

ゲーム化された視覚セルフチェックシステムの検証

細川研知^{†1,2} 丸谷和史^{†1} 仲泊聡^{†3} 西田眞也^{†1,4}

視覚のセルフテストを日常的に行うことができるようゲーム化した。このテストはオンライン・オフラインを問わず、自宅やイベント会場など様々な環境で実施できるよう設計した。飽きずに楽しんで実施できるよう、テスト時間を3分程度に短縮し、ゲーム性を高める要素を導入した。オンラインやオンサイト等様々な環境で実証をおこない、日常的な環境で視覚セルフチェックを気軽に可能であることを検証した

1. はじめに

近年、高齢化やデジタル機器の増加に伴い、自分の視覚能力を把握する必要性は高まっている。こういった自己の状態の把握は、定期的に、あるいは必要に応じてできれば望ましい。

視力検査は、主に病院や健康診断、眼鏡店など統制された環境と専門の機器のあるところで実施されてきたが、必要に応じて行うのであれば、専門の器具がなく統制されていない環境で行うことができるようにすることが望ましい。例えば、インターネットを通じて視力検査を行うことができれば、自宅等どこでも実施することができる。

また、視覚テストではいわゆる視力、すなわち視覚の空間解像度を測る検査が良く知られているが、それ以外にもいわゆる動体視力など運動するものを見る能力や、注視している点から離れたところにあるものを広く見る能力など、様々な視覚能力があり、それぞれを計測するテストがある。しかし、様々な種類のテストを広範に実施できる環境は、視力検査ができる環境よりもさらに限られている。インターネット等を通じてテストを実施することができるのであれば、視力以外にも様々な視覚能力のテストを容易に提供でき、自己チェックのエクスペリエンスはより高まると考えられる。

ただし、実施場所が自由になったとしても、テストへの積極的な参加がなければ、データの数も増えず、質の高いデータの取得も望めない。このため、利用者が積極的にテ

ストを利用したくなるよう、エンゲージメントやモチベーションを高める工夫を導入しなければ、気軽に利用可能と言っても、実際には用いられないことが考えられる。

そこで、我々は視覚のセルフテストを日常的に行うことができるよう、視覚テストをオンラインやオンサイトで実施できるシステムを構築した上で、それぞれのテストをゲーム化し、利用者が積極的に参加できるシステムを作成した。

2. 関連研究

視覚能力に関するテストのオンライン化やゲーム化は、目的に応じて行われている。例えば、特に緑内障などの眼病に直接関連するものについては、製薬会社等でオンラインの自己チェックツールが公開されている。

また、認知能力に関するテストは、オンライン化やゲーム化されている例が多くある。例えば、顔認識などの実験をオンラインで公開している例[1]や、弱視のトレーニングをオンラインで行うツールが公開されている[2]。

しかし、いわゆる視力そのものや、コントラスト感度をはじめとする基礎的な知覚能力のテストは、オンライン化やゲーム化が進んでいない。これは、知覚能力をテストするには、器具や環境、提示する画像の厳密な統制が必要であり、それが難しいオンライン化やゲーム化はそれが難しいため、少数の例にとどまっている。

^{†1} NTT コミュニケーション科学基礎研究所
NTT Communication Science Laboratories

^{†2} 立命館大学
Ritsumeikan University.

^{†3} 神戸アイセンター病院
Kobe City Eye Hospital

^{†4} 京都大学
Kyoto University

3. システムの技術的概要

本研究では、基礎視知覚のテストをオンライン化およびゲーム化したものを作成した。その際、基礎視知覚テストとして機能させるため、それに必要とされる物理条件を可能な限り統制できるよう機能を追加した。

3.1 様々な利用シーンへの対応

視覚テストを広く行うためには、オンラインや店頭での実施など様々な実施形態に対応する必要がある。そのため、本システムは、多様な環境で高精度に画像を表示可能なブラウザアプリとして設計した。ブラウザアプリであるため、テストをオンラインで実験を実施可能なほか、PCであればローカル Web サーバの利用によってオフラインでの利用も可能である。また、現在の Web 標準である Service worker API を使用することで、スマートフォン等でのオフライン利用もある程度可能である。

また、利用シーンも様々なケースを想定した。オンラインでの利用が典型的な想定ケースだが、学校の授業で利用するケースのように教師や実験者がついて利用させるケースや、常設機器として設置し誰でも利用できるようにするケースも想定した。

利用シーンによって、個人情報保護を含めたデータの利用方法も最適化しなければならない。視覚能力の情報は眼病を示唆するケースがあり、テストの利用者個人が分かる状況では、要配慮情報として扱う必要があるからである。

通常のオンライン実験のように、実施者自らが Web サーバを用意し、利用者がクライアント機器でそれを実施した後、テスト結果をサーバに送信して保存する方法で実施可能であるが、この方法は実施者がサーバの維持やサーバに蓄積されたデータのセキュリティの管理を求められるため、設置時の負荷が高い (図 1(a))。インターネットから切り離れたクラウドネットワーク中に Web サーバを設置すればセキュリティ維持の問題は緩和するが、インターネットから切り離れたネットワークを構築する必要があるため、授業で教師が利用するようなケースでは用いにくい。

インターネットには接続するがデータを送信したくないケースに対応するため、テストプログラムは Web サーバを通じてクライアント機器に送信し、データはローカルにのみ保存するオプションを追加した。このオプションを設定した場合、データはサーバに贈られることなく、CSV ファイルとしてダウンロード可能であり、授業で教師が使うなどのパターンではダウンロードしたファイルを集める (図 1(b))。

