

# A method for defining and inferring team situation awareness in cooperative activity based upon mutual awareness

相互認識に基づく協調作業におけるチーム状況認識推論に関する研究

舒 羽 非

## 1. 序 論

近年、チーム状況認識 (TSA) の概念がチーム-機械相互作用の設計・評価における重要概念と認識されるようになるにつれ、TSA に関する多くの研究が行われてきた (Salas, 1995)。従来研究においては、チーム成員が所有する状況認識 (SA) の共通部分として TSA を扱うことが多い。しかし精緻で互恵的なチーム過程を考えると、共通部分的 TSA 概念はその特徴をとらえるには単純すぎる。現実のチーム過程では、チーム成員間に個人 SA と相互認識の重層構造が存在し、TSA のモデル化においては個人 SA の共通部分を越える概念が必要であり、特に相互認識の理解が不可欠である。さらに、チーム成員間あるいはチーム-機械間に協調的関係を確立するためには、相互認識の推論能力が重要な意味を持つ。

本研究の目的は、まず個人 SA と相互信念に還元可能な TSA の新概念を提案することにある。さらに、この新しい TSA の枠組みの上にチーム-機械協調活動における TSA 推論の手法を開発し、人間の TSA 構築能力について検討する。

## 2. TSA に関する概念的枠組み

本研究では、ヒューマンファクター分野における従来の SA 研究 (Endsley, 1995; Adams, 1995) を踏襲し、SA は人間と環境との相互作用によって生成されるある知識であり、TSA はチーム成員間で部分的に共有あるいは分散所有される状況理解である (Bratman, 1992) と考える。

ここで、TSA を以下のように定義する。

**2人以上の個人が、共通の環境、環境の最新状況に関する理解、他人の協調タスクへの関与に関する理解などを共有していること。**

TSA はチームが置かれた状況とそれがチーム内でどう変化するかに対する認識であり、また、TSA はチーム成員そのものと、彼らが各自が置かれた状況とどう相互作用するかに対する認識である。TSA は、相互認識 (MA) と個人の状況認識 (ISA) の2つの基本要素で構成される。

## 3. TSA の定義

厳密な論理表現を用いて TSA を定義することを試みる。BEL、EBEL、MBEL を個人の信念、チームにおける個人の信念の連結、チームにおける相互信念を表す様相論理記号、Hold、State、Symptom をシステム状態に関する述語とする。Endsley の提案に従い、SA が知覚、理解、予測の3レベルで構成されるとすると、各レベルの SA は以下の論理式で定義される。

$$SA1(m, P) \equiv BEL(m, Hold(P, now)) \wedge Symptom(P)$$

$$SA2(m, P) \equiv BEL(m, Hold(P, now)) \wedge State(P)$$

$$SA3(m, P) \equiv BEL(m, Hold(P, after(now))) \wedge State(P)$$

これに対応する TSA の定義は以下のようになる。

$$TSA1(g, P) \equiv \bigwedge_{m \in g} \bigwedge_{Pi \subseteq P} (SA1(m, Pi) \wedge MBEL(g, Hold(Pi, now)))$$

$$TSA2(g, P) \equiv \bigwedge_{m \in g} \bigwedge_{Pi \subseteq P} (SA2(m, Pi) \wedge MBEL(g, Hold(Pi, now)))$$

$$TSA3(g, P) \equiv \bigwedge_{m \in g} \bigwedge_{Pi \subseteq P} (SA3(m, Pi) \wedge MBEL(g, Hold(Pi, after(now))))$$

ここで、 $Pi = \{P \mid SA(m, Pi)\}$ 、 $P = \bigcup_{m \in g} Pi$  である。

#### 4. TSA 評価手法の枠組み

いま、チームが A、B、2人で構成されると仮定する。定義から、 $TSA(g, p)$ は A の心理状態を記述する成分

$$SA1(A, Pa) \wedge BEL(A, BEL(B, Hold(Pb, t))) \wedge BEL(A, BEL(B, BEL(A, Hold(Pa, t))))$$

と、これに対応する B の心理状態を記述する成分

$$SA1(B, Pb) \wedge BEL(B, BEL(A, Hold(Pa, t))) \wedge BEL(B, BEL(A, BEL(B, Hold(Pb, t))))$$

とで構成される。ここで、TSA1、TSA2では  $t = now$ 、TSA3では  $t = after(now)$ である。A の TSA は、自分自身の ISA (SaPa, SaCa, SaFa)、B の ISA に対する信念 (BaPb, BaCb, BaFb)、自分自身の ISA に対する B の信念に対する信念 (BaBbPa, BaBbCa, BaBbFa)で構成される。ここで、Pa/Pb は A/B の知覚 (SA1)を、Ca/Cb は A/B の理解 (SA2)を、Fa/Fb は A/B の予測 (SA3)を表し、Ba/Bb は A/B の信念を表す。後2者はチーム相互信念 (Tuomela & Miller, 1987)を表す。

