

Driver behaviour with adaptive cruise control

Stanton, N, A, and Young, M, S.

Ergonomics, 2005, Vol. 48, No. 10, pp. 1294-1313

1. Aim of paper

- 自動化システムの研究では、一般的にシステムがどのように使用されているかよりも、限られたシステムエラーについて主に検討されている (e.g. Hoedemaeker & Brrokhuis, 1988; Sonmezisik et al, 1998; Marsden, et al, 2001)
- 新しい自動化システムに関しては、限られた事例よりも、システムとの最適な相互作用について考慮すべき
 - 最適なパフォーマンスを行うために、自動化システムがどうあるべきかを検討するべき (Young & Stanton, 1997)
- 本研究では、運転手のどの心理側面が重要性を示し、ACC(Adaptive cruise control)の有用性について検討する

1.1. Adaptive cruise control

- ACC は、距離センサーと距離制御システムから成り、CCC(Conventional Cruise Control)につながっている
 - ※ CCC は、速度コントロール装置
- CCC のみの場合
 - CCC が on のときは、設定したスピードで車を動かす(Cruising)
 - Cruising からは、4つの選択肢を選ぶことができる
 - ◇ アクセル、ブレーキ、スピード設定の変更、CCC off

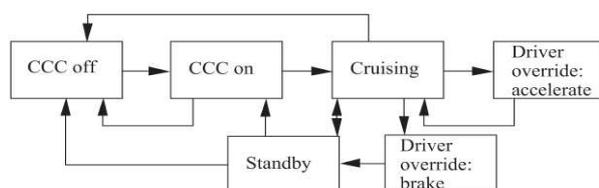


Figure 1. Simplified state transitions for conventional cruise control (CCC).

- ACC の場合
 - ACC には、"Following"があり、車間距離の調整をアクセル、ブレーキによって行う

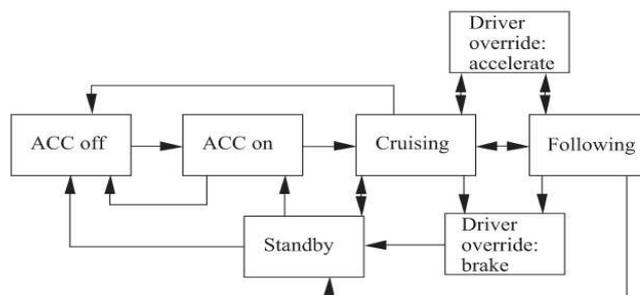


Figure 2. Simplified state transitions for adaptive cruise control (ACC).

- ACC に関する先行研究
- Nilsson(1995), Young & Stanton(1997)
 - Manual と ACC を比較したとき, 作業負担に差はない
- Stanton et al.(1997)
 - CCC と ACC を比較したとき, ACC の作業負担は小さい

