

The role of intervening variables in driver-ACC cooperation

Rajaonah, B., Tricot, N., Anceaux, F., & Millot, P.

(2008) *International Journal of Human-Computer Studies*, 66, 185-197

1. Introduction

- Adaptive Cruise Control(ACC)は, Intelligent driver support system である
 - 車体前方のセンサーが前方車両を検出
 - ◇ 検出された場合 → 設定された車間時間を適応
 - ◇ 検出されない場合 → 設定された走行速度を適応
 - 自動車の走行速度を自動調整
- ドライバーと ACC の両方が, 車間距離とスピードの制御を行うことが可能
 - 制御の干渉が生じる (ドライバーの意図しない制御を ACC が行う)
 - ◇ 例・前方車両を検出
 - ドライバーは追い越し, ACC は減速
- 人間-ACC の Cooperation(Hoc & Blosseville, 2003)
 - モードの操作: ACC に制御を任せる, 任せない
 - ◇ 状況に応じて
 - i) 干渉が生じる可能性
 - ii) どちらがベストなパフォーマンスを示すかを考慮して, モードの操作を行う必要がある
 - 様々な媒介変数が, オペレータの意思決定に影響
- 自動化システム使用に影響する媒介変数
 - 信用(Muir & Moray, 1996)
 - ◇ 自動化システムの使用時間と自動化システムへの信用には正の相関
 - 自信(Lee & Moray, 1994)
 - ◇ 自動化システムの使用は, 自動化システムへの信用とオペレータの課題遂行能力への自信に関連
 - その他の要因の影響(Riley, 1996)
 - ◇ Fig. 1 は, オペレータの自動化システム依存に関する理論
 - 自信は, 作業負荷の認識やリスク認識から影響を受ける
 - 自動化システムへの依存は, 信用と自信から影響を受ける
- 以下のセクションでは, 信用, 自信, 作業負荷の認識, リスク認識について述べる



Fig. 1. Theory of operator reliance on automation (arrows indicate the hypothesized direction of influence) (from Riley, 1996, p. 21).

1.1. Trust

- 信用
 - 意思決定に関連した知識，信念，評価の結果生じる心理状態 (e.g., Catelfranchi & Falcone, 2000)
 - 自動化システムの使用において重要な役割を果たす (Lee and Moray, 1992; Dasonville et al., 1996; Muir and Moray, 1996; Bisantz and Seong, 2001)
 - 状況によって過信や不信が生じる
 - ◇ このような場合，人間-機械系におけるパフォーマンスは最適でなくなる (Muir, 1994; Dzindolet et al., 2003)
- 自信
 - 手動操作のパフォーマンスへの期待 (Lee & Moray, 1994)
 - 手動操作への信頼性の認識 (Dzindolet et al., 2001)
- 信頼関係
 - 人間と自動化システムとの関係に対する信用 (Rajanoah et al., 2006)
 - ◇ インタラクションを上手く行うことができているか
 - 自動化システム使用，未使用の選択に重要な役割を果たしている可能性

1.2. Perceived workload

- Irony of automation
 - 作業負荷を削減させるはずの自動化システムが負荷を増加させる (Bainbridge, 1983)
 - 自動運転システムの使用は作業負荷を増加させる要因の一つ (De Waard, 1973)
- ドライバーは運転をしない → 運転課題への注意が低下 (Stanton et al., 1997)
 - 自動運転システムは完璧なパフォーマンスを示すわけではない
 - ◇ 車線を越えて走行 (Ward et al., 1995)

- ◇ 過度に強いブレーキング(Hoedemaeker & Brookhuis, 1998)
 - 緊急事態では、通常の運転操作以上の注意負荷がかかる
- 自動化システムの監視には **Vigilance** が必要
 - **Vigilance** は注意を継続する能力(Davies & Parasuraman, 1982)
 - **Vigilance** の管理には作業負荷がかかる(Parasuraman et al., 1996)
 - ◇ 自動化システムの監視には作業負荷がかかる
- 自動化システムの監視中に、オペレータが作業負荷の増加を認識
 - 認知的負荷の増加, 注意の増加, **Vigilance** の低下が原因であると考えられる

