

# 操作の熟達モデルを工学的・心理学的観点から考える

## Examining a Model on Skill Acquisition from Perspectives of Engineering and Psychology

企画者・司会 小林春美  
発表者 鈴木 聡 (東京電機大学未来科学部)  
五十嵐洋 (東京電機大学工学部)  
安田哲也 (埼玉県立大学・東京電機大学)  
小林春美・中田脩一 (東京電機大学理工学部)

Organizer Harumi Kobayashi  
Presenter Satoshi Suzuki (Tokyo Denki University, School of Science and Technology for Future Life)  
Hiroshi Igarashi (Tokyo Denki University, School of Engineering)  
Tetsuya Yasuda (Saitama Prefectural University, Tokyo Denki University)  
Harumi Kobayashi and Shuichi Nakata (Tokyo Denki University, School of Science and Engineering)

### Abstract

Although studies on humans' skill acquisition were able to show some specific areas of skill acquisition of tool use and sports skills, these studies did not intend to present an integrated and broad model for humans' skill acquisition. Suzuki (2010) proposed a human's skill model composed of five levels, sensory-motor skill, motion skill, cognitive skill, planning skill, and social skill. In this workshop, we try to locate our studies on different levels of this model. Suzuki and Igarashi present studies on skill acquisition from engineering perspective. As one example of tool for the skill enhancement, Suzuki proposes a mathematical algorithm of a Bayesian Intention Estimator using Self-Organizing Map. Igarashi discusses a concept of skill acquisition as estimation of manipulative results and presents a skill assist technique without human awareness. Yasuda and Kobayashi present studies on skill acquisition from psychological perspectives. Yasuda categorizes eye movements when micro slips of a hand occurs and explores the relationship between hand movement and eye movement. Kobayashi and Nakata show ontology changes in task skill acquisition using virtual collaborative conveyer task. We hope our efforts of integrating both engineering and psychological findings will bring more active discussion on human skill acquisition.

**Keywords** — Skill Levels, Bayesian Intention Estimator, Self-Organizing Map, Human Machine System, Subliminal Calibration, Micro-Slips, Eye Gaze, Ontology, Common Ground.

### 1. はじめに

人間が道具・機械の操作を学ぶときには, novice から expert への変化すなわち熟達ということが起こる. この熟達がどのように起こるのか, 熟達の際には人間の何が変化するかが探求され, 波多野・稲垣によるそろばんの熟達研究を初めとして, スポーツの技能の熟達, コーヒー作りなど日常動作の熟達の研究が行われてきた. しかしこうした研究はある特定の技能の熟達について明らかにしようとするものであり, 熟達を幅広く知覚的レベルから社会的レベルまでを含めた重層的視点でとらえ, 包括的なモデルを提案するものではない.

鈴木聡は人間の操作の熟達に関して, 工学的・心理学的観点から, 社会スキルから生体スキルに至る5つのスキルレベルからなる, 包括的な人間のスキルモデルを提案した. 本ワークショップでは, 各発表者がこのモデルを念頭において操作の熟達に関する実験研究を発表する. 鈴木と五十嵐は主として工学的観点から熟達をとらえた研究を, 安田と小林は主として心理学的観点から熟達をとらえた研究を発表する. フロアの参加者とともに, 人間の熟達をどうモデル化するかについて活発な議論を期待したい.

### 謝辞

本研究は文部科学省科研費基盤(A)(20246071)の助成を受けたものである.

# 熟達階層の概念とユーザ意図の推定

## Hierarchical Concept of Skills and Estimation of User Intention

鈴木 聡<sup>†</sup>  
Satoshi Suzuki

<sup>†</sup>東京電機大学  
Tokyo Denki University  
ssuzuki@fr.dendai.ac.jp

### 1. はじめに

人間工学，ヒューマンファクタ，エルゴノミクス，人間中心設計，CSCW (Computer-Supported Cooperative Work) など，人間の活動を支援するための工学系分野は多い。しかし，機械自体の機能が高機能・複雑化するあまり，人の利便を図る目的で造られたはずの機械が，それらを使いこなすために新たに訓練や負荷を人間に課す，という矛盾が生じていることも少なくない。その理由は，工業製品の多くは，そのユーザビリティが設計時点で確定され，変化し続ける個々人の能力，そして個人差を十分考慮して設計されていないからである[1]。