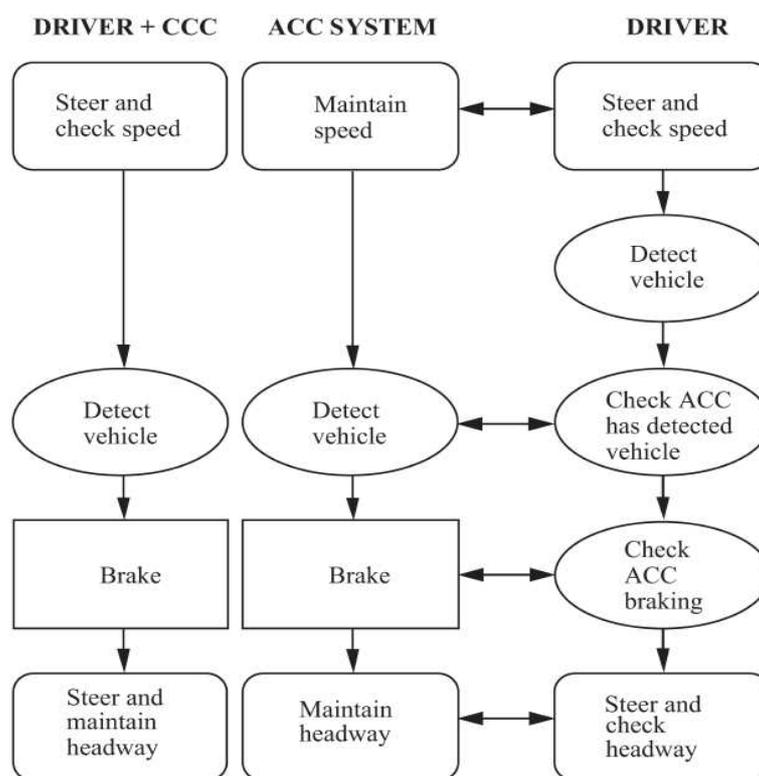


Figure 3. Driver tasks with conventional cruise control (CCC) and adaptive cruise control (ACC) showing a mixture of cognitive and physical tasks (in the lozenge), cognitive tasks (in the oval) and physical tasks (in the rectangle).

- ACC を使用した場合, ACC の動作を確認する必要がある
 - ACC が身体的負担を軽減しても, 認知的負担を増加させている可能性がある

1.2. Driver behavior

- これまでの研究で検討されてきた運転手の心理側面は, 主に, ストレス(Desmond et al. 1998), と作業負担(de Waard et al. 1999)である
- 本研究では, 自動化システムに影響するであろう 6 つの要因について検討する
 - 原因帰属(Locus of loci), 信頼性, 状況認識, メンタルモデル, 作業負担, ストレス
- 原因帰属(Locus of loci)

- LOCI(Locus of Control Inventory) : 原因帰属の傾向をみる(Rotter, 1966)
 - ✧ 内的帰属 : 自己に原因を帰属させる傾向
 - ✧ 外的帰属 : 運, 環境, 他人に原因を帰属させる傾向
- 車の動きを運転手に起因するのか, ACC に起因するのか
 - ✧ 内的帰属 : 車の操縦に積極的に関与している
 - ✧ 外的帰属 : ACC が車を操縦し, 車の操縦に受動的に関与している

仮説 1 : Manual 運転よりも, ACC を使用したときに外的帰属傾向になる

● 信頼性

- Muir(1994)は, 人間と自動化システム間の信頼性のモデルを示している
- このモデルでは, 3つの要因(予測性, 依存性(dependability), 信用(faith))が同定されている
- 的確な予測により, 依存性は増加し, 依存性の増加が信用の増加につながる
- ACC の動作を観察することで, 信頼性が増加するのであれば,

仮説 2 : ACC への信頼は, フィードバックのレベルが高いときに生じる

● 状況認識

- 航空学の分野では, 実際の飛行機の状態が誤って表示されるエラーについて検討が行われている(Woods, 1988)

仮説 3 : Manual 運転よりも, ACC を使用したときに状況認識が低下する

● メンタルモデル

- 様々な状況で機器の動作が蓄積され, メンタルモデルは形成される(Johnson-Laird, 1989)
- メンタルモデルによる予測は, 実際よりも大きく異なることがある(Caramazza et al, 1981)
- メンタルモデルは, 状況認識に関連する

仮説 4 : フィードバックのレベルが高いときに, ACC のメンタルモデルが改善される

● 作業負担

- ACC が作業負担を軽減するか否かは賛否両論
- Santon et al. (1997) : ACC は作業負担を軽減する
- Young & Santon(1997) : ACC は作業負担を軽減しない
- Reinartz & Gruppe(1993) : ACC は作業負担を増加させる

仮説 5 : Manual 運転と ACC 使用時の作業負担に差はない

- ストレス
 - 運転手にとって、刺激の不足からくる疲れが、高いストレスを与えることが示されている(Matthews & Desmond, 1995; Matthews et al, 1996)

仮説 6：Manual 運転よりも、ACC 使用時にストレスは高い

- 交通量の増加がストレス増加を導くことが示されている(Simon & Corbett, 1996)

仮説 7：通行車両の多いとき、ストレスは増加する

2. Method

2.1. Participants

- 運転免許を持った大学生 110 人

2.2. Design

- 独立変数
 - 自動化：Manual/ACC (被験者内)
 - Traffic：Low/Medium/High (被験者間)
 - ◇ 1時間あたりの自動車の量：800台/1600台/2400台
 - フィードバック：Low/Medium/High (被験者間)
 - ※ 車の状態を提示(スピード, 車の位置, 車間距離)??
 - ◇ Low:音声フィードバック/Medium:音声フィードバック+計器板に表示/High 音声フィードバック+計器板に表示+HUD (Head-up Display)

Table 1. Numbers of participants assigned to experimental conditions.

