

# Overcoming Representational Errors in Complex Environments

Jones, D. G., & Endsley, M. R.

(2000). *Human Factors*, 42(3), pp. 363-378.

## Background

- 状況認識 (SA: Situation Awareness)
  - 定義: 「外界の要素の認識 (Level 1 SA), それらの意味の理解 (Level 2 SA), それらの状態の予測 (Level 3 SA)」 (Endsley, 1988)
  - 意思決定過程での状況認識の重要性が示されている (e.g., Connolly, 1982; Klein, 1993a; Lipshitz, 1993)
    - ◇ 粗悪な状況認識は意思決定の質を下げる
- Representational error は, 状況認識の質を低下させることにより生じるエラー
  - 適切に情報収集しているが, その意味を理解できていない (Level 2 SA の失敗)
    - ◇ 外界の情報とメンタルモデルとの統合における問題 (Figure 1)
- メンタルモデル
  - 定義: 「人間がシステムの状態や形状を記述したり, システムの機能や状態を説明したり, システムの状態を予測するためのメカニズム」 (Rouse & Morris, 1986)
    - ◇ 入力情報の意味や重要性の理解に影響
  - 不適切なメンタルモデルを持つ
    - ◇ 情報の重要性を誤って判断し, 不適切な状況認識を招く
      - どのような情報が状況認識の失敗を気づかせるのか
      - どのような情報がメンタルモデル修正の必要性を気づかせるのか
        - スキーマ研究で示されている内容が研究の足がかりとなる
- スキーマ
  - 定義: 「物体, 場面, イベントに関する過去経験を構造化した知識集合の表象」 (Mandler, 1979)
  - メンタルモデルはスキーマの活性を通して生成される
- スキーマの研究 1
  - Schema-bizarre information
    - ◇ スキーマと完全に一致しない情報
      - 例: ライオンがレストランのダイニングルームを歩き回る
  - Schema-irrelevant information
    - ◇ スキーマの機能には重要ではない情報
      - 例: レストランのダイニングルームの壁に植物が配置されている
  - Schema-irrelevant information よりも Schema-bizarre information の方が想起されやすい (Brewer & Nakamura, 1984; Brewer & Treyns, 1981)

- スキーマの研究 2
  - スキーマと観察している情報の統合は頻繁に行われ，区別することが困難になる
    - ◇ スキーマに一致した情報が，実際に生じていなくても，生じていると認識される (Brewer & Treyns, 1981; Pezdek et al., 1989)
  - 可能性
    - ◇ スキーマに一致した典型性の高い情報の存在
      - 欠落していても，その欠落は気づかれない可能性がある
        - 例：レストランのテーブルに塩がない
    - ◇ しかし，スキーマに一致しない情報の存在
      - 気づかれやすい可能性がある
        - 例：レストランのテーブルにパーティーハットがある
- スキーマ研究に基づく仮説
  - 仮説 1
    - ◇ Schema-irrelevant information よりも Schema-bizarre information の方が，オペレータにメンタルモデル修正の必要性を気づかせることができる
  - 仮説 2
    - ◇ スキーマに一致した情報(Schema expected information)の欠落よりも，スキーマに一致しない情報(Schema unexpected information)の出現の方が気づかれやすい

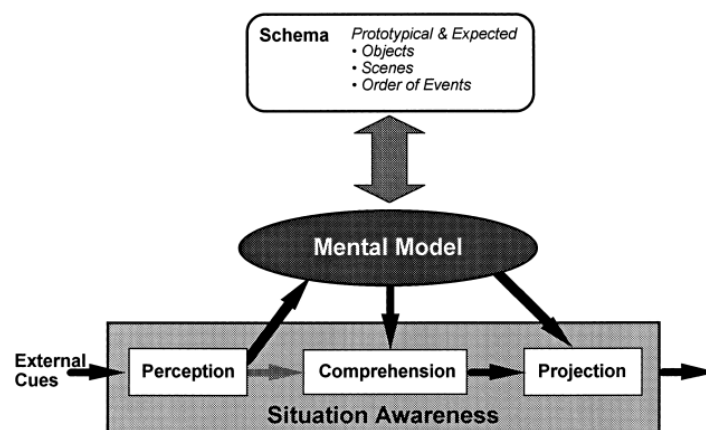


Figure 1. Schema, mental models, and situation awareness.

