

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：基盤研究(B)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19300039  
 研究課題名(和文) 知の伝達メカニズムを探る～身振り伝達コミュニケーションに基づく行動の記憶と再生  
 研究課題名(英文) A Study of Implicit Communication Mechanism- Recognition, Memorization, Recall, and Replay of Human Motions based on Mimetic Communication -  
 研究代表者  
 前田 太郎 (MAEDA TARO)  
 大阪大学・大学院情報科学研究科・教授  
 研究者番号：00260521

研究成果の概要：本研究では教示情報を制御した場合の動作の達成度・習熟度を比較する手法で知の伝達メカニズムの解明を狙った。実験では被験者に映像提示から運動の再構成を行わせた。運動を教示する情報として運動全体の動画もしくは選択されたスチル画像を用い、人間が身体動作を知覚・記憶・再構成するメカニズムに関する知見を得た。これは行動の暗黙知が認識・記憶に反映される一例であり、これらの知見を牽引力錯覚提示利用の行動指示装置などによるフィードバック補償に反映させることによって暗黙知の抽出と伝達を実現する新しい伝達手法を提案・設計することが出来る。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,700,000	2,310,000	10,010,000
2008年度	7,000,000	2,100,000	9,100,000
年度			
年度			
年度			
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：ヒューマンインターフェイス,暗黙知,モデル化,脳・神経,コミュニケーション

## 1. 研究開始当初の背景

人間の運動や動作の研究においては、運動解析の観点からは 2000 年の八村らによってモーションキャプチャデータからの基本身体動作の抽出がなされているが、ここで抽出されたセグメントは舞踊等に対する動作シンボリックの記述であり、そのセグメンテーションが情報伝達のための離散化という観

点から妥当性を検証した物ではない。運動の記憶メカニズムについては 2000 年 Tanji らによって動作のプランニング情報を統括する細胞活動が大脳皮質の運動前野あることが確かめられており、この指令が一次運動野に運動素として蓄えられている単純な運動を適切に結びつけている階層構造を見いだした。しかし、あくまで生理的知見であり実

際の記憶様式等は明確ではない。運動教示手法と学習について、1995年 Willifordらは適切なフォームと実際のフォームの空間的位置としての運動誤差を可視化して提示することで運動学習の向上を試み、その効果もある程度確認されているが、視覚的な情報提示が運動の教示情報に最適であるとは考えにくい。ロボット制御の観点からは、人間動作からの意図推定（佐藤知正、1992）見まね動作学習（中村仁彦、2004）などの研究があるもののこれらは人間自身の記憶やコミュニケーションを目的としたものではない。これに対して我々は2000年よりパラサイトヒューマンと名付けたウェアラブルな身体動作支援インタフェースの研究を続けており、人間の身体動作を媒体とした五感コミュニケーションの可能性を模索してきた。この観点から我々は2002年には運動発現時における運動指令の離散的要素をジャンケン動作において解析し、2003年には運動中にいつ、どのタイミングで体を動かしたらよいかという情報を力という形で教示するシステムを開発し、目標設定された運動を再現、学習する手法を実現してきた。本研究提案はこうした動作の獲得・伝達のために提示する情報を最適化するためには、人間がどのように連続情報を離散化しているのか、離散化された情報をどのように記憶しているのか、離散的に記憶された情報をどのように利用して連続的な運動に再構築するのかについては研究することが必要であるという点に着想を得ている。

## 2. 研究の目的

人は知を伝えることで社会・文化を形成し、地球上での生存競争を生き抜いてきた。この知の伝達は大きく分けて、言語化・文章化される「形式知」と個人的な経験・体験に基づき言語化の困難な「暗黙知」に分けられる。暗黙知の伝達様式は経験則的に模索されてはいるが、各人が自身の身体を使って経験的に獲得していくものが大半であった。暗黙知を全て形式知として記述することは不可能である。しかし、身体的に獲得される暗黙知をどこまで形式知化することが可能なのか、そして形式知によって、どこまで暗黙知を伝達することが可能なのか、その境界・接続点を明確にすることは、コミュニケーションにおける障壁・障害を乗り越えるための重要な課題である。時間的連続性を持った現象を解釈し行動として再構成するための暗黙知を、言語化・離散化された形式知としてどのように記述するか、そして、伝達された形式知をどうやって行動として再生するか、その記録・再生のアルゴリズムこそ、形式知と暗黙知の境界線・接続点であり、本研究においてはこの問題を「身振り伝達コミュニケーション

