

# 自動化システムの過剰／過少利用 に関する実験的検討

前 東 晃 礼



## 概要

テクノロジーの発展に伴い人間が使用する人工物は複雑化してきた。近年、お掃除ロボットや自動運転システムといった自律的に作動する自動化システムが日常で使用されてきている。自動化システムは、人間が行う活動を代わりに行うテクノロジーである。自動化システムを使用することによって、ユーザの作業負荷は軽減される。しかし、自動化システムは、複雑な情報処理を行うため、ユーザはシステム内部の状態を理解することが困難になっている。

自動化システムを使用する上での問題は、自動化システムが、必ずしも完璧な課題成績(以下、パフォーマンスとよぶ)を示すわけではないという点である。自動化システムには、システムデザイナーによってアルゴリズムが組み込まれており、システムデザイナーが想定しない環境では、自動化システムはその環境に対応することができない。このような理由から、自動化システムのパフォーマンスは低下することがある。また、自動化システムが環境に対応している状況下でも、自動化システムに異常が生じて課題を遂行することができないこともある。そのため、ユーザが自動化システムの状態を把握せずに、自動化システムには対応できない課題遂行を委任することによって事故が生じたり、逆に、ユーザが活動の主導権を自動化システムから無理に奪回することによって、自動化システムを使用することで防止できる事故を阻止できないことがある。本論文の研究では、このような人間が自動化システムを使用する際に生じる問題について実験的検討を行った。

本論文は第5章から構成される。以下に各章の概要を示す。

第1章の「序論」では、歴史的な人工物の遷移を簡単に述べ、これまで使用されてきた人工物と近年新たに登場した自動化システムを使用する際の人間の役割の違いについて示し、人間が自動化システムを使用する際に生じる問題として、自動化システムの過剰使用(Misuse)または過少使用(Disuse)、自動化システムのパフォーマンス変化に対する鋭敏性(Resolution)、そして、ユー

ザの緩慢な監視 (Complacency) の問題について述べた。

第2章では、自動化システムと手動操作のパフォーマンス変化に対する鋭敏性に注目し、ユーザの自動化システム使用傾向との関連について検討を行った。このような検討を行うために、ユーザが、自動化システムを過剰使用する傾向にあるのか、過少使用する傾向にあるのかを判別するための指標と、ユーザが、自動化システムとユーザの手動操作のどちらパフォーマンス変化に対して鋭敏であるかを定量的に判別するための指標を確立し、実験課題を作成した。さらに、ロジスティック近似による分析によって、上記の判別を行った。実験の結果、自動化システムとユーザの手動操作のパフォーマンスの優劣関係に応じて、自動化システム使用または未使用の選択が行われるとき、ユーザは、自動化システムのパフォーマンス変化よりも、ユーザ自身の手動操作のパフォーマンス変化に鋭敏であることが明らかとなった。また、自動化システムを過剰使用する傾向のユーザよりも、自動化システムを過少使用する傾向のユーザの方が、ユーザ自身の手動操作のパフォーマンス変化に鋭敏であることが明らかとなった。

第3章では、ユーザが自動化システムの遂行結果を監視する際に示す緩慢な監視に注目し、ユーザの自動化システム使用傾向との関連について実験的に検討を行った。実験では、2種類の課題を用いた。第1の課題は、ユーザの自動化システム使用傾向を判別するための課題であった。第2の課題は、ユーザの自動化システムのエラーへの対応の遅れを測定するための課題であり、自動化システムのエラーへの対応の遅れに基づいて緩慢な監視を行っていたと評価した。また、第2の課題では、2種類の緩慢な監視が生じる課題状況を設定した。第1の課題状況は、自動化システムのエラーに関する情報が、ユーザの視界に入らないためにエラーが見逃される焦点化の失敗 (Fixation failure) が生じる分離画面を使用した状況である。第2の課題状況は、自動化システムのエラーに関する情報が視界に入っているにも関わらず、エラーが見逃される注意の失敗 (Attention failure) が生じる重畳画面を使用した状況で

ある．実験の結果，注意の失敗が生じる状況では，ユーザの自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連が確認され，自動化システムを過少使用する傾向のユーザほど，緩慢な監視を行い，自動化システムのエラーへの反応が遅くなった．また，焦点化の失敗が生じる状況では，ユーザの自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連は確認されなかったが，自動化システムを信頼したユーザほど，緩慢な監視を行い，自動化システムのエラーへの反応が遅くなることが明らかとなった．

第4章では，総合考察として，自動化システムの過剰使用と過少使用に関するそれぞれの研究結果から，自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連に関わる要因，さらに，自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連に関わる要因を示し，これらを考慮して，自動化システム過剰使用または過少使用を抑止するための指針を示した．

第5章の「結論」では，本論文の総括を行い，今後の人間と自動化システムとのインタラクションに関する研究の展開について指針を示した．



# 目次

第1章	序論	1
1.1	背景	1
1.1.1	第3の人工物	1
1.1.2	自動化システムへの信頼の役割	3
1.2	自動化システムの使用において生じる問題	6
1.2.1	自動化システムの過剰使用と過少使用	7
1.2.2	パフォーマンス変化に対する鋭敏性	11
1.2.3	緩慢な監視	14
1.3	研究の目的と方針	17
1.3.1	自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する 鋭敏性との関連	17
1.3.2	自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連	17
第2章	自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏 性との関連に関する検討	19
2.1	検討の指針	19
2.2	評価指標	21
2.2.1	自動化システムと手動操作のパフォーマンスの関係	21
2.2.2	自動化システム使用傾向の評価指標	22
2.2.3	パフォーマンス変化に対する鋭敏性の評価指標	23
2.3	実験課題	26

2.3.1	課題の基本設定 . . . . .	26
2.3.2	自動化システムと手動操作の能力の設定 . . . . .	27
2.4	実験1 . . . . .	29
2.4.1	目的 . . . . .	29
2.4.2	方法 . . . . .	29
2.4.3	結果 . . . . .	30
2.5	実験2 . . . . .	33
2.5.1	目的 . . . . .	33
2.5.2	方法 . . . . .	33
2.5.3	結果 . . . . .	34
2.6	考察 . . . . .	44
2.6.1	手動操作に鋭敏な選択 . . . . .	44
2.6.2	自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する 鋭敏性との関連 . . . . .	45
2.6.3	課題の影響 . . . . .	45
第3章	自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連に関する検討	47
3.1	検討の指針 . . . . .	47
3.2	先行研究からの予測と実験仮説 . . . . .	49
3.2.1	先行研究からの予測 . . . . .	49
3.2.2	実験仮説 . . . . .	50
3.3	実験課題 . . . . .	54
3.3.1	2重課題 . . . . .	54
3.3.2	仮説に基づく予測 . . . . .	56
3.4	実験3 . . . . .	59
3.4.1	目的 . . . . .	59
3.4.2	方法 . . . . .	59
3.4.3	結果 . . . . .	61

---

3.5	考察 . . . . .	62
第 4 章	総合考察	67
4.1	研究の要旨 . . . . .	67
4.2	監視制御における行動の関連 . . . . .	69
4.3	自動化システムの過剰使用と過少使用の抑止に向けて . . . . .	72
4.4	本研究の成果 . . . . .	75
第 5 章	結論	77
5.1	本研究の総括 . . . . .	77
5.2	他者への信頼と自動化システムへの信頼の比較 . . . . .	80
5.2.1	類似点 . . . . .	80
5.2.2	相違点 . . . . .	82
5.2.3	まとめ . . . . .	83
謝辞		85
引用文献		87
関連論文		94
付録		99
付録 A	補正ロジスティック近似式とオッズ比の算出	99
A.1	補正ロジスティック近似式の算出 . . . . .	99
A.2	オッズ比の算出 . . . . .	100
付録		101
付録 B	実験 2 の補正ロジスティック近似式	101



# 目次

1.1	自動化システムの過剰使用と過少使用，自動化システムのパフォーマンス変化に対する鋭敏性，そして緩慢な監視を示す概念図	6
2.1	自動化システムと手動操作のパフォーマンスの関係	21
2.2	自動化システム使用傾向	22
2.3	パフォーマンス変化に対する鋭敏性	24
2.4	線課題と道課題	26
2.5	Auto モードと Manual モードの能力の設定	28
2.6	線課題と道課題における Auto モードと Manual モードのパフォーマンス	31
2.7	線課題と道課題における Auto モード使用率の推定曲面	35
2.8	線課題と道課題における Auto モード使用率の平均値と推定曲面の断面図	36
2.9	信頼評定	42
3.1	自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連	49
3.2	Duley, Westerman, Molloy, & Parasuraman (1996) で使用された航空機操縦課題	51
3.3	2重課題	54

---

3.4	線課題における Auto モード使用率と 2 重課題の Auto エラーへの反応時間との相関 . . . . .	63
3.5	線課題における Auto モードへの信頼評定と 2 重課題における Auto エラーへの反応時間との相関 . . . . .	64

# 表目次

2.1	線課題と道課題における Auto モード使用率, $C_a$ (Auto モードの能力) のオッズ比と $C_m$ (Manual モードの能力) のオッズ比, そして $C_a$ のオッズ比と $C_m$ のオッズ比の積 . . . . .	39
2.2	線課題と道課題の Auto モード過剰使用群と Auto モード過少使用群における Auto モード使用率, $C_a$ のオッズ比と $C_m$ のオッズ比, そして $C_a$ のオッズ比と $C_m$ のオッズ比の積 . . . . .	41
3.1	実験条件と予測のまとめ . . . . .	58
3.2	線課題における Auto モード使用率と 2 重課題における反応時間の相関 . . . . .	62



# 第 1 章

## 序論

### 1.1 背景

#### 1.1.1 第 3 の人工物

道具は時代とともに変化してきた。道具の使用は，人間特有のものではなく，人間以外の哺乳類や鳥類も道具を使用することが知られており，道具使用の起源はヒト科発生以前にさかのぼると考えられている (渡辺, 1985)。道具に関する人間特有の行動は，道具を使用して道具の加工を行うことであり，人工的に加工された道具が人工物である (海保・原田・黒須, 1991)。チンパンジーなど人間以外の霊長類も手や歯によって道具の加工を行うが，人間は，道具を工具として使用して道具の加工を行うため，様々な素材を使用して，道具を特殊化または多様化させることが可能である (渡辺, 1985)。

ナイフやハンマーは，古来より使用される古典的人工物である。これらの人工物は，切る，打つといった人間の身体活動を支援するために使用されてきた。古典的人工物を使用する際，ユーザは，人工物を使いこなすための技術を獲得する必要がある (福島, 2001; 生田, 1987; 佐伯, 1988, 1990)。しかし，その機能が単一，かつ単純であることから，ユーザの働きかけを直接対象へ伝えることができ，ユーザの意図と人工物の果たす機能との間に齟齬が生じることはあまりない (Norman, 2004; Rasumussen, 1986; 植田, 2006)。

また，現代のメッセージボードや電卓は，情報を保持，表現，操作するた

めの人工物であり，認知的人工物とよばれる (Norman, 1991). これらの人工物は，人間の認知的活動を支援するために使用されてきた．テクノロジーの発展に伴い，認知的人工物は複雑化し，その使いやすさについての問題が浮上するようになった．特にコンピュータは，複雑化した認知的人工物の代表であり，多機能性，高度な編集性，応答性または対話性の3点において，古典的な人工物とは異なる (鈴木・植田, 2003). コンピュータの使用においては，ユーザのある1つの働きかけがコンピュータの様々な機能と対応しているため，ユーザの意図とコンピュータが内部で実行している処理との間に齟齬が生じやすい (植田, 2006). また，ユーザは，コンピュータが行う処理を出力結果として知ることしかできないため，その齟齬の原因が何であるかがわからないといった問題が生じてきた (Norman, 1988, 1991, 1993, 2004; Rasumussen, 1986; 佐伯, 1990).

近年，テクノロジーはさらに発展し，お掃除ロボットや自動運転システムといった自律的に作動する自動化システムが日常で利用されるようになった．人間の人工物利用を考えるにあたって，自動化システムは，ここまで述べてきた古典的な人工物と認知的人工物に対し，いくつかの点で重要な差異が存在する．まず第1に，前者2種類の人工物においては，課題遂行の主役はユーザであり，人工物が担う機能はユーザの支援である．そこでの課題遂行における最も重要な観点は，両者の相互作用であった．他方，自動化システムにおいては，課題遂行の主役はシステムとなる．自動化システムに対する人間の関与は，相互作用というよりも，監視といった側面が強くなる．第2に，自動化システムは，これまでの人工物以上に複雑な情報処理を行い，ユーザはますますシステム内部で行われている処理を理解することが困難になっている．このように，自動化システムはこれまでの身体活動や認知活動を支援する人工物とは異なる第3の人工物と位置づけることができる．

### 1.1.2 自動化システムへの信頼の役割

自動化システムが我々の日常に入ってくることにより，様々な新たな問題が現れてきている．最も重要な問題は，日常で使用される自動化システムは，常に完璧に作動するわけではなく，予期せぬエラーを起こし，そのエラーが大きな事故を招く恐れがあるという点である (Parasuraman & Manzey, 2010)．自動化システムには，特定の環境下で自律的に作動できるように，システムデザイナーによってアルゴリズムが組み込まれている．そのため，システムデザイナーが想定しない環境で自動化システムが使用されれば，自動化システムはその環境に対応できず，適切に課題を遂行することができない (Lee & See, 2004)．現実場面では，結果的に事故が生じないこともあるが，自動化システムの本来の性能が発揮されるわけではない．また，自動化システムが環境に対応している状況下でも，システムに異常が生じて，正常に作動しないこともある (Parasuraman & Manzey, 2010)．

これまでの自動化システムに関する研究は，このような複雑化した人工物であり，エラーを起こす可能性のある自動化システムを使用する際，ユーザは自動化システムに対して信頼を持ち，その信頼に基づいてユーザ自身の行動を決定することを明らかにしてきた (Lee & Moray, 1992, 1994; Lewandowsky, Mundy, & Tan, 2000; Muir, 1994)．Lee & Moray (1992) は，ジュースプラント課題を用いて，自動化システムへの信頼と自動化システムの使用または未使用の選択との関係について実験的検討を行った．この課題では，コンピュータのモニター上にジュースプラントが再現され，参加者は，自動化システムに課題の遂行を任せるか，自動化システムを使用せずに参加者自らが課題を遂行するかを選択しながらジュースの低温殺菌を行う必要があった．実験で使用された自動化システムは，課題中にエラーを起こして正常に稼動しなくなり，一定時間の後に正常に稼動を再開するように設定された．また，課題中には，参加者の自動化システムに対する信頼を測定するために，一定の間隔

で、自動化システムに対する信頼評定のアンケートが実施された。実験の結果、自動化システムのエラーが発生した後に、自動化システムに対する信頼は低下し、それに伴い、参加者が自動化システムを使用する割合は低下することが明らかとなった。また、自動化システムが正常に稼動するようになった後に、低下した信頼は徐々に回復して、それに伴い、自動化システムを使用する割合も徐々に回復することが明らかとなった。このような自動化システムへの信頼と自動化システムの使用または未使用の選択との関係は、同様のジュースプラント課題を用いたその他の実験研究でも同様に確認されている (Lewandowsky et al., 2000; Muir, 1994)。これらの実験結果から、ユーザと自動化システムとの関係は、自動化システムに対する信頼に仲介されていることが明らかにされた。

上記の実験で示されたように、自動化システムを使用する際、ユーザは、自動化システムの遂行結果を観察し、その遂行結果に基づいて、自動化システムに対する信頼を形成する。自動化システムのパフォーマンスが高いときは自動化システムを信頼し、パフォーマンスが低下したときは自動化システムの信頼を低下させることにより、自動化システムのパフォーマンスに応じた自動化システム使用または未使用の選択が行われる。しかし、ユーザが、自動化システムを過剰に信頼(過信)したり、自動化システムに対して必要以上に低い信頼(不信)を持てば、ユーザの意図と自動化システムの作動に齟齬が生じ、ユーザは自動化システムが遂行不可能であるにも関わらずその課題遂行を委任したり、逆に、ユーザが活動の主導権を無理に奪回することによって、重大な事故が生じることがある (Parasuraman & Riley, 1997)。航空機や原子力プラントなどにおける深刻な事故にはこのような要因が関わっているとの指摘もあり、この問題の重要性から、その対策のために数多くの研究が行われてきた。

以下では、自動化システムに対する誤った信頼により生じる問題の内、自動化システムの過剰使用 (Misuse) または過少使用 (Disuse)、自動化システムの

パフォーマンス変化に対する鋭敏性 (Resolution), そして, 自動化システムの遂行結果の緩慢な監視 (Complacency) を取り上げて示す.

## 1.2 自動化システムの使用において生じる問題

図 1.1 は，自動化システムの過剰使用と過少使用，自動化システムのパフォーマンス変化に対する鋭敏性，そして緩慢な監視を示した概念図である．この概念図では，ユーザは，自動化システムに課題遂行を委任して，自動化システムの遂行結果を監視し，その遂行結果に基づいて自動化システムに対する信頼を形成するプロセスが示されている．自動化システムにエラーが生じて，パフォーマンスが低下したとき，ユーザは，自動化システムの遂行結果からその状態を把握して，自動化システムに対する信頼を低下させ，課題遂行の主導権を自動化システムからユーザ自身に移す必要がある．自動化システム使用時に，ユーザが行うこの一連のプロセスは監視制御 (Supervisory control) とよばれる (Lee & Moray, 1992, 1994; Muir, 1994)．

自動化システム使用または未使用の誤った選択が，自動化システムの過剰使用と過少使用である．また，自動化システムの遂行結果により示されるパフォーマンス変化に対して，ユーザがどの程度鋭敏に信頼を変化させるかが，自動化システムのパフォーマンス変化に対する鋭敏性である．さらに，

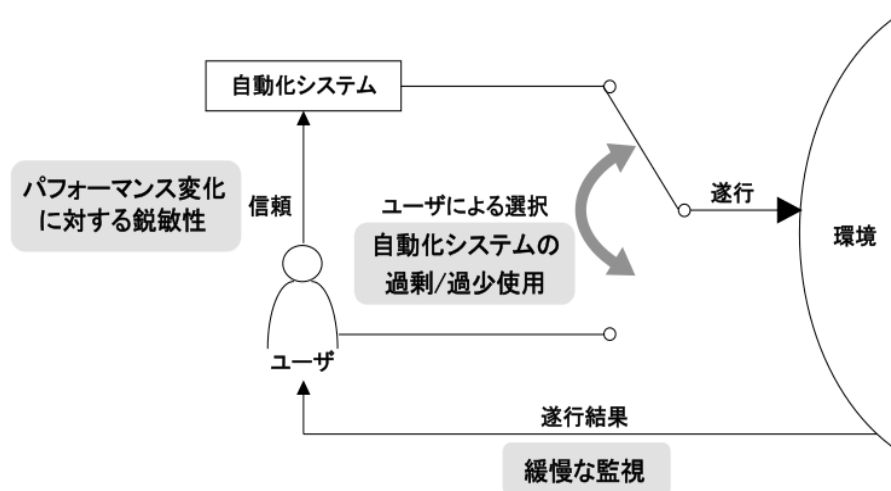


図 1.1 自動化システムの過剰使用と過少使用，自動化システムのパフォーマンス変化に対する鋭敏性，そして緩慢な監視を示す概念図

ユーザが自動化システムの遂行結果を監視する際に、自動化システムのエラーに関する情報を見落とすことが緩慢な監視である。

以下では、それぞれの問題について説明を行い、本研究の目的について述べる。

### 1.2.1 自動化システムの過剰使用と過少使用

自動化システムを使用する際、ユーザは、自動化システムとユーザ自身の手動操作のパフォーマンスを考慮して、それぞれのパフォーマンスの優劣関係に基づいて、自動化システム使用または未使用の選択を行う必要がある。しかし、ユーザは、必ずしもこのような優劣関係に応じた選択を行うわけではない。自動化システム過剰使用と過少使用は、ユーザによる誤った自動化システム使用または未使用の選択である (Lee & Moray, 1992; Parasuraman & Riley, 1997)。

自動化システムの過剰使用は、ユーザが自ら課題を遂行するべきときに、自動化システムを使用することである。たとえば、自動車の自動ブレーキシステムは、悪天候下では、前方を正常に認識しない可能性がある。そのような手動操作が卓越したパフォーマンスを示す状況下で、自動ブレーキシステムにブレーキを任せることである。また、自動化システムの過少使用は、自動化システムに任せるべき課題をユーザが自ら行うことである。たとえば、自動ブレーキシステムによって、他の車両の急な割り込みに対応できるにも関わらず、その機能を使用しないことが自動化システムの過少使用である。その結果、自動ブレーキシステムの使用によって防止できる衝突事故を阻止できない恐れがある。

これまでの実験研究では、ユーザが、自動化システムを使用する傾向は、課題の性質やそのときどきの状況に依存して異なることが明らかにされている。航空機や船などの操縦では、複数の課題を同時に遂行する必要があり、ユーザは、一部の課題を自動化システムに任せ、自動化システムの遂行

結果を監視しながら，ユーザ自身に割り当てられた課題を行うことが一般的である (e.g., Parasuraman, Molloy, & Singh, 1993; McFadden, Vimalachandran, & Blackmore, 1996). いくつかの研究は，このようなユーザと自動化システムが複数の課題を分担する際に，自動化システムの過剰使用が生じることを示している (Molloy & Parasuraman, 1996; Parasuraman et al., 1993; Singh, Molloy, & Parasuraman, 1993).

Parasuraman et al. (1993) は，航空機操縦課題を用いて，自動化システムの異常状態の見逃しについて実験的検討を行った．航空機操縦課題では，コンピュータのモニター上に複数の課題が個別に表示され，参加者と自動化システムはそれらの課題を分担して行う．具体的には，参加者は，航空機の操縦と燃料の調整を参加者自身が手動で行い，自動化システムはエンジンの調整を遂行する課題状況であった．実験で使用された自動化システムは，課題中にシステムダウンを起こし，その際，10秒間稼動を停止するように設定された．参加者には，自動化システムのシステムダウンを検出した際，キーボードの任意のボタンを押すことが求められた．自動化システムがシステムダウンを起こしたとき，自動化システムは10秒間稼動を停止するため，参加者は，参加者自身に割り当てられた課題を遂行しながら，10秒以内に1回の頻度で自動化システムの遂行結果を監視することによって，システムダウンを検出することが可能であった．彼らの実験では，上記の航空機の操縦，燃料の調整，エンジンの調整の3つの課題を自動化システムと分担して行う実験条件と，自動化システムが行う課題だけを監視する実験条件とで，参加者がシステムダウンを検出する割合が比較された．実験の結果，自動化システムの遂行結果の監視だけを行うよりも，自動化システムと課題を分担する方が，自動化システムのシステムダウンは検出されにくく，システムダウンが見逃される傾向にあることが明らかとなった．このような結果は，航空機操縦課題を用いたその他の実験研究でも同様に確認されている (Molloy & Parasuraman, 1996; Singh et al., 1993).

