



遅延応答環境における人間の追従性獲得に関する基礎研究

堤, 教彰

嶋田, 博行

芦高, 勇氣

(Citation)

人間工学, 44(4):202-207

(Issue Date)

2008-08-15

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90001364>



遅延応答環境における人間の追従性獲得に関する基礎研究*

堤 教彰**, 嶋田博行***, 芦高勇気***

We carried out fundamental experiments to investigate how people could adapt to such peculiar environment and develop their ability to adapt to it. We set up the constraint of experiments as “the peculiar environment” which made delayed response to their own reaction. Recently accidents for human error have occurred frequently in such peculiar environment. It may be considered that no elimination of such accidents partly owes to only insufficient researches on human behavior in such peculiar situation. We carried out two experiments through reduction to simple conditions in which response delay occurs. The results showed that people can acquire the ability to adapt to any environment of conditions in mixed response-delay environment. In addition, there was often acquisition of ability to adapt to little or no response delaying environment. People could not or little acquire it through accumulation of much response to larger delaying environment.

本研究では、反応に対する応答遅延が発生する制約条件のある特殊環境を設定することで、そのような環境へどのように適応し、追従性を獲得していくのかを検討する基礎実験を行った。近年、特殊環境下でのヒューマンエラーが原因となる事故が多発している。その背景には、人間が特殊環境下でどのように追従性を獲得するのかについての研究が十分されていないことが原因の一つであると考えられる。そこで、応答遅延の発生する環境を単純な条件に還元し2実験を行った。実験の結果、応答遅延が無いまたは小さい環境では追従性の獲得が見られ、複数の応答遅延条件が混在する場合は、どの条件にも対応できるような追従性を獲得することが分かった。しかし、応答遅延が大きい環境では追従性の獲得が悪い、あるいは獲得できなくなってしまうということが分かった。

(キーワード：特殊環境、技能獲得、適応、遅延応答、ヒューマンファクタ、ヒューマンエラー、人間-機械系)

1. はじめに

一般に、自然界に存在するさまざまな環境に対して、人間は学習を重ねることで適応していく能力があるとされる¹⁾。人間が生物として進化する途上で遭遇しなかったであろう場面を考えることにより、そのような環境へどのように適応していくのか、またその追従性には限界があるのかを知ることはヒューマンファクタを研究する上で非常に有意義であると考えられる。本論文では環境に対する判断を正確に行うことができることを追従性が高いと定義した。

交通安全白書平成18年度版によると、交通機関の高度化、交通の高密度化によりヒューマンエラーによる事故

が増加傾向にある²⁾。これは、そのような特殊化していく環境に人間が十分に適応できていないために結果として重大な事故の原因になると考えられている。そして、心理的および生理的特性に関する研究が必要とされているため、そのようなデータを収集する必要がある。

一般に、特殊環境とは相対的なものであると定義されている³⁾。例えば、酸素が希薄な山岳地域に住む人々にとってはその環境が当たり前の環境であるが、平地に住む人々にとっては特殊な環境といえる。ここでは循環器系の適応が必要となる環境を例として挙げているが、そのような環境に限らず、自動車の運転や船舶や航空機の操縦であっても同様に、経験が無い人々にとっては相対的に特殊な環境を特殊環境と定義している。

このように日常場面においても特殊環境は数多く存在している。日常生活での特殊環境は何度も繰り返すことによりその環境に適応しているため、当然のこととして捉えられ目を向けられないことが多い。環境と人間の関係を考えるとき、環境に対する人間の反応に応じてさらに環境から応答のある場面を考える必要がある。

* 受付：2008年1月8日 受理：2008年7月8日

** 神戸大学大学院自然科学研究科

Graduate School of Science and Technology, Kobe University

*** 神戸大学

Kobe University

そこで、本論文は特殊環境の1つとして「人間の反応に対し応答遅延が発生する環境」を考える。そのような特殊環境下において人間がどのように学習し、その環境に適応していくのか基礎要素的なデータの取得を行い、それらの結果から活用指針の検討を目的とする。