Workload/Feedback	Low	Medium	High
Low	12	12	12
Medium	12	14	12
High	12	12	12

2.3. Equipment

- ドライビングシミュレーター
 - Jaguar XK8 をもとに構築されたドライビングシミュレーター
 - ハンドル, アクセル, ブレーキの操作を行う
 - 3車線の道路が表示され, 他の車も走行している
 - 取得データ(0.5秒ごとにデータを取得)
 - ◇ スピード, 車の位置, 他の車との車間距離, 追い越し回数, 衝突回数, ハンドル/アクセル/ブレーキ操作

2.4. Procedure

- 2回練習走行を行う
- 5分間の Pre-driving を行い、ストレスに関するアンケートを行う(ベースライン)
- Manual/ACC(カウンタバランス)で 20 分ずつ走行
 - Manual : あなたは仕事場に向かっています。仕事場までは 20 分かかります。できるだけ 113km を保って走行してください
 - ACC : あなたは仕事場に向かっています。仕事場までは 20 分かかります。ACC を 113km に設定して走行してください
- Manual/ACC の各試行後、原因帰属(Locus of loci)、信頼性、状況認識、メンタルモデル、作業負担、ストレスのアンケートを実施
- メンタルモデル、信頼性のアンケートは、ACCの試行後のみ実施。

3. Results

3.1. Driving variables

- Driving speed
 - Trafficの主効果あり ($F(2,101)=20.0, p<.001$)
 - ◇ Low>Medium($p<.001$), Medium>High($p<.01$)

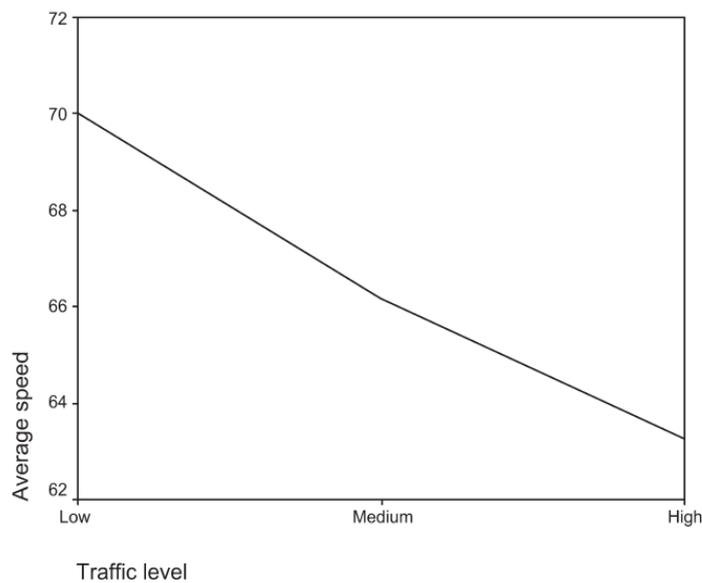


Figure 4. Mean speed (mph) for the low, medium and high traffic conditions.

- 車の位置
 - Trafficの主効果あり ($F(2,101)=19.0, p<.001$)
 - ◇ Low<Medium($p<.001$), Medium≠High

