

### 3. 2 マウス入力

#### 3. 2. 1 現状と問題点

近年のITの急速な発展にともないパソコンの普及は目覚しく、高齢者の使用も増加している。現在のところ、パソコン操作におけるポインティングデバイスはマウスの使用がほとんどである。そのため、操作に慣れ親しんでいる人だけでなく誰にでも使いやすいデバイスとしてのマウス設計が望まれている。利用者のマウスの操作性を客観的に判断するためには評価指標が必要である。そのため、マウス作業における困難さと作業に要する時間の関係を表すパフォーマンスモデルの構築に関する研究が数多く行われている。しかし、これらの研究における被験者は多くの場合学生であり、若年層でしかもマウス操作に慣れているといった特定の被験者である。高齢者でしかもマウスの操作に不慣れの被験者を対象とした実験はほとんど見られない。

#### 3. 2. 2 計測目的

若年者の多くはコンピュータのマウス操作に慣れ親しんでいるか、その経験を有していると思われる。逆に、高齢者の多くはマウス操作に馴染みがなく、経験がほとんどないと推察される。

ここではマウス操作の経験の有無よりも、年齢層によるマウス操作の特徴に注目する。すなわち、幅広い年齢の被験者を対象とし、若年者、中高年、高齢者の3つの年齢層に分ける。そして、マウス操作における困難さの度合いを変化させ、それに対する作業時間（ポインティング時間）を計測する。この作業の困難度とポインティング時間の関係を表すパフォーマンスモデルを構築する。構築したモデルに基づき、各年齢層におけるマウス操作の基本的特徴の相違について調べる。

#### 3. 2. 3 計測内容と要求事項

##### 被験者

若年者（20～29歳）17名、中高年（50～59歳）15名、高齢者（65歳以上）17名の計49名。

##### 実験要因

マウス操作における作業の困難さを変化させる要因として、以下の3つを取り上げた。

①ターゲットの大きさ：【4種類】

30×30、40×40、50×50、60×60 (pixels<sup>2</sup>)

②ターゲットまでの距離：【4種類】

300、420、540、660 (pixels)

③ターゲットへの接近角度：【13種類】

0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180 (°)

ターゲット形状は全て正方形とする。

##### 作業内容と実験手順

コンピュータ画面上にマウスポインティング作業のスタート位置（十字）および同じ位置にマウスポインタ（白い矢印）が現れる。スタート位置でマウスをクリックすると正方形のターゲットが表示されるので、マウスポインタをターゲット内へ移動させて再びマウスをクリックさせる。これを1試行とする。すると約1秒後に再びスタート位置が現れるので、同様の作業を繰り返す。

3つの実験要因であるターゲットの大きさ、ターゲットまでの距離、ターゲットへの接近角度の全てを被験者間要因とする。すなわち、13回の実験を $4 \times 4 \times 13 = 208$  試行とする。3つの実験要因の組み合わせの順序は全ての実験回数、全ての被験者間でランダム化する。スタート位置からターゲットまでのポイント時間、ポイント作業のエラーの有無およびマウスポインタが移動中のポインタの位置を計測する。

### 3. 2. 4 計測装置仕様

#### (1) マウスポインティング実験プログラム

##### 1) 開発環境

Microsoft Visual C++ ver.6.0 (OS: Microsoft Windows 98 SE)

##### 2) 動作環境

Microsoft Windows 95, Windows 98, Windows 98 SE, Windows NT 4.0, Windows 2000 において動作確認済み。

##### 3) プログラムの起動

プログラム (Mouse\_exp.exe) のアイコンをダブルクリックすることにより起動する。

##### 4) 実験条件の設定

メニューバー中のメニューから「ウィンドウの位置と大きさ」および「ターゲットの条件」を設定することが可能である (図2. 3. 2-1)。

ウィンドウの位置と大きさの変更:

メニューバーから【設定】→【ウィンドウの位置・大きさ】を選択すると、[ウィンドウの位置・大きさ] ウィンドウが表示される (図2. 3. 2-2)。ここで、ウィンドウの表示位置およびウィンドウの大きさを指定する。Mouse\_exp.exe ファイルの存在するフォルダ中に screen.ini がない場合、デフォルトである図2. 3. 2-2の数値が表示される。ウィンドウの表示位置およびウィンドウの大きさを半角数字で入力する。ただし、コンピュータ画面の座標系は左上を原点 ((0, 0)) であり、右方向が x 軸正方向、下方向が y 軸正方向である。ウィンドウの大きさは幅 (x) と高さ (y) で指定する。単位はいずれも pixel であり、表示するディスプレイの解像度によりウィンドウの大きさが異なる。値を変更した場合には、変更した値が自動的に screen.ini ファイルに保存される。

ターゲットの条件の変更:

メニューバーから【設定】→【ターゲットの条件】を選択すると、[ターゲットの条件] ウィンドウが表示される (図2. 3. 2-3)。ここで、ターゲットへの距離、ターゲットの大きさ、接近角度を指定する。Mouse\_exp.exe ファイルの存在するフォルダ中に target.ini がない場合デフォルトである図2. 3. 2-3の数値が表示される。ターゲットへの距離 (pixels)、ターゲットの大きさ (pixels)、接近角度 (°) を半角数字で入力する。各数値間は半角スペースで区切りターゲットの大きさは正方形の幅で指定する。値を変更した場合には変更した値が自動的に screen.ini ファイルに保存される。

##### 5) 実験開始

被験者の情報入力

メニューバーから【ファイル】→【新規実験】を選択すると、[新規実験] ウィンドウが表示される (図 2. 3. 2-4)。ここで、被験者番号、グループ別 (年齢層)、実験回数は必ず入力する。グループ別は「若年者」、「中高年」、「高齢者」のいずれかを選択する。また、実験回数は「1回目」、「2回目」、「3回目」、「4回目」、「5回目」のいずれかを選択する。これらの情報を元にして出力ファイル名が自動的に決定される。ファイル名の先頭は年齢層を表し、A は若年者、B は中高年、C は高齢者を意味する。例えば、被験者番号が 12、グループが若年者、実験回数が 3 回目のときには A012-3. dat および A012-3. trj の 3 つのファイルに実験結果が出力される。A012-3. dat には「試行回数」、「ターゲットまでの距離」、「ターゲットの大きさ」、「ターゲットへの接近角度」、「エラーの有無」、「ポインティング時間」が記録される。A012-3. trj には「各試行中のマウスポインタの位置 (x, y)」、「計測開始からの時間」が記録される。被験者名、性別、年齢もなるべく入力する。入力後、[OK] ボタンをクリックすると [新規実験] ウィンドウが消え、実験ウィンドウ内をダブルクリックすると実験が始まる。