そこで，工学的立場並びに心理学的知見を踏まえ，熟達を考慮した人間-機械系の設計論の提案がなされ，21世紀COEプログラムの支援の下，東京電機大学において「操作能力熟達に適應するメカトロニクス:Human Adaptive Mechatronics (HAM)」(平成15~19年度)[2]の研究が進められた。本プログラムでは，機械が人間の熟達を促進することに関連する制御系設計理論や人間計測に関する研究が行われ，世界的にもHAM研究として定着しつつある。また，さきがけプロジェクト「相互作用と賢さ」(平成12~16年度)で提案された，人間中心のメカトロニクス「ヒューマトロニクス」とHAMとを融合させ，科研「熟達を考慮した人間システムモデリングとその支援」(盤研究(A):平成20~22年度)において，人間らしさの本質的特徴や人間の行動原理を，熟達支援という観点から体系的に捉え，具体的な熟達支援系を設計する方法について研究が続けられている。

熟達は非常に曖昧かつ対象の広い概念であるため，熟達を支援する知的機械システムを創るには，熟達支援を前提とした体系的な人間システムモ

デルが必要である。そこで従来の人間(認知)モデル，例えば Rasmussen の SRK モデル(人間の行為をその複雑度に応じて，知識・ルール・スキルの3階層に分類)や，Norman の7段階モデル(ユーザ行為を，知覚・解釈・評価・実現目標・意図・行動選択・実行の7段階からなるサイクリックモデル)などを参考に，「熟達」をレベル分類して，熟達定量化・支援方法を検討する事が妥当である」との結論に達し，社会・計画・認知・動作・生体の5つから成る階層的なスキル分類法を提案した[3](図1)



図1 5階層スキル分類と具体例

図中 S1(S5)が上位(下位)レベルのスキルである。生体スキル(S5)は，機械の操作時に必要なインタフェース装置(ハンドルやスイッチなど)を扱う際に自分の手や足等を適切に動かすためのスキルである。脳神経科学を主体とした視覚運動制御や随意運動に関係しており，Ito-Kawato モデル(フィードバック誤差学習法[4])などの理論で原理的には説明できる。計画スキル(S4)は連続・連係動作を実行する為のスキルである。基本動作を実行するサブ制御器を複合化したモジュールで表現されることが多い。認知スキル(S3)は，環境の認知や

行動判断のスキルレベルである。視覚情報処理から情報クラスタリング、推論などの優劣に関するスキルと捉えている。計画スキル(S2)は、目標タスクの実現に必要な作業内容を分析し、各動作の連携を計画する能力であり、タスク・作業・環境に関する幅広い知識が必要で、それらの知識構造化と最適計画能力に関するスキルである。最後の社会スキル(S1)は、個人から集団へ作業を拡張、すなわち複数名で協力して作業を行うために必要な社会性に関するスキルである。コミュニケーション能力、他者の意図推定、交渉能力など多岐にわたるスキルである。

## 2. 社会スキルのツール事例：意図推定器

ここでは、社会スキルに係る機械支援技法の一例として、人間の操作意図を機械で推定する方法を紹介する。本意図推定手法は、ベイズ推定という確率手法と、脳の神経回路を模擬した学習手法である自己組織化マップ(Self-Organizing MAP: SOM)[5]とを用い、事前予測確率を人間が実際に行った行為に基づいて修正・推測する方法である。Global Workspace Theoryにおける'自覚している意識'を表すスポットライトモデルを参考に、複数の操作意図の選択要求の強弱で"意図"を数理的に表現し、確率的に意図を推定する[6]。

本手法では、機械(M)-環境(E)-タスク(T)などの情報をMET状態量 $s$ と定義し、操作者を状態量 $s$ を入力、操作行動 $\rho$ を出力、意図 $z$ を内部状態量とする制御器 $\rho = H(z) \cdot s$ と考える。すると意図推定は、計測可能な $s$ と $\rho$ の時系列データから操作意図 $z$ を推定する問題と見なせるので、意図の確率分布("信念"といい、 $bel(z)$ と表す)を次のベイズフィルタのアルゴリズムで計算する。

$$\overline{bel}(z_t) = \int p(z_t | s_t, z_{t-1}) \cdot bel(z_{t-1}) dz_{t-1}$$

$$bel(z_t) = \eta \cdot \int p(\rho_t | z_t) \cdot \overline{bel}(z_t)$$

$p(z_t | s_t, z_{t-1})$ は、入力 $s_t$ を知覚した後に意図が $z_{t-1}$ から $z_t$ へ遷移する状態遷移確率分布、 $p(\rho_t | z_t)$ は意図が $z_t$ であるときに出力が $\rho_t$ である計測確率分布である。これら確率分布は規範データに基づいて学習したSOMから確率的に計算する。上式は時刻 $t$ に関する更新則であり、順時間方向に逐