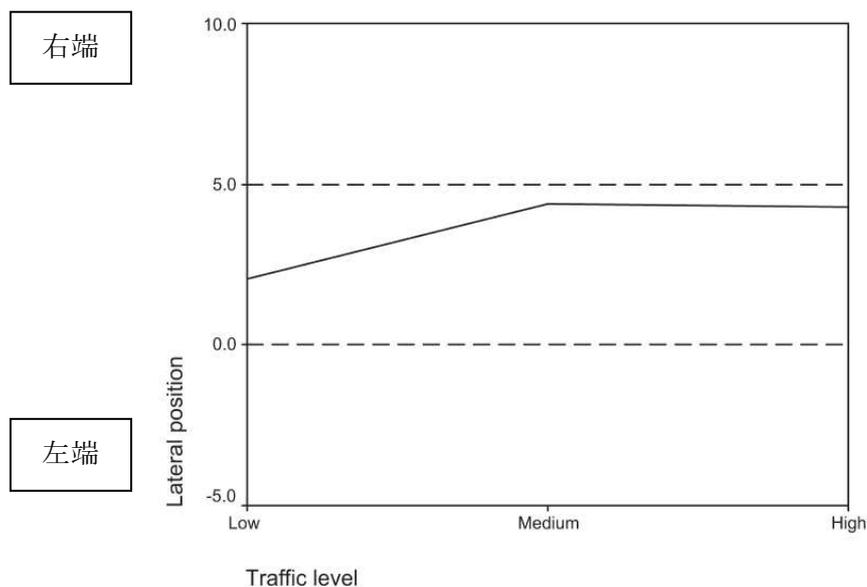


Figure 5. Mean lateral road position for the low, medium and high traffic conditions.

3.2. 原因帰属(Locus of control)

- LOCI(Locus of control inventory) from Rotter(1966)を使用
 - Trafficの主効果なし($F(2,101)=1.76, n.s.$)
 - フィードバックの主効果なし($F(2,101)=1.01, n.s.$)
 - Trafficとフィードバックの交互作用なし($F(4,101)=0.28, n.s.$)

3.3. 作業負担

- NASA-TLXを使用
 - 自動化の主効果あり($F(1,101)=15.0, p<.001$)
 - ◇ Manual>ACC
 - Trafficの主効果あり($F(2,101)=5.95, p<.005$)
 - ◇ Low<Medium ($p<.005$), Medium \doteq High
- フラストレーション
 - Trafficの主効果あり($F(2,101)=3.90, p<.05$)
 - ◇ Low<Medium($p<.05$), Medium \doteq High
 - 自動化とフィードバックの交互作用あり($F(2,101)=3.13, p<.05$)
 - ◇ Manualのとき—フィードバック：Low<Medium($p<.05$)
 - ◇ ACCのとき—フィードバック：Medium<High($p<.05$)

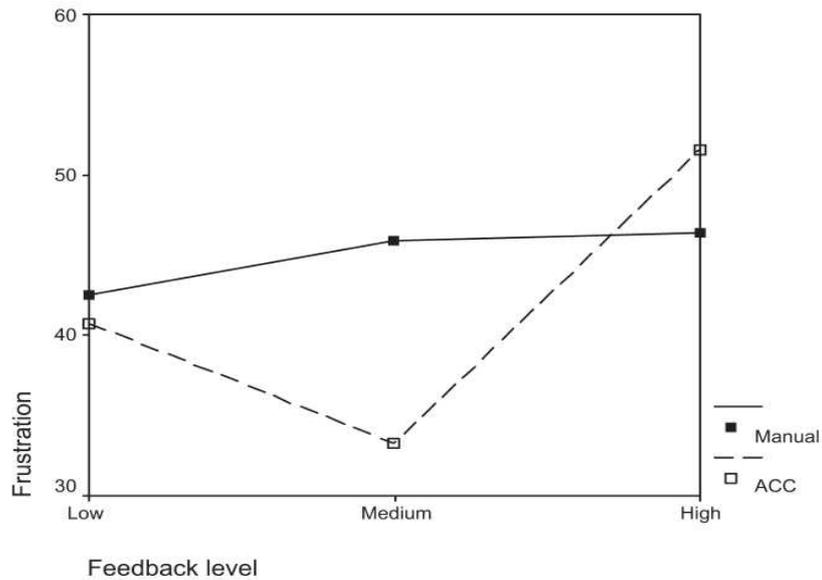


Figure 6. Frustration levels against feedback and automation.