また、利用シーンの一つとして、同じ機器を多数の利用者が共用する常設設備とするケースも想定したオプションを追加した。このケースでは、同じ機器を利用する他の利用者のデータが見えてはならない。このため、ファイルとしてのダウンロードや、cookie 等のブラウザの保存領

域は使用できない。これに対応するため、データを QR コードとして印刷し、実験の結果を別途ビュー専用ウェブサイトで閲覧可能にし、共用機器に QR コードを読ませることでゲームデータの進行状況も記録可能とした。この方法であれば、共用機器に一切の情報を残さず利用者が自分でデータを管理可能である。また、QR コードは紛失時を想定して、暗号化できるような設計した (図 2)。

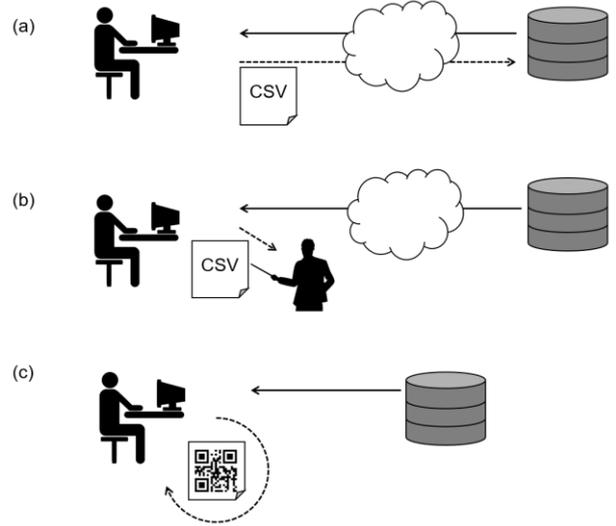


図 1 利用シーンごとのデータの扱い

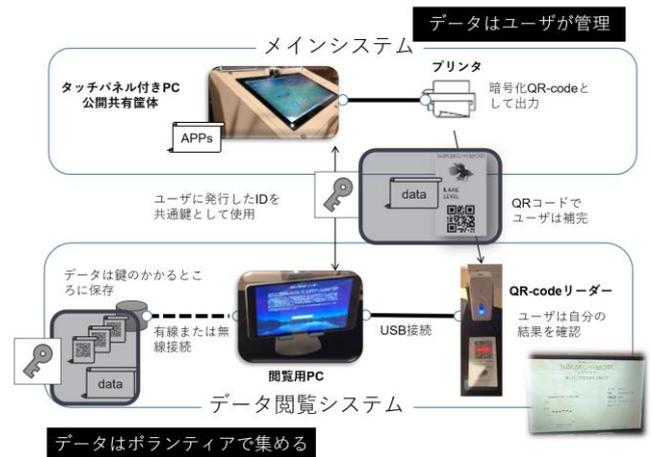


図 2 常設展示時の QR コード利用システム

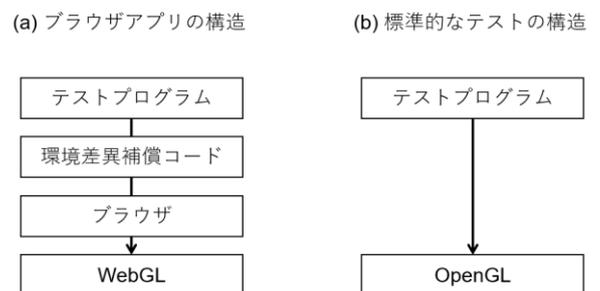


図 3 ブラウザアプリと標準的なテストの構造の違い

3.2 画像の提示プログラム

ブラウザ上で基礎視知覚テストとして機能する精度を確保するため、視覚テストそのものは WebGL を通じて描画した。OpenGL は Psychtoolbox[3]や PsychoPy[4]など多くの実験室視覚テストで利用される信頼性の高いライブラリであり、その Web 版である WebGL は PsychoJS[4]等のオンライン視覚実験ライブラリが採用している。

厳格な視覚テストを行うためには、各ピクセルの色をプログラムから制御する必要があるが、表示機器によって、表示できる輝度、色度、解像度等は異なる。また、近年のデジタル機器は、高解像度の表示装置を持ち、HTML 上で指定した画素単位よりも細かい表示が可能な場合があるが、HTML 指定画素と実際の画素の倍率は危機によってまちまちである。標準的な視覚テストではテストプログラムから直接 OpenGL 命令を呼び出すが、ブラウザアプリでは、このような機器間の差異を補償して実際の表示を可能な限り近づけるコードを挟んで WebGL 命令を呼び出す (図 3)。

視覚テスト本体以外の部分については精度は必要ないため、WebGL を用いない通常の HTML で作成した。

3.3 利用者による較正

本システムでは、環境ごとの物理条件の差異を吸収するため、利用者による較正機能も追加した。まず、網膜上での投影サイズの統制のため、ディスプレイの物理条件と視距離の測定を行う機能を追加した。ディスプレイの解像度とドットピッチは、プログラム中から取得可能なデータは自動的に取得し、計測が必要なものはディスプレイサイズか画面中に表示した図形を定規で測ることで計測可能とした (図)。網膜上での大きさの統制に必要な視距離については、ディスプレイの物理条件から適切な視距離を算出し、Web カメラにより顔認識を行って視距離推定する機能 [5][6]を導入した (図 4(a))。この際、利用者が簡単にキャリブレーションを行うことができるインターフェースを実装した (図 4(b))。この機能による視距離推定の精度は、男女 8 名を対象にテストを行ったところ、瞳孔間隔に応じて誤差 10%以内に収まった (図 4(c)) [7]。