## Method

### Participants

- 連邦航空局のオペレータ 12名(女性 3名，男性 9名)
- 2人の実験の協力者が参加
  - 1人はパイロット役，もう一人は航空監視制御のエキスパート役

## Variables

- 独立変数
  - エラーの手がかり
    - ◇ Schema “bizarre” information → Bizarre
    - ◇ Schema “irrelevant” information → Irrelevant
    - ◇ Schema “unexpected” information → Unexpected
    - ◇ Absence of Schema “expected” information → Absence of expected
- 従属変数
  - オペレータの反応
    - ◇ 実験中に生じるエラーの手がかり情報に気づき，エラーを修正
      - 手がかり情報の検出成功と判断

## Procedure

- 航空監視制御のシミュレータを使用
  - レーダー画面
  - フライトプランの表示
  - パイロットとのコミュニケーション機能
- 30分のシナリオ
  - 3つのエラーが2回ずつ生じる
    - ◇ 機種 of 誤認
    - ◇ 飛行経路のエラー
    - ◇ コミュニケーションのエラー
  - 手がかり情報
    - ◇ 航空監視制御のエキスパートが手がかり情報を与える
    - ◇ 手がかり情報を正確に理解できれば，エラーに気づき，エラーを修正できる
      - Bizarre, Irrelevant のセット
      - Unexpected, Absence of expected のセット
        - 各参加者につき，どちらか一方のセットを使用

## Error Categories

- 機種 of 誤認
  - 監視画面に侵入する飛行機の機種が誤って表示される
    - ◇ オペレータは，飛行機の能力に基づいて飛行指示を出す
      - 機種 of 誤認は事故を招く
  - 手がかり情報 (Table 1)

TABLE 1: Misidentification of Aircraft Type

Cue Type	Shown on Flight Strip	Cue	Reality
Bizarre	Lear Jet at 220 knots	Aircraft flies at a speed not possible for the aircraft type shown 表示機種では不可能なスピード	Piper Malibu
Irrelevant	Citation 650 at 450 knots (normal speed for this aircraft)	Aircraft flies at a speed that is on the boundary of possibility for the aircraft type shown 表示機種で可能なスピード、遅い	Citation 500 (radar shows the aircraft at 300 knots, which is slow for a Citation 500)
Unexpected	NASA 737 at 13,000 feet (an unusually low altitude for a Boeing 737)	Aircraft flies at an altitude that is not usual or expected for that aircraft type 表示機種では通常飛ばない高度	C-130 (which frequently flies in this altitude range)
Absence of Expected	H / B747	Aircraft does not identify itself as a "Heavy," as it should if it were truly a "Heavy"	B727

表示機種の情報が十分に伝えられない

● 飛行経路のエラー

- 飛行機が目的地とは異なる方へ飛行
  - ◇ 事故を招く
- 手がかり情報 (Figure 2)




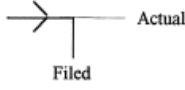
Cue Type	Cue	Diagram of Events
Bizarre	Aircraft is flown through a prohibited zone 禁止区域を飛行する	
Irrelevant	Aircraft asks for weather along its actual route of flight (rather than that shown on flight strip), which would be irrelevant if aircraft were going in direction on flight strip 表示された目的地とは別方向の気象情報を聞かれる	
Unexpected	Aircraft takes off and flies in the opposite direction of destination indicated on the flight plan 表示された目的地とは逆方向へ飛行	
Absence of Expected	Aircraft does not turn in the direction of destination indicated on flight plan 表示された目的地に向かって曲がらない	

Figure 2. Flight path error.

● コミュニケーションのエラー

- オペレータの出す飛行許可とパイロットの実際の飛行との不一致
  - ◇ パイロットは”roger”と答えるが、オペレータの指示通り飛行しない
    - 事故を招く
- 手がかり情報 (Table 2)

TABLE 2: Communication Error

Cue Type	Controller Instructions	Cue	Aircraft Action
Bizarre	Clearance to descend	Aircraft should be landing but climbs after given a descent clearance 降下許可の後に上昇	Climbs
Irrelevant	Clearance to descend to 11,000 feet	Aircraft has a slow descent rate 降下許可の後の降下速度が遅い	Descends to 12,000 feet
Unexpected	Clearance to descend to 11,000 feet	Aircraft descends past given altitude 前に許可を出した高度まで降下	Descends to 10,000 feet
Absence of Expected	Clearance to descend	Aircraft does not descend 降下許可の後に降下しない	Maintains current altitude