これらの実験結果から，Parasuraman & Manzey (2010) は，ユーザと自動化システムが複数の課題を分担する際には，ユーザは，ユーザ自身が遂行する課題に注意を向け，自動化システムの遂行結果には注意を向けない傾向にあるため（このようなユーザが行う緩慢な監視については，後に詳しく述べる），自動化システムにエラーが生じてても，ユーザは自動化システムに対する信頼を適切に低下させることができず，自動化システムを過信して自動化システムを過剰使用すると述べている．このようなユーザが偏った注意分配を行う傾向は，参加者の視線計測を行った実験でも確認されている (Metzger & Parasuraman, 2006).

また，空港で行われる荷物検査などでは，自動化システムが荷物検査を行い，ユーザはその遂行結果の監視に従事することが一般的である (e.g., Madhavan & Wiegmann, 2007). いくつかの研究は，このようなユーザと自動化システムが1つの課題を分担する際に，自動化システムの過少使用が生じることを示している (Beck, Dzindolet, & Pierce, 2007; Dzindolet, Pierce, Beck, & Dawe, 2002; Dzindolet, Peterson, Pomranky, Pierce, & Beck, 2003; Madhavan & Wiegmann, 2007).

Dzindolet et al. (2002) は，兵士検出課題を用いて，ユーザが行う自動化システムの使用または未使用の選択について実験的検討を行った．兵士検出課題では，コンピュータのモニターに風景写真が映し出され，参加者は，その中に兵士が潜んでいるか，潜んでいないかを判断する必要があった．実験は，練習試行とテスト試行に分けて行われた．練習試行では，写真が1枚ずつ0.75秒間モニターに映し出され，各写真が提示された後に，参加者はターゲットの有無の判断を行った．その判断が行われた後に，自動化システムの判断結果がモニターに表示された．実験の練習試行では，合計200枚の写真に対する判断が求められた．彼女らの実験では，練習試行における自動化システムの判断の正確さが実験的に操作され，参加者の判断の正確さを基準に，自動化システムが，それよりも高い正確さを示すパフォーマンス高条件と，それ

よりも低い正確さを示すパフォーマンス低条件が設けられた。練習試行の後に行われたテスト試行では、参加者は、練習試行の写真からランダムに選出された10枚の写真についてターゲットの有無を判断することが求められた。その際、参加者は、練習試行における自動化システムの判断の正確さを考慮して、テスト試行における判断を参加者が自ら行うか、自動化システムの判断に従うかを選択するように求められた。実験の結果、自動化システムのパフォーマンスが高い低いに関わらず、テスト試行では、自動化システムは使用されない傾向にあることが明らかとなった。このような結果は、兵士検出課題を用いたその他の実験研究 (Beck et al., 2007; Dzindolet et al., 2002) や、荷物診断課題を用いた実験研究 (Madhavan & Wiegmann, 2007) でも同様に確認されている。

Dzindolet et al. (2002) は、兵士検出課題を用いて、自動化システムに対する信頼のアンケート調査やインタビュー調査を行い、高い性能を持つ自動化システムを使用するときでも、自動化システムのエラーが少しでも検出されると、ユーザは、そのエラーに過剰に反応し、必要以上に信頼を低下させて自動化システムを過少使用することを明らかにしている。このような過度の信頼低下が生じる原因は、ユーザが、一般的に自動化システムは完璧なパフォーマンスを示すというスキーマ (Perfect automation schema) を持ち、自動化システムのエラーが少しでも検出された際に、そのスキーマが崩壊するためであると考えられている (Dzindolet et al., 2003)。

このように、ユーザの自動化システム過剰使用または過少使用が生じる大きな原因の1つは、自動化システムに対する誤った信頼である (Parasuraman & Riley, 1997)。つまり、ユーザが、自動化システムのパフォーマンスに応じた信頼を形成することができれば、自動化システムのパフォーマンスに応じた自動化システム使用または未使用の選択が行われる。しかし、自動化システムを過信することによって自動化システムの過剰使用が生じ、自動化システムに対して必要以上の不信を持つことによって自動化システムの過少使用が

生じる。

### 1.2.2 パフォーマンス変化に対する鋭敏性

上記のように、自動化システムを使用する際、自動化システムのパフォーマンスに変化が生じて、ユーザの手動操作のパフォーマンスとの優劣関係が変化したとき、ユーザは、その優劣関係の変化に基づいて自動化システムの使用または未使用の選択を変更する必要がある。

Lee & See (2004) は、自動化システムの過剰使用または過少使用を招く原因の1つに、自動化システムのパフォーマンス変化に対する信頼変化の鈍さを挙げている。彼らは、自動化システムのパフォーマンス変化に対して、鋭敏に信頼を変化させることができれば、ユーザは、自動化システムを過剰使用または過少使用せずに、自動化システムのパフォーマンスに応じた自動化システム使用を行うことが可能であると述べている。その一方、信頼の変化が鈍いほど、ユーザは、自動化システムに対して過信または必要以上の不信を持ち、自動化システムを過剰使用または過少使用が生じると述べている。そのため、自動化システムの過剰使用または過少使用と、自動化システムに対する信頼の変化の鋭敏性や、信頼の変化に伴うユーザの行動の変化の鋭敏性との定量的関連を明らかにするために実験的検討を行う必要がある。しかし、これまでに、自動化システムが示すパフォーマンス変化に対する信頼の変化や、ユーザの行動の変化を測定するための指標が確立されていないため、これらの関連について検討を行った研究は少ない。

これまでの研究では、自動化システムのパフォーマンス変化に対する信頼の変化とユーザの行動の変化は、ユーザの個人特性に依存して異なることが示されている。Madhavan & Phillips (2010) は、ユーザ自身がコンピュータを使いこなすことができるという確信や感覚を示すコンピュータに対する自己効力感(CSE: Computer self-efficacy)が高いユーザと低いユーザで、自動化システムのパフォーマンス変化に対する信頼の変化の鋭敏性とユーザの行動の変化

の鋭敏性に違いについて検討を行った。彼らの実験で用いられた荷物診断課題では、コンピュータのモニターにX線写真が映し出され、参加者は、その中に危険物が混入しているか、混入していないかを判断する必要があった。実験では、写真が1枚ずつ3秒間モニターに映し出され、各写真が提示された後に、自動化システムの判断結果がモニターに表示され、その後、参加者は自動化システムの判断に従うか従わないかを決定した。実験は、前半と後半に分けて行われ、実験の前後半のそれぞれで200枚の写真に対する判断が求められた。彼らの実験では、課題中に、自動化システムの正しい判断を行う確率が変わるように設定された。参加者の半数は、前半では90%、後半では70%の確率で正しい判断を行う自動化システムを使用した。その他の参加者は、逆に、前半に70%、後半に90%の確率で正しい判断を行う自動化システムを使用した。課題の前半と後半が終了した後に、自動化システムに対する信頼評定のアンケートが実施され、さらに、課題終了後には、コンピュータに対する自己効力感を測定するためのテストが実施された。

分析では、参加者が自動化システムの判断に従った割合が算出された。その結果、コンピュータに対する自己効力感の高いユーザは、課題前半から後半にかけての自動化システムが示すパフォーマンス変化に対して信頼を鋭敏に変化させ、パフォーマンスが低下すれば、自動化システムの判断に従う割合を低下させ、パフォーマンスが向上すれば、自動化システムの判断に従う割合を増加させた。コンピュータに対する自己効力感の低いユーザは、特に、課題前半から後半にかけてのパフォーマンスの向上に対する信頼変化が鈍く、パフォーマンスが向上しても、自動化システムの判断に従う割合を増加させず、高いパフォーマンスを示す自動化システムを過少使用したことが示されている。コンピュータに対する自己効力感が高いユーザは、自動化システムも含めた電子機器を使用する際に、その電子機器やユーザ自身の状態を適切に認識することが可能であるため、自動化システムが示すパフォーマンス変化に対して信頼を鋭敏に変化させて、自動化システム使用または未使

用の選択を変更することが可能であったと考えられている。

しかし，Lee & See (2004) や Madhavan & Phillips (2010) の実験では，自動化システムのパフォーマンス変化に対する鋭敏性について述べているが，ユーザの手動操作のパフォーマンス変化が考慮されていない．現実場面では，環境の変化やシステムの異常によって自動化システムのパフォーマンスが変化し，さらに，ユーザの手動操作のパフォーマンスも同様に，ユーザの覚醒度や疲労度などによって変化する．そのため，ユーザは，自動化システムだけではなく，ユーザ自身の手動操作のパフォーマンス変化に応じて，適切に自動化システム使用または未使用の選択を変更する必要がある．

さらに，これまでの自動化システムに関するいくつかの先行研究は，自動化システムに対する信頼が，自動化システムの使用または未使用の選択に影響するだけではなく，ユーザ自身が行う手動操作への自信も，自動化システムの使用または未使用の選択に影響することを示している (Lee & Moray, 1994; Lewandowsky et al., 2000). Lee & Moray (1994) は，ジュースプラント課題を用いた実験を行い，課題中に，自動化システムに対する信頼評定のアンケートとユーザ自身が行う手動操作に対する自信のアンケートを実施した．その結果，自動化システムの遂行結果に基づいて自動化システムに対する信頼が形成され，他方，ユーザの手動操作の操作結果に基づいてユーザが行う手動操作に対する自信が形成されることを明らかにした．さらに，信頼が自信を上回れば，自動化システムが使用され，逆に，自信が信頼を上回れば，自動化システムは使用されずに，ユーザは自ら手動操作を行うことが明らかとなった．このような結果は，ジュースプラント課題を用いたその他の研究でも確認されている (Lewandowsky et al., 2000).

これらのことから，自動化システムのパフォーマンス変化に対する信頼の変化の鋭敏性だけではなく，ユーザ自身の手動操作のパフォーマンス変化に対する自信の変化の鋭敏性を考慮して，自動化システムとユーザの手動操作のパフォーマンス変化に対して，ユーザは，どの程度鋭敏に自動化システム

の使用または未使用の選択を変更することが可能か検討を行うことは重要である。本研究では，ユーザが，自動化システムとユーザ自身の手動操作のパフォーマンス変化に対する自動化システム使用または未使用の選択の変化量を測定し，自動化システムと手動操作のパフォーマンス変化に対する鋭敏性を定量的に評価した。

### 1.2.3 緩慢な監視

自動化システムを使用する際，ユーザは自動化システムの遂行結果の監視を行い，自動化システムのエラーや異常状態，またはシステムダウンなどを検出したときは，事故に至る前に然るべき対応をとる必要がある。自動化システムの遂行結果の緩慢な監視は，自動化システムのエラーの見逃しや，エラーへの対応の遅れを招く (Parasuraman et al., 1993)。

ユーザが緩慢な監視を行う原因として，第1に，自動化システムへの過信が挙げられる (稲垣, 2001; Moray & Inagaki, 2000)。自動化システムのエラーは起こらないだろうといったユーザの態度は，ユーザが自動化システムの遂行結果を監視する頻度を低下させる。このような過信によって生じる緩慢な監視は，実際に生じた航空機事故の調査により明らかにされている (稲垣, 2001)。

第2に，信頼に関わる問題とは別に，ユーザの知覚の失敗が挙げられる。知覚の失敗は，ユーザが，不適切な情報に注意を向けているためにエラーに気づくことができないことを示す (Endsley, 1995, 1996)。Parasuraman & Manzey (2010) は，自動化システムのエラーに関する情報がそもそも視界に入っていない知覚の失敗を焦点化の失敗 (Fixation failure) とよび，また，自動化システムのエラーに関する情報が視界に入っているにも関わらずそのエラーを知覚できない知覚の失敗を注意の失敗 (Attention failure) とよんでいる。

前述のように，航空機や船などの操縦では，ユーザと自動化システムが複数の課題を分担することが一般的である (e.g., Parasuraman et al., 1993; McFadden et al., 1996)。このような状況で，ユーザと自動化システムが遂行する課題が

分離して画面に表示されれば，ユーザは，ユーザ自身が遂行する課題に注意を向け，自動化システムの遂行結果に注意を向けない傾向にあるため，自動化システムにエラーが生じてても，そのエラーは，ユーザの視界に入らずに見逃されることが多い．このような知覚の失敗が，焦点化の失敗であり，このような現象は，前述の航空機操縦課題を用いた実験で確認されている (Molloy & Parasuraman, 1996; Parasuraman et al., 1993; Singh et al., 1993)．さらに，ユーザと自動化システムが遂行する課題が1つの画面に重ね合わせて表示されても，自動化システムのエラーの見逃しが生じることが航空機操縦課題を用いた実験で明らかにされている (Duley, Westerman, Molloy, & Parasuraman, 1997)．つまり，自動化システムの遂行結果は，常にユーザの視界に入っているにも関わらず，自動化システムのエラーが見逃される．このような知覚の失敗が注意の失敗である．このような注意の失敗と同様の現象は注意のトンネル現象 (Attentional tunneling) とよばれ，人間の注意に関する心理学実験における不注意盲 (Inattention blindness) (Simons & Chabris, 1999) や変化盲 (Change blindness) (Simons, Franconeri, & Reimer, 2000) に関わる現象と考えられている (Wickens & Alexander, 2009)．

ユーザの自動化システム過剰使用または過少使用と，自動化システムの遂行結果の緩慢な監視は，いずれも自動化システムを使用する際の監視制御におけるユーザの不適切な行動である．しかし，自動化システムの過剰使用または過少使用に関しては，自動化システムが使用される様々な分野で検討が行われてきた一方で，緩慢な監視に関しては，主に航空分野で検討が行われてきた．そのため，これまでにユーザの自動化システム過剰使用または過少使用と，自動化システムの遂行結果の緩慢な監視との関連について詳細な検討を行った研究は多くない．自動化システムの普及に伴い，自動化システムの過剰使用または過少使用だけではなく，緩慢な監視に関しても自動化システムが使用される様々な分野で検討される必要があり，それぞれの行動の関連について検討を行うことは，自動化システムを使用する際のユーザの監視

制御における一連の行動を理解するために重要である.

## 1.3 研究の目的と方針

本研究では，自動化システム過剰使用または過少使用に関する2つの研究を行った．以下では，各研究の目的とそれぞれの概要を述べる．

### 1.3.1 自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連

本研究では，自動化システムとユーザの手動操作のパフォーマンスを考慮して，参加者の自動化システム使用傾向と，パフォーマンス変化に対する鋭敏性を定量的に評価するための指標を確立し，実験課題を作成した．自動化システム使用傾向に関しては，課題遂行時における参加者の自動化システムの使用率に基づいて，参加者が自動化システムを過剰使用する傾向にあるか，自動化システムを過少使用する傾向にあるのかを判別した．また，参加者が，自動化システムと参加者自身の手動操作のパフォーマンス変化に対する自動化システム使用または未使用の選択の変化量を測定し，自動化システムと参加者の手動操作のどちらのパフォーマンス変化に鋭敏であるかを判別した．最後に，参加者の自動化システム使用傾向が，自動化システムと参加者の手動操作のパフォーマンス変化に対する鋭敏性の偏りとどのような関連があるか検討を行った．

### 1.3.2 自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連

自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連について検討では，自動化システム使用傾向に関しては，上記と同様に，課題遂行時における参加者の自動化システムの使用率に基づいて，参加者の自動化システム使用傾向を評価した．また，緩慢な監視に関しては，それとは別の課題を作成して，自動化システムのエラーへの対応の遅れを測定し，その対応の遅れに基づいて緩慢な監視を評価した．その際，2種類の緩慢な監視を考慮して課題状況を設定

した．第1の課題状況は，自動化システムのエラーに関する情報が，参加者の視界に入らないためにエラーが見逃される焦点化の失敗 (Fixation failure) が生じる状況である．第2の課題状況は，自動化システムのエラーに関する情報が視界に入っているにも関わらず，エラーが見逃される注意の失敗 (Attention failure) が生じる状況である．これら2つの実験条件で示される緩慢な監視と自動化システム使用傾向との関連について検討を行った．

## 第2章

# 自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連に関する検討

### 2.1 検討の指針

本研究では，自動化システム使用傾向に関して，参加者は，自動化システムを過剰使用する傾向にあるか，過少使用する傾向にあるかを定量的に判別するための指標と，さらに，パフォーマンス変化に対する鋭敏性に関しては，自動化システムとユーザの手動操作のどちらのパフォーマンス変化に対して鋭敏であるかを定量的に判別するための指標を確立した．この指標に基づいて，参加者の自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性の評価を行い，これらの関連について検討を行った．

参加者の自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性を定量的に評価するために，まず，自動化システムの過剰使用傾向と過少使用傾向，そして，パフォーマンス変化に対する鋭敏性を定義し，これらの評価指標を確立した．次に，自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性の測定を行うための実験課題を作成した．さらに，分析では，ロジスティック近似で，これらの評価と関連についてモデル化を行うことを可能にした．

## 20第2章 自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連に関する検討

本研究では，ユーザの自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連について主に2つの点に注目して検討を行った．第1の検討内容は，ユーザが，自動化システムとユーザ自身の手動操作のパフォーマンスの優劣関係に応じて，自動化システム使用または未使用の選択を行うとき，自動化システムとユーザ自身の手動操作のパフォーマンス変化に対して同等に鋭敏であるかという点である．第2の検討内容は，自動化システムを過剰使用する傾向のユーザと過少使用する傾向のユーザで，自動化システムとユーザ自身の手動操作のパフォーマンス変化に対する自動化システム使用または未使用の選択の変更がどのように異なるかという点である．

## 2.2 評価指標

本研究では，自動化システムとユーザの手動操作のパフォーマンス変化に基づいて，自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連について検討を行った．以下では，自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性の評価指標について述べる．

### 2.2.1 自動化システムと手動操作のパフォーマンスの関係

自動化システムと手動操作のパフォーマンスの関係は，図 2.1 のように示すことができる．図 2.1 では，自動化システムとユーザの手動操作のパフォーマンスが独立変数であり，自動化システム使用率が従属変数である．図 2.1 より，自動化システム使用または未使用の有効性は，自動化システムとユーザの手動操作のパフォーマンスの優劣に依存して異なることが示される．自動化システムとユーザの手動操作のパフォーマンスが同等である対角線を境に，図の前方(薄い灰色の領域)では，自動化システムよりもユーザの手動操作が高いパフォーマンスを示す領域であり，この領域では，ユーザ自らが手動操作によって課題を遂行することが有効である．このような状況で，自動化システムを使用することは，自動化システムの過剰使用と評価される．ま

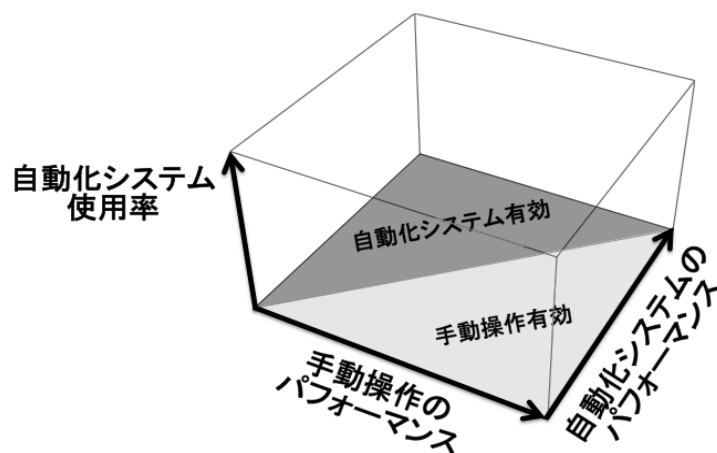


図 2.1 自動化システムと手動操作のパフォーマンスの関係

た、図の後方(濃い灰色の領域)では、ユーザの手動操作よりも自動化システムが高いパフォーマンスを示す領域であり、この領域では、自動化システムに課題遂行を任せることが有効である。このような状況で、自動化システムを使用せずに、ユーザ自らが手動操作を行うことは、自動化システムの過少使用と評価される。以下では、図2.1で示した内容に基づいて自動化システム過剰使用または過少使用とパフォーマンス変化に対する鋭敏性の評価指標について述べる。

## 2.2.2 自動化システム使用傾向の評価指標

図2.2は、適切な自動化システム使用、自動化システム過剰使用傾向、そして自動化システム過少使用傾向を示した自動化システム使用率の曲面を示している。図2.2aは、ユーザが、自動化システムを過剰使用または過少使用せずに、自動化システムの使用または未使用の選択を行った際に示される自動化システム使用率の曲面である。ユーザが、自動化システムとユーザの手動操作のパフォーマンスの優劣関係に応じて、自動化システム使用または未使用の選択を行ったとき、ユーザの手動操作よりも自動化システムの方が高いパフォーマンスを示す状況では、自動化システムが積極的に使用され、その結果、自動化システム使用率は上昇する。また、自動化システムよりもユー