1.3. Perceived risk

- リスク認識は、ネガティブな状況に陥る可能性や状況の深刻さに依存する(Numan, 1998)
- 信用とリスク認識との関連
 - 人間は、信用を高め、認識されるリスクを低下させる(Lewis & Weigert, 1985)
 - 信用によって、未来に生じる出来事を”確かである”と仮定することができる(Norman, 1998)
- 自動化システム使用に関するリスク認識
 - 自動化システムが予期しない結果をもたらす可能性に関連すると考えられる
 - 自動化システムのもたらすネガティブな結果を対処できるかというオペレータの自信にも関連すると考えられる
- 実験の目的
 - 人間-ACC のインタラクションにおいて、信用、自信、作業負荷の認識、リスク認識が、どのように影響するか検討

2. Method

- 目的
 - 信用、自信、作業負荷の認識、リスク認識は、ACC 使用と関連があるか検討

2.1. Apparatus

2.1.1. The driving task simulator

- ドライビングシミュレータ(SHERPA)を使用 (Fig. 2)



Fig. 2. SHERPA driving simulator.

2.1.2. The adaptive cruise control device

- ACC モニターは、ハンドルの横に設置 (Fig. 3)
 - ACC の走行スピード, 車間時間の設定が可能
 - ハンドル横のスイッチ押しで ACC を稼働, 同じスイッチ押しで ACC を停止
 - ◇ ブレーキペダルを 30%以上, アクセルペダルを 20%以上踏むと ACC は停止
 - ◇ ペダルを開放すると ACC が再稼働
 - ACC 稼働中, モニターには, 走行スピードと車間時間が表示される

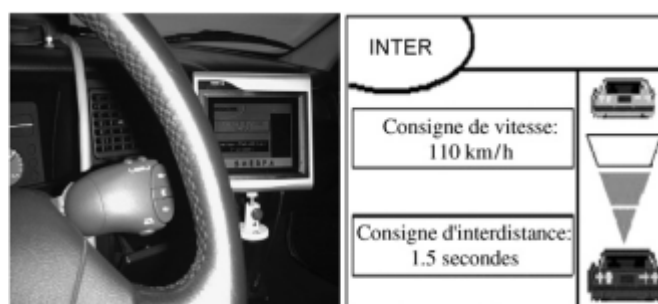


Fig. 3. The system interface position in the vehicle and the information indicated on it.

2.1.3. The simulation software

- 実験で行う走行 (35 分程度)
 - 一般道を走行 (13 キロ)
 - 2 車線の高速道路を走行 (25 キロ)
 - 一般道を走行 (12 キロ)
- 交通状況
 - 前方に突如進入 (一般道, 高速道路で各 1 回)
 - 前方車の急停止 (一般道, 高速道路で各 1 回)

- 安全な進入 (合計 19 回)

2.2. Participants and procedure

- 参加者 42 名 (男性 29 名, 女性 13 名, 22~51 歳)
- 練習試行
 - ドライビングシミュレータ, ACC の操作を練習
- 本試行
- アンケート

2.3. Dependent and independent variables

2.3.1. The dependent variables

- ACC 使用率
 - ACC の使用時間の割合 (一般道, 高速道路, 課題全体)
- ACC 使用/未使用の切り替え回数
- ACC のスピード, 車間時間を変更した回数
- アンケート
 - 11 項目のアンケート
 - ◇ 10 段階評定
 - 信用・自信評定
 - ◇ 全体的な信用, ACC への信用, 自信, ACC との信頼関係
 1. When driving with the ACC, I felt confident.
This was due to:
 2. Trust in the ACC,
 3. Self-confidence,
 4. Trust in the relationship with ACC.
 - 作業負荷の認識
 - ◇ 労力, 注意, *vigilance* の低下
 - *“Using the device has required a lot of effort”*
 - *“Using the device has required a lot of attention”*
 - *“Using the device has decreased vigilance”*
 - リスク認識
 - ◇ ACC のリスク, 衝突のリスク, ドライバーが負うリスク
 - *“The device is risky”*
 - *“Using the device increases the risk of collision with the preceding vehicle”*
 - *“Using the device forces me to take a lot of risk”*

2.3.2. The independent variable

- 課題全体の ACC 使用に関して、2 種類のドライバーが存在した
 - High/Low-use driver
 - ◇ 信用, 作業負荷の認識, リスク認識の違いについて検討

3. Results

3.1. Categorization of the intervening variables

- Fig. 4 はクラスター分析を行った結果
 - 2つのクラスター
 - ◇ ACC の使用中の労力, 注意, **Vigilance** の低下
 - 作業負荷の認識を示す指標
 - ◇ ACC のリスク, 衝突のリスク, ドライバーが負うリスク
 - リスク認識を示す指標