次計算することで、信念 $bel(z)$ 、つまり意図の確率分布の変化を求めることができる。なお、 $\eta$ はベイズの正規化変数である。

提案手法を、建設機械ラジコンの遠隔操作タスク[7](図2)に適用し、人間の解析意図と比較したところ約30~90%の一致率となり、人間相当の意図推定が提案手法で実現できていることが確認できた。その一方で、人間自体の意図識別の個人差も大きいことが判明し、意図推定問題自体の難しさも再認識された。現在、作業の文脈性を有向グラフで表現するなどして、より推定精度を高める研究を継続中である。

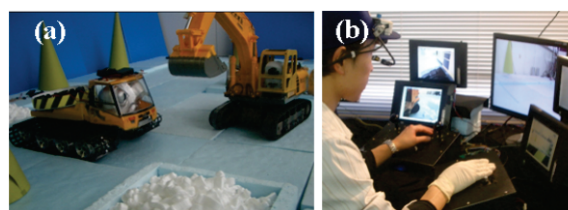


図2 建機ジオラマ(a)と遠隔コンソール(b)

## 参考文献

- [1] F. Harashima and S. Suzuki, "Intelligent Mechatronics and Robotics," keynote speech, in Proc. of the 2008 IEEE Int. Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation(ETFA2008), Hamburg, Germany, Sept. 2008, in CD-ROM.
- [2] S. Suzuki, "Human Adaptive Mechatronics," Industrial Electronics Magazine, IEEE, Vol. 4, Issue, 2, pp. 28-35, June, 2010.
- [3] F. Harashima and S. Suzuki, "State-of-the-Art Intelligent Mechatronics in Human-Machine Interaction," Industrial Electronics Magazine, IEEE, Vol. 4, Issue, 2, pp. 9-13, June, 2010.
- [4] D. M. Wolpert, R. C. Miall, and M. Kawato, "Internal models in the cerebellum," Trends in Cognitive Sciences, vol. 2, no. 9, pp. 338-347, 1998.
- [5] T. Kohonen, Self-Organizing Maps, Springer-Verlag, Heidelberg Berlin, 1995.
- [6] S. Suzuki and F. Harashima, "Estimation of operational intentions utilizing Self-Organizing Map with Bayes filtering" In Proc. of The 2010 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS2010), October 18-22, 2010, Taipei, Taiwan, pp.2249--2255, 2010.
- [7] S. Suzuki and F. Harashima, "Analysis of machine operation skills using hand discrete movement," in Proc. of ETFA 2008, pp.156--163, 2008.

## 謝辞

本研究は文部科学省科研費基盤(A)(20246071)の助成を受けたものである。

# 動的 JND 指標による操作者に気づかせない機械操作アシスト Operation Assist Without Human Awareness by Dynamic-JND

五十嵐 洋<sup>†</sup>  
Hiroshi Igarashi

<sup>†</sup>東京電機大学  
Tokyo Denki University  
igarashi@eee.dendai.ac.jp

## 1. はじめに

本論文は、高齢者や初心者が短時間で思い通りに操作できる機械システムの実現を目指し、操作者に気づかれぬように機械特性修正を行うサブリミナル・キャリブレーションを提案する。本手法は、人間の有する無意識での学習適応能力を妨げず、かつ人間の学習過程を考慮しており、操作者の熟達促進効果が期待される。

人間の重要な能力のひとつである学習適応能力は、無意識での操作対象学習によって説明される[1]。人間の操作熟達過程において、人間は自分が入力した操作量に対する操作対象の挙動を予測し、実際の挙動との誤差から挙動予測モデルを修正しているとの報告がある[2]。つまり、熟達過程とは操作対象の挙動の予測精度を高めることに他ならない。このような観点で考えれば、内部モデルと操作対象のダイナミクスが一致しているとき、人間は操作対象を思い通りに操ることができると考えられる。本論文では、移動体の追従操作実験により、サブリミナル・キャリブレーションの有効性を検証する。

## 2. 人間機械システムにおける操作熟達

本研究のターゲットは、随意運動能力であり小脳レベルの運動能力・スキルの獲得に焦点をあてる。

脳科学研究の知見によれば、図 1 (a)のように、小脳は機械操作において、自分が入力した操作量に対する操作対象の挙動を予測し、実際の挙動との誤差から、挙動予測モデル（内部モデル）を修正しているとの報告がある[2]。この内部モデルが、操作対象のダイナミクスと一致するとき、操作者は思い通りにそれを操ることが可能となる。