2. 関連研究

本研究で扱う特殊環境は「人間の反応に対する応答遅延が発生する環境」とし、以下に関連研究を紹介する。

Watsonらは3次元仮想空間での物体配置課題を用いた研究を行っている。この研究では遅延と物体配置課題の難易度を操作し、配置課題の難易度が高い場合に、課題を遂行するためには遅延を制御することが重要であるとしている⁴⁾。ここでは配置課題を用いており、課題の遂行では遅延時間が要因となっている。

Sheridanの研究では、地上からの遠隔操作で軌道上のスペースシャトルでの作業や深海での作業を行う際にも遅延が発生しており、重大な事故を引き起こす可能性があることを示唆している⁵⁾。ここでは遠隔操作により発生する遅延時間が問題となっている。

また、近年ではネットワークの大容量・高速化に伴い遠隔操作で外科手術などを行うことが多くなっている。ここでも、応答の遅延が問題となっており、そのような状況に対してシミュレータを用い訓練することで応答の遅れに適応する研究が行われている^{6,7)}。

さらに陸上・海上・航空交通場面においては、状況に応じた適切なナビゲーションや視覚的・聴覚的な情報提供を行うことで操縦者に危険要因に対する注意を促すシステムの研究が行われている^{2,8)}。またシステムに遅延が発生する要因としては利用者の特性が考えられる。つまり高齢者による操縦適性の研究や、アルコール摂取時や睡眠不足状況などで覚醒度が低下した状況を対象にした研究も行われている^{9~11)}。

これら関連研究では、必ずしも人間が本来持ち合わせている環境への適応について言及することは少ない。そして、人間を対象にした研究であっても高齢者との比較や、平常時と覚醒度低下時のパフォーマンスを比較した研究が多く、ソフトウェアの改良による自動制御性能の向上や、ナビゲーションによる人間への情報提供システムの開発や、ネットワーク回線の高速化といったハードウェアの改善による問題解決に重点が置かれている。

本論文で扱う特殊環境は装置により遅延が発生する環境と限定されたものであるが、そのような特殊環境に対する人間一般の基本的な特性を探ることにより、応用場

面におけるさらなる活用ができるものと考えている。

3. 実験

本論文では、遅延応答環境への適応を考える上で、その環境への判断が正確に行える状態を追従性が高いと定義した。

つまり、追従性が高い状態では、その環境での初期段階から正確に判断を行うことができ、さらに少ない練習で判断を正確に行うことができるようになる。反対に、追従性が低い状態では、その環境での初期段階から正確な判断を行うことができず、さらに練習を繰り返しても判断が正確にならない。

実験は遅延応答のある特殊環境を実験室で実験を行えるように単純な条件に還元し、実験場面では、ターゲットに向かって移動するオブジェクトをターゲット上で停止するように判断する場面として設定した。

なお、この場面設定は、単に目標位置で停止させるという状況を捉えているのではなく、例えばカーブに沿って曲がるとき、どのタイミングでハンドルを切っていくのか、あるいは、目標位置に到達するため最適な速度をどのように維持していくのか、というような運動の変化として捉えた。

遅延応答のある環境への人間の追従性についての評価は、オブジェクト停止時のターゲットの距離を反応距離として取得し正確さと試行回数を重ねることによる改善性の2点を指標として評価した。また、先行研究¹²⁾から遅延時間が大きい環境では学習が悪くなるであろうということが示唆されている。

以上のことから以下の2つの仮説を導いた。

1. 運動するオブジェクトの初速度が遅ければ、正確さおよび練習による改善性が低い
2. 遅延時間が長いほど、正確さおよび練習による改善性が低い

以下の実験でこれらの仮説を検証することで、どのように環境に適応していくのかデータの取得を行う。

3-1. 実験1

実験1では、遅延応答のある環境で運動の変化を捉える際、どのような要素の影響が大きいのか基礎的な実験を行った。ここでは遅延応答の要素として、遅延時間（実験場面では減速開始までの時間）と減速強度（実験場面では減速の強度の強弱）を設定した。また運動の強度としてオブジェクトの初速度は2条件設定した。