また、輝度や色がテスト作成者の意図通りに表示できるよう、較正を行う必要がある。特に、プログラム上で指定した明るさと実際の画面上の輝度は非線形な関係にあり、厳格な視覚テストを行うためにはその非線形性を補償するガンマ補正と呼ばれる処理を行う必要がある。通常、ガンマ補正はオペレーティングシステムに備えられたインターフェースから指定しハードウェアで補正を行うが、ブラウザアプリではそのようなインターフェースにアクセスすることはできない。そこで、本システムでは、WebGL のシェーダで非線形な関係の逆関数を適用してソフトウェア側でガンマ補正を行う機能を導入した (図 5(a))。シェーダによるガンマ補正の性能を検証するため、iPad Air 2 を対象に輝度計を用いたパラメタ決定を行い補正したところ、プログ

ラム上で指定した明るさと実際の輝度値の間に線形な関係ができるよう補正できることが確かめられた (図 5(b))。

また、ガンマ補正に必要な機器の輝度プロファイルを人の目を通じて測定する較正プログラムを実装し、テスト実施前にそれを測定して情報を保存するようにした (図 5(c))。本格的なテストを行う際に輝度計等を用いて調整することもできるよう、専門家向けの補正インターフェースも合わせて導入している (図 5(d))。

また、ヒトのコントラスト感度は、8 ビットの輝度階調で表示できる最小の輝度差よりも小さな輝度差を弁別できる。このため、厳格な知覚実験を行う場合、12~16 ビットの輝度階調を表示できる特殊な装置が用いられることがある。オンライン等多様な機器でその輝度階調を出すことは不可能であるため、時空間ディザリングにより疑似的に 14 ビットの輝度階調を表示できるシェーダプログラムを環境差異補償プログラムに組み込んだ。この方法は、コントラスト感度測定などで専用機器を用いる場合と同様の精度を達成できることが報告されている [8]。

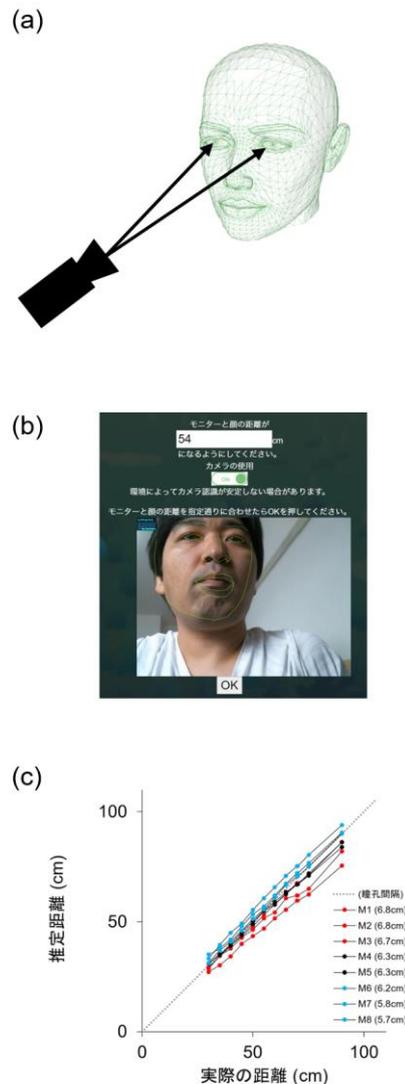


図 4 カメラによる視距離測定

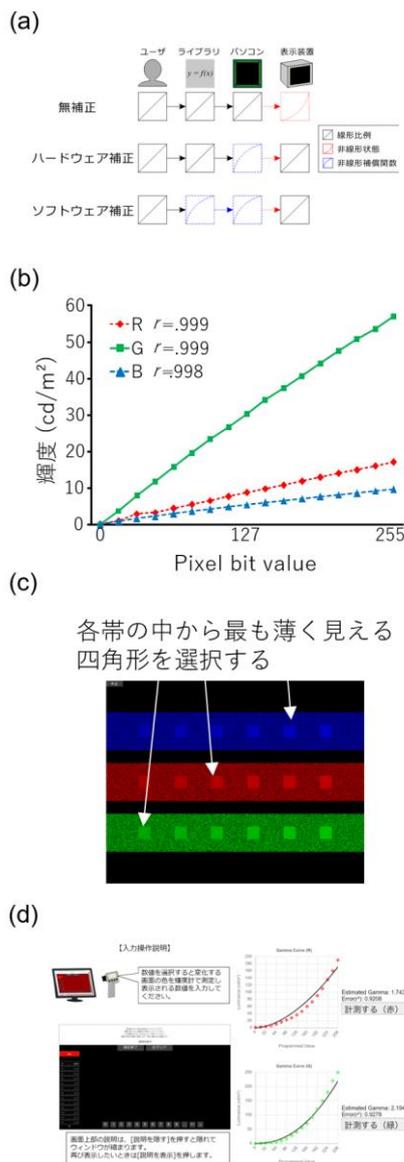


図5 ガンマ補正の概念と実装, 結果

4. テストの内容とそのゲーム化

4.1 設計指針

テストを設計するにあたっては、少数の利用者により長時間利用してもらうことよりも、多くの利用者に手軽に実施してもらうことを目指し、間口の広い万人向けになるよう設計した。

このため、各テストは誰しもが飽きずに完了できるよう3分以内とした。これは、共用機器での使用も想定しているため、短時間で交代できることを想定してのものである。

また、一般向けセルフテストであるという特性上、何らかの眼病を直接示唆するようなものは、要配慮情報となり、場合によっては利用者の不安を招きかねないため、そのようなデータにならないようテストの設計は研究レベルで行