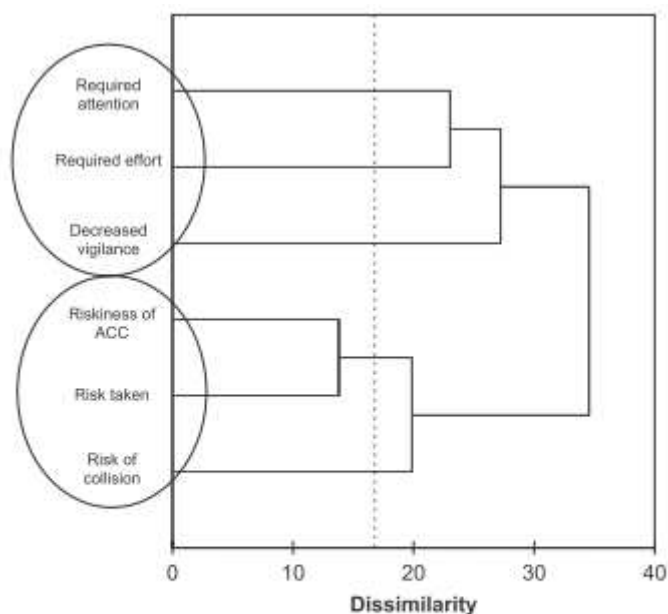


Fig. 4. Clusters produced by the agglomerative hierarchical clustering of the intervening variables, using Euclidian distance as the coefficient of dissimilarity and the Ward method as the aggregation criterion. Ellipses define the clusters resulting from the automatic division.

3.2. Categorization of the drivers

- 参加者全体の ACC 使用率は 72% (40.48%~94.44%)
 - 40.48%と 94.44%の中央の値 (67.46%)を基準に, high/low-use group に分割
 - ◇ high-use (26 名), low-use (16 名)

3.3. Driving performance with ACC

3.3.1. ACC use on the motorway and on the major roads

- Table1 (ACC 使用)

- 一般道と高速道路の両方で, **high-use group** の方が有意に ACC を多用

3.3.2. Cooperation with the ACC

- Table1

- ACC の切り替え回数は, **high/low-use group** で有意な差はなかった
- ACC のスピード, 車間時間を変更した回数は, **high-use group** の方が有意に多い
 - ◇ **high-use** のドライバーは, ACC との相互干渉を防ぎ, 協調を試みた

Table 1
Means for the driving behavior with ACC, values of Mann-Whitney test, and probabilities of a Type II error (β -value)

| Driving behavior with ACC | M (S.D.) | | Mann-Whitney U-test (p-value) | β -value |
|--|------------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|
| | High-use group, n = 26 | Low-use group, n = 16 | | |
| ACC overall use (%) | 81.41 (6.74) | 56.70 (9.91) | 416 (<.0001) | .05 |
| Use on motorway (%) | 91.83 (8.54) | 82.51 (11.95) | 318 (.0044) | .36 |
| Use on major roads (%) | 81.10 (7.92) | 46.31 (20.73) | 407 (<.0001) | .05 |
| Number of ACC deactivations | 38.62 (18.68) | 29.74 (25.73) | 266 (.13) | .84 |
| Weighted number of ACC deactivations | 48.81 (25.29) | 48.49 (39.29) | 233 (.70) | >.90 |
| Number of modifications in reference speed and time headway | 19.04 (12.23) | 4.75 (3.64) | 371.50 (<.0001) | .10 |
| Weighted number of modifications in reference speed and time headway | 23.01 (14.08) | 8.59 (7.16) | 347 (.0003) | .15 |

3.4. Driver assessments of trust, perceived workload, and perceived risk

3.4.1. Assessments of trust

- Table2 (信用)

- **high/low-use group** に有意な差はなかった

Table 2
Means for the driver trust measures, values of Mann-Whitney test, and probabilities of a Type II error (β -value)

| Driver trust | M (S.D.) | | Mann-Whitney U-test (p-value) | β -value |
|----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|
| | High-use group, n = 26 | Low-use group, n = 16 | | |
| Overall trust | 6.96 (1.40) | 6.33 (1.90) | 254 (.23) | .84 |
| Trust in ACC | 6.98 (2.20) | 7.16 (1.31) | 223.50 (.69) | >.90 |
| Trust in cooperation | 7.37 (1.42) | 6.74 (1.74) | 249 (.29) | .81 |
| Self-confidence | 6.49 (2.76) | 6.49 (2.53) | 211 (.94) | >.90 |