本論文では、操作者のジョイスティック操作によ

って駆動する移動体をランダムに動作する参照点のトラッキングをタスクとして設定する。そして、図 1 (b)のように、操作者の内部モデルに近づけるように操作対象の移動体のダイナミクスを修正する。もし、内部モデルと移動体のダイナミクスが一致すれば、操作者は思い通りに操作対象を操ることが可能となる。

しかし、操作対象のダイナミクスが変化することで、操作対象が暴走している感覚を与えることが、先行実験により示唆されている。そこで、後述する JNDによりダイナミクス修正量を制限する。

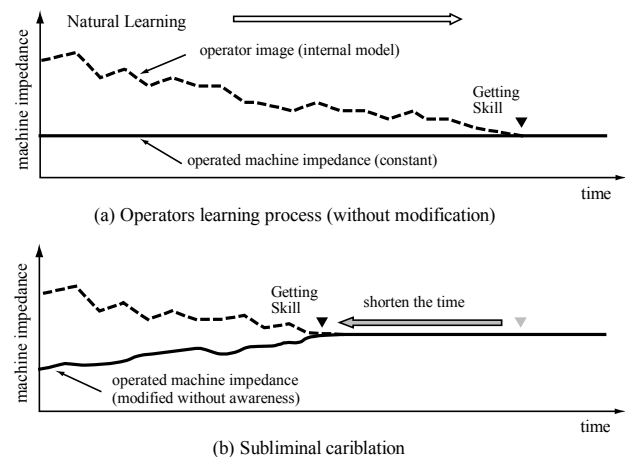


図1： 内部モデルに基づく熟達過程

## 3. JNDによる人間知覚特性の定量評価

本研究では、刺激変化に対する知覚閾値として知られる JND に着目する。すなわち、あらかじめ提示されている刺激（原刺激）が大きいほど、人間が刺激の変化に気づくためには、より大きな刺激変化が必要である。

本研究では、操作対象のダイナミクスパラメータを刺激と考え、その変化に対する JND を予備実験において検討した。その結果、それぞれ1秒間に2%程

度以内の変化であれば人間が知覚できないことがわかった。これをもとにダイナミクスパラメータ修正量を制限する。

#### 4. 実験および結果

提案するサブリミナル・キャリブレーションの有効性を検証するため、図2 に示す水平方向および垂直方向のみに動作する移動体操縦実験を行った。被験者は健康な20代学生20名であり、それぞれ市販のジョイスティック (Saitek Cyborg Evo) を用いて参照点に追従するよう操作対象を操縦するよう指示されている。実験時間は約1分 (12000サンプリングカウント) とし、アシストなし、それぞれ JND 1%, JND 2%でダイナミクスを修正した場合の、3通りの実験をそれぞれランダムな順序で計測した。

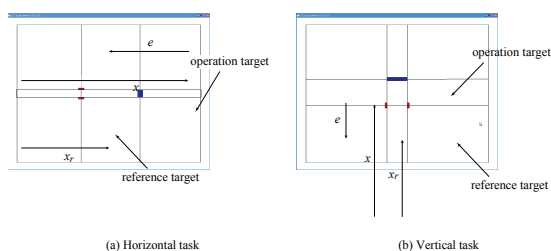


図2：実験タスク

実験の結果、20名全員がJNDを1%および2%としたときのダイナミクス修正に気づかなかった。各被験者の個人差を考慮し、アシストなしの場合の平均追従精度をもとに、上位5名をHigh skilled, 下位5名をLow Skilled, その他をMiddle skilled Groupとして、それぞれ解析を行った。

図3にそれぞれの実験グループにおける平均追従誤差を示す。この結果より、操作対象のダイナミクス特性を修正することにより、追従パフォーマンスが向上していることがわかる。すなわち、操作者のイメージする内部モデルに、操作対象のダイナミクスが近づけることができたといえる。この結果は、特にLow skilled グループで顕著に表れており、初

心者のアシストに有効であることが示唆された。またJND1%と2%の有意差は認められなかった。これについては、今後の検討課題とする。

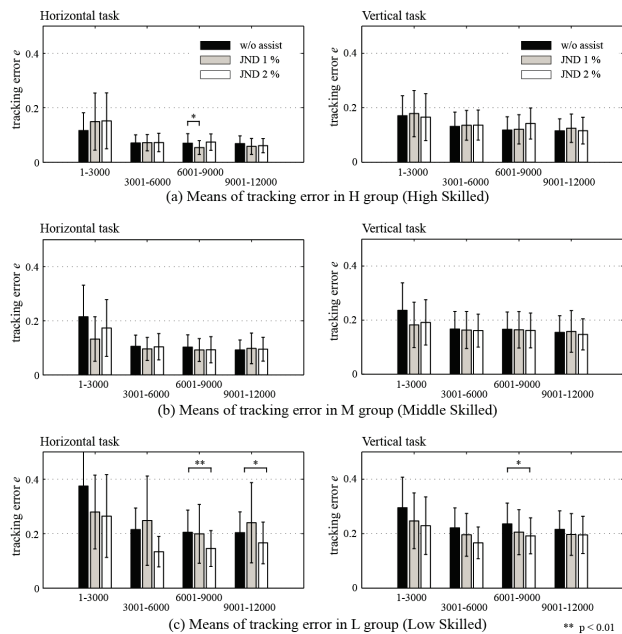


図3：実験結果 (各グループの追従誤差の平均)