3-1-1. 実験装置

実験装置はPC (Dell OptiPlex GX60) を用い、実験用プログラムには研究室にて開発した計測システム、および顔面固定装置を用いた。すべての装置は高さ700 mmのテーブルの上に設置され、テーブルの端には顔面固定装置を固定した。被験者に課題を提示するためのディスプレイ (FUJITSU 19インチCRT FMVDP98X2) は、顔面固定器から650 mmの距離に設置した。

課題提示は、ディスプレイの画面上端から105 mmの位置、左端から右端であり、移動するオブジェクトは青色、ターゲットは赤色の半径5 mmの円形であり、表示領域は380 mm×10 mmで、視角は16.3°であった。

各試行ごとに減速強度と遅延時間は具体的な数値ではなく文字により表示した。その他メッセージ送りはすべてEnterキーで行い、条件提示からオブジェクト停止までを1試行とし、オブジェクト停止時のターゲットとの中心距離を反応距離とした。試行中のディスプレイ概観を図1に示す。試行中は矢印や文字は表示しなかった。また被験者は個別に遮音設備の整った暗室内で実験を受けた。部屋には被験者と実験者が共に入り、暗幕によって被験者と実験者を隔離した。被験者と実験者は十分に距離を離れた。

3-1-2. 実験条件

被験者は大学生10名 (男性10名、平均年齢20.8歳、神経系疾患は無く正常な視覚 (矯正を含む) および正常な色覚を持つ)、また長時間の実験になることに関して事前に了解を得た。オブジェクトの初速度を被験者間要因に割り当てた実験計画法に従い被験者をランダムに2群に分けた。

一方のグループ (5名) は、オブジェクトの初速度 (V) (28.6 [mm/sec]) 条件 (V1) であり、もう一方のグループ (5名) はオブジェクトの初速度 (V) (14.3 [mm/sec])

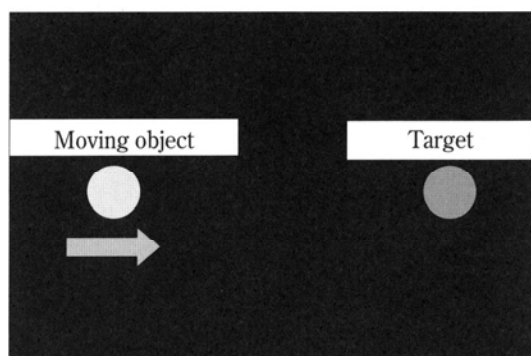


図1 概観

Fig. 1 Screen layout

条件 (V2) であった。

試行ごとに「遅延時間条件」は異なり、「応答遅延 (L)」 (2条件: L1 「なし」 0 sec or L2 「大」 15 sec) および「減速強度 (D)」 (2条件: D1 「強」 43.92 [mm/sec²] or D2 「弱」 4.88 [mm/sec²]) を組み合わせて4条件のうちのひとつが提示され、被験者は各条件当たり100回の提示を受けた。

群内要因の2要因4条件1回ずつを1セットとし、練習試行を行った後、本試行を行った。本試行は練習試行と同じセットを100セット (計400試行) 行った。25セットごとに休憩 (初速度がV2の条件では10分間、V1の条件では5分間) を入れた。実験時間は初速度がV2条件のグループでは休憩を含めて約420分を要し、V1条件では約120分要した。