- 実験参加者には通常通りの操作を依頼
  - 実験の教示, 手がかり情報の説明などはしない

## Result & Discussion

### Effect of Cue Type

- 手がかり情報の検出率 (Table 3)
  - 一部の手がかり情報は適切に提示されなかった
    - ◇ 実験シミュレーションのエラー, 参加者の行動が情報提示を阻止
- Bizarre と Irrelevant の比較
  - それぞれの手がかり情報の検出率を比較
    - ◇ Bizarre > Irrelevant ( $z=2.223, p<.025$ )
      - Bizarre の検出率の方が高い
- Unexpected と Absence of expected の比較
  - それぞれの手がかり情報の検出率を比較
    - ◇ Unexpected  $\approx$  Absence of expected ( $z=1.116, p>.025$ )
      - 検出率に有意差は認められず

TABLE 3: Summary of Responses

Cue Type	Discovered (Discovered/Total)	Not Discovered (Not Discovered/Total)	Total
Bizarre	6 (35.3%)	11 (64.7%)	17
Irrelevant	0 (0.0%)	11 (100.0%)	11
Unexpected	5 (35.7%)	9 (64.3%)	14
Absence of Expected	10 (55.5%)	8 (44.4%)	18
Total	21 (35.0%)	39 (65.0%)	60

- エラーごとに分類した手がかり情報の検出率 (Table 4)
  - 機種での誤認は修正されなかった(修正率 0%)

- ◇ このようなエラーは事故を招く
  - 実験で提示された手がかり情報
    - 実験シミュレーションのエラーとして認識された可能性

TABLE 4: Response by Cue Type and Error Category

Cue Type	Error Category (Discovered / Not Discovered) (% Discovered)		
	Misidentification of Aircraft	Flight Plan Error	Communication Error
Bizarre	0 / 5 (0%)	4 / 2 (66%)	2 / 4 (33%)
Irrelevant	0 / 6 (0%)	0 / 5 (0%)	-
Unexpected	0 / 6 (0%)	3 / 1 (75%)	2 / 2 (50%)
Absence of Expected	0 / 6 (0%)	4 / 2 (66%)	6 / 0 (100%)

### SA Error Analysis

- 実験実施後、オペレータにインタビュー
  - 8件の修正できなかったエラーについての発話を取得
  - Endsley (1995)の SA エラー分類法に基づいて分類
    - ◇ 1件の SA Level 1 エラー
      - コミュニケーションエラーに関する Bizarre 情報
        - 手がかり情報が認識されなかった
    - ◇ 7件の SA Level 2 エラー (representational error)
      - Unexpected 4件
      - Irrelevant 2件
      - Bizarre 1件
        - 例：異常な低空飛行
          - スペースシャトルを運んでいるから
        - 例：飛行経路のミス
          - 自分の監視画面に侵入する前のオペレータとパイロットとのコミュニケーションミス
            - 根拠のない誤った理解
            - 手がかり情報は認識されたが、重要性が理解されなかった

### Conclusion

- Schema-bizarre information

- **Schema-irrelevant information** よりも検出率が高かった
  - ◇ メンタルモデルに一致しない風変わりな(**bizarre**)情報
    - 気づかれる可能性が高い
  - ◇ メンタルモデルに不適切な(**irrelevant**)情報
    - 気づかれる可能性が低い
      - 予想通り
- **Schema-unexpected information** と **Schema-expected information** の欠落
  - 反応に違いはみられなかった
    - ◇ 実現されない期待と予期しない情報の出現
      - それぞれに対して、人間は同じように警戒しているのかもしれない
      - 意思決定モデルに関する研究でも同様の可能性が示されている  
(Klein, 1993a; Klein & Calderwood, 1991; Klein & Crandall, 1995)
- **Representational error**
  - 今回の実験では、多くの **Representational error** が確認された
    - ◇ Kaempf, Klein, Thordsen, & Wolf (1996)
      - **Representational error** について報告した研究
        - コンバットシステムを使用した実験
        - 参加者が、**story-building strategy** に基づいて状況を認識
          - 手がかり情報に対してもっともらしい物語を生成
            - **Representational error** を引き起こす
    - ◇ 今回の実験参加者も **story-building strategy** を使用
      - 矛盾した情報を解消した
- 今回の実験
  - 小規模な実験
    - ◇ しかし、確かなデータに基づき、状況認識の重要な側面を示した
      - 手がかり情報の特徴が、メンタルモデルの修正に影響
        - スキーマと状況認識との関連について検討を行った最初の研究