#### 実験内容

十字のスタート位置にマウスポインタが表示され、別の場所にターゲット (正方形) が表示される (図 2. 3. 2-5)。このときはマウスポインタがスタート位置に固定されているため、被験者にはマウスを動かしやすい位置に直させる。マウスの左ボタンをクリックすると計測開始となり、ターゲット内にマウスポインタを動かして再びクリックした時点で計測が終了する。これを 1 試行とする。1 秒後に次のターゲットが提示される。マウスポインタは自動的にスタート位置に移動する。1 回の実験では全ての実験条件がランダムに提示される。例えば、ターゲット条件がデフォルトの状態であれば、 $4 \times 4 \times 13 = 208$  試行全てが終了した時点で [実験終了] ダイアログボックスが表示され (図 2. 3. 2-6)、[OK] ボタンをクリックして 1 回の実験が終了となる。続けて実験を行うときは、上記の「被験者の情報入力」の手順に戻る。できれば、同じ被験者に 5 回の実験を行わせる。

#### 6) プログラムの終了

プログラムを終了させるためには、メニューバーから【ファイル】→【アプリケーションの終了】を選択するか、ウィンドウ右上の閉じるボタン (×ボタン) を押す。

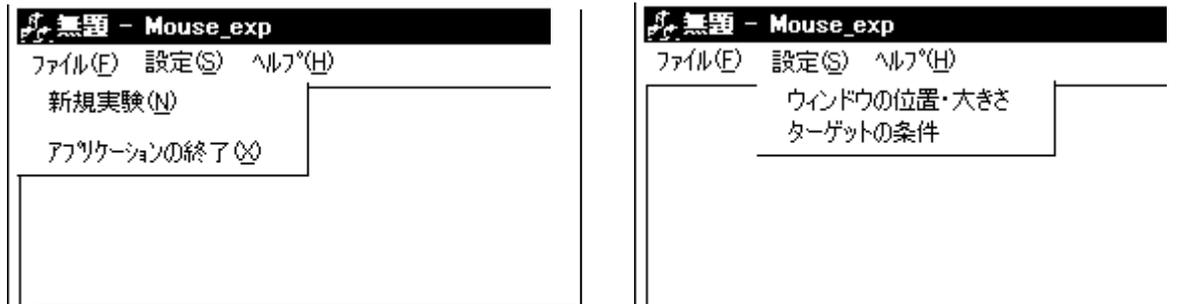


図 2. 3. 2-1 ファイルメニュー

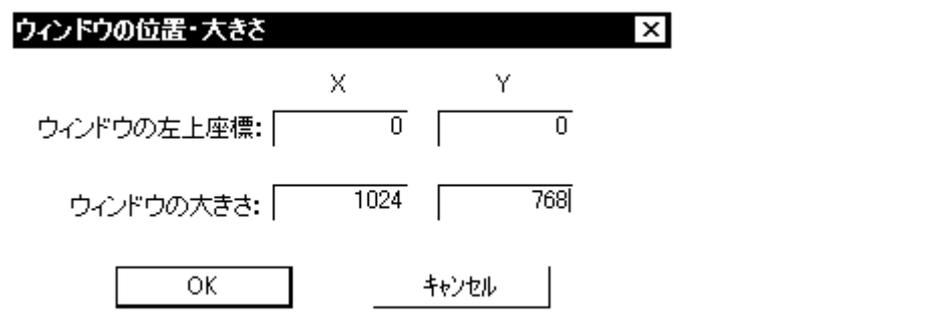


図 2. 3. 2-2 ウィンドウの表示位置と大きさを設定するダイアログ

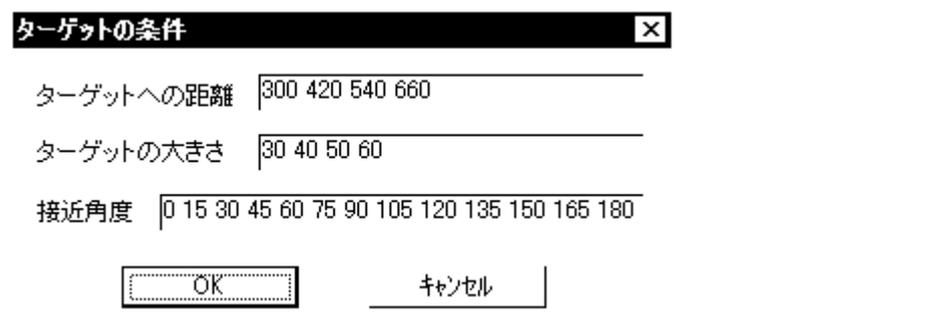


図 2. 3. 2-3 接近角度、ターゲットへの距離ターゲットの大きさを設定するダイアログ



図 2. 3. 2-4 新規実験ダイアログ

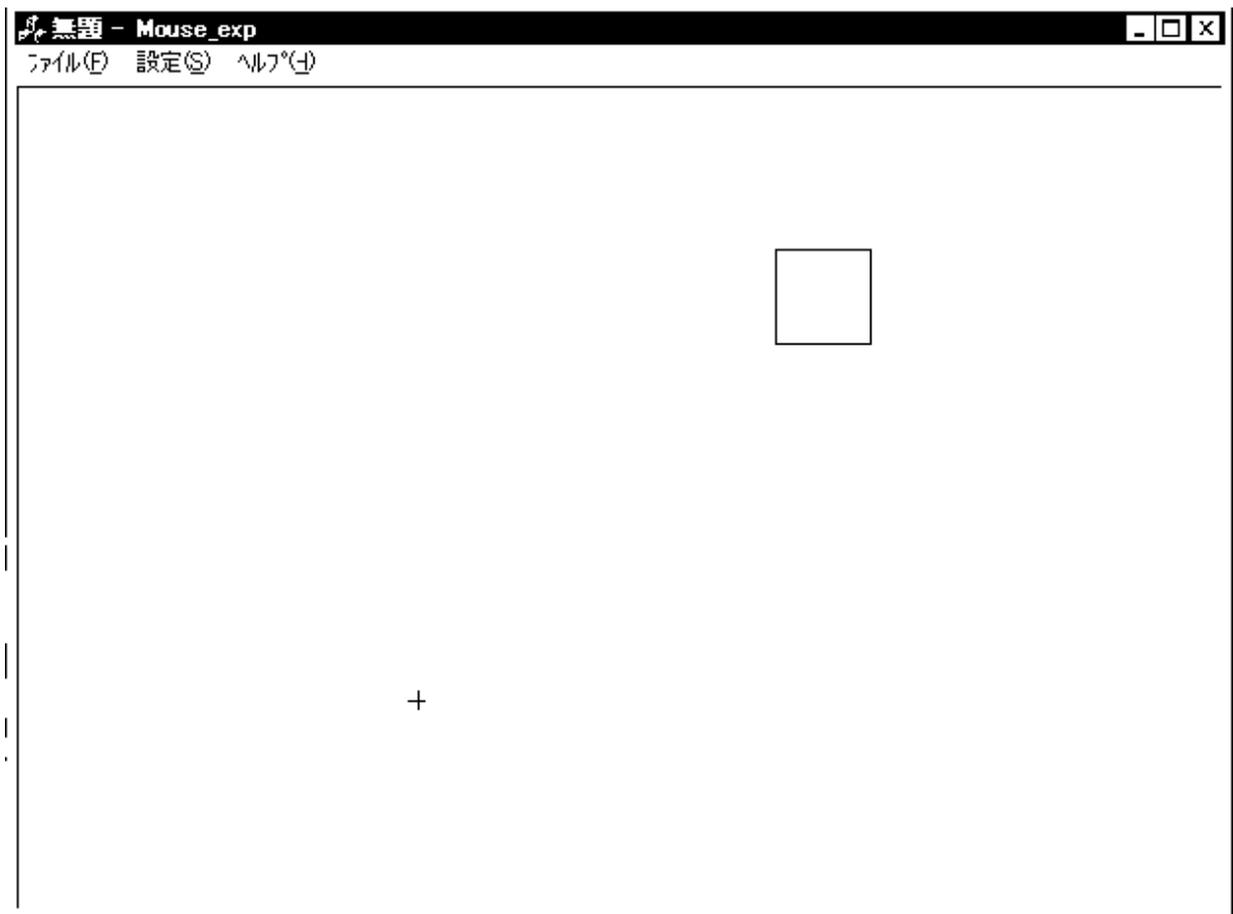


図 2. 3. 2-5 スタート位置(+)とターゲット(□)の提示状態

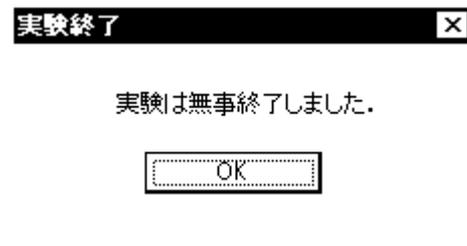


図 2. 3. 2-6 実験終了ダイアログ

### 3. 2. 5 実験及び解析結果

#### (1) ポインティング時間とエラー率

マウスポインティング作業における各年齢層のポインティング時間 (PT) を図 2. 3. 2-7 に示す。ポインティング時間に対して年齢層を要因とする一元配置の分散分析を行った結果、有意差が認められた ( $F(2, 48) = 16.184, p < 0.01$ )。水準間の差を調べるために、Scheffe の多重比較を行った結果、若年者と高齢者および中高年と高齢者の間で差が認められた (いずれも有意確率  $p < 0.01$ )。

