.86

表 4: 混同行列

		推定結果	
		陽性	陰性
真値	陽性	592	793
	陰性	324	1840

表 5: 評価値

正解率	適合率	再現率	特異度
0.69	0.65	0.43	0.85

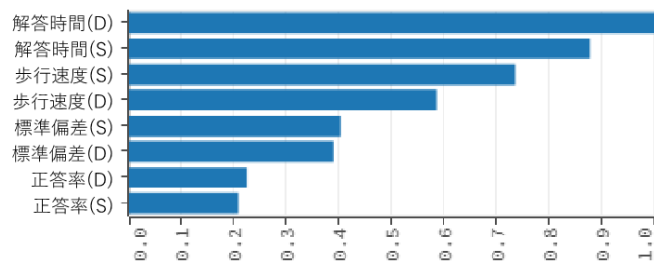


図 9: 各パラメータの重要度

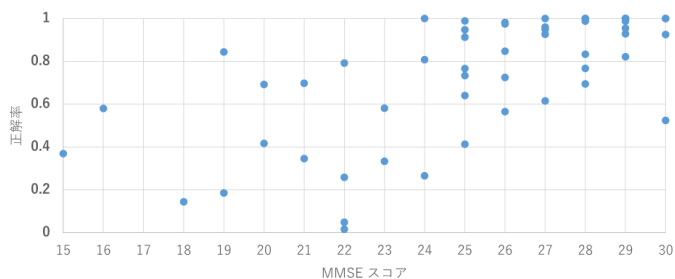


図 10: MMSE スコア別識別性能

5.2 交差検証

以下では、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る。また、訓練データとテストデータに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。

各テストデータの予想結果を混同行列にまとめたものを表 4 に示す。この結果を各種評価方法でまとめたものを表 5 に示す。データ全体での正解率は 0.69 であったが、再現率は 0.43 と非常に低い結果であった。また MMSE スコアと正解率の関係を示したグラフが図 10 である。この表から Condition が陰性の体験者は陽性の体験者よりも正解率が低い傾向にあることがわかる。

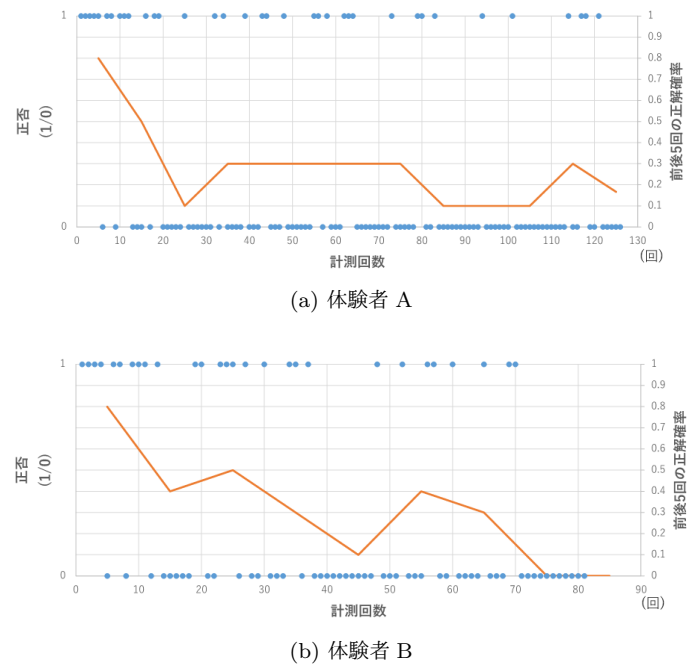
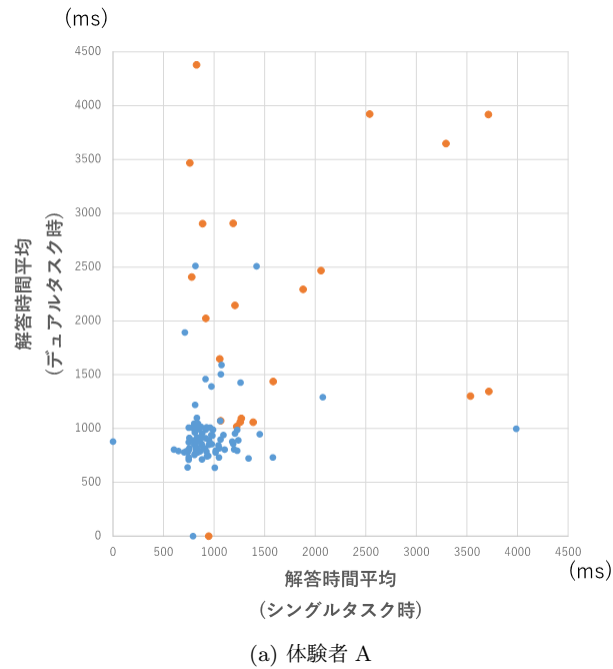