われている知覚テストと異なるものにした。

ゲームのトーンについては、全年齢向けのデザインを導入し、全てのテストで統一して適用した。これにより、多種類テストをシームレスに実施できるようにし、視覚能力の多角的判断材料を利用者に提供できるように配慮した。

日本の個人情報保護法をはじめとして、世界の多くの国で個人情報の保護についての法律や規則がある。このため、収集する視覚テストで計測されるデータには、視力など、個人情報保護法に規定された要配慮情報になりうるものが含まれる。このため、要配慮情報になりにくいようテストの内容を可能な限り調整した。



図6 テストのフロー

4.2 テストのフロー

メニュー画面からミニゲームを遊ぶ形式と同じフローを採用した。具体的には、メニュー画面を中心に、複数種の視覚テストを自由に選択して利用できる形式である (図6)

まず、ゲームのメニューを出す前のトップ画面において、概要を紹介している。トップ画面からメニュー画面に移行する際に、デバイスの校正と利用条件の同意を必須とした。デバイスの校正は画面の大きさ、解像度、視距離測定、色補正を行うことができる。利用条件には、免責事項等一般的な項目のほかに、データの収集についての条件を含め、開始前に全て同意が取れるようにしている。

メニュー画面からは、各テストを選択して実行することが出来る。各テストでは、テスト自体の概略を説明、チュートリアルを表示した後、観察距離などテスト直前の校正を行い、テストを実施する。テスト終了後は、結果画面に移行し、結果やスコアを確認できるほか、それをダウンロード・印刷することが出来る。

4.3 結果のフィードバック

テスト結果の結果は利用者にフィードバックする際にも、満足度を高めるよう工夫を行った。

まず、視覚テストである以上は、測定した視覚能力をグラフで説明しなければならない。しかし、グラフの解釈は説明書きを加えてもなお分かりにくいものであるため、分かりやすい結果として、当該テストで計測された能力の分布のうち、直近のテスト結果がどこに該当するかを示すことで分かりやすくしている（図7）。例えば、コントラスト感度の測定では、過去の測定データ、例えば2020年版では2019年の計測データの25%tile点と75%tile点の間が帯として結果に表示される。これ以外のテストでも、解釈に知識を要さないよう、シンプルな指数とするよう工夫した。

また、視覚能力とは別に、スコアもフィードバックしている。ただし、テストは視覚能力を正確に計測することが目的であり、能力そのものをスコア化すると、計測にバイアスが出る可能性がある。このため、操作の正確性や積極性を評価してスコアとして計算するように調整した。例えば、コントラスト感度測定のテストでは、回答をまじめに行ったかどうかを評価してそれをスコア化し、その他のテストではなるべく早く回答するとスコアが上昇するように設定した。これにより、利用者がテストをなるべく正確に集中して行うモチベーションを提供し、より正確な測定につながるように工夫した。

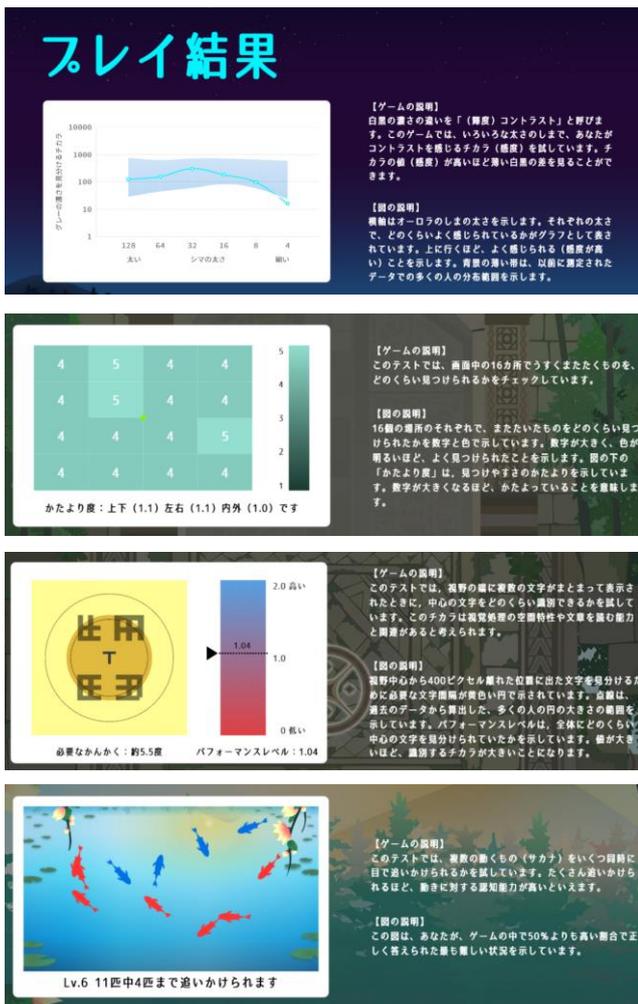


図7 テストの結果表示の方法

4.4 テストの内容

我々が提案するテストセットには、コントラスト感度測定、視野テスト、クラウドイングを元にした文字識別、複数物体追跡、という4種類の視覚テストを元に作成されたゲームが含まれている（図7）。これらのテストは、視覚能力の中でも代表的で、視覚機能が低下した際に、日常生活に大きな支障が出ると考えられる機能（周辺視野の見え、動く物体の認識、文字認識など）の測定と、基本的・初期的な視覚処理の特性を示すコントラスト感度を加えて選択した。上で述べた機能は、それぞれ複雑な視覚処理の様々なコンポーネントを必要とする。提案するテストセットでは、この4つをベースとする複数のテストによって、それらのコンポーネントの能力を多面的に計測することを目指している。