一方、マウスポインティング作業における各年齢層のエラー率を図 2. 3. 2-8 に示す。エラー率に対して年齢層を要因とする一元配置の分散分析を行った結果、有意差は認められなかった。

ターゲットまでの距離、ターゲットの大きさ、ターゲットへの接近角度に対するポインティング時間を年齢層ごとに求めたものを図 2. 3. 2-9 に示す。図 2. 3. 2-9a より、ターゲットまでの距離とポインティング時間の間には直線的関係が認められる。また、図 2. 3. 2-9b より、ターゲットの大きさとポインティング時間の間には対数的関係が認められる。さらに、図 2. 3. 2-9c より、若年者においてはターゲットへの接近角度に対してポインティング時間にほとんど差は見られないが、高齢者においては接近角度によってポインティング時間にばらつきが見られる。特に、接近方向が  $180^\circ$ 、すなわち左方向へのポインティング作業において若干ポインティング時間が長い傾向が認められる。

ターゲットまでの距離、ターゲットの大きさ、ターゲットへの接近角度に対するポインティング作業のエラー率を年齢層ごとに求めたものを図 2. 3. 2-10 に示す。若年者に関しては、いずれの実験要因においても水準間でエラー率にほとんど差は見られないが、中高年、高齢者に関しては、ターゲットまでの距離が長くなるほど、またターゲットの大きさが小さくなるほど、さらにターゲットへの接近方向が左方向になるほどポインティングのエラー率が増加する傾向が見られる。

以上のことから、高齢者の特徴として、

- 1) 他の年齢層に比べてポインティング作業に時間がかかる。
- 2) ターゲットへの距離が長くなったり、ターゲットの大きさが小さくなるほど、すなわちポインティング作業の困難度が増加するほどエラー率が高くなる。
- 3) 左方向へのポインティング作業に時間がかかり、エラー率も急増する。すなわち、左方向へのポインティング作業を苦手とする傾向が認められる。

#### (2) 移動軌跡による解析

移動軌跡データを元にして、ポインティング作業中の移動軌跡の長さ、ポインタ移動中の最大移動速度および平均移動速度を算出した。

ターゲットまでの距離、ターゲットの大きさ、ターゲットへの接近角度に対する移動軌跡長を年齢層ごとに求めたものを図 2. 3. 2-11 に示す。図 2. 3. 2-11a より、ターゲットまでの距離と移動軌跡長の間には直線的関係が認められる。また、図 2. 3. 2-11b より、ターゲットの大きさが大きくなると移動軌跡長が減少する傾向が認められる。さらに、図 2. 3. 2-11c より、ターゲットへの接近角度が  $45^\circ$  および  $135^\circ$  において移動軌跡長が最も長く、 $0^\circ$ 、