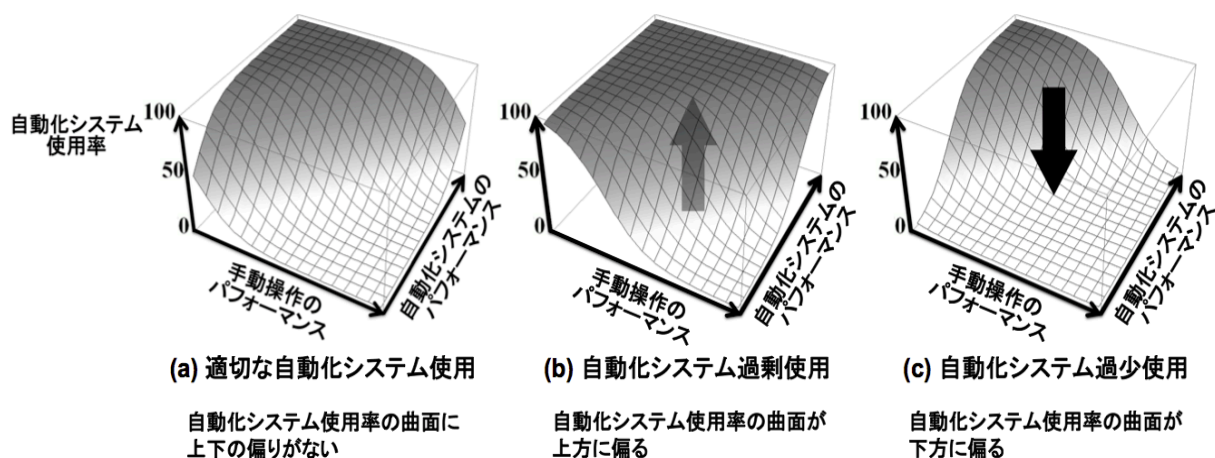


図 2.2 自動化システム使用傾向

ザの手動操作の方が高いパフォーマンスを示す状況では、ユーザ自らが手動操作により課題を行い、その結果、自動化システム使用率は減少する。このような自動化システム使用率の曲面が確認されれば、ユーザは、適切に自動化システム使用または未使用の選択を行ったと評価される。

図 2.2b は、ユーザが、自動化システムの過剰使用傾向を示した際の自動化システム使用率の曲面である。ユーザが、自動化システムの過剰使用傾向を示したとき、ユーザの手動操作よりも自動化システムの方が高いパフォーマンスを示す状況だけではなく、自動化システムよりもユーザの手動操作の方が高いパフォーマンスを示す状況でも、ユーザは自動化システムを積極的に使用し、その結果、自動化システム使用率の曲面全体が上方に偏る。このような自動化システム使用率の曲面が確認されれば、ユーザは、自動化システムを過剰使用する傾向にあったと評価される。

また、図 2.2c は、ユーザが、自動化システムの過少使用傾向を示した際の自動化システム使用率の曲面である。ユーザが、自動化システムを過少使用したとき、自動化システムよりもユーザの手動操作の方が高いパフォーマンスを示す状況だけではなく、ユーザの手動操作よりも自動化システムの方が高いパフォーマンスを示す状況でも、ユーザは、自動化システムを使用せずに手動操作により課題を行い、その結果、自動化システム使用率の曲面全体が下方に偏る。このような自動化システム使用率の曲面が確認されれば、ユーザは、自動化システムを過少使用する傾向にあったと評価される。

このように、参加者が自動化システムを過剰使用する傾向と過少使用する傾向は、自動化システム使用率を示す曲面の上下の位置によって評価を行うことが可能である。

### 2.2.3 パフォーマンス変化に対する鋭敏性の評価指標

本研究では、自動化システムのパフォーマンス変化だけではなく、ユーザの手動操作のパフォーマンス変化も考慮して、ユーザは、どちらのパフォー

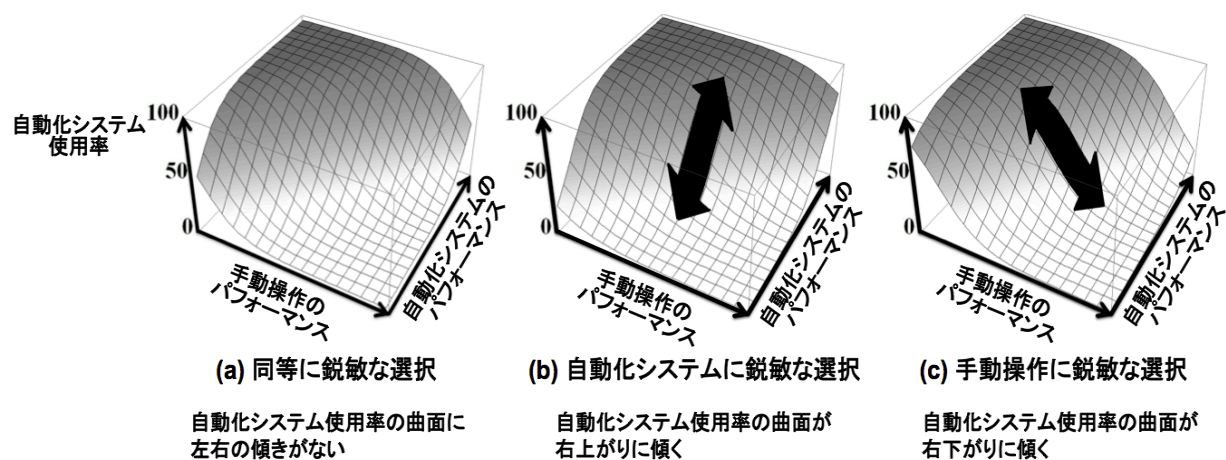


図 2.3 パフォーマンス変化に対する鋭敏性

パフォーマンス変化に基づいて自動化システム使用または未使用の選択を変更するの  
かを判別するための指標を確立した。図 2.3 は、自動化システムとユーザの手  
動操作のパフォーマンス変化に対する鋭敏性を示す自動化システム使用率の  
曲面である。

図 2.3a は、ユーザが、自動化システムとユーザ自身の手動操作の両方のパ  
フォーマンス変化に基づいて、同等に自動化システムの使用または未使用の  
選択を変更したときに示される自動化システム使用率の曲面である。このと  
き、自動化システムとユーザの手動操作のパフォーマンス変化に対して、自  
動化システム使用率の変化は同等になり、その結果、自動化システム使用率  
の曲面に左右の傾きは生じない。本研究では、このようなパフォーマンス変  
化に対するユーザの自動化システムの使用または未使用の選択を、同等に鋭  
敏な選択と定義する。

図 2.3b は、ユーザが、ユーザ自身の手動操作よりも自動化システムのパ  
フォーマンス変化に基づいて、自動化システムの使用または未使用の選択  
を変更したときに示される自動化システム使用率の曲面である。このとき、  
ユーザの手動操作よりも、自動化システムのパフォーマンス変化に対する自  
動化システム使用率の変化が大きくなり、その結果、自動化システム使用率  
の曲面は右上がりに傾く。本研究では、このようなパフォーマンス変化に対

する自動化システムの使用または未使用の選択の変更を，自動化システムに鋭敏な選択と定義する．

また，図 2.3c は，ユーザが，自動化システムよりもユーザ自身の手動操作のパフォーマンス変化に基づいて，自動化システムの使用または未使用の選択を行ったときに示される自動化システム使用率の曲面である．このとき，自動化システムよりもユーザの手動操作のパフォーマンス変化に対する自動化システム使用率の変化が大きくなり，その結果，自動化システム使用率の曲面は右下がりに傾く．本研究では，このようなパフォーマンス変化に対する自動化システムの使用または未使用の選択の変更を，手動操作に鋭敏な選択と定義する．

このようにパフォーマンス変化に対する鋭敏性は，自動化システム使用率を示す曲面の左右の傾きによって評価される．

本研究では，ユーザの自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連について2つの点に注目して検討を行った．第1の検討内容は，適切な自動化システム使用が行われるとき，ユーザは，自動化システムと手動操作のパフォーマンス変化に対して同等に鋭敏であるかという点である．第2の検討内容は，自動化システムの過剰使用を示すユーザと自動化システムの過少使用を示すユーザで，パフォーマンス変化に対する鋭敏性はどのように異なるかという点である．

## 2.3 実験課題

本研究では，飛行機，船や自動車などにおける自動操縦システムを想定し，自動化システムとユーザの手動操作による課題遂行が可能な追従課題を作成した．この課題を使用して，先に定義した自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性の評価を行った．以下では，本研究で利用した実験課題について説明する．

### 2.3.1 課題の基本設定

本研究では，線課題と道課題の2種類の追従課題を実験で利用した(図2.4)．線課題では，参加者はカーソルビークルで路線の追従を行った．カーソルビークルが路線から離れると操作失敗となり，課題の得点が減点された．また，道課題では，参加者はドットビークルで道の追従を行った．ドットビークルが道の壁にぶつくと操作失敗となり，課題の得点が減点された．

各課題において，参加者は，自動化システムに課題を任せる Auto モードと，参加者自らが手動操作により課題を行う Manual モードのいずれかを選択することが可能であった．Auto モードでは，自動化システムがビークルの操作を遂行し，また，Manual モードでは，参加者はキーボード上の左右の矢印

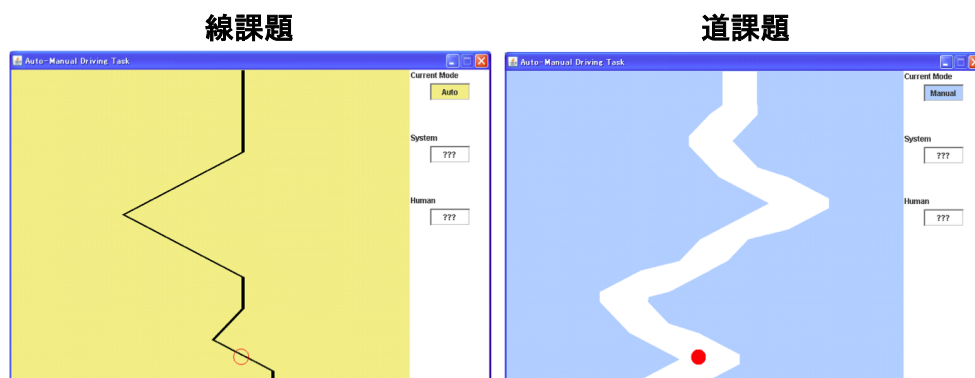


図 2.4 線課題と道課題

キーを押してビークルの操作を行った。参加者は、スペースキーを押すことによって、モードの切り替えを行うことが可能であった。

2種類の追従課題の相違点として、線課題では、カーソルビークルが線から外れたときに、カーソルビークルは線から離れ続けるため、AutoモードとManualモードのパフォーマンスが、線からの逸脱度として明確に視覚化された。また、道課題では、ドットビークルが壁に衝突したときに、ドットビークルが壁を超えることはなく壁の内側に跳ね返されるため、線課題と比較して、AutoモードとManualモードのパフォーマンスが明確に視覚化されることはなかった。

本研究では、上記の2つの検討内容に加えて、パフォーマンスの視認性の異なる2種類の課題を用いて、これら2種類の課題が、自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性に与える影響について検討を行った。

### 2.3.2 自動化システムと手動操作の能力の設定

これらの課題では、AutoモードとManualモードのパフォーマンスを変化させるために、各モードの能力を実験的に操作した(図2.5)。具体的には、Autoモードの能力( $Ca$ : Automation capability)とManualモードの能力( $Cm$ : Manual capability)に各5水準(30, 40, 50, 60, 70)の能力値を設け、課題遂行中に、両モードの能力値が独立して変化するように設定した。

$Ca$ と $Cm$ の能力値は、AutoモードとManualモードによるビークルへの操作命令が、ビークルに反映される確率として与えられた。通常、AutoモードとManualモードによるビークルの操作は、50Hzのサンプリングレートでビークルに反映されように設定された。しかし、 $Ca$ の値が30のとき、完璧な操作を行うシステムによる操作命令は30%しかビークルに反映されなかった。反映されない残り70%の操作命令は、実験システムに操作命令なしとして受け付けられた。このとき、Autoモードで路線または道を追従することが困難であり、参加者は、Autoモードのパフォーマンスが低いことを認識することが

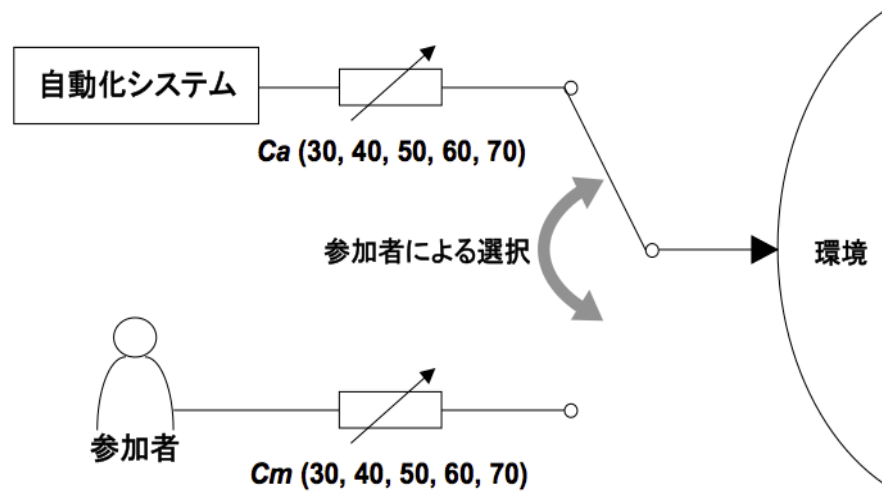


図 2.5 Auto モードと Manual モードの能力の設定

可能であった。

これと同様に、 $Cm$  の値が 30 のとき、Manual モードによる参加者の操作命令は 30% しかビークルに反映されなかった。反映されない残り 70% の操作命令は、実験システムに操作命令なしとして受け付けられた。このとき、参加者が Manual モードで完璧な操作を行ったとしても、路線または道を追従することが困難であり、参加者は、Manual モードのパフォーマンスが低いことを認識することが可能であった。

このように、 $Ca$  と  $Cm$  の値が高いほど、各モードで路線または道をスムーズに追従することが可能であった。

## 2.4 実験 1

### 2.4.1 目的

2 種類の追従課題では，Auto モードの能力 ( $C_a$ ) と Manual モードの能力 ( $C_m$ ) はそれぞれ 5 水準 (30, 40, 50, 60, 70) で変動するように設定された．しかし，両課題において， $C_a$  と  $C_m$  の値が等しいときに，Auto モードと Manual モードで同等のパフォーマンスが示されることは保証されていなかった．

実験 1 の目的は，線課題と道課題の両方で， $C_a$  と  $C_m$  の 5 水準 (30, 40, 50, 60, 70) の各値における Auto モードと Manual モードのパフォーマンスを測定し，両モードが示すパフォーマンスの関係式を算出することであった．

後の実験 2 では，実験 1 で算出された関係式を使用して， $C_a$  と  $C_m$  の値が等しいときに，Auto モードと Manual モードで同等のパフォーマンスが示されることを保証した上で，自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性の評価を行った．

### 2.4.2 方法

#### 参加者

参加者は大学生 132 名である．内 65 名は線課題を行い，67 名は道課題を行った．

#### 実験課題

先に述べた 2 種類の追従課題を使用して実験を行った．

#### 装置

すべての課題は Microsoft Windows が稼動するコンピュータ上で実施した．

### 手続き

Auto モードと Manual モードのパフォーマンスは、個別に測定された。まず、Manual モードのパフォーマンスの測定を行うため、参加者に、Manual モードのみを使用して課題を行わせた。各課題では、 $Cm$  の5水準 (30, 40, 50, 60, 70) を各4試行ずつランダムな順序で行い、合計20試行を行った。各試行は40秒で切り替わるよう設定し、試行が切り替わる際、画面中央に「操作能力が変更されました」と表示した。それと同時に、全20試行中の何試行が終了したかを表示した。課題を行う前に、参加者には、手動操作の練習として、 $Cm$  が100の状態課題を1試行行わせた。なお、実験を通して、参加者には  $Cm$  の値は表示しなかった。参加者には、できる限り高い得点を獲得することが求められ、課題終了時には、課題の得点を表示した。

次に、Manual モードのパフォーマンスの測定とは別に、Auto モードのパフォーマンスの測定を行うため、Auto モードのみを使用して各課題を行った。この測定では、Auto モードによる課題遂行だけが行われた。各課題では、 $Ca$  の5水準 (30, 40, 50, 60, 70) の各値で、Auto モードによる課題遂行を実施し、 $Ca$  の各値におけるパフォーマンスを測定した。実際には、Auto モードのパフォーマンスを測定するために十分な試行回数として、線課題では65試行、道課題では67試行を実施した。

### 2.4.3 結果

分析では、まず、各課題の参加者ごとに、各試行の Manual モードのパフォーマンスを算出した。具体的には、線課題では、カーソルビークルが路線を追従していた時間を各試行時間 (40 秒) で割って算出し、道課題では、ドットビークルが壁に衝突せずに道を追従していた時間を各試行時間 (40 秒) で割って算出した。次に、各課題で、各  $Cm$  の値における参加者全体の Manual モードのパフォーマンスの平均値を算出した。具体的には、線課題では、各  $Cm$  の値で

260 データセット (参加者 65 名 × 4 試行) の平均値を算出し，道課題では，268 データセット (参加者 67 名 × 4 試行) の平均値を算出した．

また，Auto モードのパフォーマンスに関しても，同様の手続きで分析を行い，線課題では，各  $Ca$  の値で 65 データセットの平均値を算出し，道課題では，67 データセットの平均値を算出した．

さらに，各課題で，Manual モードに関しては，各  $Cm$  の値におけるパフォーマンスの平均値に線形近似を行い，また，Auto モードに関しては，各  $Ca$  の値におけるパフォーマンスの平均値に線形近似を行った．線形近似を行った際に算出された線形近似式を以下に示す．図 2.6 は，各課題の  $Ca$  と  $Cm$  の各値における Auto モードと Manual モードのパフォーマンスの平均値と線形近似を行った結果を示す．

#### 線課題

Auto モードのパフォーマンス ( $P$ )

$$P = 1.235Ca + 11.766 \quad (2.1)$$

Manual モードのパフォーマンス ( $P$ )

$$P = 1.049Cm + 14.521 \quad (2.2)$$

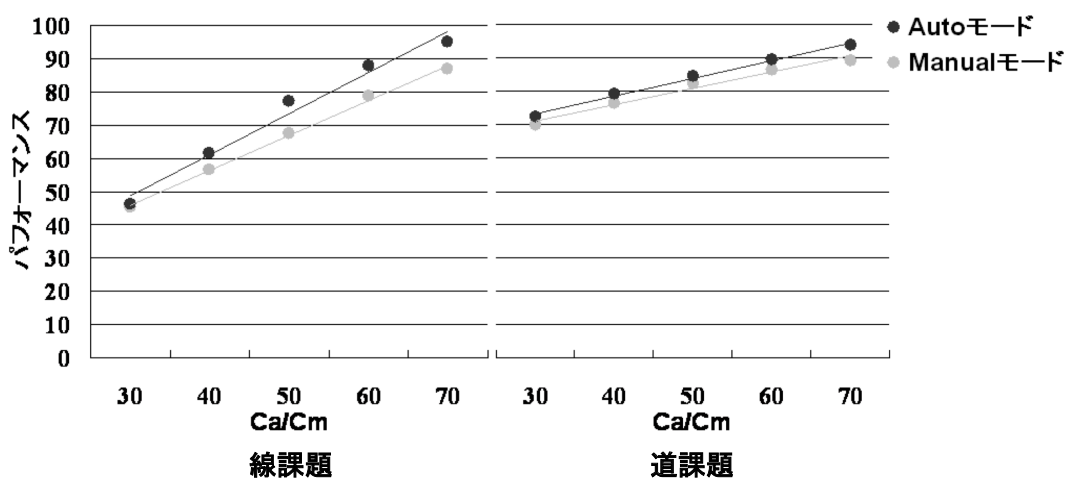


図 2.6 線課題と道課題における Auto モードと Manual モードのパフォーマンス

道課題

Auto モードのパフォーマンス ( $P$ )

$$P = 0.530Ca + 57.315 \quad (2.3)$$

Manual モードのパフォーマンス ( $P$ )

$$P = 0.488Cm + 56.389 \quad (2.4)$$

最後に、課題ごとに算出された Auto モードと Manual モードのパフォーマンスの線形近似式から、各課題におけるパフォーマンスの関係式を算出した。算出された関係式を以下に示す。

線課題

$$Cm = 1.177Ca - 2.626 \quad (2.5)$$

道課題

$$Cm = 1.086Ca + 1.897 \quad (2.6)$$

分析の結果、線課題と道課題で、 $Ca$  と  $Cm$  の値が等しいときでも、Manual モードよりも、Auto モードのパフォーマンスが高いことが示された。このような結果が示された理由として、Auto モードでは、自動化システムが常に完璧な操作命令をビークルに与えるのに対して、Manual モードでは、手動操作におけるエラーや疲労などのヒューマンファクターが原因となり、参加者は、常に完璧な操作を行うことができず、両モードにおけるパフォーマンスに差が生じたと考えられる。

後の実験2では、実験1で算出された関係式を使用して自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性の評価を行った。

## 2.5 実験 2

### 2.5.1 目的

実験 1 では、2 種類の追従課題における Auto モードと Manual モードのパフォーマンスの測定を行い、両モードにおけるパフォーマンスの関係式を算出した。実験 2 では、分析の際に実験 1 で算出された関係式を使用して、Auto モードと Manual モードの能力値が同等であるときに、Auto モードと Manual モードのパフォーマンスが同等となることを保証した上で、自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性の関連について検討を行った。実験 2 の目的は、Auto モードと Manual モードのパフォーマンスを考慮して、自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性の評価を行い、両者の関連について実験的に検討することであった。

### 2.5.2 方法

#### 参加者

参加者は大学生 27 名である。参加者全員が線課題と道課題の両方を行った。課題を実施する順序は、参加者間でカウンターバランスをとった。

#### 実験課題

先に述べた 2 種類の追従課題を使用して実験を行った。

#### 装置

すべての課題は Microsoft Windows が稼動するコンピュータ上で実施した。

#### 手続き

参加者には、Auto モードと Manual モードの両方のモードが切り替え可能な状態で各課題を行わせた。実験では、各課題につき、 $5(C_a : 30, 40, 50, 60, 70) \times 5(C_m : 30, 40, 50, 60, 70)$  の全 25 試行を実施した。 $C_a$  と  $C_m$  の値は、ラン

ダムな順序で組み合わせた。各試行は40秒で切り替わるよう設定し、試行が切り替わる際、画面中央に「操作能力が変更されました」と表示した。課題を行う前に40秒の試行を2試行実施して、参加者には、手動操作の練習とAutoモードとManualモードの切り替えの練習を行わせた。なお、実験を通して、参加者には  $Ca$  と  $Cm$  の値は表示しなかった。参加者には、できる限り高い得点を獲得することが求められ、課題終了時には、課題の得点を表示した。また、各課題を実施した後に、AutoモードとManualモードへの信頼性評価のアンケートを実施した。アンケートでは、参加者に、AutoモードとManualモードの信頼性について7段階の評価を行わせた(1: Autoモードの方が非常に信頼できた, 2: Autoモードの方がわりと信頼できた, 3: Autoモードの方がやや信頼できた, 4: どちらでもない, 5: Manualモードの方がやや信頼できた, 6: Manualモードの方がわりと信頼できた, 7: Manualモードの方が非常に信頼できた)。