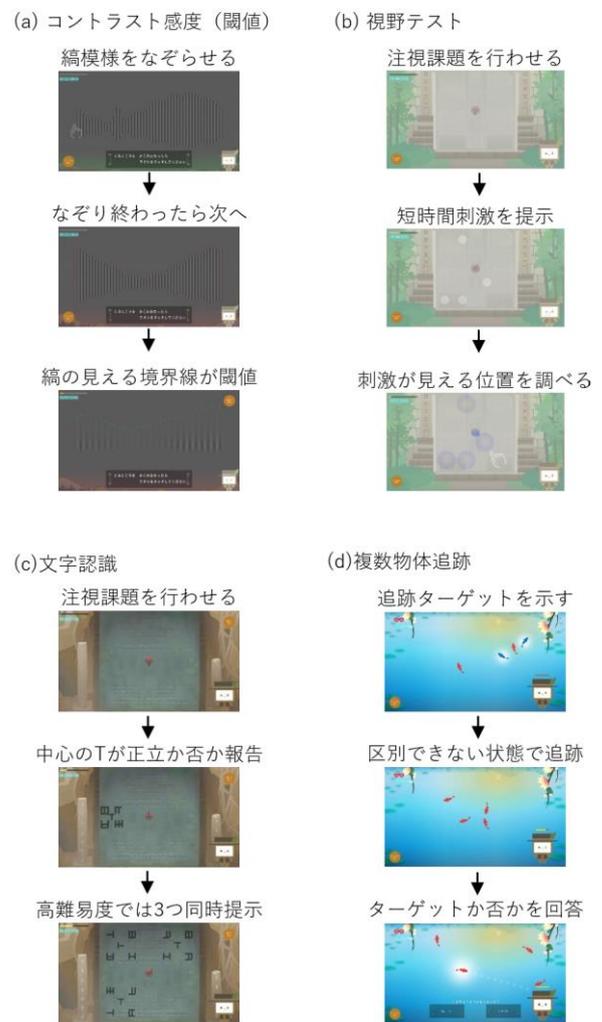


図8 4種類のテスト

4.4.1 コントラスト感度測定

コントラスト感度とは、どれだけ薄い模様が見えるかという能力のことである。コントラスト感度測定は、実験室レベルでは繰り返し長時間測定する必要がある、最低でも30~60分程度の時間を要する。高速に感度を推定可能なア

ルゴリズムを用いても、10分程度の時間は必要である[9]。画面上の僅か数点をクリックまたはタッチするだけで測定可能であるとする超短時間アルゴリズムも発表されているが[10][11]、我々がそれを試したところ、テスト実施者が立ち会って教示することなしに利用者だけで課題を理解することは困難であった。

提案テストでは、超短時間アルゴリズムをベースとしてさらに測定方法を改良した。具体的には、縞模様のコントラストが縞模様と直交する方向に指数関数的に減少する画像を提示し、利用者にこの縞模様の境界線をなぞらせた。利用者がなぞった線の幾何平均のコントラストをコントラスト閾値とし、感度を測定できる(図8(a))。これに加え、利用者が教示を理解してまじめに回答した場合、なぞった線は理想的には特定の等コントラスト曲線と一致するはずである。そこで、提案テストでは、実際のなぞったデータが与えた複数のコントラスト値の平均から、理想的ななぞりが起こった場合の等コントラスト曲線を推定し、その推定を基準としてそれに対する実際の回答の誤差を評価することで、参加者の課題の理解度と遂行度を推定する機能も付加した(図9)。

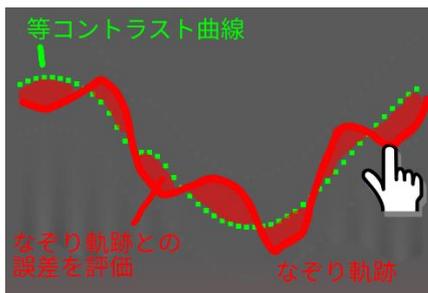


図9 コントラスト感度測定における誤差評価

4.4.2 視野テスト

視野テストは、視野の周辺部にあるものを見る能力、言い換えると、広くものを見る能力を測るテストである。視野テストは、一般的にはゴールドマン視野計のように利用者が一定の点を中止した上で視野の様々な場所に短時間提示される光点を検出できるかどうかで測定される。このテストは、利用者が一定の場所を注視していることを測定する必要があり、数十分の時間を必要とする。その上、視野測定の結果は眼病を直接示唆する。我々はこの問題を回避するため、ゲーム化に当たっていくつかの工夫を加えた。テストの基本構造は視野測定の予備検査として行われる frequency doubling technology (FDT)[12]を基準に作成した。

まず、注視を要する課題を行わせて視線を制御し、その後眼球運動が起きないうち、200 ms 以内に短時間フラッシュ刺激を提示し、その後、刺激が提示された場所をタッチで回答する課題を行うものである(図8(b))。もし視野中で見えにくい場所があれば、その場所に提示したフラッシュ刺激への応答率が下がり、それにより視野ごとの感度が測定できる。フラッシュ刺激はFDTでは1か所にのみ提示さ

れているが、提案テストでは複数箇所(2か所、あるいは4か所)同時に提示するようにした。これは、難易度を高めゲーム性を高めるとともに、注意の効果も加えることで、眼病を直接示唆しないデータにするためである。

4.4.3 文字識別テスト

文字識別テストでは、視野の周辺にターゲットとなる文字を提示し、さらにその周囲に妨害刺激を提示した状態で、ターゲット文字が識別できるか否かをテストする[13]。妨害刺激が引き起こすクラウディング効果によりターゲットが読みにくくなるが、これを測定することにより、文章のように文字が連なっている状況での文字認識能力を調べることが出来る。