90°、180°において最も短い傾向が認められる。いずれの実験要因においても若年者の軌跡長が最も短く、高齢者の軌跡長は最も長いことが分かる。

ターゲットまでの距離、ターゲットの大きさ、ターゲットへの接近角度に対する最大移動速度を年齢層ごとに求めたものを図2.3.2-12に示す。図2.3.2-12aより、最大移動速度はターゲットまでの距離に対してほぼ直線的に増加する傾向が認められる。また、図2.3.2-12bより、ターゲットの大きさに関しては最大移動速度に差は認められず、ほぼ一定である。さらに、図2.3.2-12cより、最大移動速度は接近角度0°から減少していき、90°で最小となり、再び増加する傾向が認められる。接近角度による差は高齢者の場合、若年者、中高年ほど顕著ではない。いずれの実験要因においても若年者の最大移動速度が最も大きく、高齢者は最も小さいことが分かる。

ターゲットまでの距離、ターゲットの大きさ、ターゲットへの接近角度に対する平均移動速度を年齢層ごとに求めたものを図2.3.2-13に示す。図2.3.2-13a、bより、平均移動速度はターゲットまでの距離やターゲットの大きさに伴いほぼ直線的に増加する傾向が認められる。また、図2.3.2-13cより、平均移動速度は接近角度0°で最も大きいものの、それ以外の角度では大きな違いは見られない。いずれの実験要因においても若年者の平均移動速度が最も大きく、高齢者は最も小さいことが分かる。

### (3) パフォーマンスモデルの構築

従来の MacKenzie によるマウスポインティング作業のパフォーマンスモデル（困難度（ID =  $\log_2 D/S + 1$ ）とポインティング時間（pt）の関係）を図2.3.2-14に示す。それぞれの回帰式は以下の通りである。

$$\text{若年者} : \text{pt} = 0.1796 \cdot (\log_2 D/S + 1) + 0.2683 \quad (R^2 = 0.9598)$$

$$\text{中高年} : \text{pt} = 0.2992 \cdot (\log_2 D/S + 1) + 0.2572 \quad (R^2 = 0.9338)$$

$$\text{高齢者} : \text{pt} = 0.5245 \cdot (\log_2 D/S + 1) + 0.2792 \quad (R^2 = 0.9456)$$

図2.3.2-9より、ターゲットまでの距離とポインティング時間は直線的な関係があり、ターゲットの大きさとポインティング時間は対数的な関係があることが示された。このことから、以下の重回帰式をパフォーマンスモデルとして提案する。

$$y = \alpha \cdot D - \beta \cdot \log_2 S + \gamma$$

各年齢層に対して式(1)におけるパフォーマンスモデルを求めた結果、それぞれの重回帰式は以下ようになった。

$$\text{若年者} : \text{pt} = 0.000598 \cdot D - 0.1318 \cdot \log_2 S + 1.335 \quad (R^2 = 0.9972)$$

$$\text{中高年} : \text{pt} = 0.001049 \cdot D - 0.1978 \cdot \log_2 S + 1.890 \quad (R^2 = 0.9969)$$

$$\text{高齢者} : \text{pt} = 0.001792 \cdot D - 0.3644 \cdot \log_2 S + 3.260 \quad (R^2 = 0.9924)$$

いずれの年齢層においても回帰式の寄与率（R<sup>2</sup>）が良くなっていることが分かる。このことから、提案したパフォーマンスモデル（式(1)）は従来のパフォーマンスモデルよりも優れていることが示された。また、各年齢層におけるパフォーマンスモデルの係数に違いが見られるが、これはそれぞれの年齢層においてパフォーマンスが異なることを明示している。

作業前後の疲労自覚症状調べの結果を関連2群のノンパラメトリック検定（Wilcoxon 検定）によって統計的に比較した結果、作業前と後で訴え率に有意な差は認められなかった。これは、各

被験者の5回のポインティング実験におけるデータを疲労の影響を考慮せず一様に評価できることを示しており、ここまでの解析結果が妥当であると考えられる。

以上のように、パフォーマンス・モデルは3つの年齢群で異なり、高齢者になるほど困難度の増加に伴って、ポインティング時間が増加する、すなわちポインティングが難しくなっていくことが明らかになった。

#### 参考文献

- 1) A. MURATA: Empirical Evaluation of Performance Models of Pointing Accuracy and Speed With a PC Mouse, International Journal of Human-Computer Interaction, Vol. 8, No. 4, pp. 457-469, 1996.
- 2) A. MURATA: Improvement of Pointing Time by Predicting Targets in Pointing With a PC Mouse, International Journal of Human-Computer interaction, Vol. 10, No. 1, pp. 23-32, 1998.
- 3) A. MURATA: Extending Effective Target Width in Fitts' Law to a Two-Dimensional Pointing Task, International Journal of Human-Computer Interaction, Vol. 11, No. 2, pp. 137-152, 1999.