- 認知的負担
 - 自動化の主効果あり ($F(1,101)=14.3, p<.001$)
 - ◇ Manual>ACC
 - Trafficの主効果あり ($F(1,101)=14.3, p<.001$)
 - ◇ Low<Medium($p<.005$), Medium≐High
 - 自動化, Traffic, フィードバックに2次の交互作用あり ($F(4,101)=2.73, p<.05$)
- 身体的負担
 - 自動化の主効果あり ($F(1,101)=16.1, p<.001$)
 - ◇ Manual>ACC

3.4. Situation awareness

- SART(Situation Awareness Rating Technique)を使用
 - Trafficとフィードバックの交互作用あり ($F(4,101)=2.84, p<.05$)
 - ◇ Traffic Lowのとき—フィードバック : Low>High($p<.01$)
 - ◇ フィードバック Lowのとき—Traffic : Low>High($p<.005$)

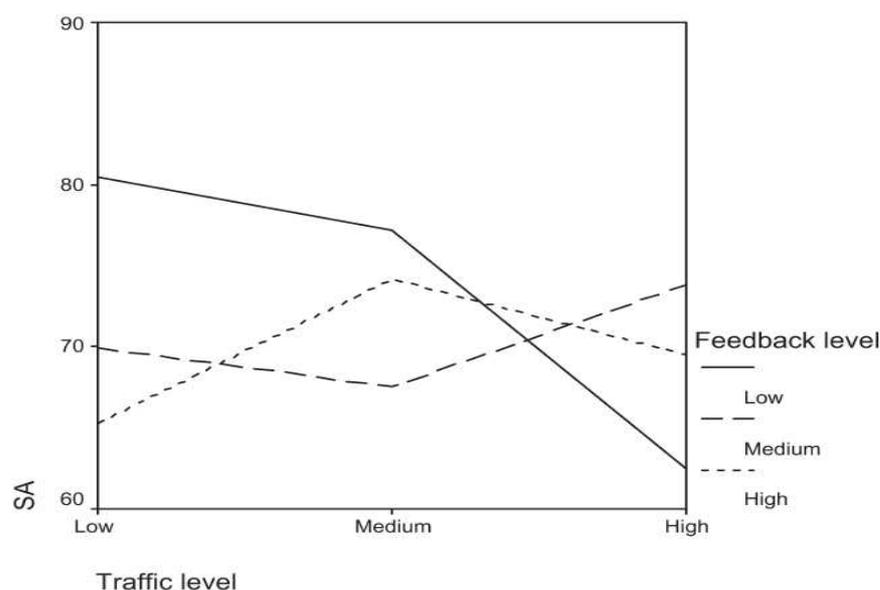


Figure 7. Overall situation awareness plotted against traffic levels and feedback.

3.5. Trust

- Trust
- 著者によって作成された質問紙
 - Trafficの主効果なし($F(2,101)=0.61, n.s.$)
 - フィードバックの主効果なし($F(2,101)=0.18, n.s.$)
 - Trafficとフィードバックの交互作用なし($F(4,101)=1.63, n.s.$)

3.6. Mental models

- 著者によって作成された質問紙(多肢選択, "What happens next?" question, ACC試行後に, ACCの動作を説明)

Table 2. Statistics for mental models questionnaires according to experimental condition.

	Feedback	Traffic	Interaction
Multiple-choice	$F(2,101)=1.22, NS$	$F(2,101)=0.55, NS$	$F(4,101)=1.03, NS$
What happens next	$F(2,101)=1.65, NS$	$F(2,101)=1.13, NS$	$F(4,101)=0.49, NS$
Verbal protocol	$F(2,101)=1.24, NS$	$F(2,101)=1.67, NS$	$F(4,101)=2.30, NS$

3.7. Stress

- DSSQ(Dundee Stress State Questionnaire)アンケート:緊張度
- Pre-drivingをベースラインとして自動化要因(Manual/ACC)に追加
 - 自動化の主効果あり($F(2,202)=4.39, p<.05$)
 - ◇ Pre-driving<Manual($p<.005$)
 - 自動化とTrafficの交互作用あり($F(4,202)=4.28, p<.005$)

- ◇ Pre-driving のとき—Traffic : Medium>Low($p<.05$), High>Low($p<.05$)
- ◇ Traffic Medium のとき—Pre-driving<ACC($p<.005$)
- ◇ Traffic High のとき—Pre-driving<Manual($p<.005$)
Pre-driving<ACC($p<.05$)

3.8. Summary of result

Table 3. Summary of results.