このテストでも、視線の制御が必要なため、視野テストと同様の視線制御課題を導入し、その後200 ms以内に周辺視野にターゲットとなる文字(例えば、正立のTか横倒しのT)と、その周囲に4つの妨害刺激を提示し、利用者はターゲットのうち指定されたもの(例えば正立のT)があった場所をすべてタッチする課題を行った(図8(c))。

このテストでは、妨害刺激の提示方法を変えることで難易度を変化させ、妨害刺激からの影響の受けやすさを難易度により定量化して測定する。難易度変化の方法には様々なものがある。このテストセットでは、3種類難易度変化の方法を採用した。一つ目の方法では、妨害刺激のコントラストを上下法に従って変えて、どれだけ高いコントラストにすれば影響が及ぶかを測定する。二つ目の方法では、妨害刺激とターゲットの間の距離が近いほど影響を受けやすくことを利用し、距離を上下法に従って変えて影響が及ぶ距離を測定する方法である。三つ目の方法では、妨害刺激がある場合とない場合を用意して難易度を変え、双方の場合のターゲット識別の成績を比較することで影響の受けやすさを測定する。

また、これに加え、ターゲットとそれに付随する妨害刺激を3つ同時提示することで全体的な難易度を調整する方法も採用した。

これらの難易度変化の方法は併用して良いが、計測上の目的及び利用者の理解度を促すため、基本的には、コントラスト調整による難易度変化から始め、文字間隔を調整する難易度変化が続き、妨害刺激がある場合とない場合を用意して難易度を変える方法がそれに続く。これらの方法は、すべて行う必要はなく、様々な方法を組み合わせることが出来る。我々の実施した中でも、3つ全て行うもの、コントラスト調整と文字間隔調整のみのもの、文字間隔調整と妨害刺激の有無の調整のそれぞれを実施している。

4.4.4 複数物体追跡

複数物体追跡(MOT)は、運動視と注意の能力を測るテストである[14]。このテストは、複数の物体が提示され、そのうちいくつかを追跡すべき物体として事前に指定し、その後全ての物体を区別できない見た目として移動させ、そ

の間事前に指定した物体を追跡できたかどうかを問う（図8(d)）。これにより、運動する物体を見る能力と、視覚的注意を分散させて維持する能力を調べることが出来る。

ゲームプレイヤーなど視覚によって動く物体を識別することに習熟した人は MOT テストの成績が向上することが知られており[15]、一般的な MOT テストはそれ自体がある程度のゲーム性を備えているため、このテストの構成と進行は一般的な MOT テストと同じように行っている。このテストの成績は何かの眼病を直接示唆するようなものではないため、その点でも課題を変える必要はない。ただし、一般的な MOT テストでは、無地の円形など無味乾燥な画像を提示するが、ゲーム化にあたって魚が池で泳いでいる画像として作成し、見た目も楽しめるものになっている。提案するテストでは、正解すると難易度が上がり、不正解であれば難易度が下がる。難易度の調整は、魚の速度、あるいは魚の数であった。また、テスト全体の難易度や必要時間を難易度の変化に必要な連続性回数を変えることで調整することもできる。

さらに、提案テストでは、魚どうしができるだけ重ならないように動きのアルゴリズムを工夫するとともに、追跡対象の指定がより分かりやすくなるよう視認性を高める措置を加え、参加者がテスト方法を理解しやすくなるよう調整を加えている。

4.5 チュートリアルと練習

通常の視力検査など一般に行われるテストでは実施法の説明などを口頭で行うことが多いが、インターネット等ではそれが困難である。また、説明を文章だけで行うと、利用者はそれを読み飛ばす傾向にあり、説明文を最後まで読めば必ず分かる引っ掛け問題にも多くが引っかかってしまうことが指摘されている[16]。そのため、チュートリアルは映像、あるいはカーセル表示（複数の画像によるインタラクティブな紙芝居）方式によって説明することにした。このチュートリアルに加えて、各テストに練習を設けることで、参加者にテスト内容を理解してもらう方式をとっている。

4.6 モチベーションの維持

ゲームはそれぞれ3分以内に完了できるように設計しているが、利用者にとっては、いつ終わるか分からないと不安になるため、進行状況をインジケータで表示するようにしている。インジケータは全体のトーンに即したデザインを行った。テスト中には各試行で得点表示などのフィードバックを入れるなど、ゲームの定番手法を活用することで、モチベーションを維持させる仕組みを導入した。

また、継続的な利用を促す仕組みとして、利用1度につき、スタンプを1つ押す仕組みを作った。また、スタンプは一種のコレクションとなっており、単に数を増やすだけでなく、すべてを揃えるため継続するというモチベーションが生じることを期待した設計とした（図10）。

4.7 総合結果

提案テストには4種類のテストが含まれているが、全種類のテストを実施した際に総合的な能力評価をチャートで表示するようにしている（図11）。

このテストセットに含まれる一つ一つのテストの結果は運動視や注意など様々な要因に影響される。そのため、それぞれのテストの結果を詳細に分析して要因ごとの成績を計算し、異なるテストで共通に存在する要因の成績を加算し、総合的な視覚能力の評価を行う。現在のテストセットでは、心理物理学的な各テストの分析をもとに合算する要因を決めているが、将来的には集めたデータから共通する要因を分析することも検討している。

また、これは全種類のテストを利用することで表示されるため、なるべく多くのテストを利用してもらえよう促す役割もある。加えて、通算値と直近の値を両方表示することにより、継続的利用のエンゲージメントが高まるよう期待する設計としている。