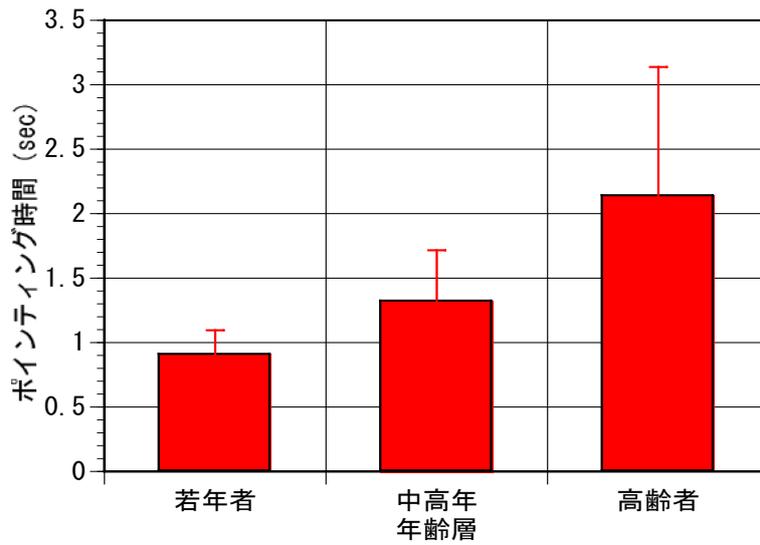


図 2. 3. 2-7 各年齢層のポインティング時間

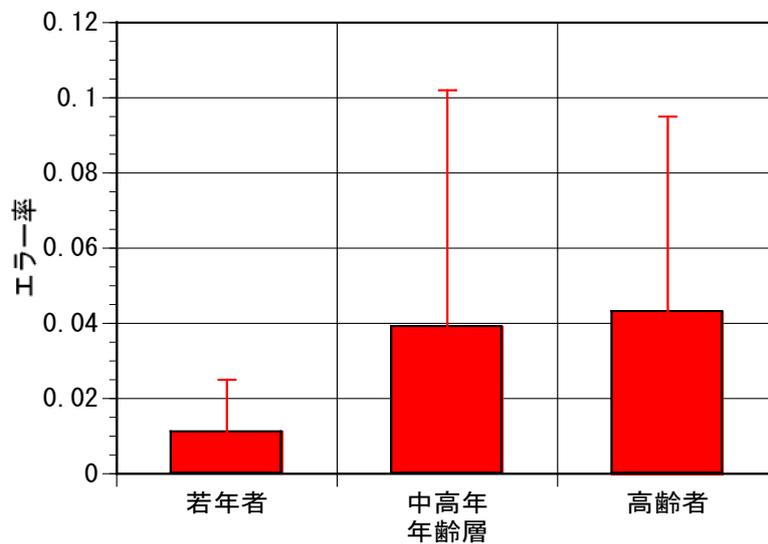
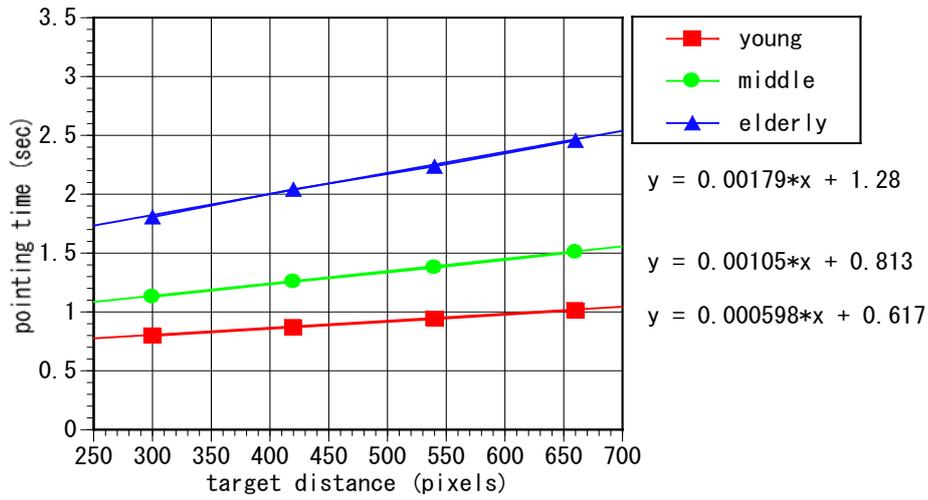
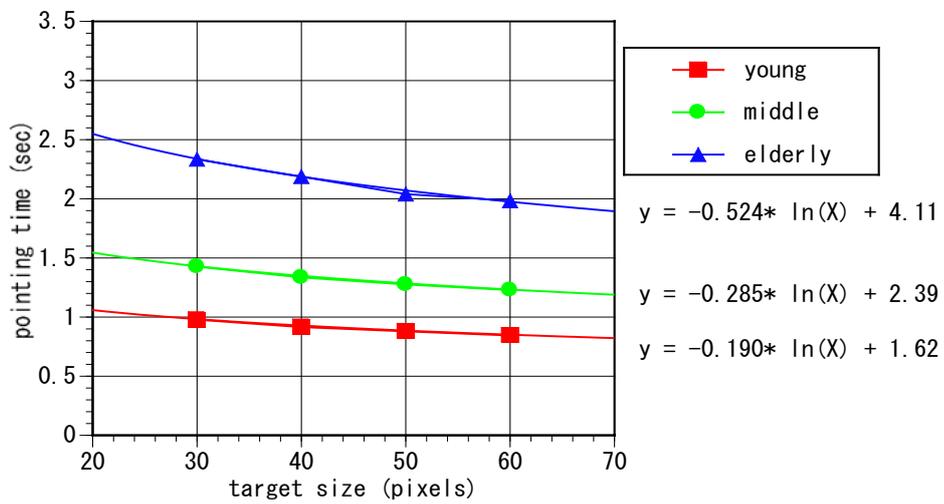