Variable	Summary finding	Hypothesis (H)
Speed	Lower speeds with higher traffic levels	
Lateral position	Medium and high traffic level more likely to be in the overtaking lane	
Locus of control	Medium traffic level condition has higher driving internality scores and lower driving externality scores than the low or high conditions	H1 = unsupported
Trust	No statistical differences	H2 = unsupported
Situation awareness (SA)	For overall SA, under low traffic levels, low feedback leads to greater SA than both high feedback and high traffic Greater demand on attentional resources in manual driving compared to ACC Greater supply of attentional resources in manual driving compared to ACC	H3 = supported
Mental models	No statistical differences	H4 = unsupported
Workload	Greater overall workload in manual driving compared to ACC Greater overall workload in medium and high traffic levels compared to low traffic levels Greater mental demand in manual driving compared to ACC Greater mental demand in medium and high traffic levels compared to low traffic levels Greater physical demand in manual driving compared to ACC Greater temporal demand in manual driving compared to ACC Greater effort in manual driving compared to ACC Greater frustration in medium and high traffic levels compared to low traffic levels	H5 = unsupported
Stress	Driving leads to greater stress than not driving Driving in higher traffic levels leads to more stress than in lower traffic levels Greater anger in manual driving than ACC Greater task-irrelevant interference in ACC than manual driving	H6 = unsupported H7 = supported

ACC = adaptive cruise control.

4. Discussion and conclusions

- 車の量が増えると、走行速度は遅くなり、右レーン(追い越し車線)の使用がみられた

仮説 1 : Manual 運転よりも、ACC を使用したときに外的帰属傾向になる(×)

- Locus of control の値は Manual/ACC で変化しない
 - ACC を使用しても、帰属する原因の所在は変わらない
 - ◇ 先行研究
 - ◇ 外的帰属をする人は、内的帰属をする人よりも注意不足で、事故を起こしやすい(Montag & Cmrey, 1987; Holland, 1993; Lajunen & Summala, 1995)
 - 運転の練習段階で、内的帰属させることが必要

仮説 3 : Manual 運転よりも、ACC を使用したときに状況認識が低下する(?)

- 状況の認識は、車の量が少ない場合、音声フィードバックのみ(フィードバック : Low)を使用したときに最も状況の認識率は高い
- 状況の認識は、車の量が多い場合、音声フィードバック+計器板に表示+HUD (フィードバック : High)を使用したときに最も状況の認識率は高い
 - HUD は常に情報を表示していた → 課題を複雑化した可能性がある
 - ◇ 状況の認識に関しても、作業負担を削減させる最適値について考慮する必要がある

仮説 5 : Manual 運転と ACC 使用時の作業負担に差はない(×)

- 作業負担は、ACC よりも、Manual を使用した方が高い
- 作業負担は、車の量が増えると増加した
 - ACC 使用により、作業負担は軽減する
 - ◇ 先行研究
 - ◇ Automation System 使用の最適値について述べ、作業負荷が低い時に ACC を使用することに懸念を示している(Parasuraman & Riley, 1997)

仮説 6 : Manual 運転よりも、ACC 使用時にストレスは高い(×)

仮説 7 : 通行車両の多いとき、ストレスは増加する(○)

- 高いストレスは、車の量の増加に関連する
 - ACC の使用は、車の量が多い時、作業負担、ストレスの軽減に有効かもしれない
- Young & Stanton(2005)
 - ACC を有効に使用するためには、状況の変化についての適切な知識が必要である
 - 状況の認識を低下させることなく、作業負担、ストレスを軽減させる ACC system

のデザインが必要

- 今回の実験で使用した HUD は有効ではない
 - 表示する情報を容易に理解できるインターフェースが必要
 - 低い認知負荷で状況認識を行うためのインターフェース研究が今後必要