### 2.5.3 結果

課題遂行中のコンピュータのトラブルにより、参加者4名のデータを分析から除外した。そのため、参加者23名のデータを分析に用いた。

分析では、まず、参加者ごとに、各課題の  $Ca(5 \text{ 水準}) \times Cm(5 \text{ 水準})$  の各組み合わせにおけるAutoモード使用率を算出した。具体的には、各課題の各試行で、参加者がAutoモードを使用していた時間を各試行時間(40秒)で割って算出した。次に、 $Ca(5 \text{ 水準}) \times Cm(5 \text{ 水準})$  の各組み合わせにおける参加者全体のAutoモード使用率の平均値を算出した。最後に、算出された参加者全体のAutoモード使用率の平均値にロジスティック近似を行った。ロジスティック近似を行った結果、Autoモード使用率の近似値は以下で与えられた。

線課題におけるAutoモード使用率 ( $Pa$ )

$$Pa = 100 \times 1 / (1 + e^{-(0.505 + 0.042Ca - 0.046Cm)}) \quad (2.7)$$

道課題における Auto モード使用率 ( $Pa$ )

$$Pa = 100 \times 1 / (1 + e^{-(1.317 + 0.022Ca - 0.044Cm)}) \quad (2.8)$$

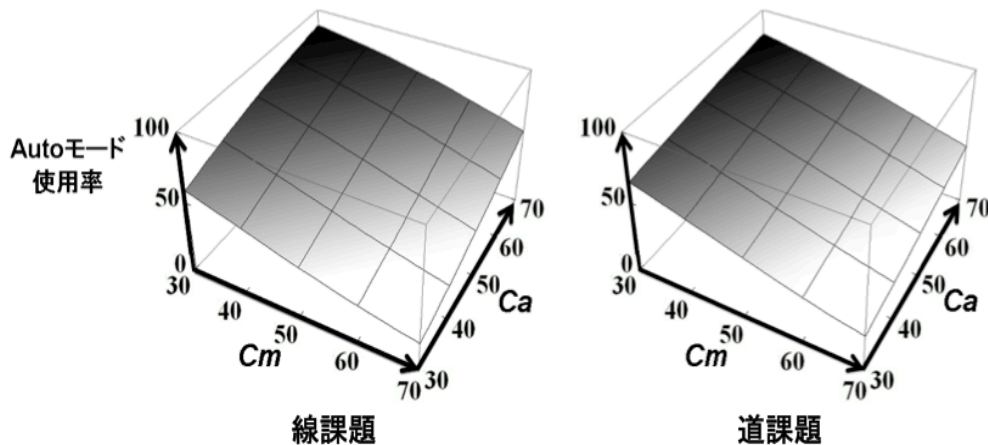


図 2.7 線課題と道課題における Auto モード使用率の推定曲面

図 2.7 は，各課題でロジスティック近似式 (2.7, 2.8) により計算された Auto モード使用率の推定曲面を示す．観察された Auto モード使用率とロジスティック近似により推定された曲面との適合度を評価するために Hosmer-Lemeshow 検定を実施した．Hosmer-Lemeshow 検定では，Auto モード使用率の実測値とロジスティック近似式から計算された推定値の適合度を評価し，両値が適合するという帰無仮説が棄却されなければ，ロジスティック近似式により計算された推定曲面は有効であると認められる．検定の結果，線課題 ( $p = .89$ ) と道課題 ( $p = .97$ ) の両課題で有意差はみられず，ロジスティック近似式により計算された Auto モード使用率の曲面は有効であることが示された．また，図 2.8 は，実測された Auto モード使用率の平均値と推定曲面の断面図を示す．図 2.8 から，Auto モード使用率の平均値に対する推定曲線の逸脱度は低いことが確認された．

#### 自動化システム使用傾向の評価

自動化システム使用傾向の評価に関して， $Ca$  と  $Cm$  の各値が 50 の箇所における Auto モード使用率を用いて，推定曲面の上下の偏りについて検討を行っ

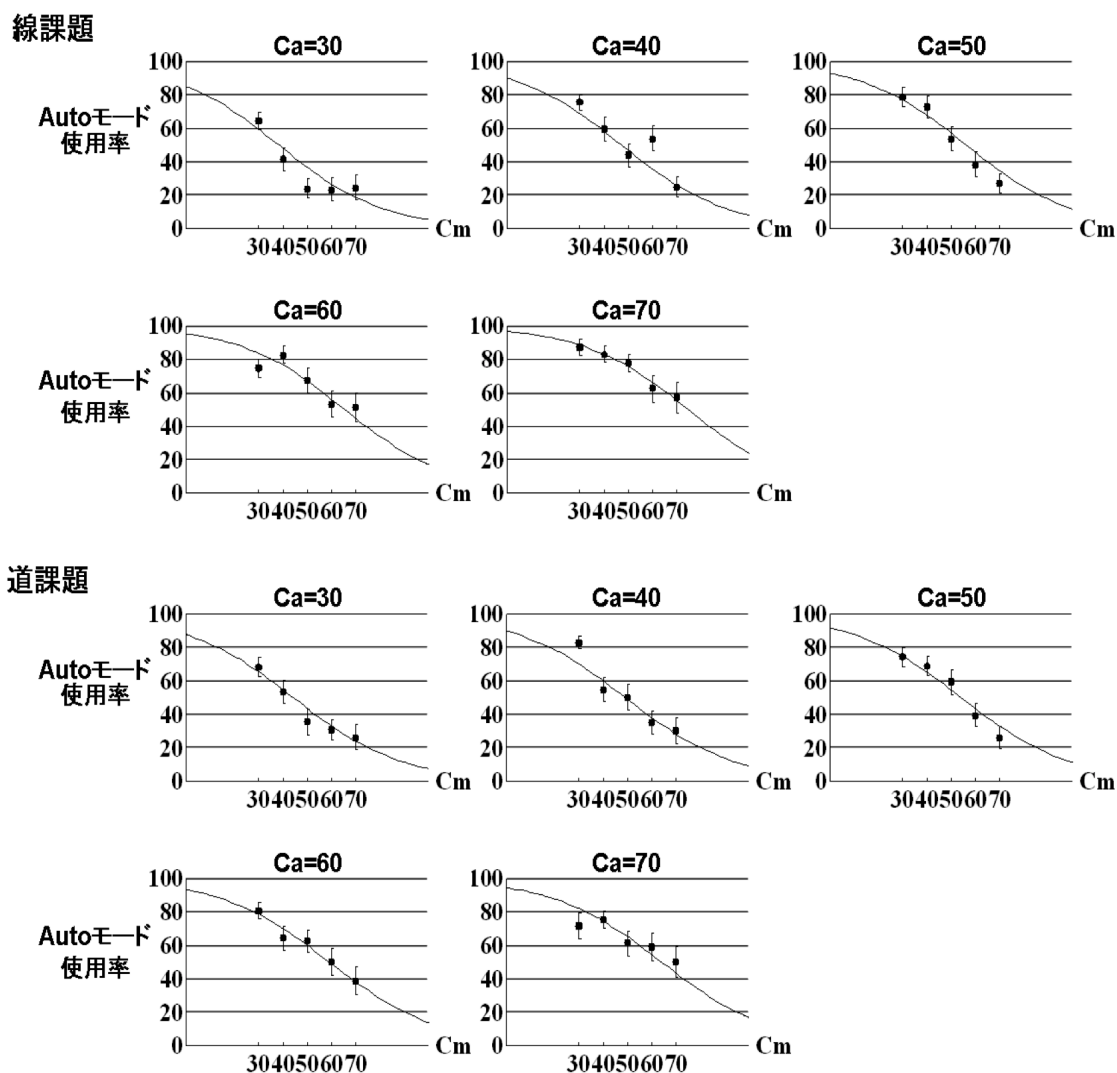


図 2.8 線課題と道課題における Auto モード使用率の平均値と推定曲面の断面.  $Ca$  の値ごとに, Auto モード使用率の平均値とロジスティック近似により推定された曲線を示す. 縦軸は Auto モード使用率, 横軸は  $Cm$  の各値, エラーバーは Auto モード使用率の標準誤差を示す.

た.  $Ca$  と  $Cm$  の各値が 50 の箇所は, 推定曲面全体の中心であり, この箇所での Auto モード使用率に基づいて, 推定曲面全体の上下の偏りを評価することが可能である.

図 2.1 で示されたように, この中心の前後の領域で Auto モード使用の有効性が異なる. 参加者が, Auto モードと Manual モードの切り替えを適切に行えば, 推定曲面の中心より前方 ( $Ca < Cm$ ) の領域では Auto モード使用率は減少

し、後方 ( $Ca > Cm$ ) の領域では Auto モード使用率は上昇する。その際、推定曲面の中心における Auto モード使用率は、上下のいずれにも偏らず、50 前後に落ち着く。従って、推定曲面の中心における Auto モード使用率が 50 前後であれば、参加者は、適切な自動化システム使用を行ったと評価される。また、推定曲面の中心における Auto モード使用率が 50 を上回れば、Auto モードの使用が有効ではない状況で Auto モードが積極的に使用されたことから、自動化システム過剰使用と評価される。また、推定曲面の中心における Auto モード使用率が 50 を下回れば、Auto モードの使用が有効な状況で Auto モードが使用されず、Manual モードが積極的に使用されたことから、自動化システム過少使用と評価される。

#### パフォーマンス変化に対する鋭敏性の評価

パフォーマンス変化に対する鋭敏性に関しては、Hosmer & Lemeshow (1989) に基づいて、ロジスティック近似式から算出される  $Ca$  のオッズ比の  $Cm$  のオッズ比を用いて、推定曲面の左右の偏りについて検討を行った。 $Ca$  のオッズ比は、 $Ca$  の値の変化に伴う Auto モード使用率の変化量を示す。また、 $Cm$  のオッズ比は、 $Cm$  の変化に伴う Auto モード使用率の変化量を示す。そして、 $Ca$  のオッズ比と  $Cm$  のオッズ比を比較することによって、参加者は、 $Ca$  と  $Cm$  のどちらの変化に基づいて Auto モード使用または未使用の選択を行っていたかを評価することができる。具体的には、 $Ca$  のオッズ比と  $Cm$  のオッズ比の積を算出し、その値が 1 を上回るか、1 を下回るかを評価する。

$Ca$  のオッズ比と  $Cm$  のオッズ比の積が 1 であれば、 $Ca$  と  $Cm$  の変化に対する Auto モード使用率の変化は同等であることを示す。そのため、参加者は、 $Ca$  と  $Cm$  の両方の変化に対して同等に Auto モードと Manual モードの切り替えを行い、同等に鋭敏な選択と評価される。また、 $Ca$  のオッズ比と  $Cm$  のオッズ比の積が 1 を上回れば、 $Cm$  よりも  $Ca$  の変化に伴う Auto モード使用率の変化が大きいことを示す。そのため、参加者は、 $Cm$  よりも  $Ca$  の変化に

基づいて、Auto モードと Manual モードの切り替えを行い、自動化システムに鋭敏な選択と評価される。また、 $Ca$  のオッズ比と  $Cm$  のオッズ比の積が1を下回れば、 $Ca$  よりも  $Cm$  の変化に伴う Auto モード使用率の変化が大きいことを示す。そのため、参加者は、 $Ca$  よりも  $Cm$  の変化に基づいて、Auto モードと Manual モードの切り替えを行い、手動操作に鋭敏な選択と評価される。

#### ロジスティック近似式の補正

表 2.1 は、各課題における  $Ca$  と  $Cm$  の値が 50 の箇所の Auto モード使用率、 $Ca$  のオッズ比と  $Cm$  のオッズ比、そして、 $Ca$  のオッズ比と  $Cm$  のオッズ比の積を示す。これらの値は、ロジスティック近似式 (2.7, 2.8) から算出された。しかし、ロジスティック近似式 (2.7, 2.8) では、 $Ca$  と  $Cm$  の値が同じでも、Auto モードと Manual モードのパフォーマンスが同等である保証はされていない。そこで、実験 1 で算出された関係式を用いて、ロジスティック近似式 (2.7, 2.8) の補正を行った。具体的な、補正ロジスティック近似式の算出方法は付録 A に記載する。補正ロジスティック近似式を用いることによって、 $Ca$  の値と  $Cm$  の補正值が同じ値のときに、Auto モードと Manual モードのパフォーマンスが同等であることが保証された。表 2.1 では、補正 Auto モード使用率は、補正ロジスティック近似式から算出された  $Ca$  の値と  $Cm$  の補正值である  $Cm'$  が 50 の箇所の Auto モード使用率を示す。また、 $Cm'$  のオッズ比は、補正ロジスティック近似式から算出された  $Cm'$  の変化に伴う補正 Auto モード使用率の変化量を示す。本研究では、補正ロジスティック近似式から算出された補正 Auto モード使用率に基づいて、自動化システム使用傾向の評価を行い、 $Ca$  のオッズ比と  $Cm'$  のオッズ比の積に基づいて、パフォーマンス変化に対する鋭敏性の評価を行った。

#### 自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性の評価

まず、適切な自動化システム使用が行われるとき、ユーザは、自動化システムと手動操作のパフォーマンス変化に対して同等に鋭敏な選択を示すの

表 2.1 各課題における Auto モード使用率,  $Ca$  のオッズ比と  $Cm$  のオッズ比, そして  $Ca$  のオッズ比と  $Cm$  のオッズ比の積.

課題	Auto モード 使用率	補正 Auto モード 使用率	$Ca$ の オッズ比	$Cm$ の オッズ比	$Cm'$ オッズ比	$Ca$ のオッズ比と $Cm$ のオッズ比の積	$Ca$ のオッズ比と $Cm'$ のオッズ比の積
線課題	57.245	50.055	1.522	0.629	0.579	0.958	0.882
道課題	54.603	47.652	1.248	0.638	0.614	0.797	0.767

かという第 1 の検討内容について検討を行う. 表 2.1 より, 両課題で, 補正ロジスティック近似式から算出された補正 Auto モード使用率は 50 前後に落ち着いた. 従って, 両課題で, 参加者は適切に Auto モードと Manual モードの切り替えを行ったことが明らかとなった. 次に参加者全体のパフォーマンス変化に対する鋭敏性の評価を行った. 表 2.1 より, 両課題で,  $Ca$  のオッズ比と  $Cm'$  のオッズ比の積は 1 を下回った, 従って, 両課題で, 参加者は, Auto モードよりも Manual モードのパフォーマンス変化に基づいて, Auto モードと Manual モードの切り替えを行ったことが示された. 参加者は, 線課題では  $1.133(= 1/0.882)$  倍, 道課題では  $1.303(= 1/0.767)$  倍 Auto モードよりも Manual モードの変化に鋭敏であった. これらの結果から, Auto モードと Manual モードのパフォーマンスの優劣関係に応じて, 適切な Auto モードの使用が行われるとき, 参加者は, 手動操作に鋭敏な選択を行ったことが明らかとなった.

また, 線課題と道課題で, Auto モードと Manual モードのパフォーマンス変化に対する鋭敏性を比較すると, 線課題よりも, 道課題で  $Ca$  のオッズ比と  $Cm'$  のオッズ比の積は小さいことから, 参加者は, Auto モードと Manual モードのパフォーマンスが明確に視覚化される線課題よりも, パフォーマンスが明確に視覚化されない道課題で, 手動操作に鋭敏な選択を行ったことが明らかとなった.

次に, 自動化システムの過剰使用を示すユーザと自動化システムの過少使用を示すユーザで, パフォーマンス変化に対する鋭敏性はどのように異なるかという第 2 の検討内容について検討を行う. この検討を行うために, 参加者全体を Auto モード過剰使用群と Auto モード過少使用群の 2 群に分けて,

両群のパフォーマンス変化に対する鋭敏性の比較を行った．具体的には，まず，各課題で，参加者の Auto モード使用率の中央値を基準に，参加者全体を 2 群に分けた．従って，各課題の Auto モード過剰使用群と Auto モード過少使用群の参加者は 11 名であった．次に，各課題の各群で，Auto モード使用率の平均値を算出し，各群の Auto モード使用率の平均値にロジスティック近似を行った．ロジスティック近似を行った結果，Auto モード使用率の近似値は以下で与えられた．

#### 線課題

Auto モード過剰使用群における Auto モード使用率 ( $Pa$ )

$$Pa = 100 \times 1 / (1 + e^{-(0.249 + 0.047Ca - 0.034Cm)}) \quad (2.9)$$

Auto モード過少使用群における Auto モード使用率 ( $Pa$ )

$$Pa = 100 \times 1 / (1 + e^{-(0.522 + 0.045Ca - 0.062Cm)}) \quad (2.10)$$

#### 道課題

Auto モード過剰使用群における Auto モード使用率 ( $Pa$ )

$$Pa = 100 \times 1 / (1 + e^{-(1.696 + 0.031Ca - 0.047Cm)}) \quad (2.11)$$

Auto モード過少使用群における Auto モード使用率 ( $Pa$ )

$$Pa = 100 \times 1 / (1 + e^{-(1.080 + 0.017Ca - 0.048Cm)}) \quad (2.12)$$

図 2.7 は，各課題でロジスティック近似式により計算された Auto モード使用率の推定曲面を示す．観察された Auto モード使用率とロジスティック近似による推定曲面との適合度を評価するために Hosmer-Lemeshow 検定を実施した．その結果，線課題では Auto モード過剰使用群 ( $p = .94$ ) と Auto モード過少使用群 ( $p = .78$ )，また，道課題では Auto モード過剰使用群 ( $p = .95$ ) と Auto モード過少使用群 ( $p = .93$ ) で有意差はみられず，ロジスティック近似による推定曲面は有効であることが示された．

表 2.2 各課題の各群における Auto モード使用率,  $Ca$  のオッズ比と  $Cm$  のオッズ比, そして  $Ca$  のオッズ比と  $Cm$  のオッズ比の積.

課題	群	Auto モード 使用率	補正 Auto モード 使用率	$Ca$ の オッズ比	$Cm$ の オッズ比	$Cm'$ のオッズ比	$Ca$ のオッズ比と $Cm$ のオッズ比の積	$Ca$ のオッズ比と $Cm'$ のオッズ比の積
線課題	過剰使用	71.054	66.482	1.600	0.711	0.669	1.138	1.071
	過少使用	42.192	33.070	1.578	0.535	0.479	0.845	0.757
道課題	過剰使用	71.490	65.156	1.372	0.623	0.598	0.856	0.821
	過少使用	38.319	31.499	1.189	0.616	0.590	0.732	0.702

表 2.2 は, 各課題における  $Ca$  と  $Cm$  の値が 50 の箇所の Auto モード使用率,  $Ca$  のオッズ比と  $Cm$  のオッズ比, そして,  $Ca$  のオッズ比と  $Cm$  のオッズ比の積を示す. また, 実験 1 で算出された関係式を用いて, ロジスティック近似式 (2.9-2.12) の補正を行った. 具体的な, 補正ロジスティック近似式の算出方法は付録 B に記載する.

まず, 確認のために Auto モード過剰使用群と Auto モード過少使用群の自動化システム使用傾向の評価を行った. 表 2.2 より, Auto モード過剰使用群は, 両課題で, 補正ロジスティック近似から算出された補正 Auto モード使用率は 50 を上回り, Auto モード過剰使用傾向であったことが確認された. 他方, Auto モード過少使用群は, 両課題で, 補正 Auto モード使用率は 50 を下回り, Auto モード過少使用傾向であったことが確認された.

次に, 各群におけるパフォーマンス変化に対する鋭敏性の比較を行った. 表 2.2 より, 課題ごとに Auto モード過剰使用群と Auto モード過少使用群の  $Ca$  のオッズ比と  $Cm'$  のオッズ比の積を比較した. その結果, 各課題で Auto モード過剰使用群よりも Auto モード過少使用群で  $Ca$  のオッズ比と  $Cm'$  のオッズ比の積は小さいことが示された. この結果から, Auto モード過剰使用群よりも Auto モード過少使用群の方が, 各課題で, Auto モード過少使用群の参加者は, Auto モードよりも Manual モードのパフォーマンス変化に鋭敏であり, 手動操作に鋭敏な選択を行ったことが明らかとなった.

