

チーム協調モデルに基づく HA インタクション戦略 - 自然な人間 エージェント協調へ向けて -

菅野 太郎[†] 古田 一雄[‡]

† ‡ 東京大学大学院工学系研究科 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

E-mail: † kanno@cse.q.t.u-tokyo.ac.jp, ‡ furuta@q.t.u-tokyo.ac.jp

あらまし 本研究では、個人の認知プロセスと相互信念から構成されるチーム協調における認知プロセスモデル（3層モデル）の提案、及び、実験によって観察された、チーム構成員間での認知プロセスの共有・修正方法の4つの方法とそれに基づくコミュニケーション戦略について報告する。また、このような人間-人間間で見られる協調戦略を人間 エージェント間におけるインタクション戦略に応用・実装する可能性・妥当性について議論する。

キーワード チーム協調, Human System Integration, 相互信念, インタクション

Interaction Strategies based on a 3-Layered Cooperation Model - Towards Natural Human-Agent Interaction -

Taro KANNO[†] and Kazuo FURUTA[‡]

† ‡ Grad. School of Eng. The University of Tokyo 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656 Japan

E-mail: † kanno@cse.q.t.u-tokyo.ac.jp, ‡ furuta@q.t.u-tokyo.ac.jp

Abstract This paper presents the modeling of team cognitive processes (situation awareness and intention formation) based on a theoretical model of “we-intention.” The proposed model is composed of three layers of mental processes: individual mental process, belief in one’s partner’s mental process, and belief that one’s partner believes in one’s own process. We also modeled and categorized how these mental processes are possible, shared, and modified in actual human-human cooperative activities based on observations and post-experiment interviews. We identified five major strategies along with the cognitive processes for their own situation awareness and intention in establishing shared cooperative activities: 1) observation, 2) communication, 3) knowledge-based inference, 4) cognitive inference, and 5) examination of the consistency among their own mental components. This model can be used to trace and predict the processes for sharing team awareness and intention in human cooperative activities, which can be then used to drive a system to augment human performance in a cooperative manner. We conclude by discussing future efforts regarding the implementation of the system.

Keyword Team cooperation, Human System Integration, Mutual Belief, Interaction

1. 緒言

発電所の中央制御室や航空機のコックピット、航空管制、危機対応の現場など、高度な情報処理や判断を要求されるタスク環境では、タスクの複雑さや情報量の増加に伴い人間のタスク処理における認知的側面を支援するシステム・ツールの必要性が益々高まってきている。これまでに Associate Systems [1] や Cognitive Systems [2], Joint Cognitive Systems [3], Augmented Cognition [4] など様々なシステムコンセプトが提案され研究が続けられてきている。

また日本では、擬人化エージェントを利用したユーザインタフェースやロボット、ペットロボットの研究が盛んに行われており、人間社会をより豊かにする実用的、日常的なヒューマンエージェントインタクション (HAI) の実現に期待が寄せられている。

人と機械 (エージェント) の協調性、親和性を高めるための一有力候補は人間 人間に見られるインタクションの方法を HAI 設計に応用することである。

この方向性を目指すべく、ユーザー状態 (意図やプラン、心的状態等) の理解に基づいた支援や機能設計に関する研究が数多くなされている [5-9]。しかしながら多くの研究において期待するほどの interactivity は得られていない。これらの研究に共通する問題の一つは、協調的インタクションの概念が不十分、欠如しており、ユーザーの理解とそれに基づく機能設計に終始している点にある。実際の人間-人間協調には相手の理解だけでなく、相手の自分に対する理解や、我々の理解、それらを共有する過程、それに基づく行為の織り交ぜが存在し、HAI においてもこの “We-ness” を生成するプロセスを積極的に扱わねばならない。

本研究では、個人の認知プロセスと相互信念から構成されるチーム協調における認知プロセスモデル（3層モデル）を提案し、実験によって観察されたチーム構成員間での認知プロセスの共有・修正方法の4つの方法とそれに基づくコミュニケーション戦略について報告する。また、このような人間-人間間で見られる協調戦略を人間-エージェント間におけるインタラクション戦略に応用・実装する可能性について議論する。

2. チーム協調モデル

個人の認知プロセスモデルと協調のメカニズムの関連研究を基にチーム協調モデル（認知プロセス）を提案する。本研究では、チームの構成員単位のボトムアップのモデリングを試みる。