ンに基づく行動の記憶と再生」という課題において再現性の高い実験的な心理物理学的手法によって解明する。

## 3. 研究の方法

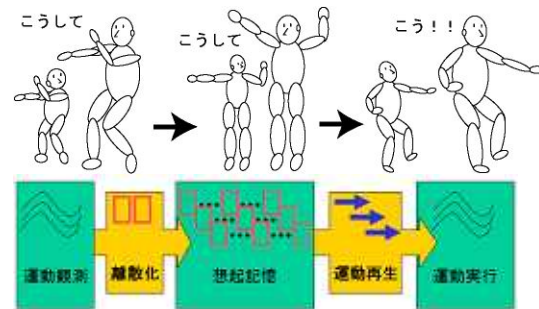


図1. 身振りによる人と人との動作伝達のためのコミュニケーション(上)とこの過程における情報の離散化と再構築の概念図(下)

人間が動作や運動を獲得する過程においては、手本となる教師の身振りから見習うことや適切な指示を仰ぐことで上達に要する期間を大きく短縮することが可能である。このとき教師から伝達される情報に注目してみると、図1のように動作を適切に分解することで本来連続的である動作を離散的な情報に置き換えて生徒に情報を伝達する場合がある。生徒はその離散化された個々の情報を記憶し、そして再び連続的な運動に構築し直すことで一連の運動や動作を獲得する。この離散化の過程（エンコード）と離散化された情報（コミュニケーションのためのノンバーバルな情報）の伝達と記憶、そしてこれらを再び連続した動作に再構築（デコード）することを人間はごく自然に行っているわけであるが、この離散化と再構築の相対なメカニズムこそが離散化され記憶・伝達を可能にした形式知と連続的な物理現象である身体運動を結びつける暗黙知に相当する。本研究の目的はこの形式知と暗黙知の生成ルールとメカニズムを明らかにし、より効果的な伝達手法を実現することにある。

## 4. 研究成果

本研究での実験手法としては教示情報を制御した場合の動作の達成度・習熟度を比較した。実験では、体格、年齢を同じにする被験者によって、映像から運動の再構成を行った。このとき、リズム音を用いて時間的な再現性と上げた特定の運動を教示情報として、目標となる動作のビデオをそのまま見せる、ビデオを一定間隔にスチル分解してこれを順に見せる、他人に伝達するときの身振り動作（図1の「こうしてこうしてこうです」動作）に相当するシーンを選び、このスチル映像を実際の時

時間隔で配置した離散化ビデオを見せる．等々の実験条件において伝達者がどの姿勢を伝達のために選択したか，それらを基にした動作再現の達成度について向上・低下を比較した．