A の信念の内容はそれと対応する B の信念とは必ずしも一致しない。たとえば、上記で Pa は3箇所に出現し、各々が次に示す Pa の別バージョンを定義する。

$$Pa = \{p \mid SA(A, p)\},$$

$$Pa' = \{p \mid BEL(B, BEL(A, Hold(p, t)))\},$$

$$Pa'' = \{p \mid BEL(A, BEL(B, BEL(A, Hold(p, t))))\}.$$

これら3バージョンが全て一致する場合に限り、チームは健全で完全な TSA を有するが、誰かの真の SA とそれに対する仲間の信念の相違が TSA の完全性、健全性を評価する余地を与える。TSA の健全性は推論された SA がどれだけ真の SA に対応しているか示す尺度として、TSA の完全性は真の SA がどれだけ推論された SA に対応しているか示す尺度として定義される。たとえば、A の SA1 に対する B の信念の健全性、完全性は、次のように評価される。

$$Pa' \text{ の健全性} = \text{count}(Pa \cap Pa') / \text{count}(Pa')$$

$$Pa' \text{ の完全性} = \text{count}(Pa \cap Pa') / \text{count}(Pa)$$

同様の評価が、Pb および SA2、SA3 に関して全く同様に可能である。このように、Pa、Pa'、Pa''の相違を評価することによって、チーム協調活動における TSA の適切さを評価できる。

## 5. TSA の推論法

TSA の良否を評価することを目的に TSA の推論アルゴリズムを提案する。人間は他人の SA を外見的行動とその人に関する知識に基いて推論すると考えられるので、ここでは共有知識に基づく実現可能な TSA 推論手法を検討した。

あらかじめ定められたシナリオにおける運転員 A、B、2人チームの行動を想定した場合、A が対象システムからある徴候を観測したならば、A は共有知識を用いて同僚の知覚内容を推論する (ISA の推論)。まず、A は自分が観測した徴候から可能性のあるシステムの現在状態を同定する。本研究ではこの過程を前向き類似性照合としてモデル化する。つぎに、同定されたシステム状態からシステム挙動に関する因果知識を用いて、観測される可能性のある徴候を数え上げる。この過程は後ろ向き類似性照合と考えられる。最後に、これらの徴候の観測行動を行動計画から想起し、観測行動と観測されるはずの徴候との関係を予測する。他人の観測行動を目撃した場合には、この関係を用いてその人が取得すると期待される知覚 (SA1) を推論する。この推論過程において、ある徴候に対応するシステム状態が一意に決るとは限らないので、徴候パターンと観測パターンの類似の度合を評価してこれをその状態に関する信念の確信度と見なし、確信度が最大の状態仮説を採用するものとする。

SA1 の推論結果が作業記憶に書き込まれると、これを用いて SA2 の推論が行われる。ここで、A が B は Pb を所有していると信じていることに加え、B が Pb を解釈するための知識を所有していると信じていること、A がその知識の内容を知っていることを想定する。そして、A は B の SA1 の推論結果 (BaPb) と B が所有していると信じる知識を使って、類似性照合によって B の SA2 (BaCb) を推論する。TSA の第3成分である A の SA に対する B の信念を推論するためには、A 自身の SA にとって A が推論した B の SA が応答的あるいは支持的であるか否かを評価すればよい。

ISA の推論と信念の推論は同時平行に行われる心的過程であるが、信念推論は ISA 推論の結果に依存する。本研究では、両者をファジ集合論に基づく徴候解釈と、徴候パターンの類似性照合に基づく状態同定でモデル化しており、これに用いる領域知識は長期記憶に用意する。

## 6. テスト例題への適用

提案した TSA 推論の手法を DURESS (Vicente & Rasmussen, 1990) の運転に適用し、ISA と MA を推論した。DURESS の目標は、要求された温度と流量で下流の2系統に温水を供給することで、運転員の仕事はプラントを監視し、プラントで何が起きているかを認識することと、他のチーム成員が何を観測し、何を考えているかを推定することである。

TSA のシミュレーションモデルは、互いに密結合された TSA 推論エンジンと知識ベースの2つのモジュールで構成される。推論に必要な徴候や観測行動に関する知識は知識ベースに格納され、それを基に推論エンジンが ISA と MA を推論して出力する。推論エンジンの開発には、論理プログ

ラミング言語の Prolog を用いた。

開発された TSA シミュレータを用いて、TSA の良否を左右する様々な因子を変えながら、健全性、完全性の2つの観点から TSA を動的に評価した。その結果、ISA の共通部分として定義される従来型の TSA 概念に比較して、本研究で提案した TSA モデルはチームの相互協調的なプロセスをより適切に反映するものであることを確認した。また、共有知識に加え共通の情報提示画面を設置するなどの手段によってチームに共有情報を提供することが、望ましい TSA の形成を促進するという従来の仮説を検証した。しかし、共通の情報提示画面がなくとも他のコミュニケーション手段を用いることによって、良好な TSA が維持できることも示された。

## 7. 結論

本研究では、協調活動における TSA 概念を記述、評価するための概念的、理論的枠組みを提供した。まず、哲学、人工知能、人間機械系などの分野でこれまでに実施された SA、意図、信念、共同活動などに関する研究の成果に基づき、新しい TSA 概念の定義とその定式化を行った。つぎに、TSA の適切さを評価するための基準と、TSA を推論する具体的手法を提案した。TSA シミュレータと TSA 評価基準を組み合わせることによって、新型インタフェースの開発などに際してチームー機械相互作用における TSA への影響を動的に評価することが可能であることを示した。

## 参考文献

- Adams M., Tenney, Y. (1995). Situation awareness and the cognitive management of complex systems. *Human factors*, 37(1), 85-194.
- Bratman M. (1992). Shared cooperative activity. *The philosophical review* 101(2), P327-341
- Endsley M.R. (1995). Towards theory of situation awareness in dynamic system. *Human factors*, 37(1), 32-64
- Salas E., Prince C. (1995). Situation awareness in team performance. *Human factors*, 37(1), 123-136
- Tuomela R., Miller K. (1988). We intentions. *Philosophical studies*, 53, P367—398.
- Vicente K., Rasmussen J. (1990) *The Ecology of Human Machine Systems: II. Ecological Psychology*, 207-249