3.4.2. Assessments of perceived workload

- Table3 (作業負荷の認識)

- **low-use group** の方が, ACC 使用中に,
 - ◇ 多くの労力を要したと認識する傾向
 - ◇ 有意に多くの注意を要したと認識
 - ◇ **vigilance** の低下が有意に大きいと認識
- 作業負荷の認識を示す 3 項目の合計について, **low-use group** の方が有意に高い値

Table 3
 Means for the perceived workload measures, values of Mann-Whitney test, and probabilities of a Type II error (β -value)

| Perceived workload | <i>M</i> (S.D.) | | Mann-Whitney <i>U</i> -test (<i>p</i> -value) | β -value |
|-----------------------|-------------------------------|------------------------------|---|----------------|
| | High-use group, <i>n</i> = 26 | Low-use group, <i>n</i> = 16 | | |
| Required effort | 3.28 (2.12) | 4.43 (1.67) | 143 (.09) | .62 |
| Required attention | 4.08 (2.09) | 5.45 (1.99) | 129.50 (.04) | .51 |
| Decrease in vigilance | 3.66 (2.92) | 5.69 (2.72) | 125 (.03) | .47 |
| Overall indicator | 11.02 (5.52) | 15.57 (4.28) | 101 (.01) | .33 |

3.4.3. Assessments of perceived risk

- Table4 (リスク認識)

- low-use groupの方が、ACC使用中に、衝突のリスクが有意に高いと認識
- リスク認識を示す3項目の合計について、low-use groupの方が高い値を示す傾向

Table 4
 Means for the perceived risk measures, values of Mann-Whitney test, and probabilities of a Type II error (β -value)

| Perceived risk | <i>M</i> (S.D.) | | Mann-Whitney <i>U</i> -test (<i>p</i> -value) | β -value |
|-------------------------|-------------------------------|------------------------------|---|----------------|
| | High-use group, <i>n</i> = 26 | Low-use group, <i>n</i> = 16 | | |
| Riskiness of ACC | 3.39 (1.76) | 4.19 (1.84) | 154.50 (.17) | .75 |
| Risk of collision | 2.50 (2.05) | 3.73 (2.09) | 129 (.04) | .62 |
| Risk taken by using ACC | 3.43 (1.82) | 4.31 (2.02) | 151.50 (.14) | .75 |
| Overall indicator | 9.32 (4.47) | 12.23 (5.41) | 142.50 (.09) | .66 |

3.5. Links between the variables

- Table5

- 従属変数の相関関係
 - ◇ ACC使用
 - 一般道でのACC使用とドライバーが負うリスク認識に負の相関関係
 - 高速道路でのACC使用と作業負荷の認識全体に負の相関関係
 - ◇ 信用と作業負荷の認識
 - 信頼関係と注意の認識に正の相関関係
 - ◇ 信用とリスク認識
 - 全体的な信用とリスク認識全体に負の相関関係
 - 信頼関係とリスク認識全体に負の相関関係
 - 全体的な信用とリスク認識の各項目に負の相関関係
 - ACCへの信用とACCのリスク認識に負の相関関係
 - 信頼関係と衝突のリスクに負の相関関係
 - 自信とリスク認識全体に負の相関関係
 - 自信と衝突のリスクに負の相関関係

Table 5
Spearman correlation matrix (N = 42)