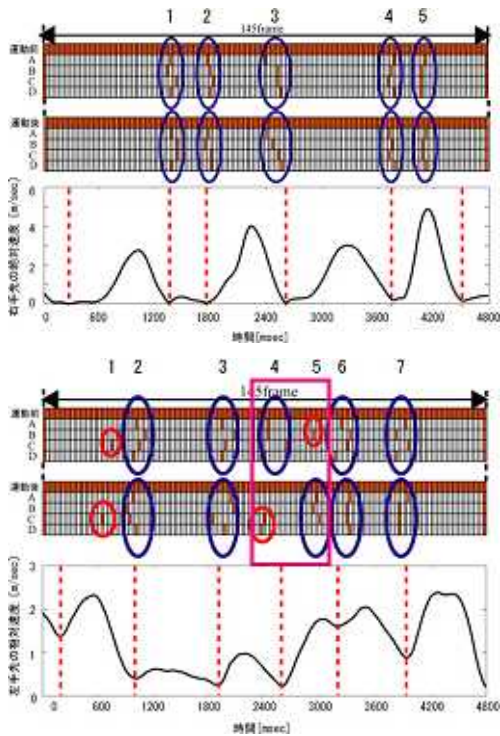


図2．動作伝達のための制止身振り映像の選択：アルゴリズム体操（上）と太極拳（下）

### 【姿勢抽出実験】

2つの課題動作（アルゴリズム体操・太極拳）に対する被験者4名の姿勢抽出実験の結果を図2に示す．左がアルゴリズム体操，右が太極拳の姿勢抽出結果である．アルゴリズム体操の場合，姿勢抽出の数に制限を設けなかったにもかかわらず，運動前・後とも同じ数の姿勢を選択し，かつ姿勢抽出タイミングがほぼ一致した．運動前・後で姿勢抽出結果の変化が無かったのは，アルゴリズム体操が，身体を用いた運動再現をするまでも無く，観測のみで課題動作を達成するための知識が獲得される動作と言える．また，姿勢の数と抽出タイミングが被験者間でほぼ一致したのは，被験者間で離散化メカニズムがある程度相似であるために，結果として記憶される姿勢がほぼ同じとなったと考えられる．太極拳の場合，姿勢4・5に関して，運動前・後で大きな変化が観測された．これは，姿勢5が運動後に被験者が獲得した身体知であり，姿勢4が姿勢5の抽出によって不要な姿勢となったためと考えられる．

また，教示者の運動データから得られる各身体部位（頭・左右手先・左右足先）の

速度のいずれかが極小となる時刻で，ほとんどの姿勢抽出が行われていることが分かった．これは，人間が各身体部位の単発動作をもとに連続動作を分節化していることを示唆するものである．

### 【運動再現実験】

次の～の映像提示条件を用いて，被験者4名について太極拳の運動再現実験を実施した．教示者が太極拳を行っている動画．太極拳の姿勢2・3・4・6・7の静止画．太極拳の姿勢2・3・5・6・7の静止画．太極拳の姿勢2・3・4・5・6・7の静止画．なお，～の静止画は動画中の姿勢と対応する時刻に提示する．この～の運動再現パフォーマンス比較によって，姿勢抽出実験で身体知であると考えた姿勢5の追加が，運動再現パフォーマンスにどう影響するか，また～のパフォーマンス比較によって，姿勢抽出実験で姿勢5の抽出によって淘汰された姿勢であると考えた姿勢4の追加が，運動再現パフォーマンスにどう影響するか検証した．各映像提示条件下でのパフォーマンス評価は～の運動再現結果を基準運動データとしたときの，各身体部位のRMSEを算出し，そのエラー値の和による相対評価で行った．図3は被験者4名の映像提示条件間のパフォーマンスを比較したものである．なお，映像提示順序はグラフの左から順に行い，RMSEは姿勢3～6の局所的な運動データを用いて算出した．この結果，～の比較では，～のパフォーマンスが向上し，～の比較では，パフォーマンスの変化がほぼ無かった．この結果から，姿勢5が運動再現に必要な記憶すべき姿勢であり，姿勢5の記憶により姿勢4は不要であるという運動経験後の被験者の姿勢抽出実験における意図が，運動再現結果から推測された．また，姿勢の静止画を運動再現時の着眼点として提示する手法が，運動学習に有効である可能性を示唆した．

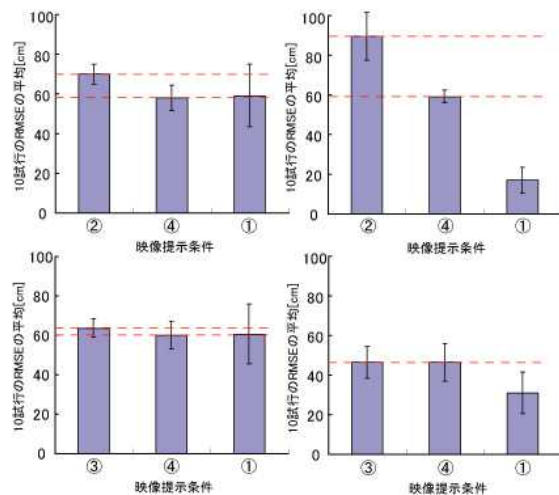


図3．各映像提示条件における運動再現の達成度比較



まず、姿勢抽出実験から人間の行動記憶過程において以下のことが推定される。人間は課題動作中から、着目する部位の単発動作の開始姿勢と終了姿勢を抽出し記憶することで、一連の動作を各部位の単発動作へと分節化している。記憶した単発動作の開始姿勢と終了姿勢から運動計画を生成し、運動指令が全身に送られる際の遠心性コピーにより、運動再現時の視覚・体性感覚を予測し、目標の運動軌道との誤差から、記憶する姿勢を追加または削除する。自身の運動を体性感覚として観測し、目標の運動軌道との誤差から記憶する姿勢を追加または削除する。