3-1-3. 結果

結果のグラフについて、初速度V1条件のグラフを図2、初速度V2条件のグラフを図3に示す。

分散分析を行った結果、応答までの遅延時間の主効果 (L) のみ有意 ($F(1,292)=333.4, p<.001$) であり、主効

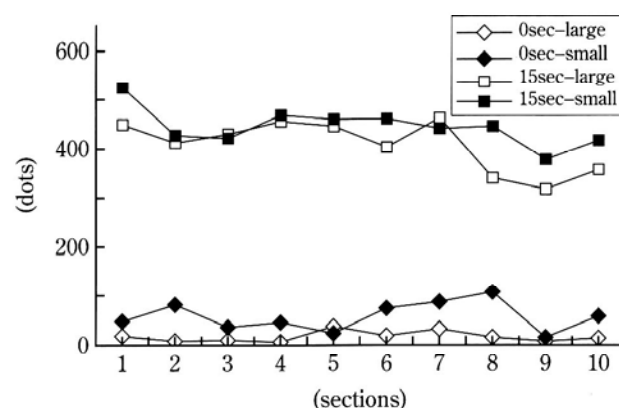


図2 反応距離 (条件: V1)

Fig. 2 Response distance (condition: V1)

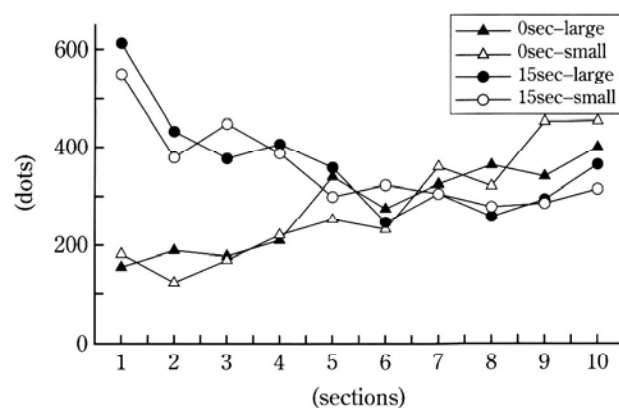


図3 反応距離 (条件: V2)

Fig. 3 Response distance (condition: V2)

果V（オブジェクトの速度）、区間の主効果（T）、減速強度の主効果（D）は有意でなかった。交互作用については、遅延時間（L）×初速度（V）（ $F(1,292)=38.10$, $p<.001$ ）、遅延時間（L）×減速（D）（ $F(1,292)=4.08$, $p<.001$ ）は有意であったが、その他の交互作用は有意ではなかった。

つまり、「応答までに遅延時間があるか、ない（L）」の影響は、初速度の初期値（V）によって影響されるということを示している。また区間（T）（試行の100回の経過による学習の進み具合）は、応答までの遅延時間（L）によって効果が異なることを示している。

3-1-4. 考察

2つの仮説を立てたが、仮説1での環境に対する正確性については支持された。つまり、応答までに遅延時間が長く緩慢な動きに追従する場合には人間の応答は不正確になり、逆に応答までの遅延時間が短く迅速な動きに対しては、追従性が正確であるということが導き出された。

しかし、仮説2の改善性については、複雑な結果になった。特に、初速度がV2条件、つまり初速度が遅く遅延時間が短い条件では、正確の向上の傾向が逆転している。この上昇傾向は、遅延時間が長いときの改善性の傾向と遅延時間が短い場合の傾向に収斂した。

これは被験者に遅延時間の長い条件と短い条件が条件を混合して提示されていたことを考慮に入れると、非常に長い試行時間であるため、どの条件が提示されるかわかっていても、試行が進むにつれて同じタイミングで反応することで環境に適応するという追従性を獲得した可能性が考えられる。以上をまとめると以下ようになる。

1. 緩慢な運動および遅延時間に対する追従性は、正確性を指標とする限り、仮説を支持した。つまり、応答までの遅延時間があり、緩慢な動きに追従する場合には人間の応答は不正確になり、逆に応答までの遅延時間が短く、迅速な動きに対しては、追従性が正確である。
2. 改善性についての様相は複雑であり、初速度が非常に遅い場合の実験は、実験の条件設定を含めて再検討する必要がある。