2.1. 個人の認知プロセス

個人の認知プロセスのモデルは数多く提案されているが、ここでは Endsley の SA(Situation Awareness) モデルを参考にする。SA はある時間や空間における環境要素の知覚、その意味の解釈、それらに関する近未来の予測と定義され、Endsley は SA に基づいた認知プロセスモデルを提案している[10]。このモデルは時間的広がりを持つ認知プロセスの特性もレベル3 SA を定義することでうまく考慮している。図1に SA に基づいた認知プロセスの概念図を示す。人間は環境やインタフェースから得た情報を用いて SA を獲得し、それを基にパターンマッチングやプランニングを行い行動候補を決定する。図中 PE, C, PR, IX はそれぞれ SA のレベルと意図を、X は行動を表す。行動は大きく情報獲得行動($X_{a_{ob}}$)と対応行動($X_{a_{int}}$)の二つに整理できる。

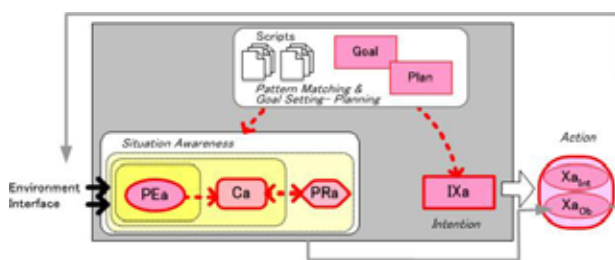


図1 個人の認知プロセス
(revised from Endsley, 1995)

2.2. 意図・相互信念

協調行動の背後にある意図に関する議論は哲学の分野において盛んに行われている。チームやグループを一つの情報処理装置と捉えるモデルは説明には都合がよいが現実と整合性がない。一方個人の単純和で説明が付くほど協調のメカニズムは単純ではないと考えられている。

Tuomela と Miller は相互信念の概念を導入し、協調における意図を次のように説明している[11]。

「A と B がタスク X を協調的に行うことを意図しているとき」

- A) A/B intends to do his/her part of X. (意図)
- B) A/B believes that B/A will do his/her (B's/A's) part. (信念)
- C) A/B believes that B/A believes that he/she (A/B) will do his/her part. (信念に対する信念)

上述の B), C)のように再帰的に定義される信念のことを相互信念と呼ぶ。協調のメカニズムをこのような自身の心的状態と信念の再帰的階層構造によって説明することで、現実世界の人間同士における“共有”の概念をうまく捉えることができる。[12,13]。

2.3. チーム協調モデル

チーム協調では意図のみならず認知プロセス全般にわたって信念の階層構造があるものと予想される、またそれらが共有されることによって協調が成立すると考えられる。そこで、上述の二つの関連モデルに基づいて図2に示す3層からなるチーム協調モデルを提案する。信念の階層構造は理論的には無限に続くが、現実的には3層程度で十分説明が付くであろう。最上層は個人の認知プロセスを、2層目は相手の認知プロセスに対する信念を、最下層は相手の自分のプロセスに対する信念についての信念を表している。図2中 Ba/Bb はそれぞれ A/B の信念を表す。例えば BaPEb/BaCb/BaPRb はそれぞれ A の B の各 SA レベルに対する信念を意味する。

チーム協調では入力情報に環境やインタフェースのみならず、相手の振舞いに対する情報も加味される。また情報獲得行動も各階層の状態によって引き起こされる。例えば信念(2, 3層)を確認する(相手が何をみているか、何を操作しているか等)ための情報収集行動などが生じうる。さらに個々の認知プロセスや心的状態(アウェアネス、計画、目標、ゴール、意図等)は自身が直接獲得するだけでなく、相手とのインタラクションによって獲得・共有されるものと考えられる。次章では、共有の方法とプロセスについて、提案モデルと実験で得られたデータをもとに分析・検証する。