#### 5. おわりに

人間の熟達能力を妨げないようにJNDに基づいて、修正量を制限することで、操作者に気づかれることなく、ダイナミクスパラメータを修正するアシストを提案した。実験結果より、内部モデルと実機のダイナミクスがかけ離れている Low skilled group の操作者に対し、特に効果的であった。これにより、操作対象のダイナミクスパラメータ修正をその操作者の内部モデルに近づけることができたと考えられる。

#### 参考文献

[1] S. Yamada and T. Yamaguchi: "Training AIBO like a Dog," Proc. of the 13th International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2004, pp.431-436.  
 [2] 五味裕章, 川人光男: "小脳における運動学習適応系モデル, 応用物理", Vol.61, No.10, 1992, pp.1035-103

# マイクロスリップ”躊躇”時の視線移動 Eye Movement of Micro-slip Hesitation in Everyday Task

○安田 哲也<sup>†‡</sup>  
Tetsuya Yasuda

<sup>†</sup>埼玉県立大学, <sup>‡</sup>東京電機大学  
Saitama Prefectural University, Tokyo Denki University  
cs.yasuda@gmail.com

## 1. はじめに

アクション・スリップが明白なエラーである一方、一見なめらかに見える動きのなかに、微小なよどみが生じることがある。たとえば、歯磨き用チューブの方に手を伸ばすが、一瞬、1秒未満の短い時間その動きを止め、また動き始めたとき、その行為にはいわば不必要なよどみがあったことになる。Reed, Palmer, & Schoenherr, D. (2009)と、Reed & Schoenherr (1992)は人間が何かを操作しようとするときの手の動きの中に生じるなめらかではない部分を「マイクロスリップ (MS)」と名づけ、インスタント・コーヒーを作成するときの手の動きにおけるマイクロスリップの生起について報告を行った。Reed & Schoenherr は、マイクロスリップを躊躇 (対象物に向かった手の動きの小停止などの淀み)、軌道の変化 (手の動きの軌道の対象物付近における急激な変化)、接触 (対象物以外の事物への不要な接触)、手の形の変化 (対象物に手が近づいたとき起こる急激な手の形の変化) の4つのタイプに分類している。

鈴木 (2001) は、行為と環境が出会うところにマイクロスリップが生起し、それは必ずしも誤りとは言えず、人間の身体が環境と柔軟に相互作用することを示す現象であるとの示唆を行っている。鈴木はさらに環境 (実験装置など) を被験者が都合の良いように変更してもらってコーヒー作りをさせると、試行を重ねると共にマイクロスリップの生起頻度が減少したことを示している。鈴木は、環境と行為の適合性がよくなると行為の可能性の数に限定が生じ、この影響によりマイクロスリップの生起が減少するとしている。

安田・小林(2009)では、作業時におけるマイクロスリップの躊躇時間について調べている。作業は、クリーム粉、砂糖入りのインスタント・コーヒーを、1分の休憩を間に挟みながら10試行 (10杯) 連続して作ることにし、試行ごとのマイクロスリップ躊躇の時間の変化を検討した。その結果、熟達していくと比較的長い躊躇は試行とともに減

少するが、短い躊躇は減少しないというものだった。熟達しても短い躊躇が消滅しなかったことからマイクロスリップ躊躇は人間の身体が環境と柔軟に相互作用することを示す現象だと考えることができる。しかしながら、もしリーチング時に誤った対象を見ていたために躊躇が起きたのならば、アクション・スリップを回避するためにマイクロスリップを行ったと考えられ、リーチング時に正しい対象を見ていたのならば、行為の柔軟性によるマイクロスリップと考えることができる。マイクロスリップ時の原因を調べるために視線分析を行った。

## 2. 方法

**参加者** 8人の男子大学生と大学院生がボランティアとして実験に参加した。年齢レンジは21歳から24歳、平均年齢22歳であった。全員が右利きで健康であった。

**装置** 参加者の正面からデジタルビデオカメラで実験場面を撮影した。参加者の左手には手の動きを計測するための加速度計を取り付けた。また、マーカーを手に取り付け、頭部には注視点計測装置 (ナックイメーজテクノロジー, EMR 08-B, 30 frame/sec) を取り付け視線の動きを計測した。