| Variables | Use on motorway | Use on major roads | Overall trust | Trust in ACC | Trust in cooperation | Self-confidence | Required effort | Required attention | Decreased vigilance | Riskiness of ACC | Risk of collision | Risk taken | Perceived workload | Perceived risk |
|----------------------|-----------------|--------------------|---------------|--------------|----------------------|-----------------|-----------------|--------------------|---------------------|------------------|-------------------|------------|--------------------|----------------|
| Use on motorway | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| Use on major roads | .45 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| Overall trust | .05 | .05 | 1 | | | | | | | | | | | |
| Trust in ACC | -.11 | .10 | .23 | 1 | | | | | | | | | | |
| Trust in cooperation | -.15 | .05 | .44 | .11 | 1 | | | | | | | | | |
| Self-confidence | .08 | .00 | .31 | .12 | .12 | 1 | | | | | | | | |
| Required effort | -.20 | -.21 | .05 | -.28 | -.09 | -.01 | 1 | | | | | | | |
| Required attention | -.28 | -.27 | -.17 | -.05 | -.38 | .16 | .47 | 1 | | | | | | |
| Decreased vigilance | -.08 | -.20 | -.10 | -.17 | -.13 | -.15 | .42 | .26 | 1 | | | | | |
| Riskiness of ACC | -.18 | -.10 | -.55 | -.32 | -.54 | -.24 | .37 | .39 | .46 | 1 | | | | |
| Risk of collision | -.13 | -.12 | -.46 | -.19 | -.35 | -.40 | .36 | .39 | .29 | .51 | 1 | | | |
| Risk taken | -.33 | -.22 | -.44 | -.29 | -.38 | -.23 | .54 | .45 | .39 | .71 | .55 | 1 | | |
| Perceived workload | -.20 | -.31 | -.13 | -.25 | -.26 | -.02 | .78 | .72 | .77 | .52 | .42 | .57 | 1 | |
| Perceived risk | -.20 | -.13 | -.53 | -.29 | -.52 | -.33 | .48 | .45 | .46 | .86 | .78 | .88 | .58 | 1 |

Values in bold are significantly different from 0 with a significance level alpha = .05.

4. Discussion

- 信用, 作業負荷の認識, リスク認識と ACC 使用との関連について検討
- ACC 使用 (high/low-use ドライバーの比較)
 - ACC 使用と信用または自信との関連
 - ◇ 今回の実験では関連はみられなかった
 - 参加者全体の ACC 使用率が非常に高い(72%)
 - 参加者は, 実験者の意図を考慮して, 信用しない ACC を無理に使用
 - ACC 使用と作業負荷の認識との関連
 - ◇ low-use ドライバーは, ACC 使用中に高い注意負荷, 大きな Vigilance 低下を認識
 - low-use ドライバーは作業負荷に対してより敏感に反応
 - Vigilance 管理に必要な注意資源を, ACC 監視よりもドライビングに使用
 - ACC 使用とリスク認識との関連
 - ◇ low-use ドライバーは, ACC 使用中に衝突のリスクを高く認識
 - 人工的な実験環境であったため, 他の項目では差が現れなかった
 - ◇ 信用とリスク認識に負の相関関係
 - 信用を高めることによって, 認識されるリスクを低下させる (Lewis & Weigert, 1985)
 - 一貫した結果
- Riley (1996)の示した図(Fig. 1)
 - 自動化システム使用は信用または自信と関連
 - 作業負荷またはリスクの認識は信用とは関連せず, 自信と関連
- Fig. 5 は, 今回の実験で示された ACC 使用, 信用, 作業負荷の認識, リスク認識の関連
 - ACC 使用は信用または自信とは関連しない
 - リスク認識と自信との関連は確認された

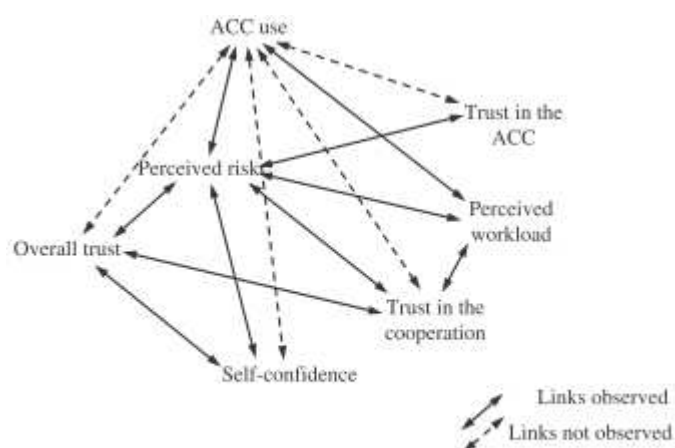


Fig. 5. Links between ACC use, driver different aspects of trust, perceived workload and perceived risk measures.

- 今後の展開
 - 作業負荷
 - ◇ 今回の実験で, **low-use** ドライバーは, 過負荷を認識したかもしれない
 - 実際には, 過負荷な状況ではない
 - ◇ ACC を使用しながらサブタスクを行う
 - サブタスクを操作して, 作業負荷の認識を測定
 - リスク認識
 - ◇ 自動化システムに備わる実際のリスクと
その自動化システムを使用したことによって生じるリスク認識
 - 両者の関係を検討