また, 各群の線課題と道課題で, Auto モードと Manual モードのパフォーマンス変化に対する鋭敏性を比較すると, それぞれの群の線課題よりも道課題

で、 $Ca$  のオッズ比と  $Cm'$  のオッズ比の積は小さいく、各群の参加者は、Auto モードと Manual モードのパフォーマンスが明確に視覚化される線課題よりも、パフォーマンスが明確に視覚化されない道課題で、手動操作のみに鋭敏であったことが明らかとなった。

### 信頼評定

最後に、この実験で実施した信頼評定のアンケートから、これまでの先行研究 (Lee & Moray, 1994; Lee & See, 2004; Lewandowsky et al., 2000; Muir, 1994) と同様に、参加者の主観評価と行動との関連がみられるか検討を行った。

各課題後に実施した信頼評定に関して、参加者には、Auto モードと Manual モードの信頼性について、7段階の評定を行わせた。その結果、参加者は、全体的に線課題 ( $M = 2.96$ ) と道課題 ( $M = 3.65$ ) で Auto モードを信頼する傾向にあった。次に、信頼評定に関して、2(課題: 線/道)  $\times$  2(群: Auto モード過剰使用傾向/過少使用傾向) の分散分析を行った結果、交互作用はみられず ( $F(1, 10) = 0.20, p = .64$ )、課題要因の主効果もみられなかった ( $F(1, 10) = 3.84, p = .29$ )。しかし、群要因の主効果がみられた ( $F(1, 10) = 16.57, p < .001$ )。図 2.9 は、各課題における Auto モード過剰使用群と Auto モード過少使用傾向群の信頼評定を示す。群要因の主効果から、Auto モード過少使用群よりも Auto モード過

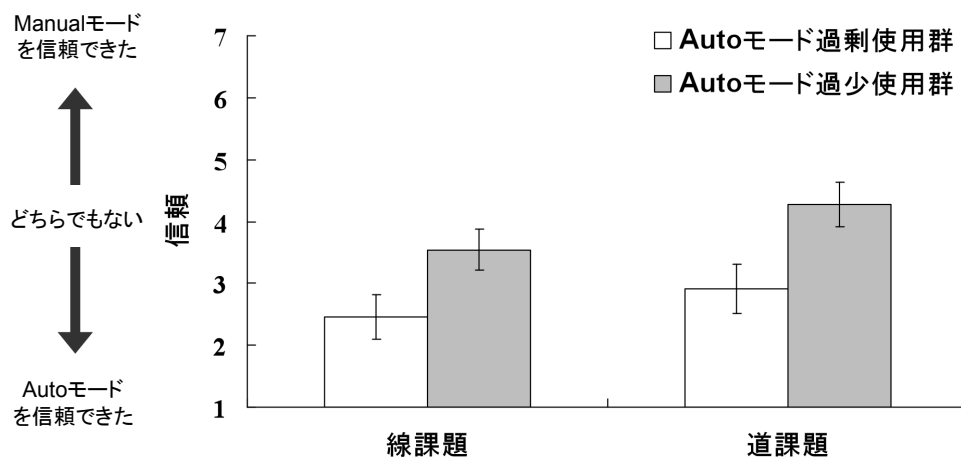


図 2.9 信頼評定

剰使用群の方が，Auto モードを信頼していたことが明らかとなり，先行研究と同様の結果が確認された．

## 2.6 考察

### 2.6.1 手動操作に鋭敏な選択

本研究では、2種類の追従課題を用いて、自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連について実験的検討を行った。その結果、線課題と道課題の両方で、参加者は、Autoモードを過剰使用または過少使用することなく、AutoモードとManualモードのパフォーマンスの優劣関係に応じて、Autoモード使用または未使用を選択した。その際、参加者は、AutoモードよりもManualモードのパフォーマンス変化に鋭敏であったことが明らかとなった。このような結果は、人間の認知容量と状況認識の観点から説明することができる。人間の認知容量には制限がある。また、ユーザは、自動化システムの遂行結果を監視 (Passive monitoring) するよりも、ユーザ自身の手動操作の操作結果を監視 (Active monitoring) する方が高い状況認識を示す (Endsley & Kiris, 1995; Metzger & Parasuraman, 2001; Parasuraman, Mouloua, & Molloy, 1996)。本研究の実験では、参加者は、Autoモードの遂行結果とManualモードの操作結果を監視して、両者の優劣関係に基づいてモードの選択を行う必要があった。しかし、参加者は、認知容量の制限により、Autoモードの遂行結果とManualモードの操作結果を同等に考慮することができなかったと考えられる。つまり、一方のモードにより示されるビークルの挙動を観察し、その挙動を記憶して、その記憶されたビークルの挙動ともう一方のモードにおけるビークルの挙動との比較を行うことは困難であった。そのため、参加者は、両方のモードにおけるビークルの挙動を同等に考慮せず、どちらか一方のモードを重視して、AutoモードとManualモードの切り替えを行ったと考えられる。その際、高い状況認識を示すManualモードにおけるビークルの挙動に偏った評価に基づいてAutoモードとManualモードの切り替えを行ったと考えられる。

### 2.6.2 自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連

自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連について検討するために、線課題と道課題の両方で、参加者全体を Auto モード過剰使用群と Auto モード過少使用群の 2 群に分け、各群におけるパフォーマンス変化に対する鋭敏性の比較を行った。その結果、両課題で、Auto モード過剰使用群よりも Auto モード過少使用群で、Auto モード過少使用系高群の参加者は、Auto モードよりも Manual モードのパフォーマンス変化に鋭敏であることが明らかとなった。自動化システム使用傾向に関して、Lee & See (2004) は、自動化システムのパフォーマンスに応じて、自動化システムに対する信頼の評価を行う能力 (Calibration) には個人差があることを示している。また、パフォーマンス変化に対する鋭敏性に関して、Madhavan & Phillips (2010) は、自動化システムに対する信頼の評価を行う能力の低いユーザは、特に自動化システムのパフォーマンスの上昇に従って、信頼を上昇させることができないことを示している。本研究の実験では、自動化システムに対する信頼の評価能力が低い参加者は、高いパフォーマンスを示す自動化システムに対して高い信頼を持つことができず、自動化システムを過少使用し、その際、自動化システムよりも手動操作のパフォーマンス変化を明確に認識できるため、手動操作のパフォーマンス変化に偏った評価に基づいて、自動化システム使用または未使用の選択を行ったと考えられる。

### 2.6.3 課題の影響

実験 2 の結果、Auto モードと Manual モードのパフォーマンスが明確に視覚化される線課題よりも、パフォーマンスが明確に視覚化されない道課題で、手動操作に鋭敏な選択を行った。その理由として、道課題で参加者は、手動操作におけるドットビークルの制御性に基づいてモードの切り替えを選択し

ていた可能性が考えられる。制御性は、自分の操作が、どの程度操作対象の動作に反映されているかを示す (Metcalf & Greene, 2007)。Metcalf & Greene (2007) は、コンピュータスクリーン上のオブジェクトをマウスにより操作する際、人間は、マウス操作によるオブジェクトの制御性に鋭敏であり、どの程度マウス操作がオブジェクトに反映されているかを適切に評価することが可能であることを示している。本研究の実験における線課題に対して、道課題では、Auto モードと Manual モードのパフォーマンスが明確に視覚化されず、両モードにおけるパフォーマンスを評価することが困難であった。そのため、参加者は、Auto モードと Manual モードのパフォーマンスの評価の困難性を補完するために、ドットビークルの制御性に依存した選択を行い、その結果、線課題よりも道課題で、参加者は、Auto モードよりも Manual モードのパフォーマンス変化に鋭敏であったと考えられる。

## 第3章

# 自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連に関する検討

### 3.1 検討の指針

自動化システムを使用する際、ユーザは、自動化システムの遂行結果とユーザの手動操作の操作結果を監視、比較をして、両方のパフォーマンスの優劣関係に基づいて自動化システムに課題を委任するか、ユーザ自らが課題を遂行するかを選択する。この監視制御におけるユーザの誤った課題委任が自動化システムの過剰使用または過少使用である。また、監視制御におけるユーザの監視が緩慢であれば、自動化システムにエラーが生じた際、そのエラーの見逃しやエラーへの対応の遅れが生じる。本研究では、これらの監視制御におけるユーザの自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連について検討を行った。自動化システム使用傾向に関しては、実験1と2で用いた追従課題の内の線課題を使用して、参加者の自動化システム使用傾向を評価した。また、緩慢な監視に関しては、線課題とは別の課題を用いて参加者の自動化システムのエラーへの対応の遅れ測定し、その対応が遅いほど、参加者の監視は緩慢であったと評価した。その際、2種類の緩慢な監視が生じる課題状況を設定した。第1の課題状況は、自動化システムのエラーに関する情報が、参加者の視界に入らないためにエラーが見逃される焦点化の失敗 (Fixation

failure)が生じる分離画面を使用した状況である。第2の実験条件は、自動化システムのエラーに関する情報が視界に入っているにも関わらず、エラーが見逃される注意の失敗 (Attention failure) が生じる重畳画面を使用した状況である。本研究では、これら2種類の課題状況における参加者の緩慢な監視を考慮して、自動化システム使用傾向との関連について実験的検討を行った。

## 3.2 先行研究からの予測と実験仮説

### 3.2.1 先行研究からの予測

これまでの緩慢な監視に関する先行研究では、緩慢な監視は、自動化システムのエラーの見逃し、または対応の遅れに基づいて評価されてきた

自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連については、それぞれの領域で行われてきた先行研究から、2つの関連性を予測することが可能である。第1の関連性は、自動化システムに対する信頼に基づく関連性である。自動化システム使用傾向に関しては、自動化システムを信頼するユーザほど、自動化システムを過剰使用する傾向にあることが実験的に示されている (Lee & Moray, 1992, 1994; Moray & Inagaki, 2000; Muir & Moray, 1996)。また、緩慢な監視に関しては、自動化システムへの過信が緩慢な監視を招き、自動化システムのエラーへの対応の遅れが生じることが示されている (Parasuraman & Manzey, 2010)。もし、自動化システム使用傾向と緩慢な監視との間に、信頼に基づく関連性があれば、自動化システムを過剰使用するユーザほど、緩慢な監視を行い、自動化システムのエラーへの対応の遅れが顕著になることが考えられる (図 3.1a)。

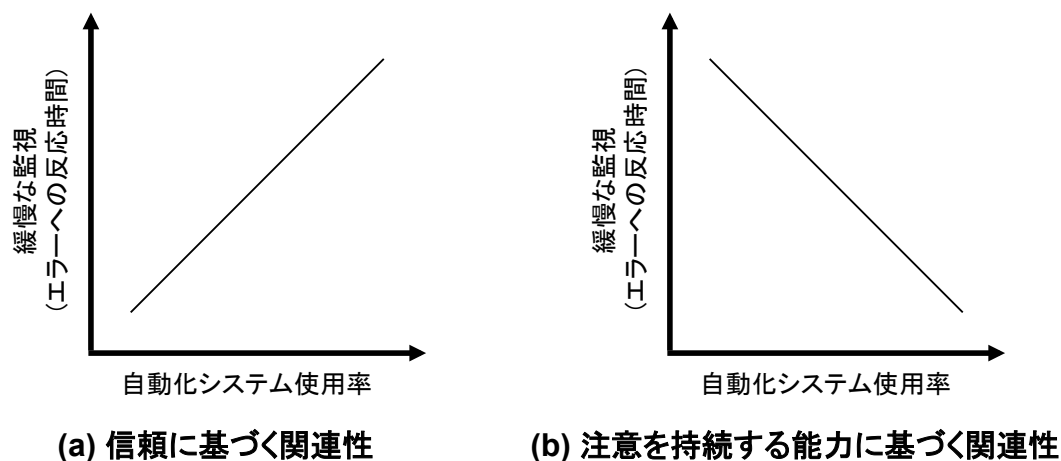


図 3.1 自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連

第2の関連性は、注意を持続する能力 (Vigilance) に基づく関連性である。自動化システム使用傾向に関しては、注意を持続する能力が低いユーザは、自動化システムの遂行結果を監視する際に、注意の低下が著しく、自動化システムの遂行結果を監視し続けることができない。そのため、自動化システムの遂行結果の監視により生じる注意の低下を避けるために、積極的に手動操作を行い、自動化システム過少使用を示すことが実験的に明らかになっている (Rajaonah, Tricot, Anceaux, & Millot, 2008)。また、緩慢な監視に関しては、注意の低下は緩慢な監視を招き、自動化システムのエラーへの対応の遅れが生じることが示されている (Molloy & Parasuraman, 1996)。これらの先行研究から、自動化システム使用傾向と緩慢な監視との間に、注意を持続する能力に基づく関連性があれば、自動化システムを過少使用するユーザほど、緩慢な監視を行い、自動化システムのエラーへの反応の遅れが顕著になることが考えられる (図 3.1b)。

### 3.2.2 実験仮説

緩慢な監視に関する先行研究では、緩慢な監視は、焦点化の失敗と注意の失敗により生じることが示されている (Parasuraman & Manzey, 2010)。焦点化の失敗は、自動化システムの遂行結果が、ユーザの視界に入っていないために生じる自動化システムのエラーの見逃しである。焦点化の失敗は、自動化システムに任せた課題とユーザが手動操作で行う課題が、異なる画面で表示される際に生じる。ユーザが手動操作で行う課題に視線を向けている間、自動化システムの遂行結果はユーザの視界に入らない。そのため、自動化システムにエラーが生じた際も、ユーザはそのエラーを見逃す、または、エラーへの対応が遅れる。緩慢な監視に関する多くの研究は、分離画面を使用した実験を行い、焦点化の失敗が生じることを示している (Metzger & Parasuraman, 2001; Parasuraman et al., 1993; Singh et al., 1993)。

また、注意の失敗は、自動化システムの遂行結果が、ユーザの視界に入っ

ているにも関わらず，その遂行結果に注意を向けていないために生じる緩慢な監視である．注意の失敗は，自動化システムに任せた課題とユーザが手動操作で行う課題が，単一の画面で表示される重畳画面を使用する際に生じる (Duley et al., 1997)．

Duley et al. (1997) は，航空機操縦課題を使用して，分離画面と重畳画面における自動化システムのエラーの見逃し，または対応の遅れについて実験的に検討を行った．図 3.2 は，Duley et al. (1997) の実験で使用された航空機操縦課題を示す．分離画面では，上方にエンジン調整画面，左下に燃料調整画面，右下に航空機操縦画面が表示される．重畳画面では，上方にエンジン調整画面と航空機操縦画面が重ねて表示され，下方に燃料調整画面が表示された．前述のように，分離画面を使用する際，ユーザは，自動化システムが遂行する課題よりも，ユーザ自身が手動操作で行う課題に注意を向ける傾向にあり，自動化システムにエラーが生じたときに，エラーの見逃しやエラーへの対応の遅れが顕著に現れることが知られている．そのため，Duley et al. (1997) の実験では，重畳画面を使用する際，自動化システムの遂行結果はユーザの視界に入っているため，分離画面を使用して課題を行うよりも，自動化システムのエラーの見逃しや，エラーへの対応の遅れが抑制されることが期待された．しかし，実験の結果，重畳画面を使用したときも，分離画面を使用したと

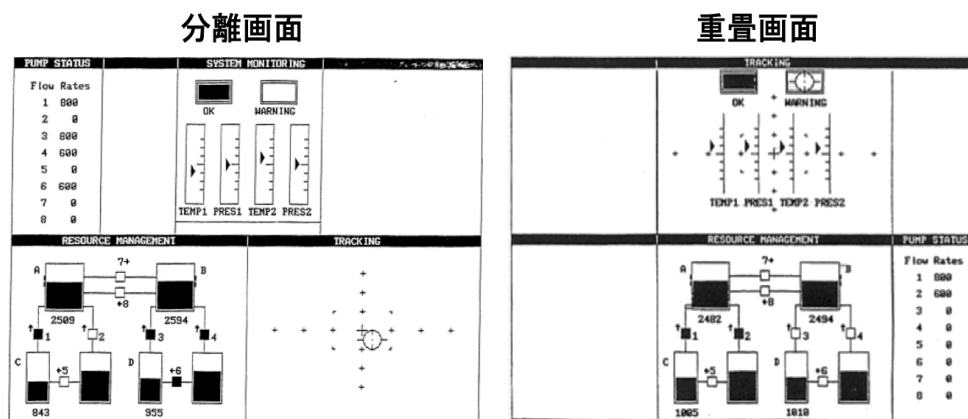


図 3.2 Duley, Westerman, Molloy, & Parasuraman (1996) で使用された航空機操縦課題

きと同様に、自動化システムのエラーの見逃しやエラーへの対応の遅れが示されることが明らかにされた。

これらの先行研究から、自動化システムが遂行する課題とユーザが手動操作で行う課題が分離画面で表示されるとき、すなわち焦点化の失敗が生じる課題状況では、ユーザが意図的に自動化システムの状態を監視しない限り、自動化システムの遂行結果はユーザの視界に入らない。このような状況では、ユーザが自動化システムの遂行結果を監視する頻度は、ユーザが自動化システムに対して持つ信頼に依存して決定される (Parasuraman & Manzey, 2010)。つまり、自動化システムを信頼するユーザほど、自動化システムの遂行結果を監視しない傾向にあり、自動化システムのエラーの見逃しや対応の遅れが生じやすくなる。このことから、分離画面を使用する際、自動化システム使用傾向と緩慢な監視との間に、自動化システムへの信頼を媒介した関連性がみられることが予測される。これより、以下の仮説1が導出される。

仮説1: 分離画面を使用する際、自動化システム過剰使用傾向のユーザほど、緩慢な監視を行い、自動化システムのエラーへの対応が遅れる。

また、自動化システムに任せた課題と手動操作で行う課題が重畳画面で表示されるとき、すなわち注意の失敗が生じる状況では、自動化システムの遂行結果は常にユーザの視界に入っている。このような状況では、注意を高く保つことが、視界に入っている事象の変化に気づきを促進することが示されている (Simons & Ambinder, 2005)。つまり、注意の低下が著しいユーザほど、自動化システムのエラーを検出することが困難になり、自動化システムのエラーの見逃しや対応の遅れが生じやすくなると考えられる。このことから、重畳画面を使用する際、自動化システム使用傾向と緩慢な監視との間に、注意を持続する能力を媒介した関連性がみられることが予測される。これより、以下の仮説2が導出される。

仮説2: 重畳画面を使用する際、自動化システム過少使用傾向のユーザほど、緩慢な監視を行い、自動化システムのエラーへの対応が遅れる。

航空機や船を操縦する際、自動化システムとユーザは複数の課題を分担して行う。その際、ユーザが遂行する課題と自動化システムに課題遂行を任せた課題は、分離画面上に個別に表示されることがこれまで一般的であった。しかし、自動化システムのエラーの見逃しや、エラーへの対応の遅れを防止するために、近年、ヘッドアップディスプレイなど、ユーザが遂行する課題と自動化システムに課題遂行を任せた課題を単一の画面に表示する重畳画面が開発されてきており、重畳画面を搭載した航空機、船、そして自動車のナビゲーションシステムが普及してきている。そのため、分離画面だけではなく、重畳画面を使用した課題状況について検討を行うことは重要である。本研究では、自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連に関する上記の2つの仮説を実験的に検討した。

### 3.3 実験課題

本研究では，参加者の自動化システム使用傾向を評価するために，実験1と実験2で用いた追従課題の1つである線課題を使用した．また，線課題とは別に，参加者の自動化システムのエラーへの対応の遅れを測定し，その測定結果に基づいて参加者の緩慢な監視を評価するための課題を使用した．この課題は，2重課題であり，飛行機，船や自動車などの自動操縦システムに操縦を任せて，ユーザは他の課題を行う状況を想定して作成された．以下では，参加者の緩慢な監視を評価するために作成した課題について説明する．

#### 3.3.1 2重課題

図3.3は，2つの課題を同時に行う2重課題の課題画面の例である．2重課題を構成する第1の課題は，探索課題であった．探索課題では，画面の上から下へ探索刺激が移動した．参加者は，妨害刺激(T)の中からターゲット刺激(L)を検出することが求められた．ターゲット刺激(L)は，それが画面下方の2重線(検出領域)の内側にあるときにスペースキーを押すことで検出を報告する必要があった．ターゲット刺激の検出が正しく行われると，ターゲット刺激の文字色は赤に変化するように設定された．ターゲット刺激の検出ミ

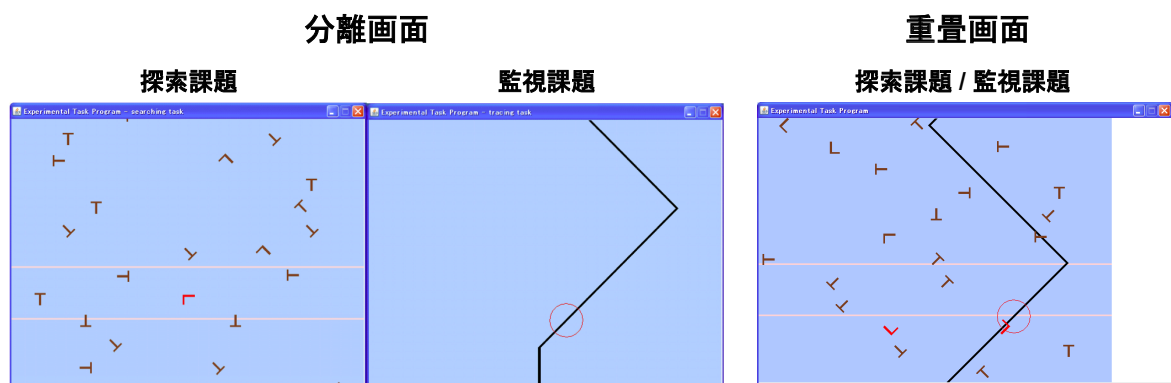


図 3.3 2重課題

ス、または誤検出が行われた際、課題の得点は減点された。探索課題では、参加者は、手動操作のみで課題を行うことが求められた。第2の課題は、監視課題であった。監視課題では、参加者は、先に行われた追従課題と同様の課題の路線追従をシステムに任せ、その遂行結果の監視を行うことが求められた。基本的に、Autoモードにおけるシステムは、完璧なパフォーマンスを示した。しかし、本課題では、課題遂行中のある時点でAutoモードにエラーが生じ、ビークルは路線を追従しなくなるように設定された。参加者は、Autoモードのエラーを検出した際、左右の矢印キーを押して、ビークルを手動で操作する必要があった。監視課題では、先に行われた追従課題とは異なり、AutoモードとManualモードの切り替えボタンはなく、矢印キーを押すことでManualモード、矢印キーから手を離すことでAutoモードに切り替わった。ビークルが路線から外れた際に、課題の得点は減点された。実験では、2重課題の監視課題におけるAutoモードのエラーへの反応が遅いほど、参加者のAutoモードの遂行結果に対する監視が緩慢であると評価した。

2重課題では、2つの課題の画面配置が異なる条件を設定した。第1の条件は、分離画面を使用して課題を行う条件であり、もう一方は、重畳画面を使用して課題を行う条件であった。分離画面条件では、探索課題と監視課題が異なる画面に表示され、参加者は、1つの画面に表示される探索課題を手動で行いながら、もう1つの別の画面に表示されるAutoモードの遂行結果を監視する必要があった。また、重畳画面条件では、探索課題と監視課題が単一の画面に表示され、Autoモードの遂行結果は、常に参加者の視界に入る課題状況であった。ただし、分離画面に比べて、視認性は劣った。

また、監視課題では、課題遂行中に、Autoモードにエラーが生じて、ビークルは路線を追従しなくなるように設定された。前述のように、自動化システムにエラーが生じる理由には2種類がある。自動化システムは、システムデザイナーが想定しない環境で自動化システムが使用されれば、自動化システムはその環境に対応できず、適切に課題を遂行することができない (Lee

& See, 2004). また，自動化システムが環境に対応している状況下でも，システムに異常が生じて，正常に作動しないこともある (Parasuraman & Manzey, 2010). 実験では，これら2種類のエラーを想定し，自動化システムが環境に適応することができなくなり，徐々にエラーが視覚化される漸進エラー条件と，自動化システムに異常が生じて，突如エラーが生じる突発エラー条件を設定した．