Figure 1 は実験材料の配置を示す。実験材料はディストラクターの一部に変更を加えたほかは、Reed & Schenherr とほぼ同一のものを準備した。

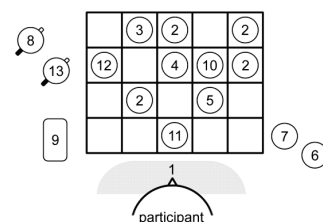


Figure 1. 実験材料の配置

**手続き** 参加者はコーヒー作りのためのボードやポットなどが配置されたテーブルの前に座り、クリーム粉と砂糖入りのインスタント・コーヒー

を 10 回作成すること、左手でコーヒー作成を行うことを求められた。左手でコーヒー作成を行うことにより、右手でコーヒー作成を行うよりも作業熟達の過程を捉えることができると考えた。教示内容は、コーヒーの材料をこぼさずになるべく早くコーヒーを作成し、かつコーヒーをなるべく均一に作ることであった。また、右手はカップを支えるため以外には使わないよう指示された。コーヒー作成における材料を入れる順序は自由であった。

動作のデータは 8 人の参加者中、1 人のデータは装置の計測上に問題があったため除き、7 人のデータを使用した。視線のデータは 8 人の参加者中、2 人のデータは装置の計測上に問題があったため除き、4 人を分析した。

### 3. 結果

注視点がオーバーレイされたビデオデータを 2 人のコーダーが独立に Frame by Frame 法で 1 フレームずつコーディングした。注視時間に関して、大野(2000)は 200msec の以上の注視がもっとも頻度が高かったと報告しているため、200msec の以上注視した場合に、注視したと見なした。動作データからマイクロスリップ生起時のリーチングを抽出し、リーチング開始時点から終了時点までの視線を調べ、視線のタイプをカテゴライズした。視線タイプのカテゴリーは、1) 直前確認タイプ(Confirming): ターゲットの事物や他の事物を見た後、リーチング終了直前にターゲット事物を見る。2) 注視継続タイプ(Keeping): 同じターゲット事物を見る。3) 探索タイプ(Searching): ターゲットを含む事物を 3 つ以上見る。4) 未確認タイプ(Directing): ターゲット事物を見ない。5) その他: 上記の視線タイプに当てはまらないもの、とした。以下の図は典型的な視線タイプの例を、円の直径は頻度を大まかに示す。

Figure 2 に参加者 D の 1 試行目における、直前確認タイプに分類された砂糖リーチング開始時から終了時の視線を示す。D は、リーチング開始時にターゲットである砂糖を注視し、パン粉、その後砂糖を注視した。Figure 3 に参加者 D の 1 試行目における、探索タイプに分類されたコーヒー粉リーチング開始時から終了時の視線を示す。D は、リーチング開始時に砂糖、作業を行っている左手、砂糖、最後にコーヒー粉を注視した。

Figure 4 に各試行における視線タイプの平均頻度を示す。図は、2 試行ごとに区切って表示をしたが、9-10 試行はデータ数が少なかったために表

示していない。直前確認タイプと未確認タイプの視線は、試行を重ねても減少することはなかった。注視継続タイプと探索タイプの視線は、試行を重ねるごとに減少した。

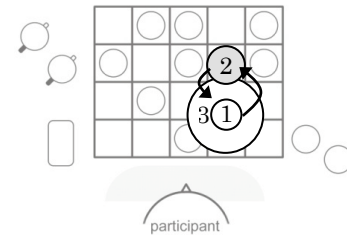


Figure 2. 直前確認タイプの視線

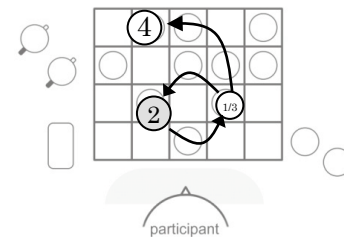


Figure 3. 探索タイプの視線

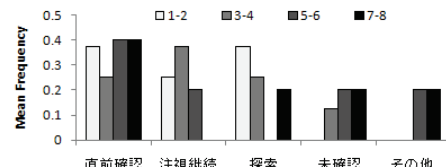


Figure 4. マイクロスリップ 1 回あたりの各視線タイプの平均頻度の変化

### 4. 考察

マイクロスリップ躊躇が生起したリーチング時の視線を調べたところ、ターゲット事物や他の事物を見た後、リーチング終了直前にターゲット事物を見るタイプの視線や、ターゲット事物を確認せずにリーチングするタイプの視線頻度は、試行を重ねてもあまり変化はなかった。また、同じターゲットの事物を見るタイプの視線とリーチング時に事物を 3 つ以上見るタイプの視線は試行を重ねるごとに減少した。これらの結果は、マイクロスリップ躊躇は、アクション・スリップを回避するためにマイクロスリップを行ったのではなく、微小なよどみは動作を行う上で重要だという知見を示唆すると言える。