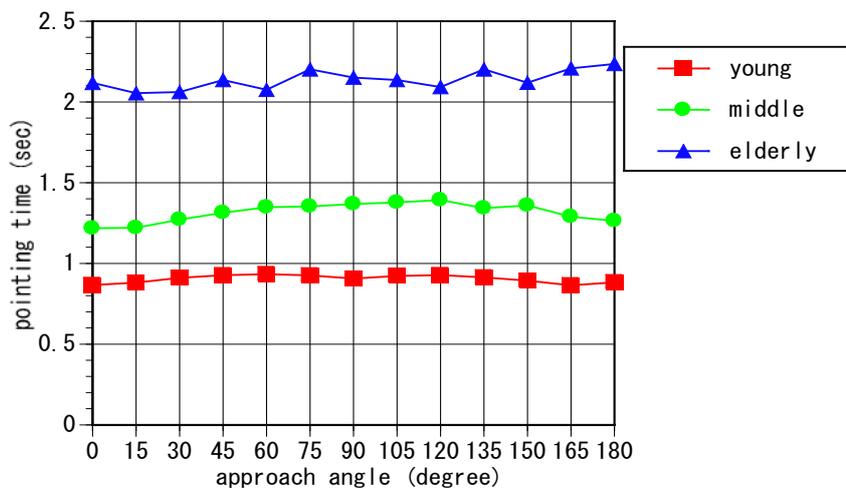
図 2. 3. 2-8 各年齢層のエラー率



a ターゲットまでの距離に対するポインティング時間

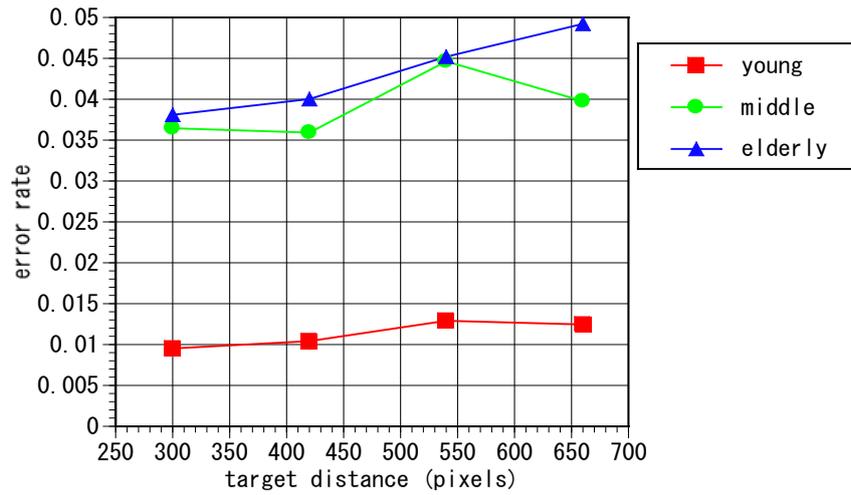


b ターゲットの大きさに対するポインティング時間

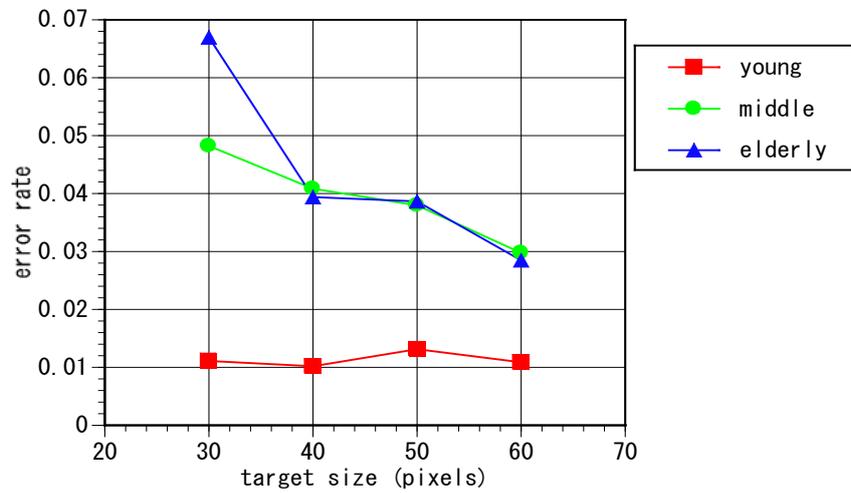


c 接近角度に対するポインティング時間

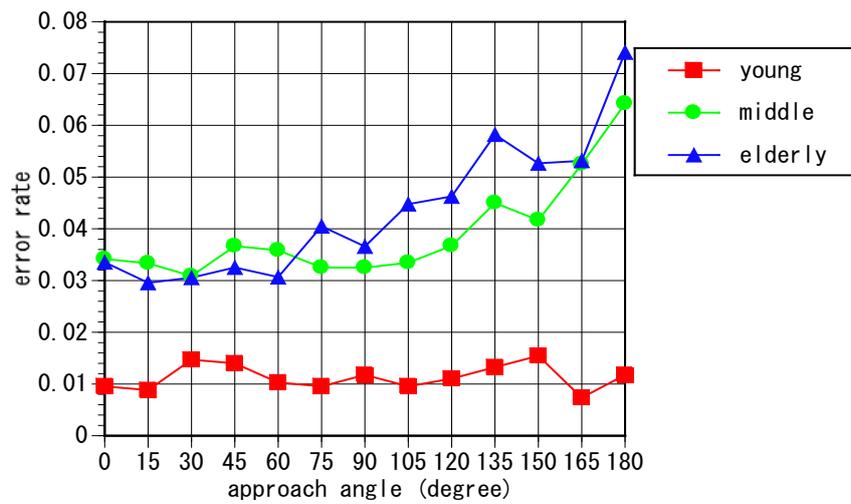
図2. 3. 2-9 各実験要因に対するポインティング時間



a ターゲットまでの距離に対するエラー率

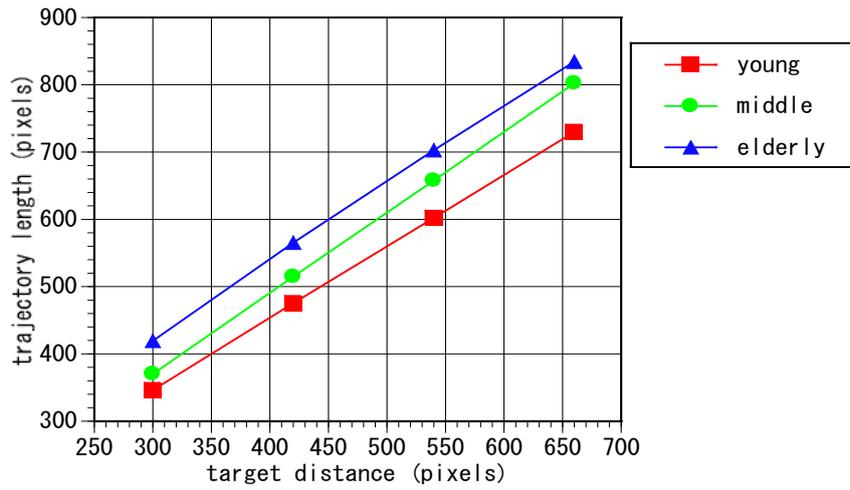


b ターゲットの大きさに対するエラー率