図10 利用回数に応じたコレクションのスタンプ



図11 総合結果チャートの表示

5. ユースケース

本テストを作成する際に、いくつかのユースケースを想定して開発した。一つは、病院や健康診断等で待ち時間に行うケースである。このユースケースでは、データを医療者等必要とされるところに渡しやすい一方、個人情報と紐づきやすい懸念がある。このため、スタンドアロンの共用機械を利用し、データは印刷して利用者が保持し、デバイス内部には保持しない方式を想定した（図12）。

イベントなどでゲームの一種として実施する場合も考

えうる。このケースでは、多人数で一斉にプレイできるようにする場合には、クローズドネットワークで運用し、テストを配信するサーバとクライアントとなる筐体を用意する。データはインターネットから切り離されたサーバ内で管理する。

また、授業や他の実験の補助的な用途で用いることも考えられる。この場合、データは実施者が管理することになるが、実験環境のセットアップは省力化を行いたい。このため、テストはインターネット経由で配信、データはローカルで管理という形態となる。

また、最も広く使われうるユースケースとして、インターネットを通じてテストの配信とデータの管理を行う方法もある。本システムはHTMLアプリケーションであるため、インターネットを通じた配信に対応できる。ただし、ログイン等のシステムは標準では設けていないため、これは設置者が別途管理する必要がある。



図 12 スタンドアロンセットアップにおける筐体設置例

5.1 2018 年予備実験

2018 年 11 月に、特にコントラスト感度測定を中心としたテストの実証実験のため研究室に参加者を招いたうえで、予備実験を行った。この結果はすでに報告しており[7]。ここでは後述の 3 例と比較するため、簡単にまとめる。

予備実験には、20~40 代の 13 名が参加した。テストは一般的な会議室で環境を統制せず行った。デバイスは iPad 2 を 8 台同時に使い、クローズドネットワークを構築してテストを配信した。同意は実験参加前に紙面で取得した。また、ゲームとして楽しくできるようになったかを従来法と比較して検討するため、暗室での実験室実験と、iPad 上で実行可能な従来法の実験も同時に施行し、実験終了後に参加者には実施時の楽しさを -50 (楽しくない) から 50 (楽しい) のスケールで評価してもらったところ、ゲーム化により楽しさが向上していることが確かめられた (図 13)。

この予備実験では、参加者全員がテストを 3 分以内で行えることを確認したほか (図 14)、従来法と比較しうるデータを取得可能であり、視覚テストとしての妥当性が確認

された[7]。また、アンケートの結果、ゲーム化されたテストは従来法よりも楽しいテストであることを確認した。

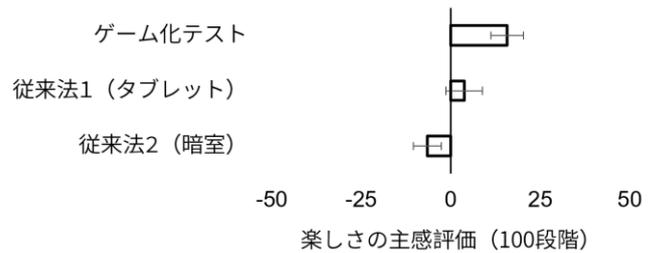


図 13 従来法とゲーム化テストの楽しさ評価の比較

5.2 2019 年ニコニコ超会議

2019 年 4 月 27~28 日に幕張メッセで行われた「ニコニコ超会議 2019」に出展し、2 日間合計 16 時間の展示を行った。この展示では、数多くの参加者になるべく体験してもらふ必要性があった。このため、利用者は原則 1 回のみプレイとし、成績優秀者はもう 1 度難易度を上げてプレイできるものとした。また、プレイヤーがデバイスを占有する時間を短縮するため、同意取得等は待ち行列で実施し、同意を取ったことを示す QR コードを配布してそれを読み取ることで開始できるものとした。実施時は、クローズドネットワークによる多人数一斉プレイが可能ないように設計し、11 台が同時に稼働した。各デバイスは、タッチパネルを有する 23 インチディスプレイを備え、視距離測定用のカメラと QR コードリーダーを備えていた。

この展示での実地テストでは、利用者の 95%以上がテストを 3 分以内に終了した (図 14)。ただし、メニュー画面からの選択やチュートリアルを見る時間があったため、実際の体験時間は約 5 分程度であった。この展示では、2 日間で延べ 1,266 人が参加した。展示時間合計 16 時間で 11 台すべてがフル稼働し 1 人あたり 5 分利用したとした場合の最大テスト回数は 2,112 回であるため、利用可能時間の約 60%で参加者がプレイしていたと概算できる。

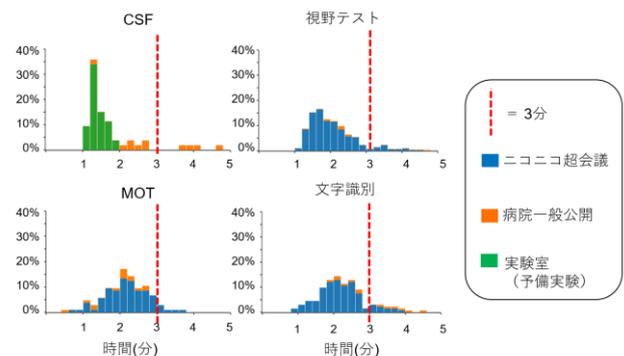


図 14 全イベントでのテスト終了までの経過時間の積算グラフ

5.3 2019 年病院一般公開

2019 年 11 月 9 日に、神戸医療産業都市一般公開の一環として、神戸アイセンター病院にて 7 時間展示を行った。

この展示ではシステムの説明と体験が主であり、1 回ごとにデータを消去するスタンドアロンの共用デバイスを 1 台設置した。このデバイスは 2019 年ニコニコ超会議と同じものである。