図 12: 経時性能変化

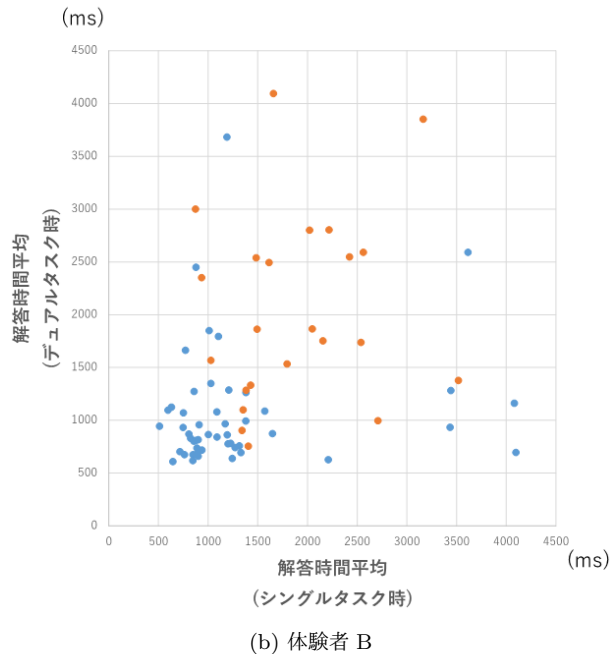


図 11: 認知症有病者の解答時間平均

5.3 体験データの時間変化に関する分析

前節の結果から、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最も高い解答時間平均に着目して分析を行う。

まず、体験者の解答時間平均が体験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2名の体験者について、各回の体験の識別結果と解答時間平均をプロットしたものを図 11 に示す。青点が陰性と識別されたデータ、オレンジ点が陽性と識別されたデータを表している。この表より、陰性と予想されたデータは近い値をとるが、陽性

表 6: データ概要

	健常者	認知症有病者	合計
人数	11	20	31
データ数	1417	1026	2443

と予想されたデータはばらつきが大きいことがわかる。

このばらつきが、体験に対する慣れの影響かどうかを調べるため、識別精度の時間推移を調べる。上述の2体験者に対して、各回の体験に対する識別の正否をプロットしたものを図 12 に示す。また、見やすさのために、正否に関する1/0に対して移動平均を算出したグラフをオレンジ色で示す。これらグラフから、体験回数が少ないうちは高い識別性能を示すのに対して、回数を重ねるにつれてその性能が低下する傾向にあることが分かる。

5.4 体験回数と識別性能の関係

前節の結果を踏まえて、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6の通りである。

各データ群における識別結果を混同行列にまとめたものを表7に示す。この結果を各種評価方法でまとめたものを表8に示す。正解率はどの識別器も大きな差はないが、再現率は学習に用いるデータによって差がでてくることがわかる。体験者データを2つに分けた際、残りのデータを用いた識別器の再現率が高いことから、計測回数を重ねるに

表 7: 体験回数の違いによる識別性能変化

(a) 1-30 回目

(b) 30 回目以降

		推定結果	
		陽性	陰性
真値	陽性	350	676
	陰性	189	1228

		推定結果	
		陽性	陰性
真値	陽性	572	454
	陰性	372	1045

(c) 全データ

		推定結果	
		陽性	陰性
真値	陽性	625	401
	陰性	392	1025

表 8: 評価値

	識別器 (始めのみ)	識別器 (残り全部)	識別器 (全データ)	識別器 (全体験者データ)
正解率	0.65	0.66	0.68	0.67
適合率	0.65	0.61	0.61	0.70
再現率	0.34	0.56	0.61	0.37
F 値	0.45	0.58	0.61	0.49

つれ体験者の認知機能に従ったデータに収束する傾向があることがわかる。また全体験者のデータを用いた識別器の再現率が低いことから、計測回数が 50 回未満の体験者のデータは認知機能状態を正しく表していないことがわかる。よって少なくとも計測回数が 50 回以上の体験者のデータを用いるのが適切だと言える。

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、現時点でべ 3000 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、その識別性能を調べた。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性能が向上することや、また、慣れの影響があり、ある程度体験回数を重ねた方が識別性能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。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、運動タスクとして足踏み、認知タスクとして計算問題を左右ボタンで解答する設計にしているが、特にボタンによる解答については、必ずしも体験者が計算問題の解答を頭に思い浮かべていなくても適当にボタンを押してしまうことができる等、適切に認知的な負荷をかけられている保証がない。今後は、精神科の医師や臨床心理士などと相談しながら、タスクの選択とその自動計測のための設計について検討を行う。

参考文献

- [1] 厚生労働省, “認知症高齢者の現状,” <http://www.mhlw.go.jp/stf/kouhou/kaikenshiryoku/2013/dl/130607-01.pdf>, 2013 年.
- [2] 厚生労働省, “若年性認知症の実態等に関する調査結果の概要及び厚生労働省の若年性認知症対策について,” <http://www.mhlw.go.jp/houdou/2009/03/h0319-2.html>, 2009 年.
- [3] Y. Yagi, I. Mitsugami, S. Shioiri, 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 年.
- [5] 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 年.
- [6] 市橋則明, “高齢者の機能障害に対する運動療法,” 文光堂, 2010 年.
- [7] M. Yamada, T. Aoyama, H. Arai, K. Nagai, B. Tanaka, K. Uemura, S. Mori, 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.
- [8] V. E. Kelly, A. J. Eusterbrock, 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.
- [9] M. M. Montero-Odasso, Y. Sarquis-Adamson, M. Speechley, 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.
- [10] L. Breiman, “Random Forests,” Machine Learning, Vol.45, No.1, pp.5-32, 2001.