実験では，第1のエラーとして漸進エラーが生じた．漸進エラーでは，Autoモードにおけるシステムの操作能力は40秒かけて徐々に低下し，最終的に追従停止し，その状態が10秒間継続した．路線を追従していたビークルの動きは徐々に鈍くなり，最終的に停止して，その直後にビークルは路線から外れるように設定された．第2のエラーとして突発エラーが生じた．突発エラーでは，Autoモードにおけるシステムの操作能力が突如喪失し，追従停止状態になり，その状態が10秒間継続した．路線を追従していたカーソルの動きは突如制御されなくなり，ビークルが路線から外れるように設定された．

### 3.3.2 仮説に基づく予測

“分離画面を使用する際，自動化システムを過剰使用傾向のユーザほど，緩慢な監視を行い，自動化システムのエラーへの対応が遅れる”という仮説1より，分離画面を使用する際，ユーザの自動化システムのエラーへの反応には，自動化システムへの信頼が影響することが予測される．漸進エラーでは，ビークルに異変が生じてからビークルが路線を追従しなくなるまでの間に一定の時間がかかる．参加者は，Autoモードにおけるシステムの操作能力の低下(ビークルの動きの低下)を検出した直後にAutoエラーを予測することも，もしくは，その状態をしばらく放置し，ビークルが停止するまでAutoエラーと判断しないことも考えられる．このような状況では，自動化システムへの信頼が，Autoモードのエラーへの反応に影響すると考えられる．つまり，Autoモードを信頼するユーザほど，ビークルの動きが停止するまで操作

を Auto モードに任せて、手動操作が遅くなることが予測される。以上をまとめると、分離画面を使用する際、漸進エラーが生じたとき、自動化システム過剰使用傾向のユーザほど、緩慢な監視を行い、自動化システムのエラーへの対応が遅れることが予測される。

また、“重畳画面を使用する際、自動化システムを過少使用傾向のユーザほど、緩慢な監視を行い、自動化システムのエラーへの対応が遅れる”という仮説2より、重畳画面を使用する際、ユーザの自動化システムのエラーへの反応は、ユーザの注意を持続する能力に関連することが予測される。突発エラーでは、ビークルは突如路線を追従しなくなる。参加者は、ビークルの異変を認識した直後に手動操作を行う必要がある。つまり、参加者の Auto モードのエラー検出の敏捷性が、直接 Auto モードのエラーへの反応として現れると考えられる。そのため、参加者の自動化システムのエラーに対する注意を持続する能力が、Auto モードのエラーへの反応に直接影響する可能性が考えられる。つまり、注意の低下が著しい参加者ほど、Auto モードのエラーの検出が遅くなることが予測される。以上をまとめると、重畳画面を使用する際、突発エラーが生じたとき、自動化システム過少使用傾向のユーザほど、緩慢な監視を行い、自動化システムのエラーへの対応が遅れることが予測される。

本研究では、参加者の自動化システム使用傾向を評価するために、線課題を使用して、線課題における Auto モード使用率に基づいて、参加者の自動化システム過剰使用傾向または過少使用傾向を判別した。また、線課題とは別に、参加者の自動化システムのエラーへの対応の遅れを測定し、参加者の監視態度を評価するために、2重課題を使用した。2重課題の内の監視課題で生じる自動化システムのエラーに対する対応が遅いほど、監視が緩慢であったと評価した。また、2重課題では、分離画面条件と重畳画面条件を設けた。自動化システムのエラーには、ビークルと路線とが徐々に逸脱する漸進エラー条件と、突如逸脱する突発エラー条件を設けた。各実験条件のまとめと結果

表 3.1 実験条件と予測のまとめ

		実験条件			
		分離画面		重畳画面	
		突発エラー	漸進エラー	突発エラー	漸進エラー
自動化システム使用傾向	過剰使用傾向の参加者	緩慢な監視 による反応の遅れ			
	過少使用傾向の参加者	緩慢な監視 による反応の遅れ			

の予測を表 3.1 に示す。

## 3.4 実験 3

### 3.4.1 目的

重畳画面と分離画面を使用した2つの課題状況を設定して、それぞれの課題状況における自動化システムのエラーへの対応の遅れに基づいて参加者の監視態度の評価を行い、仮説1と2の検証を行うことであった。

### 3.4.2 方法

#### 参加者

実験参加者は、大学生106名であった。

#### 実験課題

自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連に関する検討で用いた線課題と、先に述べた2重課題であった。

#### 装置

すべての課題はMicrosoft Windowsが稼動するコンピュータで実施した。

#### 手続き

全ての参加者は、線課題を行った後に休憩を設け、その後に2重課題を行った。まず、線課題の練習として、1試行40秒の練習試行を2試行実施した。その後の本課題では、1試行40秒の試行を25試行行った。本課題におけるAutoモードとManualモードの操作能力の各5水準は、無作為な順序で変化した。各試行の区切りとして、「操作能力が変更されました」と課題画面に表示した。実験中に、AutoモードとManualモードの操作能力の値を参加者に示すことはなかった。参加者には、課題の得点ができるだけ高くなることを目指して課題を行うように教示した。

5分間の休憩の後に2重課題を行った。参加者86名は、分離画面条件と重

畳画面条件のどちらか一方に無作為に割り振られ、課題を行った。その結果、46名は、分離画面条件で2重課題を行い、その他の40名は、重畳画面条件で2重課題を行った。残りの参加者20名は、分離画面条件と重畳画面条件で、それぞれ1回ずつ課題を行った。2重課題において課題画面を使用した順序は、参加者間でカウンターバランスをとった。なお、2重課題の各課題間には、5分間の休憩が設けられた。全ての参加者は、2重課題の練習として、最初に探索課題のみを行い、次に監視課題のみを行い、最後に両方の課題を同時に行う練習を各1分間行った。

その後の本課題では、1試行50秒の試行を9試行実施した。探索課題では、課題全体を通して、妨害刺激が400個、ターゲット刺激が100個出現するように設定した。また、探索刺激が画面に出現するタイミングは全参加者に対して一定であった。監視課題では、Autoモードのエラーは、課題全体を通して3回生じるように設定した。突発エラーは、2試行目の開始から40秒後に生じ、漸進エラーは、5または6試行目と9試行目の開始時点から生じた。最初に漸進エラーが生じる試行は、参加者間でカウンターバランスをとった。参加者には、Autoモードのエラーが生じるタイミングや回数は通知しなかった。Autoモードのエラー終了後、Autoモードにおけるシステムの操作能力は回復し、「能力が回復しました」と課題画面に表示した。参加者には、システムの操作能力の回復を示す表示が提示された後は、再びAutoモードに路線追従を任せるように教示した。実験を通して、Manualモードの能力は、路線追従を行うために十分な操作能力を保ち、常に一定であった。また、Autoモードのエラーが生じる試行の路線パターンは参加者間で統制された。

2重課題終了後に、参加者には、監視課題におけるAutoモードへの信頼について7段階(1: Autoは全く信頼できなかった, 2: Autoはほとんど信頼できなかった, 3: Autoはあまり信頼できなかった, 4: どちらでもない, 5: Autoはやや信頼できた, 6: Autoはわりと信頼できた, 7: Autoは非常に信頼できた)の評定を行わせた。

### 3.4.3 結果

まず，2重課題の探索課題における検出ミスまたは誤検出回数が，平均から4SD以上離れた参加者を分析から除外した．分離画面条件で4名，重畳画面条件で3名の参加者のデータが除外された．また，2重課題の監視課題で，Autoモードのエラーが生じる前から手動操作を行っていた参加者を分析から除外した．分離画面条件で6名，重畳画面条件で4名の参加者のデータが除外された．結果として，分離画面条件において56名，重畳画面条件において53名の参加者のデータを分析に用いた．

2重課題の探索課題における参加者の検出平均ミス回数は，分離画面条件で0.52回，重畳画面条件で0.28回であった．参加者の平均誤検出回数は分離画面条件で0.32回，重畳画面条件で0.51回であった．以上より，参加者は，適切に課題に従事していたことが確認された．

2つの仮説を検討するために，線課題におけるAutoモード使用率と2重課題におけるAutoモードのエラーへの反応時間との相関分析を行った．各参加者の線課題のAutoモード使用率は，線課題でAutoモードを使用していた時間を線課題全体の時間で割って算出した．なお，参加者全体のAutoモード使用率の平均は，46.79であった．また，各参加者の2重課題におけるAutoモードのエラーへの反応時間は，2重課題の監視課題において，Autoモードにおけるシステムの操作能力の低下が開始してから手動操作に切り替えるまでの時間を測定した．漸進エラーへの反応時間は，各参加者の2回の漸進エラーへの反応時間の平均値を使用した．参加者の線課題におけるAutoモード使用率と2重課題におけるAutoモードのエラーへの反応時間との相関を表3.2に示す．分析の結果，重畳画面条件を用いた実験状況において，Autoモード使用率と突発エラーへの反応時間との間に負の相関がみられた( $r = -.53, p < .01$ )．この結果から，重畳画面条件では，Autoモード使用率が低く，自動化システムを過少使用する参加者ほど突発エラーに対する反応が遅

表 3.2 線課題における Auto モード使用率と 2 重課題における反応時間の相関。値は相関係数 ( $r$ ) を示す。\*\*  $p < .01$ 。

	2 重課題			
	分離画面		重畳画面	
	突発エラー	漸進エラー	突発エラー	漸進エラー
線課題				
Auto モード	-.10	.01	-.53**	-.17
使用率				

いことが確認され，“重畳画面を使用する際，突発エラーが生じたとき，自動化システム過少使用傾向のユーザほど，緩慢な監視を行い，自動化システムのエラーへの対応が遅れる”という仮説 2 からの予測と一致した．図 3.4 は，全ての実験条件における Auto モード使用率と Auto モードのエラーへの反応時間との相関を示す．

分離画面条件では，Auto モード使用率と Auto モードのエラーへの反応時間との相関はみられず，“分離画面を使用する際，漸進エラーが生じたとき，自動化システム過剰使用傾向のユーザほど，緩慢な監視を行い，自動化システムのエラーへの対応が遅れる”という仮説 1 からの予測は確認されなかった．そこで，2 重課題終了後に実施した Auto モードへの信頼評定のアンケートと Auto モードのエラーへの反応時間との相関分析を行った．分析の結果，参加者の Auto モードへの信頼と分離画面条件における漸進エラーへの反応時間との間に正の相関がみられた ( $r = .38, p < .01$ )．この結果から，分離画面条件では，Auto モードを信頼した参加者ほど，漸進エラーへの反応が遅いことが示された．図 3.5 は，全ての実験条件における Auto モードへの信頼評定と Auto モードのエラーへの反応時間との相関を示す．

### 3.5 考察

本研究では，自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連について実験的検討を行った．実験の結果，重畳画面条件では，事前に測定された Auto

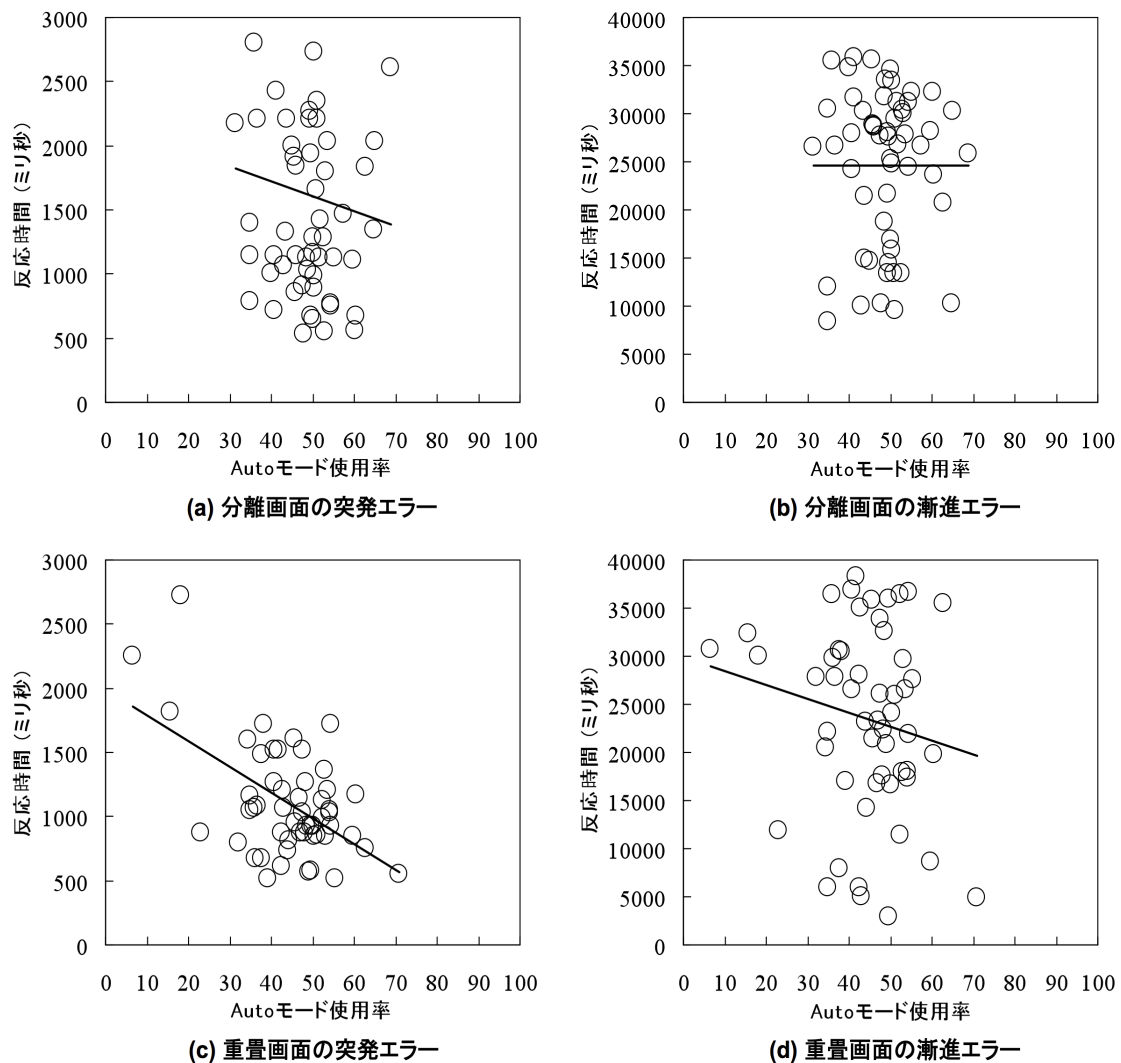


図 3.4 線課題における Auto モード使用率と 2 重課題の Auto エラーへの反応時間との相関

モード使用率と，Auto モードのエラーへの反応時間との間に負の相関関係が確認された．すなわち，Auto モードを過少使用する参加者ほど重畳画面で生じる突発エラーへの反応が遅いことが示され，“重畳画面を使用する際，自動化システム過少使用傾向のユーザほど，緩慢な監視を示し，自動化システムのエラーへの対応が遅れる”という仮説 2 は支持された．仮説 1 に関しては，分離画面条件で，Auto モード使用率と Auto モードのエラーへの反応時間の間に相関関係は確認されず，“分離画面を使用する際，自動化システム過信過剰使用傾向のユーザほど，緩慢な監視を示し，自動化システムのエラーへの

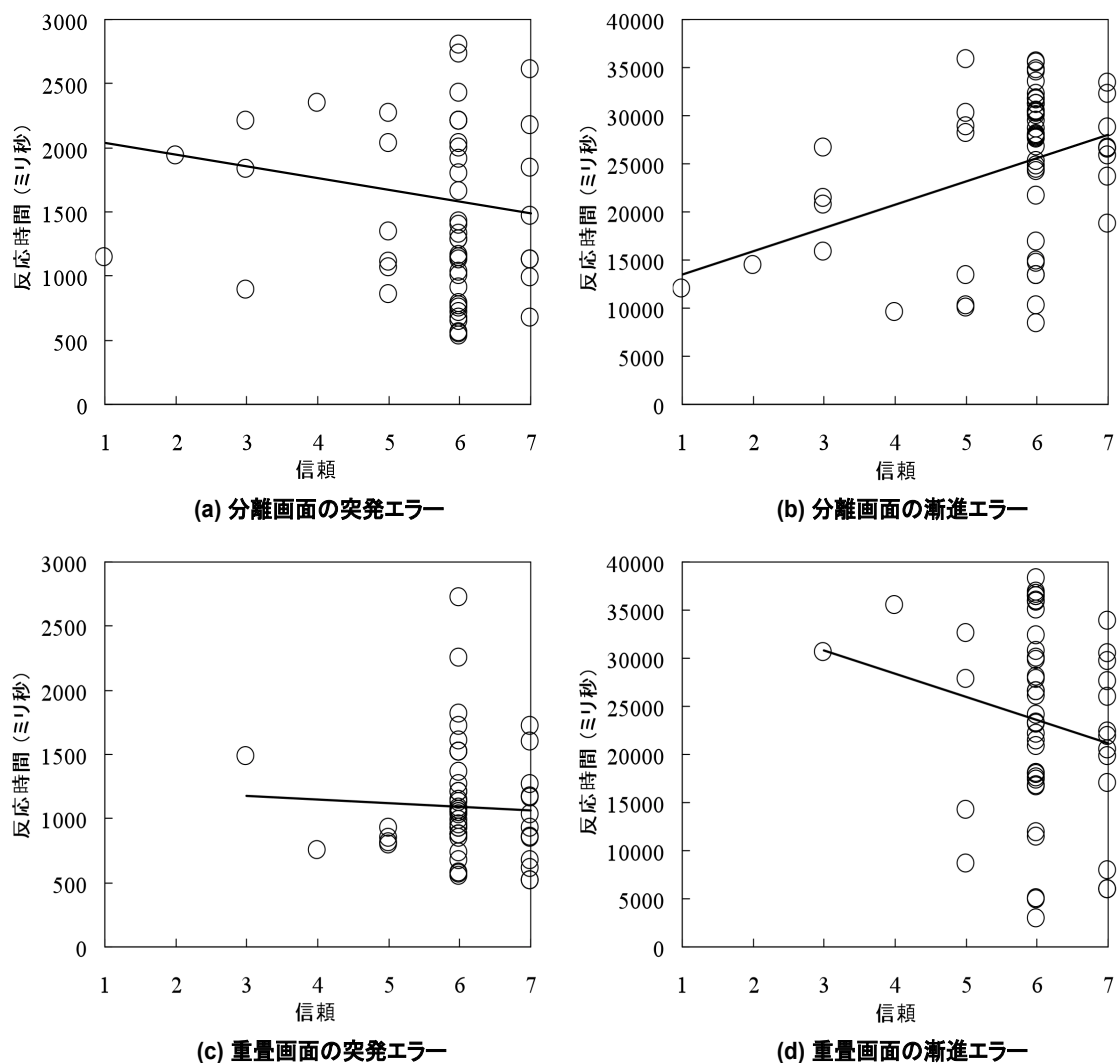


図 3.5 線課題における Auto モードへの信頼評定と 2 重課題における Auto エラーへの反応時間との相関

対応が遅れる”という仮説 1 は棄却された。しかし，Auto モードを信頼する参加者ほど分離画面で生じる漸進エラーへの反応が遅いことが示された。この結果から，分離画面条件では，ユーザの自動化システムに対する信頼が緩慢な監視と関連することが示された。

仮説 1 に関して，自動化システム使用傾向と緩慢な監視に関連性が確認されなかった理由として，以下のことが考えられる。仮説 1 に関しては，自動化システムの使用または未使用の選択を行う線課題と，自動化システムの監視を行う 2 重課題で，各参加者の自動化システムへの信頼は一貫していること

が前提であった。しかし、2重課題でシステムダウンが生じたことによって、線課題と2重課題との間で、参加者の自動化システムへの信頼が大きく変化した可能性が考えられる。Lee & Moray (1992, 1994) は、自動化システムにシステムダウンが生じた際、ユーザは、自動化システムへの信頼を大きく低下させ、その程度には、大きな個人差があることを示している。以上のことから、線課題と2重課題における自動化システムへの信頼は、参加者内で一貫性が保たれず、その結果、自動化システム使用傾向と緩慢な監視に陥る傾向との関連が検出されなかった可能性がある。

仮説2に関して、重畳画面を用いた際に、自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連が確認され、仮説2は支持された。前述のように、ユーザの自動化システムへの信頼は、自動化システムのシステムダウンに影響を受ける (Lee & Moray, 1992, 1994)。その一方で、注意を持続する能力は個人に備わる認知的能力であるため、線課題と2重課題の間でその能力は一貫し、その結果、この実験でも、先行研究 (Rajaonah et al., 2008; Simons & Ambinder, 2005) で示されたように、注意の低下が著しい参加者は、線課題では、自動化システムを使用しない傾向があり、2重課題では、視界に入っている自動化システムのエラーの検出が遅くなったと考えられる。



## 第 4 章

# 総合考察

### 4.1 研究の要旨

自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連に関する検討では，自動化システムとユーザの手動操作の両方のパフォーマンスを考慮して，自動化システムの過剰使用または過少使用と，パフォーマンス変化に対する鋭敏性との定量的関連を明らかにするために実験的検討を行った．実験課題では，自動化システムとユーザの手動操作の両方のパフォーマンスが独立して変化する課題状況を設定し，分析ではロジスティック近似を用いることによって，自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性の定量的な評価と両者の定量的関連について検討を行った．実験の結果，ユーザが，自動化システムとユーザの手動操作のパフォーマンスの優劣関係に応じて，自動化システム使用または未使用を選択する際，ユーザは，自動化システムよりもユーザ自身の手動操作のパフォーマンス変化に鋭敏であることが明らかとなった．また，自動化システムを過剰使用する傾向のユーザよりも，過少使用する傾向のユーザの方が，手動操作のパフォーマンス変化に鋭敏であることが明らかとなった．

自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連に関する検討では，これらの関連について実験的検討を行った．実験では，自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連に関して，信頼に基づく関連と注意を持続する能力に基

づく関連について検討するため，分離画面と重畳画面を使用した課題状況を設定した．実験の結果，重畳画面を使用した際，自動化システム過少使用傾向のユーザほど，緩慢な監視を行い，自動化システムのエラーへの反応が遅いことが明らかとなった．また，分離画面を使用した際には，自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連は確認されなかったが，自動化システムを信頼するユーザほど，緩慢な監視を行い，自動化システムのエラーへの反応が遅いことが明らかとなった．