視線データの数が少ないために本研究の結果に普遍性があるか疑問は残る。今後さらに検討していく必要がある。

#### 謝辞

本研究は、科学研究費基盤研究(A) (20246071)の補助を受けたものである。

#### 主要文献

- (1) 安田哲也・小林春美 (2010). 作業の熟達におけるマイクロスリップ躊躇の生起時間の変化. 生態心理学研究, 4(1),25-30.

# 仮想空間内での共同作業時における言語使用の熟達

## Human Speech Ontology Changes in Virtual Collaborative Work

小林 春美<sup>†</sup>, 中田 脩一<sup>†</sup>  
Harumi Kobayashi, Shuichi Nakata

<sup>†</sup>東京電機大学  
Tokyo Denki University  
h-koba@mail.dendai.ac.jp, shuichinakata@gmail.com

### 1. はじめに

人間同士の協調作業が熟達する場合、言語も変化していく可能性がある。人間と協調作業を行うロボットに、適切な言語能力を組み込むことができれば、より良いコミュニケーションを行うことができる。協調するロボットのアーキテクチャについて、Iwata, Sawada, Takeda and Nishida (1996)は、タスク遂行に必要な知識構造としてオントロジーを導入し、オントロジーを共有することにより、人間とロボットがスムーズな協調作業を行うことができると予測した。

本研究では言語と動作ログをすべて記録できるよう、仮想空間における人間同士の協調作業を分析対象とし、協調作業時の発話をすべて書き起こした。これに基づき、作業の熟達に伴った単語使用とそれから推測されるオントロジーの共有化がどのように生じるかを調べた。作業は仮想空間内にある箱を3人の被験者が所定の3つの場所に移動することで1回の試行が終了する。この試行を10回行い、使用単語の変化を調べた。作業の熟達とともに作業者らが使用する総形態素数は減少すると予想した。さらに作業中でよく使う動詞カテゴリの用語は、情報の伝達を明確に効率よく行うことができるような動詞の集まりに収束していくと予想した。

### 2. 方法

3組の被験者からなる4グループを対象に、仮想空間内での協調箱運搬作業タスクを行ってもらった。タスクは仮想空間内で各々が車両を操作し、それぞれ赤・青・緑に色分けされた箱を所定の位置へ運搬する事でタスク終了とし、同一の条件で

1グループあたり10試行行ってもらった。各グループにおいて各試行におけるタスク遂行時間を記録した。タスク中になされた全発話を日本語発話コーパス用フォーマット wakachi2002 形式で書き起こし、各試行に発話された各品詞の種類数と全体に占める割合を算出した[1]。また、最も使用頻度の高かった動詞の使用傾向の変化について調査するため、動詞の語幹のみを抽出し、グループAの1, 5, 10試行目における動詞オントロジーを作成した。使用された動詞をその性質から、タスク内容を問わず協調作業であれば産出されると考えられる *task general verb* と、本タスクに特有である *task specific verb* に分類した。

### 3. 結果

Table 1 に、各グループの各試行におけるタスク遂行時間を示す。どのグループにおいてもタスクの繰り返しとともに、タスク遂行時間は減少し熟達が生じた (Group A,  $r=-.865$ ; Group B,  $r=-.827$ ; Group C,  $r=-.911$ ; Group D,  $r=-.796$ )。

TABLE 1. 各グループの各試行におけるタスク遂行時間

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>A</b>	652	328	483	327	340	263	256	262	259	250
<b>B</b>	2127	1321	549	645	325	304	338	313	281	389
<b>C</b>	969	576	491	319	313	272	352	501	310	220
<b>D</b>	1401	715	789	805	509	358	369	431	368	396

Figure 1 に各試行における各品詞の種類数の平均を示す。種類数は全体を通じて減少したが、名詞と動詞が大きな割合を占めるという傾向は試行が進んでも変わらないという結果が得られた。