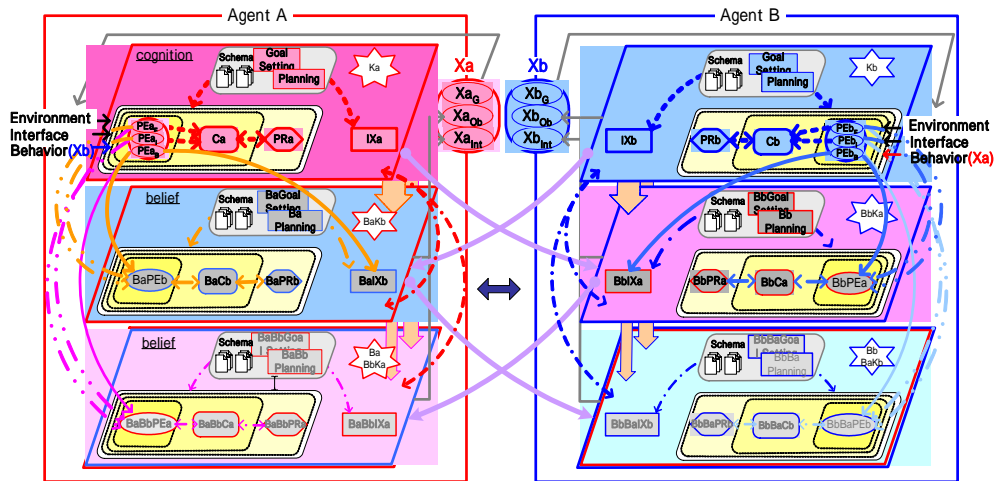


図2 チーム協調における認知プロセスとその共有

表1 発話例1 (DURESS)

3. 協調を生成，維持する方法

二人組のチームで協調タスクを行う実験を行い，実験データを元に提案モデルにおけるインタラクションプロセスの観察，発話分析を行った．実験にはプロセスプラントシミュレータ(DURESS)を用いた．被験者は互いに隣に位置し，それぞれの画面(提示内容は共通)を見ながらマウスを用いて共通のプラントシミュレータを操作する．セッション中には様々な外乱(機器故障や目標値変化)が発生し，それに協力して対処する．またエンルート航空管制シミュレータを用いた実験の発話も分析した[14]．ATC 実験ではモックアップシミュレータを用いた対空席と調整席の活動における発話を分析した．

3.1. インタラクションのメカニズム

チーム協調を行う・維持するために，提案モデルの各心的状態(SA，プランニング，目標，意図や信念)がどのように獲得あるいは推論されるか観察，発話分析，実験後のインタビューによって分析した．実験中の発話例を表1，2に示す．表1のA/Bはそれぞれ被験者を，表2のP/R/Cはそれぞれパイロット役実験者，レーダー管制官，コーディネータ役被験者を表している．表中の番号は発話をその発生ごとに番号を振ったものである．途中経過は一部省略してある．またインターバル情報等は省いてある．分析から大きく以下に示す4つのインタラクションの方法を抽出・分類した．

3.1.1. コミュニケーション

コミュニケーション(発話による)は協調を行う上で最も強力な方法と考えられる．会話によってSAや目標，プラン，行為，役割など様々な内容を交換することができる[15]．表1，2から見て取れるように断片的発話や質問，要求などによって自身の認知プロセスや相手に対する信念を直接，間接的に交換する．

No.	A/B	発話(説明)
1	A	目標値が変わってる(気づき)
2	B	目標値が変わって(理由が分からない)
3	A	AとB両方とも(解釈を教える)
4	B	あー(理由理解)
5	A	温度.50と70だから，そっち側やるうかまず，それを..さげる(プラン)
6	B	えーと，ヒーターを下げる?
7	A	ヒーターを下げるね
8	B	はい(了承)
9	A	あれ，これ，ヒーターだめ
10	B	ヒータがこわれてる?
11	A	ヒータもこわれてる
12	B	えーと，流量増やして，..バルブ.えー，そうすると，じゃや，流量...
13	A	こっちやとくよ?(異なる問題に対処)
14	B	はい
途中省略		
15	A	70のほう，こっちさげとくね
16	B	流量，バルブ..?
17	A	こっちも減ら..
18	B	うーんと?ポンプ..(Aの操作に気付く)
19	A	あ，こっちやったらそっちもあれなのか，あ..終わったよ(side effectに気付く)
20	B	あー，むずかしいな.これ(SA喪失)
セッション終了		
21	B	ポンプ自体をあげればよかったのかな?
22	A	ポンプ自体を上げる?(理解できない)
23	B	結構，今これ全開100にしても，流量が105にしかなんなかったんですけど
24	A	そうそう，だから，こっち上げなきゃいけないかったんだね(齟齬理解)
25	B	そうです.ポンプをお互い上げれば
26	A	そっか，オレがここ減らすのがいけないんだね.おれ，こっち側を減らそうとしたんだ.温度あげるために(自分の意図を説明)
27	B	はいはい(齟齬理解)
28	A	それが失敗だね

表2 発話例2(ATC)