## 4.2 監視制御における行動の関連

前述のように，ユーザが自動化システムを使用する際に行う監視制御において，ユーザは，自動化システムの遂行結果の監視から自動化システムの状態を把握して，そのパフォーマンス変化に従って自動化システムに対する信頼を変化させ，自動化システム使用または未使用の選択を行う．本研究では，この監視制御のプロセスに，手動操作のパフォーマンスを考慮して，自動化システムと手動操作のパフォーマンスの優劣関係に基づいて，自動化システムの過剰使用または過少使用について評価を行い，自動化システムと手動操作のパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連，そして緩慢な監視との関連についてそれぞれ検討を行った．

自動化システムと手動操作のパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連に関して，ユーザが，自動化システムとユーザ自身の手動操作のパフォーマンスの優劣関係に応じて，自動化システム使用または未使用の選択を行う際，ユーザは，自動化システムよりもユーザ自身の手動操作のパフォーマンス変化に鋭敏であることが明らかとなった．このような結果が得られた理由として，人間には認知容量の制限があり，ユーザは，自動化システムの遂行結果とユーザ自身の手動操作の操作結果を同等に考慮することができない．その結果，ユーザは，自動化システムの遂行結果とユーザ自身の手動操作の操作結果のどちらか一方を重視して，自動化システム使用または未使用の選択を行うと考えられる．その際，ユーザは，自動化システムの遂行結果の監視 (Passive monitoring) よりも，ユーザ自身の手動操作の操作結果の監視 (Active monitoring) において高い状況認識を示す (Endsley & Kiris, 1995; Metzger & Parasuraman, 2001; Parasuraman et al., 1996) ため，ユーザ自身の手動操作のパフォーマンスに偏った評価に基づいて自動化システム使用または未使用の選択を行うと考えられる．

また，自動化システムを過剰使用する傾向のユーザよりも，自動化システ

ムを過少使用する傾向のユーザの方が，ユーザ自身の手動操作のパフォーマンス変化に鋭敏であることが明らかとなった．Lee & See (2004) は，自動化システムのパフォーマンスに応じて，自動化システムに対する信頼の評価を行う能力には個人差があることを示している．また，パフォーマンス変化に対する鋭敏性に関して，Madhavan & Phillips (2010) は，自動化システムに対する信頼の評価を行う能力の低いユーザは，特に自動化システムのパフォーマンスの上昇に従って，信頼を上昇させることができないことを示している．本研究の実験で，このような結果が得られた理由として，自動化システムに対する信頼の評価能力が低いユーザは，特に高いパフォーマンスを示す自動化システムに対して高い信頼を持つことができないため，自動化システムを過少使用したと考えられる．その際，自動化システムのパフォーマンス変化よりも，手動操作のパフォーマンス変化を明確に認識することが可能であるため，手動操作のパフォーマンス変化に偏った評価を行い，自動化システム使用または未使用の選択を行うと考えられる．

さらに，自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連に関して，重畳画面を使用する際，自動化システム過少使用傾向のユーザほど，緩慢な監視を行い，自動化システムのエラーへの反応が遅かった．このような結果が得られた理由として，先行研究 (Rajaonah et al., 2008) で示されたように，自動化システムの遂行結果に対する注意を持続する能力が低いユーザは，自動化システムを過少使用する傾向にあったと考えられる，また，自動化システムとユーザが複数の課題を分担して行う課題が重畳画面に表示されるとき，注意の低下による自動化システムのエラーへの反応の遅れが顕著に現れるため，注意を持続する能力に基づいてこのような関連が生じると考えられる．他方，分離画面を使用する際，ユーザの自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連は確認されなかったが，自動化システムを信頼するユーザほど，自動化システムのエラーへの反応が遅かった．このような信頼の影響は，これまでの緩慢な監視に関する研究 (Parasuraman & Manzey, 2010) で示された内容

と一致している。

これらのことから，自動化システムを使用する際にユーザが行う監視制御において，自動化システムに対する信頼の評価能力に基づいて，自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性に関連が生じると考えられる。また，注意を持続する能力に基づいて，自動化システム使用傾向と緩慢な監視に関連が生じると考えられる。さらに，自動化システムに対する信頼に基づく自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連は示されなかったが，自動化システムに対する信頼が，自動化システム使用傾向と緩慢な監視に個別に影響を与えることが確認された。自動化システムの過剰使用や過少使用を抑止するためには，これらを考慮した対策が必要である。以下では，自動化システムの過剰使用と過少使用を抑止するための指針を示す。

### 4.3 自動化システムの過剰使用と過少使用の抑止に向けて

自動化システム過剰使用または過少使用に関する先行研究では、ユーザが自動化システムに対する過信や不信を抑止するための対策が提案されてきた。たとえば、自動化システムのパフォーマンスをユーザにフィードバックする際、自動化システムのその時点のパフォーマンスをユーザにフィードバックするよりも、そこに至るまでの過去のパフォーマンスも含めて示すことが過信や不信の抑止に有効であることが指摘されている (Dzindolet et al., 2003; Lee & See, 2004)。過去のパフォーマンスを示すことによって、自動化システムの一時的な印象に基づく誤った信頼形成を回避させ、自動化システムが本来持つ課題遂行能力に適した信頼調整を促すことができる。また、自動化システムのパフォーマンスが変化した原因や理由をユーザにフィードバックすることによって、ユーザの自動化システムに対する過信や不信が抑制され、自動化システムのパフォーマンスに適した信頼調整が可能になることが明らかになっている (Dzindolet et al., 2003)。

しかし、上記の研究では、自動化システムのパフォーマンス変化だけを考慮して、ユーザの手動操作のパフォーマンス変化については考慮していない。現実には、ユーザは、自動化システムとユーザ自身の手動操作の両方のパフォーマンスの優劣関係に基づいて、自動化システムへの課題委任の決定を行う。本研究の実験では、自動化システムとユーザの手動操作のパフォーマンス変化に対する鋭敏性の偏りが、自動化システム使用または未使用の選択に関連することが示された。これらのことから、今後、自動化システムを円滑に利用するためには、これまでの先行研究で示されてきた自動化システムのパフォーマンスフィードバックを工夫するだけでなく、ユーザの手動操作のパフォーマンスフィードバックの工夫についても検討される必要がある。特に、自動化システムとユーザの手動操作の両方のパフォーマンス変化、そして両方のパフォーマンスの優劣関係をユーザに示すことによって、

自動化システムの過剰使用または過少使用は抑止され则认为られる。また、近年、ユーザが自動化システムの遂行結果を監視して、自動化システムの状態を把握するだけではなく、自動化システムにユーザの行動モデルを構築し、ユーザの状態に合わせた行動を選択させる試みが行われている (Inagaki, 2008; Okuda, Ikami, Suzuki, Tazaki & Takeda, 2013)。そこで開発された技術により、ユーザと自動化システムが、両者のパフォーマンス変化を相互に認識し、自動化システムとユーザの手動操作のパフォーマンスの優劣関係に応じた、自動化システム使用または未使用の選択が促されることが期待される。

さらに、緩慢な監視に関して、原子力プラントや化学プラントなどでは、数多くの自動化システムが同時に使用され、それらの遂行結果は分散した個別の画面に表示される (Ahearne, 1987; Andorre & Queinnec, 1998)。先行研究は、自動化システムへの過信が、システム動作の確認不足につながり、緩慢な監視を招くことを示している (Parasuraman & Manzey, 2010)。本研究では、特に分離画面を使用する際、自動化システムへの過信が、緩慢な監視を招くことが示された。このような過信の発生は、人間の信念に基づく認識のバイアスによるところが大きい。このことから、原子力プラントや化学プラントなど、複数の課題を個別の画面に表示する状況では、自動化システムへの過信を抑制する訓練、たとえば、システムエラーを事前に経験する訓練が、緩慢な監視の抑制に有効であると考えられる (Bahner, Hüper, & Manzey, 2008)。

また、緩慢な監視を防止するために、近年、ヘッドアップディスプレイなど、複数の課題を単一の画面に提示するディスプレイが開発されている。このようなディスプレイを使用することによって、ユーザは、視界を切り替えることなく、複数の課題状況を監視することができる。飛行機や自動車のヘッドアップディスプレイは既に実用化されている (Wickens & Alexander, 2009; Liu & Wen, 2004)。しかし、先行研究は、このような課題状況でも、ユーザは緩慢な監視を行うことが示され (Duley et al., 1997)、さらに、本研究の実験結果から、重畳画面を使用する際、自動化システムを過少使用するユーザは

ど、緩慢な監視を行い、自動化システムのエラーへの対応が遅れることが示された。本研究の実験は、このようなユーザの行動の関連性は、ユーザの注意を持続する能力の違いによって現れることを示した。注意の低下を抑制するための対策としては、複数のモダリティを用いてシステムエラーのフィードバックを強化する方法、たとえば、音響的フィードバック (Szalma, Warm, Mathews, Dember, Weiler, Meier, & Eggemeier, 2004) や触覚を介したフィードバック (Sklar & Starter, 1999) を使用することが、緩慢な監視の防止に必要であると考えられる。これらの緩慢な監視に対する対策によって、自動化システムが有効に利用されることが考えられる。

## 4.4 本研究の成果

ユーザの自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連については、自動化システムとユーザの手動操作のパフォーマンスを考慮して、自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性の定量的な評価を行うための評価指標を確立し、実験課題を作成した。さらに、ロジスティック近似で、自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性の定量的な評価を可能にし、これらの定量的関連についてモデル化を行うことを可能にした。

実験の結果、ユーザが、自動化システムとユーザ自身の手動操作のパフォーマンスの優劣関係に応じて、自動化システム使用または未使用の選択を行う際、ユーザは、自動化システムよりもユーザ自身の手動操作のパフォーマンス変化に鋭敏であることが明らかとなった。この結果から、人間の認知容量の制限と、自動化システムの遂行結果とユーザ自身の手動操作の操作結果を監視する際の状況認識の違いが、自動化システム使用または未使用の選択に影響を与えることが示唆された。

また、自動化システムを過剰使用するユーザよりも、自動化システムを過少使用するユーザの方が、ユーザ自身の手動操作のパフォーマンス変化に鋭敏であることが明らかとなった。この結果から、自動化システムに対して信頼評価を行う能力に基づいて、自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との間に関連が生じることが示唆された。

これらの結果から、自動化システムの過剰使用や過少使用を抑止するために、自動化システムとユーザの手動操作のパフォーマンスフィードバックに関する対策の指針が示された。

また、ユーザの自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連については、これまでの自動化システム研究で示されてきた2つの関連について検討を行った。その際、複数の課題と自動化システムとユーザが分担し、焦点化

の失敗が生じる分離画面を使用する課題状況と、注意の失敗が生じる重畳画面を使用する課題状況を考慮して、対立する2つの予測を合理的に説明する枠組みを実証的に検証した。

実験の結果、重畳画面を使用する際、自動化システム過少使用傾向のユーザほど、緩慢な監視を行い、自動化システムのエラーに対する対応が遅れることが明らかとなった。この結果から、注意を持続する能力に基づいて、自動化システム使用傾向と緩慢な監視との間に関連が生じることが示唆された。また、分離画面を使用する際、自動化システムを信頼するユーザほど、緩慢な監視を行い、自動化システムのエラーに対する対応が遅れることが明らかとなり、先行研究で示された内容が確認された。

これらの結果から、分離画面と重畳画面を使用するそれぞれの課題状況において、ユーザの緩慢な監視を抑制するための対策の必要性和具体的な対策の指針が示された。

## 第5章

# 結論

### 5.1 本研究の総括

はじめに，本論文の目的および各章で検討した内容を総括する．

本論文では，自動化システム使用時に生じるユーザの自動化システム過剰使用と過少使用について検討を行った．第1の研究では，自動化システムとユーザの手動操作のパフォーマンス変化に対する鋭敏性に注目して，自動化システムを過剰使用する傾向のユーザと過少使用する傾向のユーザで，自動化システムと手動操作のパフォーマンス変化に対する鋭敏性を比較した．実験の結果，ユーザが，自動化システムとユーザ自身のパフォーマンスの優劣関係に従い，適切に自動化システム使用または未使用の選択を行う際，ユーザは，自動化システムよりもユーザ自身の手動操作のパフォーマンス変化に鋭敏であることが明らかとなった．また，自動化システムを過剰使用する傾向のユーザよりも，自動化システムを過少使用する傾向のユーザの方が，ユーザ自身の手動操作のパフォーマンス変化に鋭敏であることが明らかとなった．

第2の研究では，自動化システム使用時にユーザの緩慢な監視に注目し，自動化システムのエラーに対するユーザの対応が遅れるほど，ユーザは緩慢な監視を行っていたと評価して，ユーザの自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連について検討を行った．実験の結果，自動化システムとユーザ

が遂行する課題が単一の画面に表示される課題状況では，自動化システム過少使用傾向のユーザほど，緩慢な監視を行い，自動化システムのエラーへの反応が遅くなることが明らかとなった．また，自動化システムとユーザが遂行する課題が個別に分離して表示される課題状況では，自動化システムを信頼するユーザほど，緩慢な監視を行い，自動化システムのエラーへの反応が遅くなることが明らかとなった．

第1章の「序論」では，歴史的な人工物の遷移を簡単に述べ，自動化システムの登場により，人工物を使用する際の人間の役割が変化したことについて述べた．そして，これまでの人間と人工物との間に生じてきた齟齬の問題とは異なり，人間と自動化システムとの関わりにおいて生じる齟齬は，人間の命に関わる重大な事故を招くことを示した．また，その重大な事故を招く1つの要因として自動化システムの過剰使用と過少使用を取り上げ，自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連，そして，ユーザの自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連について検討する必要性について述べた．

第2章の「自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連に関する検討」では，自動化システムとユーザ自身の手動操作のパフォーマンスを考慮して，ユーザの自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との定量的関連について検討を行った．その際，ユーザの自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性の定量的な評価を行うための評価指標を確立し，実験課題を作成した．また，ロジスティック近似で，自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性の定量的な評価を可能にし，これらの定量的関連についてモデル化を行うことを可能にした．実験の結果，ユーザが，自動化システムとユーザ自身の手動操作のパフォーマンスの優劣関係に応じて，自動化システム使用または未使用の選択を行う際，ユーザは，自動化システムよりもユーザ自身の手動操作のパフォーマンス変化に鋭敏であることが明らかとなった．人間の認

知容量の制限と、自動化システムの遂行結果とユーザ自身の手動操作の操作結果を監視する際の状況認識の違いが、自動化システム使用または未使用の選択に影響を与えることが示唆された。また、自動化システムを過剰使用するユーザよりも、自動化システムを過少使用するユーザの方が、ユーザ自身の手動操作のパフォーマンス変化に鋭敏であることが明らかとなった。このような関連は、自動化システムに対して信頼評価を行う能力に基づいて生じることが示唆された。

第3章の「自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連に関する検討」では、ユーザの自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連について検討を行った。実験課題では、2種類の緩慢な監視を考慮するため、自動化システムのエラーに関する情報がユーザの視界に入らない焦点化の失敗が生じる分離画面を使用した課題状況と、自動化システムのエラーに関する情報が視界に入っているにも関わらずそのエラーを知覚できない注意の失敗が生じる重畳画面を使用した課題状況を設定した。これらの課題状況を設定することによって、ユーザの自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連について、信頼に基づく関連と注意を持続する能力に基づく関連の2つの関連を合理的に示す理論的枠組みを示した。実験の結果、重畳画面を使用する際、自動化システム過少使用傾向のユーザほど、緩慢な監視を行い、自動化システムのエラーに対する対応が遅れることが明らかとなった。このような関連は、注意を持続する能力に基づいて生じることが示唆された。また、分離画面を使用する際、自動化システムを信頼するユーザほど、緩慢な監視を行い、自動化システムのエラーに対する対応が遅れることが確認された。

第4章の「総合考察」では、自動化システムの過剰使用と過少使用に関するそれぞれの研究結果から、自動化システム使用傾向とパフォーマンス変化に対する鋭敏性との関連に関わる要因、さらに、自動化システム使用傾向と緩慢な監視との関連に関わる要因を示し、これらを考慮して、自動化システム過剰使用または過少使用を抑止するための指針を示した。

## 5.2 他者への信頼と自動化システムへの信頼の比較

本論文では，自動化システムの使用時に生じる自動化システム過剰使用または過少使用の問題を取り上げた．これまでの自動化システムに関する研究は，自動化システムに対する誤った信頼が，自動化システム過剰使用または過少使用を引き起こす原因の1つであることを示してきた (Parasuraman & Riley, 1997)．そのため，有効な自動化システム使用の鍵は，システムに対する適切な信頼調整にあることを意味する．この点を検討するにあたっては，社会心理学において蓄積されてきた対人関係における信頼に関する知見が，重要な手掛かりをもたらすであろう．また，人工物に対する認知特性を対人関係に対する認知特性と比較検討することは，人間の認知特性一般を明らかにするという意味からも，重要な意味を持つ．このようなアプローチは，メディア等式 (Media equation) 研究などにおいて既に数多くの実践例が報告され，顕著な成果を挙げてきている (Reeves & Nass, 1996)．

そもそも一般的に信頼とは，Luhmann (1973) によれば，経験に基づく他者あるいは社会への期待である．人間は，様々な対象を信頼することによって，膨大な量の情報を詳細まで精査することなく，手持ちの僅かな情報に基づいて未来の出来事を予測することができる (Kramer, 1999; Mayer, Davis, & Schoorman, 1995)．対人関係における信頼は，様々な環境における個人間の関係を媒介する重要な機能である (Kramer, 1999; Mayer et al., 1995; 山岸, 1988)．自動化システムへの信頼と他者への信頼に関する研究から，両者の信頼形成プロセスの類似点と相違点を以下にまとめて示す．

### 5.2.1 類似点

#### 信頼の基盤

対人関係においては，他者の課題遂行時における行動特徴が，他者への信頼に影響を与える．自動化システムに対しても同様に，自動化システムの稼

動時に示される挙動の特徴が，自動化システムへの信頼に影響を与える．対人関係においては，特に，信頼される側の人の課題遂行能力 (Ability)，信頼する側の人と信頼される側の人との意図や動機の一致 (Benevolence)，信頼される側の人の行動の非逸脱性 (Integrity) が信頼に影響を与える (Mayer et al., 1995)．また，自動化システム使用時には，自動化システムのパフォーマンス (Performance)，自動化システムが実装されている目的 (Purpose)，自動化システムの課題遂行プロセス (Process) が信頼に影響を与える (Lee & See, 2004)．他者への信頼と自動化システムへの信頼の基盤となるそれぞれの特徴を比較すると，どの程度適切に課題を遂行できるかという点で，信頼される側の人の課題遂行能力は，自動化システムのパフォーマンスとの対応関係が認められる．また，どの程度意図や動機を共有できているかという点で，信頼する側の人と信頼される側の人との意図や動機の一致は，自動化システムの課題遂行プロセスとの対応関係が認められる．さらに，どのように課題を遂行するかという点で，信頼される側の人の行動の非逸脱性は，自動化システムの課題遂行プロセスとの対応関係が認められる (Lee & See, 2004)．

### 信頼形成プロセス

まず，信頼する側の人には，他者または自動化システムの特徴に基づいて信頼を形成する．次に，その信頼に基づいて，他者または自動化システムに課題を委任するかしないかを決定する．他者または自動化システムに課題を任せるとき，パフォーマンスなどの情報に基づいて信頼形成を行い，再び他者または自動化システムに課題を委任するかしないかを決定する．他者への信頼に関しては Mayer et al. (1995) が，また，自動化システムへの信頼に関しては Lee & See (2004) が，循環的な信頼形成プロセスのモデルを示している．

### 5.2.2 相違点

#### 信頼の初期段階

初対面の他者または初めて使用する自動化システムに対しては、他者または自動化システムの特徴に関する情報がない。このような状況では、他者への信頼に関しては、信頼のデフォルト値が適応される(山岸, 1988)。その値には個人差があり、他者を信頼する傾向の人と信頼しない傾向の人が存在する(小杉・山岸, 1998; 山岸, 1988)。また、一般的に、自動化システムへの信頼に関しては、最初から高い信頼が置かれる。このような自動化システムへの高い初期信頼は、ユーザが、自動化システムは完璧なパフォーマンスを示すというスキーマを持つことに起因すると考えられている(Dzindolet et al., 2002)。荷物検査課題または兵士検出課題を用いた実験では、このような他者と自動化システムに対する初期信頼の違いが示されている(Dzindolet et al., 2002; Madhavan & Wiegmann, 2007)。

#### 信頼の低下

自動化システムへの信頼に関しては、ユーザは、一般的に自動化システムは完璧なパフォーマンスを示すというスキーマを持つことから、ユーザが、少しでも自動化システムのパフォーマンスの低下を検出すると、ユーザが持つそのスキーマは崩壊し、自動化システムへの信頼は過剰に暴落する。信頼が低下した後に、自動化システムが正常に稼動し続ければ、自動化システムへの信頼は徐々に回復する(Lee & Moray, 1992; Madhavan & Wiegmann, 2007)。他者への信頼に関しては、対人関係における協同活動では、他者のパフォーマンスが低下しても、このような信頼の暴落は生じない。荷物検査課題または兵士検出課題を用いた実験では、このような他者と自動化システムへの信頼低下の違いが示されている(Dzindolet et al., 2002; Madhavan & Wiegmann, 2007)。

### 信頼関係の認識

他者への信頼に関しては、信頼する側の人と信頼される側の人との両者が信頼関係を認識する。そのため、対人関係では、信頼する側の人への信頼に答えるために、信頼される側の人から課題遂行に付加的な労力をかけることがある (Mayer et al., 1995)。信頼形成は、このような双方向プロセスを通して遂行される。しかし、自動化システムへの信頼に関しては、そのような信頼関係についての相互の認識はない。そのため、自動化システムに対しては、ユーザが一方的に自動化システムへの信頼形成を行う。Lewandowsky et al. (2000) は、ジュースプラント課題を用いた実験を行い、他者と課題を分担する文脈を与えられた際、自分がどの程度他者に信頼されているかという評価が行動に影響する一方で、自動化システムと課題を分担する文脈を与えられた際には、このような影響はみられないことを示している。

### 5.2.3 まとめ

これまで述べてきたように、複雑化された人工物である自動化システムを使用する際、人間はシステムに対して一定の信頼を置く。本論文では、人間が自動化システムに対して持つ信頼の特性を明らかにするために他者への信頼と比較を行った。このような信頼の比較研究から得られる知見は、システムデザイナーが自動化システムをデザインする上で重要であると考えられている (Dzindolet et al., 2002; Lewandowsky et al., 2000; Madhavan & Wiegmann, 2007)。しかし、そもそも自動化システムとの関係構築を、人と人との信頼関係構築に準拠すべきものとしてデザインするのか、もしくは別の原則に基づいて設計すべきかについて、これまでに十分な議論は行われていない。この点をどう考えるかによって、探求の方向は二分される。前者の視点から考えれば、本論文で明らかにされた両者へ信頼構築の類似点を顕在化させ、相違点を抑制するためのシステムデザインが必要となる。しかし、後者の視点か