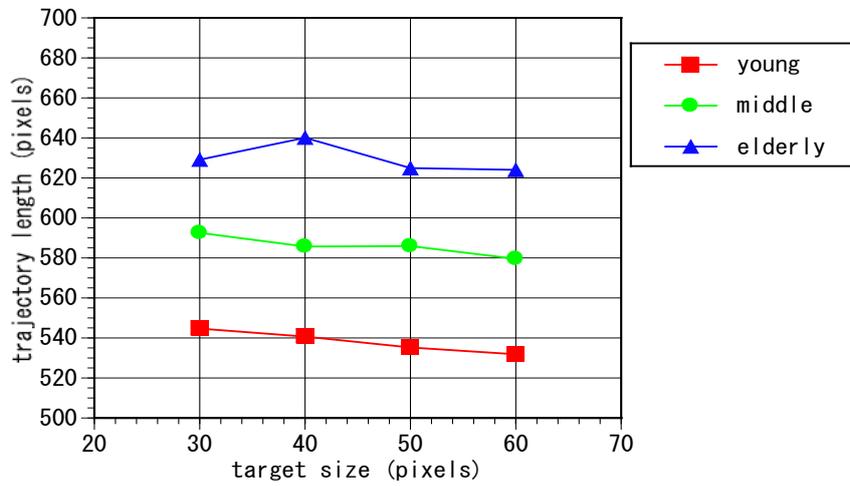


c 接近角度に対するエラー率

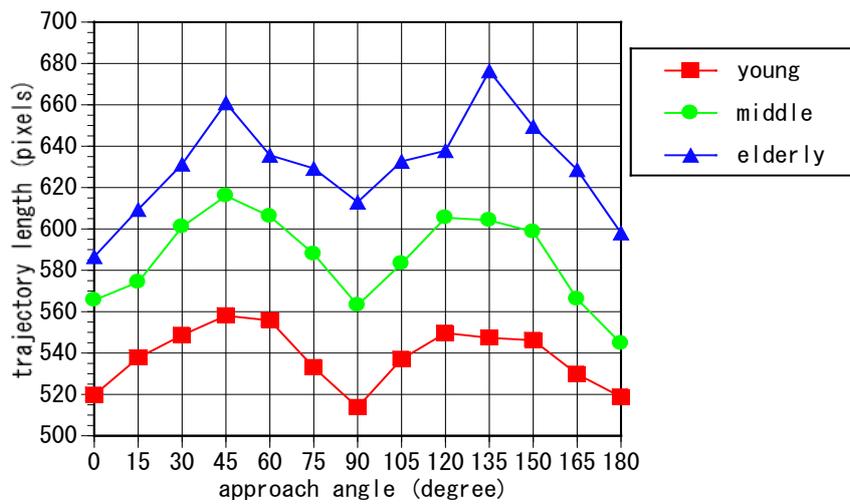
図 2. 3. 2-10 各実験要因に対するエラー率



a ターゲットまでの距離に対する移動軌跡長

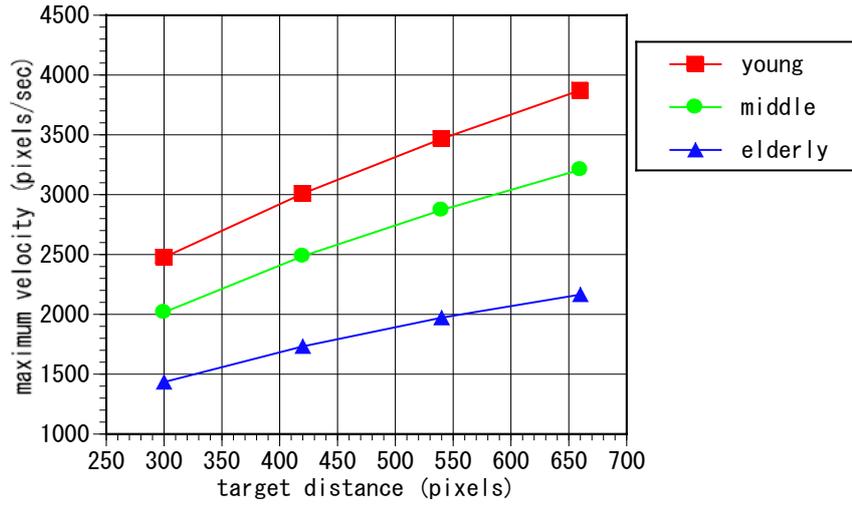


b ターゲットの大きさに対する移動軌跡長

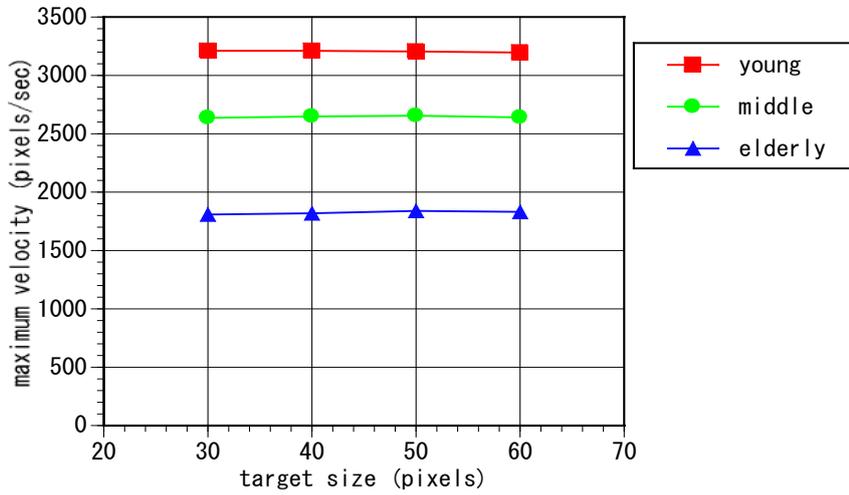


c 接近角度に対する移動軌跡長

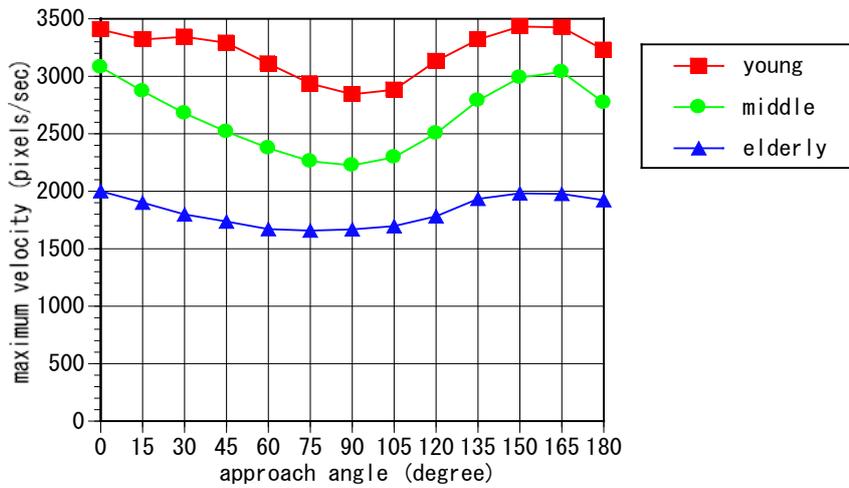
図 2. 3. 2-1-1 各実験要因に対する移動軌跡長



a ターゲットまでの距離に対する最大移動速度