No.	R/C/P	発話(説明)
1	R	JAL410 heading 190 for arrival spacing
2	C	ANA888を100度のヘディングでハンドオフしていただけますか
3	P	JAL410 heading 190
4	R	AUA55 descend and maintain FL280
5	P	AUA55 descend to 280
6	R	NWA84 fly heading 010 for arrival spacing 途中省略
7	P	Tokyo Control, ANA888 maintain FL230 heading 100
8	R	ANA888, Tokyo Control, roger.
9	C	どこに行くんだ, ノースは. ノースはどこに行くんでしょう
10	R	ノース?
11	C	ノース 84
12	P	Tokyo Control, ANA732 climbing 280 leaving 6000
13	R	ANA732, Tokyo Control, roger
14	C	ノース 84 が, どこに行ってるのかなあ
15	R	ヘディング 010 途中省略
16	C	888 はヘディング 100 でしたから, もう大子行き
17	R	あ, そうなんだ

3.1.2. メンタルシミュレーション(推論)

他者の心を理解する能力は人間に備わっている[16]。会話で認知プロセスや心的状態が完全に交換可能であれば他者について推論する必要もないが、実際には明示的に会話で交わされる情報は限定的で推論が必要とされる。実験においても例えば表1, No. 18など相手の操作の背後の理由を積極的に推論しようとしている様子が観察された。No. 26など認知プロセスに沿った説明がなされると相手が理解しやすいことも示唆される。実際、他のセッションでは、将来の予想や目標といった高次の解釈、プロセス結果を断片的に発話しても相手になかなか伝わらないことが観察された。

また推論に役割分担や機器の構成といった知識も利用される。例えば、表1, No. 19では被験者Bはインタフェースの表示値の変化から被験者Aの操作を理解している(実際の操作は見えない)。

3.1.3. 補完/思い込み

自分の認知プロセス(最上層)で心的状態を獲得せずとも、会話やメンタルシミュレーションで得られた信念を自分の心的状態と置き換える(補完)ことで、それに続くプロセスを進められると考えられる。例えば表1, No. 9-11では、被験者Bはヒータ故障に関する情報を自身では直接的には何も獲得していないが(画面上に故障状態は表示されない、操作して始めて分かる)、被験者Aの発話情報に基づいてNo. 12に見

られるようなプランニングを行っている。

また逆に、実験では観察されなかったが、相手の心的状態に対する信念を推論や会話による交換ではなく自分の心的状態と置き換える(思い込み)も行われていると考えられる。

3.1.4. 整合性チェック

メンタルシミュレーションや補完/思い込みで信念形成がある程度可能な一方、それだけでは認識の違いの拡大や齟齬の発生を抑制することは難しく、協調を保つことはできないであろう。そこでは自身の認知プロセスや心的状態(最上層)と信念(2, 3層目)との整合性が保たれることが必要となるはずである。例えば、表1, No. 1-3に見られるように、互いの心的状態を一致させる(共有する)ための発話やずれの修正の為の発話がしばしば観察される。このことは自身と相手との差異の比較評価が行われていることを示唆している。またこのような整合性は行為レベルの観察可能な相互反応(Mutual Response)によってもチェックできる。

3.2. コミュニケーション戦略

発話が行われるきっかけ(人間の用いているコミュニケーション戦略)についても実験データから分析を行い、提案モデルの構造に基づいて以下に示す4つの方略を抽出・分類した。

3.2.1. 自身の認知プロセスの補完

自身の状況認識やプランニング、目標設定等が困難な場合(何が起きているのか分からない、どうしているのか分からないなど)、発話(質問)を通じてパートナーから状況認識を得たり目標を決定したりすることがしばしば観察された。例えば、表2, No. 9では調整席がNWA84の針路変更に気付かなかったため目標針路(SA3)が分からず、レーダー管制官に質問を繰返している。

3.2.2. 自身のメンタルシミュレーションの補完

メンタルシミュレーションによって相手の認知プロセスに対する信念が得られない場合(推論が困難な場合)、多くの場合において対象者に質問することによってそれを得ようとする。(例えば、表1, No. 22。)

3.2.3. 整合性を保つための確認・修正

前述したように、自身の認知プロセス、心的状態とメンタルシミュレーション等で得られる相手の信念との差異に気付いたときや整合性が取れない場合、それを確認するような発話や違いを指摘する発話を行う。例えば表2, No. 16のように、コーディネータはレーダー管制官が気付いていないANA888の振舞いについて質問を受けてはいないが積極的に知らせている。

3.2.4. 相手のメンタルシミュレーションの補助

自身の心的状態の表明は（例えば，表 1，No. 13，15 など）.相手のメンタルシミュレーションに対する推論情報を与える．特に高次のプロセス結果（予想やプラン，目標など）を伝えることによって相手は容易にメンタルシミュレーションが可能になる．