この3つのうち、自身の身体を用いて運動を観測し、姿勢の取捨選択を行うことこそが、身体知獲得プロセスといえる。また、この姿勢の取捨選択という身体知の獲得は、個人個人の身体性が反映されるため、個人間で多少の差が生じている。例えば、太極拳の運動後の姿勢抽出実験において、姿勢4、姿勢5に関して姿勢抽出のばらつきが確認できるのはこのためと考えられる。

これに対応する運動再現実験では、太極拳の運動再現のために記憶した姿勢が同様に姿勢4、5に関して被験者間で異なるという結果が得られている。教示者の太極拳をより正しく記憶し、再現できているとみなす評価基準としては、動作主が姿勢を記憶しているタイミングで、連続動作の複数回試行から得られる対象部位の運動のばらつきが小さくなるという評価指標を得ることができた。

以上の実験結果から本研究で明らかにしようとした「形式知によって暗黙知に関わる情報伝達を行うことによって身体性を基にした暗黙知の構造を抽出する」という手法において、少なくとも物理運動から形式知を抽出する「感覚知」と形式知から運動を生成するための「身体知」は双対でありながら独立な基準で獲得されており、その同調には身体性による暗黙知の形成だけではなく形式知を介したトライアンドエラーによって修正される必要があることを見いだした。これは人間の行動学習における様式として「反復練習無しに上達することはないが、観察力を伴った『気付き』無しには上達が進まなくなる」といった経験則の構造を裏付けているものと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

Tomohiro Amemiya,  
NOBUNAGA: Multicylinder-like ulse Generator for Kinesthetic Illusion of Being Pulled

Smoothly, Proc. of EuroHaptics 2008, 580-585, 2008, 有

Tomohiro Amemiya, Lead-Me Interface for a Pulling Sensation from Hand-held Devices, ACM Transactions on Applied Perception, Vol. 5 No. 3, Article 15, 2008, 有

Tomohiro Amemiya, Double-Layer Slider-Crank Mechanism to Generate Pulling or Pushing Sensation without an External Ground, Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2007), 2101-2106, 2007, 有

雨宮智浩, 牽引力錯覚を要素技術とした場所の制約を受けない力覚インタラクションの検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 12, No. 3, 409-412, 2007, 有

[学会発表](計 7 件)

麻生紘己, 時間的に離散/連続な映像提示による動作伝達と再現, 第13回日本バーチャルリアリティ学会, 2008年9月24日, 奈良

岡本信, Pseudo-Haptic を生じさせる速度変化成分の分析, 第13回日本バーチャルリアリティ学会, 2008年9月24日, 奈良

川崎宏記, 先行/遅延する自己身体イメージによるPseudo-Hapticの生起, 第13回日本バーチャルリアリティ学会, 2008年9月24日, 奈良

麻生紘己, 「つもり」形成における視覚フィードバックの影響, 日本バーチャルリアリティ学会第12回大会, 2007年9月19日, 九州大学大橋キャンパス

大野哲史, 視覚の速度制御による運動の到達位置変化の計測, 日本バーチャルリアリティ学会第12回大会, 2007年9月19日, 九州大学大橋キャンパス

加藤翼, GVSによる加速度感覚の等価性の評価~重力方向変化と並進加速度知覚による比較~, 日本バーチャルリアリティ学会第12回大会, 2007年9月19日, 九州大学大橋キャンパス

長江依奈, バネカム共振による牽引力錯覚の双方向提示機構の設計, 日本バーチャルリアリティ学会第12回大会, 2007年9月19日, 九州大学大橋キャンパス

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

前田 太郎(MAEDA TARO)

大阪大学・大学院情報科学研究科・教授  
研究者番号: 00260521

(2) 研究分担者

安藤 英由樹(ANDOU HIDEYUKI)

大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：70447035  
雨宮 智浩(AMEMIYA TOMOHIRO)  
日本電信電話株式会社・NTT コミュニケー  
ション科学基礎研究所・社員  
研究者番号：70396175

(3)連携研究者

なし