3-2. 実験2

実験1では、遅延時間の大小を混在させて被験者に提示するという方法を用いることで、時間の手がかりを与えないという方法を用いた。その結果、2つの条件の中央値付近の時間を推測して反応することで、遅延時間条件に関わらない結果となるように収斂した。

そこで実験2では実験手続きを変更し、同一の遅延時間を用い群内の遅延時間条件を統一することで、遅延時間

の大小が混在することで結果が収斂するという問題を解決する条件設定にした。また、オブジェクトが遅延時間条件によっては画面外に出てしまうことがあったため、直線運動から曲線運動に変更した。初速度および減速強度は一定とした。

3-2-1. 実験装置

実験装置は実験1と同様である。

ただし、実験プログラムは改良し、刺激画面でのオブジェクトの運動を直線運動から曲線運動に変更した。曲率は固定しており、ボタン押下の後、遅延時間条件に応じた時間の後、減速しながら曲線を描いて停止する。

移動するオブジェクト（白色黒枠の直径12 dotの円形であり、ディスプレイ上で約3 mm）の初期の提示位置はディスプレイ上の左上からx軸方向に10 dot、y軸方向に84 dotであった。ターゲットは白色黒枠の直径60 dotの円形であり、ディスプレイ上で約16 mm、提示位置はディスプレイの左上からx軸方向に964 dot、y軸方向に684 dot、x軸方向に1024 dot、y軸方向に684 dot、x軸方向に1084 dot、y軸方向に684 dotの3種類であった。

オブジェクトの運動を直線から曲線に変更することで、小さい初速度および大きい遅延時間に対応できる刺激画面とした。

概観を図4に示す。試行中に矢印、ObjectやTargetといった文字は表示されない。

3-2-2. 実験条件

被験者は大学生12名（男性12名、平均年齢20.3歳、神経系疾患は無く正常な視覚（矯正を含む）および正常な色覚を持つ）、また長時間の実験になることに関して事前に了解を得た。遅延時間条件を被験者間要因に割り当て、被験者を遅延時間0 sec、3 sec、10 secの3群にランダムで分けた。実験1の被験者は含まれていない。