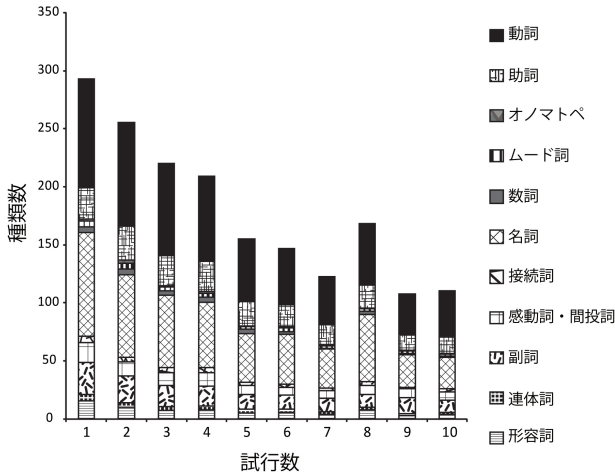


Figure 1. 各試行における各品詞の種類数の平均

Figure 2 から Figure 4 に、Group A における各試行での使用動詞のオントロジーを示す。試行が進むに従って、使用される動詞の種類は減少した。task general verb と task specific verb では減少傾向に違いが見られ、task general verb は task specific verb と比較して減少しづらいという結果が得られた。

#### 4. 考察

全てのグループにおいて、品詞の使用種類数は試行が進むとともに減少するという結果が得られ、また品詞の割合は大きく変化しないという結果が得られた。

動詞については、task specific verb と task general verb でのカテゴリー分けを行ったところ、減少の傾向が異なり、task general verb の方が減少しづらいという結果が得られた。動詞の使用傾向においては「押さえる」「運ぶ」などのタスクに特有な動詞は減少が大きかったが、「わかる」「する」のような一般的な動詞の種類数は減少しづらかった。これは、試行を繰り返し、タスクに関するスキルが熟達した事で、被験者間でタスクに関する共有基盤(Common Ground)が確立されたためであると考えられる。

#### 5. 結論

人間の協調作業が熟達するときに、使用品詞全体の種類数は試行とともに減少するが、動詞の種

類数はタスクに特徴的なものは減少する一方、一般的な動詞は減少しづらいという結果が得られ、動詞オントロジーが変化することが示唆された。熟達にともなった被験者間の共有基盤(Common Ground)の確立が関わっている可能性がある。多くのグループにおいて動詞等のオントロジーを検討する必要がある。

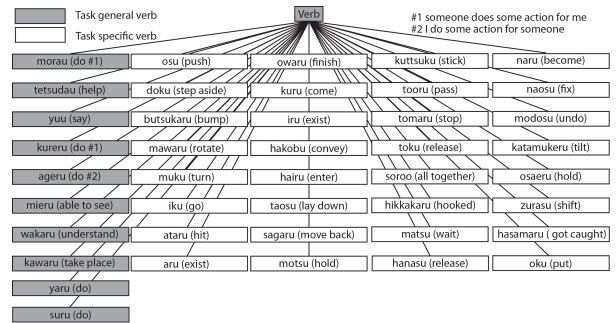


Figure 2. 1 試行目における動詞オントロジー

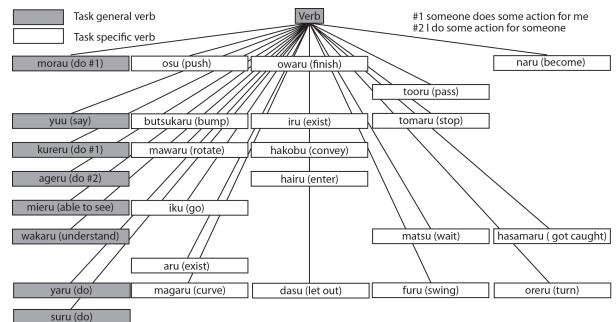


Figure 3. 5 試行目における動詞オントロジー

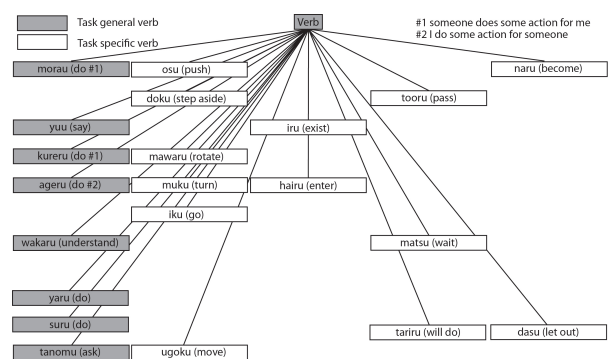


Figure 4. 10 試行目における動詞オントロジー

#### 参考文献

[1] Brian MacWhinney and Catherine Snow. (1990). The Child Data Exchange System. Journal of Child Language, Vol. 12, pp. 271-276.