この展示では、利用者の 90%以上がテストを 3 分以内に終了した (図 14)。この展示では、延べ 76 人が参加した。展示時間合計 7 時間で 1 人あたり 5 分利用したとした場合の最大テスト回数は 84 回であるため、利用可能時間の約 90%で参加者がプレイしていたと概算できる。

5.4 比較

全てのテスト、全ての展示方法で、参加者は 3 分以内にテストを完了することが出来た。ただし、実験室での予備実験やニコニコ超会議の展示に比べ、病院での展示では、テスト完了時間の平均値は遅くなる傾向にあった。これは、年齢データは個人情報保護のため取っていないものの、実験室やニコニコ超会議では 30 台を中心とした年齢層であったのに対し、病院での展示では高齢者とその家族の子供が中心であったことが影響していると考えられる。

6. おわりに

視覚テストを広く行うためには、オンラインや店頭での実施など様々な実施形態に対応する必要があるが、それに対応できるブラウザアプリを実装可能であることを示した。また、視覚能力をできる限りにおいて厳密に測定するための一般デバイスでの統制方法、視覚能力など要配慮情報を扱った上でそれを公開システムで取得するためのデータの管理方法、テスト利用のモチベーションを高めるゲーム化の方法を示し考察を行った。

物理条件の統制に必要な較正が正しく機能するには較正がまじめに行われている必要がある。現在は、自分の視覚機能に興味がある場合や、イベント会場で主催者がまじめに実行することを想定している。誰でも較正を正しく行うには、較正結果の妥当性テストが必要になる。これについては、現在開発中である

また、視覚能力のより多面的な評価のためには、テストの種類も増やす必要がある。このシステムはテストの追加が可能な構造であり、新しい種類のテストの開発を検討している。

参考文献

- 1) L. Germine, K. Nakayama, B. C. Duchaine, C. F. Chabris, G. Chatterjee, and J. B. Wilmer, "Is the Web as good as the lab? Comparable performance from Web and lab in cognitive/perceptual experiments," *Psychon Bull Rev.*, vol. 19, no. 5, pp. 847–857, Oct. 2012 <http://office.microsoft.com/ja-jp/word-help/CH010097020.aspx>
- 2) V. T. Cruz, J. Pais, V. Bento, C. Mateus, M. Colunas, I. Alves, P. Coutinho, and N. P. Rocha, "A Rehabilitation Tool Designed for Intensive Web-Based Cognitive Training: Description and Usability Study," *JMIR Res. Protoc.*, vol. 2, no. 2, 2013.
- 3) M. Kleiner; D. Brainard, D. Pelli, "What's new in Psychtoolbox-3?," *Perception*, *ECVP Abstract Supplement*, 2007.

- 4) J. Peirce et al., "PsychoPy2: Experiments in behavior made easy," *Behav Res.*, vol. 51, no. 1, pp. 195–203, Feb. 2019
- 5) X. P. Burgos-Artizzu, M. R. Ronchi, and P. Perona, "Distance Estimation of an Unknown Person from a Portrait," in *European Conference on Computer Vision*, 2014, pp. 313–327.
- 6) A. Flores, E. M. Christiansen, D. J. Kriegman, and S. J. Belongie, "Camera Distance from Face Images," in *International Symposium on Visual Computing*, 2013, pp. 513–522.
- 7) K. Hosokawa, K. Maruya, S. Nishida, M. Takahashi and S. Nakadomari, "Gamified vision test system for daily self-check," 2019 IEEE Games, Entertainment, Media Conference (GEM), New Haven, CT, USA, 2019, pp. 1-8, doi: 10.1109/GEM.2019.8811563.
- 8) R. Allard and J. Faubert, "The noisy-bit method for digital displays: Converting a 256 luminance resolution into a continuous resolution," *Behavior Research Methods*, vol. 40, no. 3, pp. 735–743, 2008, doi: 10.3758/BRM.40.3.735.
- 9) L. A. Lesmes, Z.-L. Lu, J. Baek, and T. D. Albright, "Bayesian adaptive estimation of the contrast sensitivity function: the quick CSF method.," *J. Vis.*, vol. 10, no. 3, p. 17, 2010.
- 10) J. B. Mulligan, "A Method for Rapid Measurement of Contrast Sensitivity on Mobile Touch-Screens," *Electron. imaging*, vol. 2016, no. 16, pp. 1–6, 2016.
- 11) M. Dorr, L. A. Lesmes, Z.-L. Lu, and P. J. Bex, "Rapid and reliable assessment of the contrast sensitivity function on an iPad," *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, vol. 54, no. 12, pp. 7266–7273, 2013.
- 12) M. Zeppieri and C. A. Johnson, "Frequency doubling technology (FDT) perimetry," *Imaging perimetry Soc.*, 2013.
- 13) D. M. Levi, "Crowding — An essential bottleneck for object recognition: A mini-review," *Vision Res.*, vol. 48, no. 5, pp. 635–654, 2008.
- 14) Z. W. Pylyshyn and R. W. Storm, "Tracking multiple independent targets: Evidence for a parallel tracking mechanism*," *Spatial Vis.*, vol. 3, no. 3, pp. 179–197, 1988, doi: 10.1163/156856888X00122.
- 15) C. Green and D. Bavelier, "Enumeration versus multiple object tracking: the case of action video game players," *Cognition*, vol. 101, no. 1, pp. 217–245, Aug. 2006, doi: 10.1016/j.cognition.2005.10.004.
- 16) 三浦麻子 and 小林哲郎, "オンライン調査モニタの Satisfice に関する実験的研究," *社会心理学研究*, vol. 31, no. 1, pp. 1–12, 2015.