それぞれの群で提示されたオブジェクトの初速度は

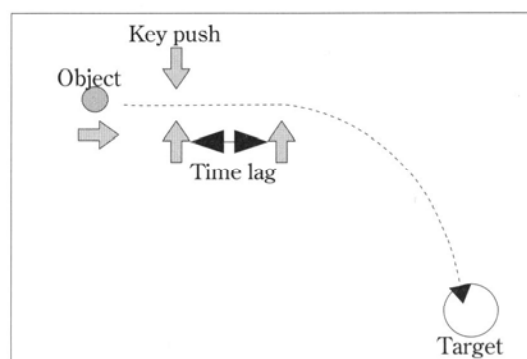


図4 提示概観

Fig. 4 Screen layout

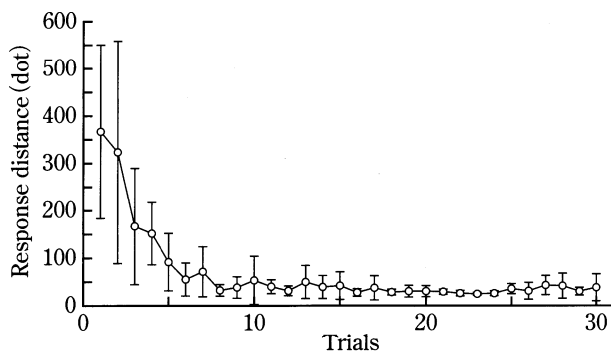


図5 遅延時間：0 sec
Fig. 5 Delayed time : 0 sec

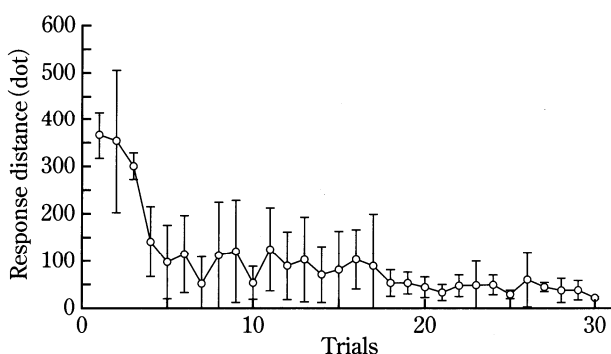


図6 遅延時間：3 sec
Fig. 6 Delayed time : 3 sec

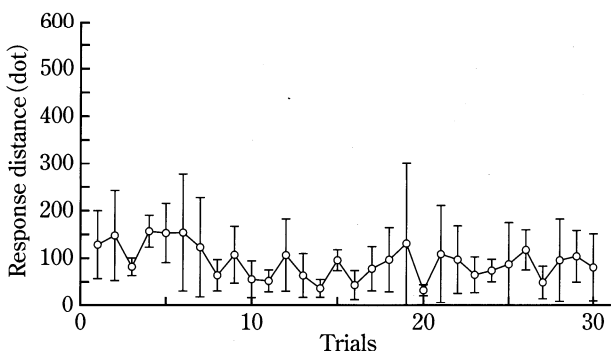


図7 遅延時間：10 sec
Fig. 7 Delayed time : 10 sec

14.35 [mm/sec], 減速強度は実験1の「強」条件で固定した。被験者は個別に暗室で実験を受け、部屋には被験者と実験者が共に入り、暗幕によって被験者と実験者を隔離した。教示のあと、5回の練習試行を行い、本試行は30回行った。

実験2では、実験1で被験者間要因であった初速度および被験者内要因であった減速強度を一定にし、遅延時間を被験者間要因としたため、被験者一人当たりの試行回数は減じた。

3-2-3. 結果

結果のグラフを示す。遅延時間が0 secのグラフを図5、3 secのグラフを図6、10 secのグラフを図7に示す。グラフの縦軸はマーカー停止時のターゲットとの距離 (dot) 横軸は試行回数である。

次に分散分析結果表を表1に示す。試行回数の主効果は有意 ($F(29,208)=8.357, p<.001$)、遅延時間の主効果も有意であった ($F(2,208)=7.209, p<.001$)。

表1 分散分析表

Tab. 1 The Table of ANOVA

	Sum Sq	df	Mean Sq	F	p
Trials	1050018.0	29	36207.53	8.357	0.000
Time Lag	62471.4	2	31235.71	7.209	0.001
Trials x Time Lag	393586.9	58	6785.98	1.566	0.012
Error	901184.8	208	4332.619		

次に遅延時間が10 secの条件についての分散分析表を表2に示す。試行回数の主効果は有意とはいえなかった ($F(29,58)=1.065, p=.409$)。したがって、反応回数によって正確性の向上が見られなかった。これに対して、遅延時間条件が0 sec、3 secのときには、試行回数の試行回数は有意であり、追従性の獲得が見られた (0 secのとき ($F(29,90)=6.545, p<.001$), 3 secのとき ($F(29,90)=6.727, p<.001$))。

表2 分散分析表 (遅延時間：10 sec)

Tab. 2 The Table of ANOVA (Delayed time : 10 sec)

	Sum-of-Sq	df	Mean-Sq	F	p
Trials	167160.7	29	5764.16	1.065	0.409
Error	314017.3	58	5415.09		

以上の結果は、応答遅延時間が無い環境、あるいは数sec程度存在する環境への追従性は練習を重ねることで獲得できることを示唆している。一方で、応答遅延時間が10 sec程度存在する環境への追従性の獲得は、30回の試行を終えても正確性の向上が見られなかったことから非常に困難であることを示している。

4. 考 察

実験2は条件を応答の遅延のみに注目し条件を設定した実験であった。2つの仮説を立てたが、正確性については実験1と同様支持された。つまり、応答までの遅延時間が大きい場合、人間の応答は不正確になり、追従性が不正確になるということが導き出された。