ら考えれば，これらの観点を基本的認識としつつも，自動化システムへの信頼構築の規範的原則を，新たに導出する必要がある．この点については，今後十分な検討が必要である．

さらに，他者に対する信頼に関しては，権威や地位といった社会的要因が信頼形成に影響を与えることが知られている (Kramer, 1999)．自動化システムが普及することにより，自動化システムに対する信頼に関しても，社会的要因が影響する可能性が考えられる．近年，自動運転システムや自動ブレーキシステムを搭載した自動車が増加してきた．一般的には，ユーザの多くは，企業のコマーシャルや他のユーザの噂に基づいて，自動化システムに対する信頼を形成すると考えられている (Lee & See, 2004; Norman, 2004)．そのため，自動運転システムや自動ブレーキシステムにエラーが生じて自動車事故が起き，その事故が広く知れ渡ったとき，人々は，自動運転システムや自動ブレーキシステムを使用した経験がなくても，それらのシステムに対する信頼を低下させる可能性が考えられる．このような自動化システムに対する信頼への社会的影響について検討を行うことは，今後，ますます普及するであろう自動化システムと人間との円滑な相互作用を促す上で重要であると考えられる．

# 謝辞

本研究を行うにあたり，ご指導，ご教授賜りました名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻認知情報論講座の三輪和久教授に心から感謝致します．

名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻認知情報論講座の齋藤洋典教授，名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻音声映像科学講座の武田一哉教授，名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻認知情報論講座の川合伸幸准教授，名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻音声映像科学講座の井手一郎准教授には，博士論文執筆にあたり，大変貴重なご助言を賜りましたことを心より感謝致します．

名古屋大学大学院情報科学研究科の寺井仁特任准教授，名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻認知情報論講座の光松秀倫助教，には，研究をまとめ上げていく上でご指導いただきました．ここに謹んで御礼を申し上げます．

名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻認知情報論講座の皆様には，ゼミ活動などを通して，日頃より有益な討論および多数のご助言を頂きました．ここに謹んで御礼を申し上げます．また，研究を進めるにあたり，実験参加をご了承いただきました名古屋大学の学生の皆様にも，御礼を申し上げます．

最後に，これまで全面的に支えてくださった家族および友人に，心より感謝致します．



## 引用文献

- Ahearne, J. F. (1987). Nuclear power after Chernobyl. *Science*, **236** (4802), 673–679.
- Andorre, V. & Queinnec, Y. (1998). Changes in supervisory activity of a continuous process during night and day shifts. *International Journal of Industrial Ergonomics*, **21** (3/4), 179–186.
- Beck, H. P., Dzindolet, M. T., & Pierce, L. G. (2007). Automation usage decisions: Controlling intent and appraisal errors in a target detection task. *Human Factors*, **49** (3), 429–437.
- Beck, H. P., McKinney, J. B., Dzindolet, M. T., & Pierce, L. G. (2009). Effects of human-machine competition on intent errors in a target detection task. *Human Factors*, **51** (4), 477–486.
- Bahner, E., Hüper, A.-D., & Manzey, D. (2008). Misuse of automated decision aids: Complacency, automation bias and the impact of training experience. *International Journal of Human-Computer Studies*, **66** (9), 688–699.
- de Vries, P., Midden, C., & Bouwhuis, D. (2003). The effects of errors on system trust, self-confidence, and the allocation of control in route planning. *International Journal of Human-Computer Studies*, **58** (6), 719–735.
- Duley, J. A., Westerman, S., Molloy, R., & Parasuraman, R. (1997). Effects of display superimposition on monitoring of automation. *Proceedings of the 9th International Symposium on Aviation Psychology*, 322–326.
- Dzindolet, M. T., Peterson, S. A., Pomranky, R. A., Pierce, L. G., & Beck, H. P. (2003).

- The role of trust in automation reliance. *International Journal of Human-Computer Studies*, **58** (6), 697–718.
- Dzindolet, M. T., Pierce, L. G., Beck, H. P., & Dawe, L. A. (2002). The perceived utility of human and automated aids in a visual detection task. *Human Factors*, **44** (1), 79–94.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, **37** (1), 32–64.
- Endsley, M. R. (1996). Automation and situation awareness. In R. P. . M. Mouloua (Ed.), *Automation and human performance: Theory and applications*, 163–181. Lawrence Erlbaum.
- Endsley, M. R. & Kiris, E. O. (1995). The out-of-the-loop performance problem and level of control in automation. *Human Factors*, **37** (2), 381–394.
- 福島真人 (2001). 『暗黙知の解剖－認知と社会のインタフェース』. 金子書房.
- Hosmer, D. W. & Lemeshow, S. (1989). 『Applied logistic regression』. Wiley & Sons.
- 生田久美子 (1987). 『「わざ」から知る』. 東京大学出版会.
- Inagaki, T.(2008). Collaboration between humans and machines based on mutual understanding. *Annual Reviews in Control*, **32** (2), 253–261.
- 稲垣敏之 (2001). ヒューマンマシン共生のための知性と信頼. 『日本信頼性学会誌』, **23** (2), 167–175.
- 海保博之・原田悦子・黒須正明 (1991). 『認知的インタフェース－コンピュータとの知的つきあい方』. 新曜社.
- 小杉素子・山岸俊男 (1998). 一般的信頼と信頼性判断. 『心理学研究』, **69** (5), 349–357.
- Kramer, R. M. (1999). Trust and distrust in organizations: Emerging perspectives, enduring questions. *Annual Review of Psychology*, **50**, 569–598.
- Lee, J. D. & Moray, N. (1992). Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems. *Ergonomics*, **35** (10), 1243–1270.

- 
- Lee, J. D. & Moray, N. (1994). Trust, self-confidence, and operators' adaptation to automation. *International Journal of Human-Computer Studies*, **40** (1), 153–184.
- Lee, J. D. & See, K. A. (2004). Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human Factors*, **46** (1), 50–80.
- Lewandowsky, S., Mundy, M., & Tan, G. P. A. (2000). The dynamics of trust: Comparing humans to automation. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, **6** (2), 104–123.
- Liu, Y. C. & Wen, M. H. (2004). Comparison of head-up display (HUD) vs. head-down display (HDD): Driving performance of commercial vehicle operators in Taiwan. *International Journal of Human-Computer Studies*, **61** (5), 679–697.
- Luhmann, N. (1973). *Vertrauen : Ein mechanismus der reduktion sozialer komplexität*. Lucius & Lucius. (大庭健・正村俊之 訳 (1990). 『信頼－社会的な複雑性の縮減メカニズム』. 勁草書房.).
- Madhavan, P. & Phillips, R. R. (2010). Effects of computer self-efficacy and system reliability on user interaction with decision support systems. *Computers in Human Behavior*, **26** (2), 199–204.
- Madhavan, P. & Wiegmann, D. A. (2007). Effects of information source, pedigree, and reliability on operator interaction with decision support systems. *Human Factors*, **49** (5), 773–785.
- Mayer, C., Davis, J. H., & Schoorman, F. D. (1995). An integrative model of organizational trust. *The Academy of Management Review*, **20** (3), 709–734.
- McFadden, S. M., Vimalachandran, A., & Blackmore, E. (1996). Factors affecting performance on a target monitoring task employing an automatic tracker. *Ergonomics*, **47** (3), 257–280.
- Metcalfe, J. & Greene, M. J. (2007). Metacognition of agency. *Journal of Experimental Psychology: General*, **136** (2), 184–199.
- Metzger, U. & Parasuraman, R. (2006). Effects of automated conflict cuing and

- traffic density on air traffic controller performance and visual attention in a datalink environment. *The International Journal of Aviation Psychology*, **16** (4), 343–362.
- Metzger, U. & Parasuraman, R. (2001). The role of the air traffic controller in future air traffic management: An empirical study of active control versus passive monitoring. *Human Factors*, **43** (4), 519–528.
- Molloy, R. & Parasuraman, R. (1996). Monitoring an automated system for a single failure vigilance and task complexity effects. *Human Factors*, **38** (2), 311–322.
- Moray, N. & Inagaki, T. (2000). Attention and complacency. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, **1** (4), 354–365.
- Muir, B. M. (1994). Trust in automation: Part 1. Theoretical issues in the study of trust and human intervention in automated systems. *Ergonomics*, **37** (11), 1905–1922.
- Muir, B. M. & Moray, N. (2000). Trust in automation: Part II. Experimental studies of trust and human intervention in a process control simulation. *Ergonomics*, **39** (3), 429–460.
- Norman, D. A. (1988). *The psychology of everyday things*. Basic Books. (野島 久雄 訳 (1990). 『誰のためのデザイン?—認知科学者のデザイン原論』. 新曜社.).
- Norman, D. A. (1991). Cognitive artifacts. In J. M. Carroll (Ed.), *Designing Interaction: Psychology at the Human-Computer Interface*, 17–38. Cambridge University Press.
- Norman, D. A. (1993). *Things That make us smart: Defending human attributes in the age of the machine*. Addison-Wesley. (佐伯 胖 監訳 (1996). 『人を賢くする道具—ソフト・テクノロジーの心理学』. 新曜社.).
- Norman, D. A. (2004). *Emotional design: Why we love (or hate) everyday things*. Basic Books. (岡本 明 安村 通晃, 伊賀 聡 一郎, 上野 晶子 訳 (2004). 『エモーショナル・デザイン—微笑を誘うモノたちのために』. 新曜社.).
- Okuda, H., Ikami, N., Suzuki, T., Tazaki, Y., & Takeda, K. (2013). Modeling and analysis of driving behavior based on a probability-weighted ARX model. *IEEE*

- 
- Transactions on Intelligent Transportation Systems*, **14** (1), 98–112.
- Parasuraman, R. & Manzey, D. H. (2010). Complacency and bias in human use of automation: An attentional integration. *Human Factors*, **52** (3), 381–410.
- Parasuraman, R., Molloy, R., & Singh, I. L. (1993). Performance consequences of automation-induced ‘complacency’ . *The International Journal of Aviation Psychology*, **3** (1), 1–23.
- Parasuraman, R., Mouloua, M., & Molloy, R. (1996). Effects of adaptive task allocation on monitoring of automated systems. *Human Factors*, **38** (4), 665–679.
- Parasuraman, R. & Riley, V. (1997). Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human Factors*, **39** (2), 230–253.
- Rajaonah, B., Tricot, N., Anceaux, F., & Millot, P. (2008). The role of intervening variables in driver-acc cooperation. *International Journal of Human-Computer Studies*, **66** (3), 185–197.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction: An approach to cognitive engineering*. Elsevier Science Publishing. (海保 博之, 加藤 隆, 赤井 真喜, 田辺 文也 訳 (1990). 『インターフェースの認知工学－人と機械の知的かかわりの科学』. 啓学出版.).
- Reeves, B. & Nass, C. (1996). *The media equation: How people treat computers, television, and new media like real people and places*. Cambridge University Press.
- 佐伯 胖 (1988). 意味と情報. 竹内 啓 (編), 『機械と人間の情報処理－認知工学序説』, 21–72. 東京大学出版会.
- 佐伯 胖 (1990). アクティブ・マインド. 佐々木 正人 佐伯 胖 (編), 『アクティブ・マインド－人間は動きのなかで考える』, 1–24. 東京大学出版会.
- Simons, D. J. & Ambinder, M. C. (2005). Change blindness: Theory and consequences. *Current Directions in Psychological Science*, **14** (1), 44–48.
- Simons, D. J. & Chabris, C. F. (1999). Gorillas in our midst: Sustained inattentive blindness for dynamic events. *Perception*, **28** (9), 1059–1074.

- Simons, D. J., Franconeri, S. L., & Reimer, R. L. (2000). Change blindness in the absence of a visual disruption. *Perception*, **29** (10), 1143–1154.
- Singh, I. L., Molloy, R., & Parasuraman, R. (1993). Individual differences in monitoring failures of automation. *The Journal of General Psychology*, **120** (3), 357–373.
- Sklar, A. E. & Starter, N. B. (1999). Tactile feedback in support of attention allocation and human-automation coordination in event-driven domains. *Human Factors*, **41** (4), 543–552.
- 鈴木宏昭・植田一博 (2003). コミュニケーション的インタフェース論. 原田悦子 (編), 『「使いやすさ」の認知科学—人とモノとの相互作用を考える』, 2–28. 共立出版.
- Szalma, J. L., Warm, G., Mathews, W. N., Dember, E. M., Weiler, A., Meier, A., & Egge-meier F. T. (2004). Effects of sensory modality and task duration on performance, workload, and stress in sustained attention. *Human Factors*, **46** (2), 219–233.
- 植田一博 (2006). ユーザインタフェース—人に優しいデザイン. 川合慧 (編), 『情報』, 211–229. 東京大学出版会.
- Warm, J. S., Parasuraman, R., & Matthews, G. (2008). Vigilance requires hard mental work and is stressful. *Human Factors*, **50** (3), 433–441.
- 渡辺仁 (1985). 『ヒトはなぜ立ちあがったか』. 東京大学出版会.
- Wickens, C. D. & Alexander, A. L. (2009). Attentional tunneling and task management in synthetic vision displays. *The International Journal of Aviation Psychology*, **19** (2), 182–199.
- Wiegmann, D. A., Rich, A. & Zhnag, H. (2001). Automated diagnostic aids: The effects of aid reliability on users' trust and reliance. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, **2** (4), 352–367.
- Wiener, E. L. & Curry, R. E. (1980). Flight-deck automation: Promises and problems. *Ergonomics*, **23** (10), 995–1011.
- 山岸俊男 (1988). 『信頼の構造—こころと社会の進化ゲーム』. 東京大学出

版会.



# 関連論文

## 学術誌掲載論文

- Maehigashi, A., Miwa, K., Terai, H., Kojima, K., & Morita, J. (2013). Experimental investigation of calibration and resolution in human-automation system interaction. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, **E96-A** (7), 1625–1636.
- 前東晃礼・三輪和久・寺井仁・小島一晃・森田純哉 (2013). Complacency と自動化システム使用傾向との関連に関する実験的検討. 『電子情報通信学会論文誌 A』, **J96-A** (9), 676–686.
- 前東晃礼・三輪和久・寺井仁 in press. 自動化システムの使用と信頼の役割. 『認知科学』.

## 学会発表

- Maehigashi, A., Miwa, K., Terai, H., Kojima, K., & Morita, J. (2011). Selection strategy of effort control: Allocation of function to manual operator or automation system. *Proceedings of the 33rd Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 1977–1982.
- Maehigashi, A., Miwa, K., Terai, H., Kojima, K., Morita, J., & Hayashi, Y. (2011). Experimental investigation of misuse and disuse in using automation system. *Lecture Notes in Computer Science*, **6764**, 384–393.
- Morita, J., Miwa, K., Maehigashi, A., Terai, H., Kojima, K., & Ritter, F.

- (2011). Modeling human-automation interaction in a unified cognitive architecture. *Proceedings of the 20th Behavior Representation in Modeling & Simulation (BRIMS) Conference*, 146–153.
- Morita, J., Miwa, K., Maehigashi, A., Terai, H., Kojima, K., & Ritter, F. (2011). Modeling decision making on the use of automation. *Proceedings of the 33rd Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 1971–1976.
  - 前東晃礼・三輪和久・寺井仁・小島一晃・森田純哉 (2011). 自動化システムの利用における Misuse/Disuse の実験的検討. 『日本認知科学会第28回大会発表論文集』, 103–111.
  - 寺井仁・三輪和久・奥田裕之・田崎勇一・鈴木達也・小島一晃・森田純哉・前東晃礼・武田一哉 (2011). 実験室研究から実環境研究への接合を目指した Multi-platform Experiment～運転行動特性を対象とした行動一貫性の実験的検討. 『日本認知科学会第28回大会発表論文集』, 751–756.
  - Maehigashi, A., Miwa, K., Terai, H., Kojima, K., & Morita, J. (2012). Experimental investigation of relationship between complacency and tendency to use automation system. *Proceedings of the 34th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 1960–1965.
  - Terai, H., Miwa, K., Okuda, H., Tazaki, Y., Suzuki, T., Kojima, K., Morita, J., Maehigashi, A., & Takeda, K. (2012). Multi-platform experiment to cross a boundary between laboratory and real situational studies: Experimental discussion of cross-situational consistency of driving behaviors. *IEA2012: 18th World Congress on Ergonomics - Designing a Sustainable Future, Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, **41** (1), 1471–1476.
  - 前東晃礼・三輪和久・寺井仁・小島一晃・森田純哉 (2012). Fixation failure と Attention failure に関する実験的検討. 『日本認知科学会第29回大会発表論文集』, 870–876.
  - 寺井仁・三輪和久・奥田裕之・田崎勇一・鈴木達也・小島一晃・森田純哉・

前東晃礼・武田一哉 (2012). 運転行動の一貫性：実車，シミュレータ，ドライビングゲームを用いた実験的検討. 『ヒューマンインターフェースシンポジウム 2012』, 775–780.

- Terai, H., Miwa, K., Okuda, H., Tazaki, Y., Suzuki, T., Kojima, K., Morita, J., Maehigashi, A., & Takeda, K. (2013). A discussion on the consistency of driving behavior across laboratory and real situational studies. *Proceedings of the 35th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 1444–1449.

## 研究会発表

- 前東晃礼・三輪和久・寺井仁・小島一晃・森田純哉・林勇吾 (2011). 自動化システムの利用における Misuse/Disuse の実験的検討. 『情報処理学会研究報告』, **2011-HCI-141** (6), 1–8.

## その他の論文

### 学術誌掲載論文

- 三輪和久・寺井仁・松室美紀・前東晃礼 in press. 学習支援の提供と保留のジレンマ解消問題. 『教育心理学研究』.

### 学会発表

- 前東晃礼・三輪和久 (2009). 外的資源の利用可／不可状況における作業の熟達プロセス. 『日本認知科学会第 26 回大会発表論文集』, 352–353.
- Maehigashi, A., & Miwa, K. (2010). Estimation of trade-off between costs of preprocessing and primary processing. *Proceedings of the 32nd Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 943–948.
- 前東晃礼・三輪和久 (2010). 前処理／主処理トレードオフの見積もり判

断に関する検討. 『日本認知科学会第27回大会発表論文集』, 201–205.

## 研究会発表

- 前東晃礼・三輪和久 (2010). 前処理／主処理トレードオフの見積もり判断に関する検討. 『人工知能学会第57回先進的学習科学と工学研究会資料』, **SIG-ALST-A902**(6), 35–42.

## 学会報告

- 森田純哉・本田秀仁・前東晃礼・松室美紀・住久美穂 (2011). 33rd annual meeting of the Cognitive Science Society (CogSci 2011) 報告. 『認知科学』, **18**(4), 638–642.

## 付録 A

# 補正ロジスティック近似式とオッズ比の算出

### A.1 補正ロジスティック近似式の算出

1. 実験1で Auto と Manual のパフォーマンスの線形近似式を算出.
2. 各課題で算出された Auto と Manual のパフォーマンスの線形近似式から, Auto と Manual のパフォーマンスの関係式を算出.

$$Cm = ACa + B \quad (\text{A.1})$$

3. 実験2でロジスティック近似式を算出.

Auto モード使用率 ( $Pa$ )

$$Pa = 100 \times 1 / (1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 Ca + \beta_2 Cm)}) \quad (\text{A.2})$$

4. Auto と Manual のパフォーマンスの関係式を, ロジスティック近似の補正式に変換する. 具体的には, 実験1で算出された関係式の  $Ca$  を  $Cm$  の補正值である  $Cm'$  に置き換える.

$$Cm = ACm' + B \quad (\text{A.3})$$

5. ロジスティック近似式に補正式を代入. これにより,  $Ca$  と  $Cm'$  の値が同じときに,  $Ca$  における Auto のパフォーマンスと  $ACm' + B$  における

Manual のパフォーマンスは同等となる。

補正 Auto モード使用率 ( $Pa'$ )

$$Pa' = 100 \times 1 / (1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 Ca + \beta_2 (ACm' + B))}) \quad (\text{A.4})$$

## A.2 オッズ比の算出

ロジスティック近似式から算出

$$Ca \text{ のオッズ比 : } e^{(10\beta_1)} \quad (\text{A.5})$$

$$Cm \text{ のオッズ比 : } e^{(10\beta_2)} \quad (\text{A.6})$$

補正ロジスティック近似式から算出

$$Cm' \text{ のオッズ比 : } e^{(10\beta_{2A})} \quad (\text{A.7})$$

## 付録 B

# 実験 2 の補正ロジスティック近似式

線課題の補正 Auto モード 使用率 ( $Pa'$ )

$$Pa' = 100 \times 1 / (1 + e^{-(0.505 + 0.042Ca - 0.046(1.177Cm' - 2.626)})}) \quad (B.1)$$

道課題の補正 Auto モード 使用率 ( $Pa'$ )

$$Pa' = 100 \times 1 / (1 + e^{-(1.317 + 0.022Ca - 0.044(1.086Cm' + 1.897)})}) \quad (B.2)$$

線課題

Auto モード 過剰使用群の補正 Auto モード 使用率 ( $Pa'$ )

$$Pa' = 100 \times 1 / (1 + e^{-(0.249 + 0.047Ca - 0.034(1.177Cm' - 2.626)})}) \quad (B.3)$$

Auto モード 過少使用群の補正 Auto モード 使用率 ( $Pa'$ )

$$Pa' = 100 \times 1 / (1 + e^{-(0.522 + 0.045Ca - 0.062(1.177Cm' - 2.626)})}) \quad (B.4)$$

道課題

Auto モード 過剰使用群の補正 Auto モード 使用率 ( $Pa'$ )

$$Pa' = 100 \times 1 / (1 + e^{-(1.696 + 0.031Ca - 0.047(1.086Cm' + 1.897)})}) \quad (B.5)$$

Auto モード過少使用群の補正 Auto モード使用率 ( $Pa'$ )

$$Pa' = 100 \times 1 / (1 + e^{-(1.080 + 0.017Ca - 0.048(1.086Cm' + 1.897))}) \quad (\text{B.6})$$