4. 考察

ここでは HAI に提案モデルを適用したときに，各プロセスで利用可能な情報の種類を人間，エージェントごとに分類を試みる．エージェントはセンサー技術や計算能力など人間にはない機能や情報の活用が可能である．表 3 に自身の認知プロセスおよびメンタルシミュレーションにおいて利用可能情報の分類例を挙げる．これらの利用可能情報を考慮した推論モデルやインタラクション戦略を考慮することが HAI 設計で必要となるであろう．また協調タスクの実行が要求される HAI では最終的な機能分配の議論はさけられないであろう．機能分配の議論は古くから行われているが，計算機技術の発達に大きく依存している部分がある．現状を踏まえた議論を続けていくことが必要とされる．

表3 利用可能情報の分類

	最上層	第2層
人間のみ利用可 / 人間が得意	繊細な五感 熟練に基づく感覚	発話情報 視線 表情 雰囲気，等
エージェントのみ利用可 / エージェントが得意	非表示情報 加工情報 高度な計算	各種センサー情報 各種神経生理指標，等
両方利用可	表示情報（インタフェース等）	システムを介した操作 センサー可能な行動，等

5. 結言

本稿では，個人の認知プロセスとそのインタラクションのメカニズムをモデル化したチーム協調モデル（3層モデル）を提案し，認知実験におけるチーム協調の観察，発話分析，実験後のインタビューによってその妥当性の検証を試みると同時に，モデルの修正を行った．モデルに基づいた観察によって4つのインタラクションの方法と，5つの協調のための会話の戦略を特定し分類を行った．これらのインタラクションメカニズムと戦略は，人間 - エージェント間の自然なインタラクションを実現する上での指標となりうることを期待できる．

今後は，環境の時空間的条件やタスク条件の異なる

様々なチーム協調の観察・分析を行い．まずは人間 - 人間協調のメカニズムの解明を目指す．特に本稿で焦点を当てた認知プロセスのみならず，覚醒やワークロード，COCOM(Contextual Control Model)[17]に示される制御モードといった状態等についても考慮を試みる．さらに人間 - エージェントインタラクションへの適用可能性の検討や手法の考案，要素技術の開発に取り組む予定である．

本研究の一部は財団法人日産科学振興財団の助成によって行われた．

文 献

- [1] S.Banks and C. Lizza. Pilot's Associate: A Cooperative, Knowledge-based System Application, IEEE Expert. Vol.6, No.3, pp.18-29. 1991
- [2] C. Forsythe, M.L. Bernard, and T.E. Goldsmith (Eds). Cognitive Systems, LEA. 2006.
- [3] D. Woods and E. Hollnagel. Joint Cognitive Systems, CRC Press, Taylor & Francis, 2006.
- [4] D.D. Schmorrow, K.M. Stanney, and L.M. Reeves (Eds). Foundations of Augmented Cognition 2nd Edition. Falcon Books. 2006.
- [5] Intent Inference for Collaborative Tasks, Technical Report FS-01-05, AAAI Press. (2001).
- [6] Special Issue: Augmented Cognition, Int. J. Human-Computer Interaction, Vol.17, No.2. 2004.
- [7] T. Kanno, K. Nakata, and K. Furuta. A Method for Team Intention Inference, Int. J. Human-Computer Studies, Vol.58, pp.393-413. 2003.
- [8] T. Kanno, K. Nakata, and K. Furuta. A Method for Conflict Detection based on Team Intention Inference, Interacting with Computers, Vol.18, No.4, pp.747-769.2006.
- [9] Y. Shu and K. Furuta. An Inference Method of Team Situation Awareness Based on Mutual Awareness. Cognition, Technology and Work, Vol.7, pp.272-287. 2005.
- [10] M.R. Endsley. Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. Human Factors, Vol.37, No.1, pp.32-64.
- [11] R. Tuomela and K. Miller. We-intentions. Philosophical Studies, Vol.53, pp.367-389. 1987.
- [12] M.E. Bratman. Shared Cooperative Activity, the Philosophical Review, 101, pp.327-341. 1992.
- [13] H.J. Levesque, P.R. Cohen, and J.H.T. Nunes. On Acting Together, Proc. AAAI, 94-99. 1990.
- [14] 井上, 青山, 蔭山, 古田. 航空路管制に置けるレーダー管制官のタスク分析と認知モデル構築に関する研究, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.8, No.2, pp.81-92. 2006.
- [15] K. Furuta and Y. Furuhashi. Cognitive Space of Operator's Knowledge, Ergonomics, Vol.42, No.11, pp.1431-1442. 1999.
- [16] S. Baron-Cohen. Mindblindness: An Essay on Autism and Theory of Mind, MIT Press, 1995.
- [17] E. Hollnagel. Human Reliability Analysis: Context and Control, Academic Press. (1993).