次に、改善性については実験1とは異なり、仮説を支持した。つまり、応答までの遅延時間が大きくなると人間の応答は不正確になり、改善性が悪くなるということが導き出された。

また、実験1での反応距離が収斂した結果については、複数の応答遅延時間条件を被験者内要因として設定したことで、被験者はそれぞれの条件ごとに最適な反応を行うのではなく、すべての条件で最適となるように反応を行う効率的な方略を選択するようになることが原因であると考えられる。これは被験者が実験条件に応じて最適な方略を取るという報告と一致している¹³⁾。

5. まとめ

本研究では、人間が制約条件として遅延応答のある特殊環境へどのように適応し、環境への追従性を獲得していくのかについて、繰り返し反応を行うことでどのように得られるのかを捉えた。

先行研究から遅延応答が大きいほど環境への追従性の獲得が悪くなり、練習を繰り返すことによる改善性も悪くなるであろうという仮説を立てた。実験は遅延応答のある特殊環境を実験室で実験を行えるように単純な条件に還元し、実施した。

実験の結果、反応から応答までに10 sec程度の応答遅延が発生する環境では30回の試行を行っても正確性が改善せず、応答遅延の小さい環境よりも心的作業負荷が大きくなるであろうということを示唆した。また、応答遅延が大きい条件や小さい条件の混在する環境ではどの環境にも対応できるように反応が収斂する傾向にあることが分かった。

今後の展開として、さらに大きな応答遅延条件下でのデータを蓄積する必要がある。

そして、上記の内容を踏まえ、遅延応答が発生するような困難な特殊環境下における追従性の獲得を改善するために有用なインターフェースや教育場面での応用の可

能性についても検討していく予定である。

参考文献

- 1) Frisanch, A. R. : Human Adaptation and Accommodation, University of Michigan Press, 1993.
- 2) 内閣府：交通安全白書平成18年度版, 2007.
- 3) 中島義明：いま実験心理学は, 誠信書房, 東京, 1992.
- 4) Watson, B., Walker, N., Woytiuk, P. & Ribarsky, W. : Maintaining usability during 3D placement despite delay, Virtual Reality, 2003. Proceedings. IEEE, 133-140, 2003.
- 5) Sheridan, T. & MIT, C. : Space teleoperation through time delay: review and prognosis, Robotics and Automation, IEEE Transactions on 9 (5), 592-606, 1993.
- 6) Suzuki, S., Suzuki, N., Hattori, A., Hayashibe, M., Konishi, K., Kakeji, Y. & Hashizume, M. : Telesurgery simulation with a patient organ model for robotic surgery training., Int J Med Robot 1 (4), 80-88, 2005.
- 7) Hance, J., Aggarwal, R., Undre, S. & Darzi, A. : Skills training in telerobotic surgery., Int J Med Robot 1 (2), 7-12, 2005.
- 8) MacKenzie, I. & Ware, C. : Lag as a determinant of human performance in interactive systems, Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, 488-493, 1993.
- 9) Oxley, J. A., Ihsen, E., Fildes, B. N., Charlton, J. L. & Day, R. H. : Crossing roads safely: an experimental study of age differences in gap selection by pedestrians., Accid Anal Prev 37 (5), 962-971, 2005.
- 10) Rafaely, V., Meyer, J., Zilberman-Sandler, I. & Viener, S. : Perception of traffic risks for older and younger adults., Accid Anal Prev 38 (6), 1231-1236, 2006.
- 11) Wilson, R. J., Fang, M., Cooper, P. J. & Beirness, D. J. : Sleepiness among night-time drivers: relationship to blood alcohol concentration and other factors., Traffic Inj Prev 7 (1), 15-22, 2006.
- 12) 嶋田博行：操船場面における人間の認知特性に関する基礎的研究Ⅰ．遅延フィードバック下での遅延反応の学習, 日本航海学会論文集, 104, 31-36, 2001.
- 13) Michael W. Eysenck & Mark T. Keane. : Cognitive Psychology: A Student's Handbook, Psychology Press, 2005.