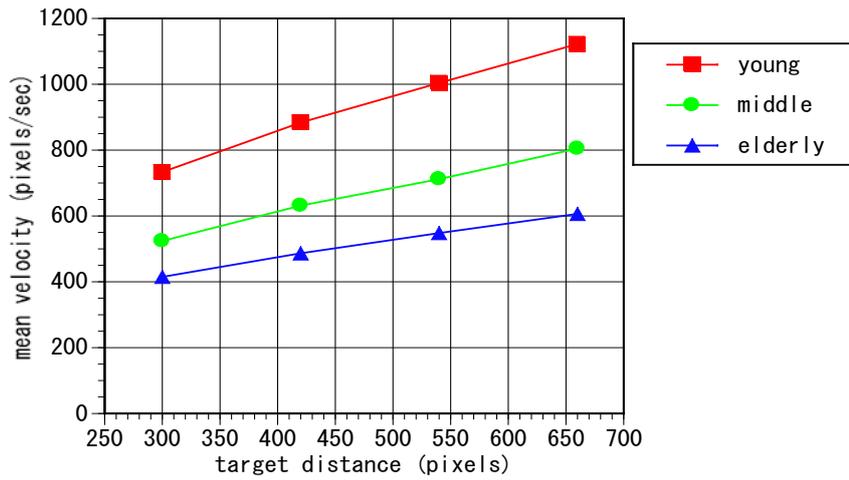


b ターゲットの大きさに対する最大移動速度

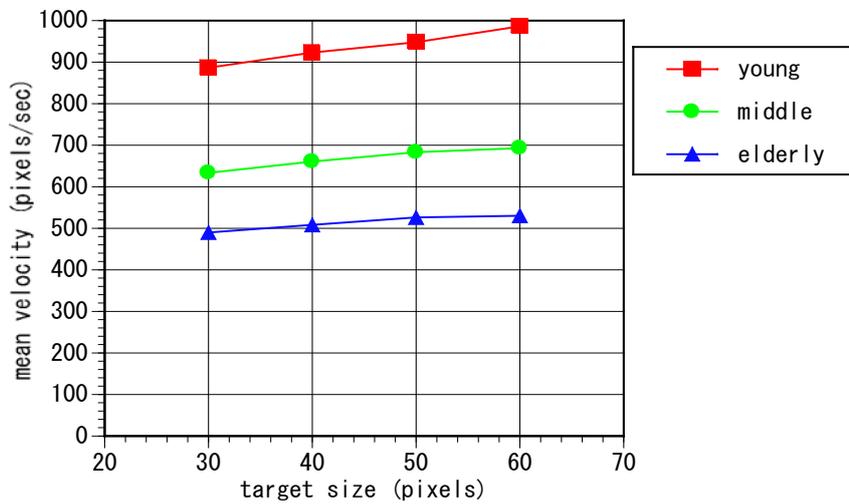


c 接近角度に対する移動軌跡長

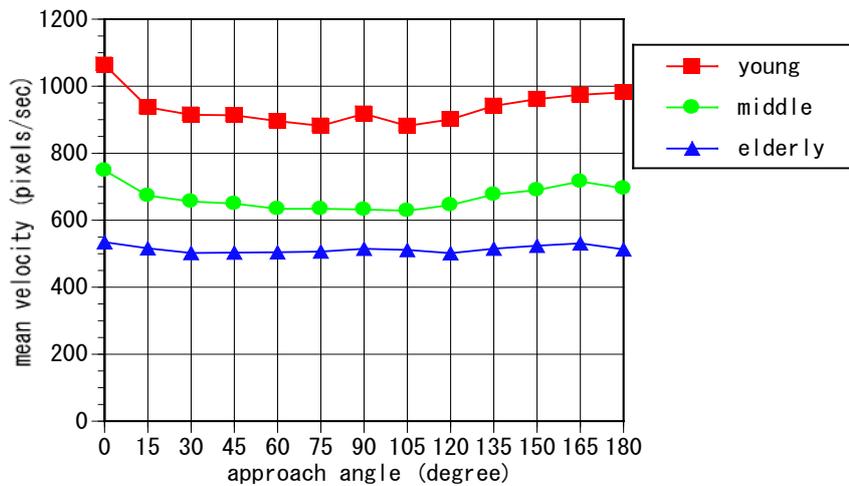
図2. 3. 2-1 2 各実験要因に対する最大移動速度



a ターゲットまでの距離に対する平均移動速度



b ターゲットの大きさに対する平均移動速度



c 接近角度に対する移動軌跡長

図 2. 3. 2-13 各実験要因に対する平均移動速度

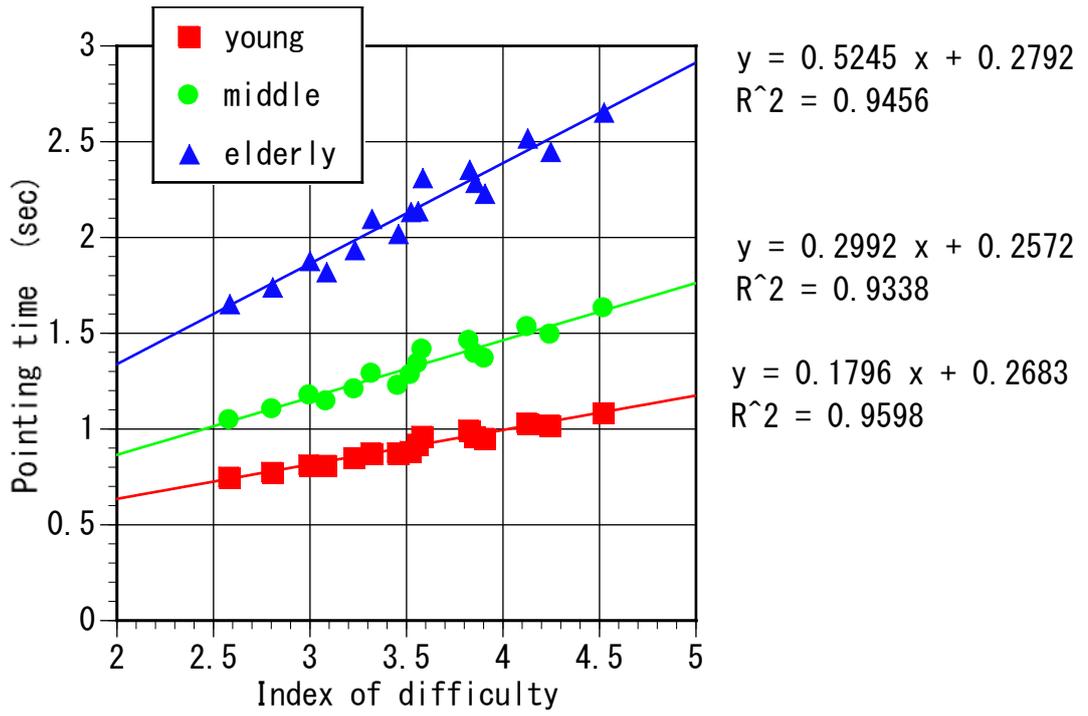


図2. 3. 2-14 年齢層におけるパフォーマンスモデル