<学術論文>

VARAMM
—遠隔対話のメンタルモデル—

島田英昭　信州大学教育学部教育科学講座
森川治　　産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門
北島宗雄　産業技術総合研究所サービス工学研究センター

キーワード：知識，ユーザビリティ，バーチャルリアリティ，ハイパーミラー

1.　はじめに

1.1　問題と目的

電話をはじめとして，遠隔会議システム，テレビ電話など，多様な遠隔対話システムが開発され，利用されている。近年の情報通信技術の発展によって，開発されるシステムの持つ機能が多様化し，実現できるインターラクションの範囲が飛躍的に広がっている。遠隔対話システムのユーザビリティ評価においては，遠隔地間の対人コミュニケーションが十分に支援されているかどうかが問題になる。これは，他の機器やシステムにはない，遠隔対話システム固有の評価要素である。

本研究は，このようなコミュニケーションを“知識”の視点から分析する。たとえば，挨拶をする場合,「挨拶のしかた」という知識が利用されると考えられる。本研究は，知識研究の中でも特に，知識表現方法に着目する。

これまでの認知科学的研究の中で，知識表現方法は，人間行動の理解と環境改善に役立てられている。たとえば，一般的な問題解決過程の表現手法として提案されたGPS(General Problem Solver)は，問題解決における行動の予測を可能にした[1]。また，児童の筆算の過程を表現したプログラムであるBUGGYは，児童の誤った概念の所在の診断を可能にし，学習支援に生かされた[2]。

GPSやBUGGYは，分析対象のドメインの規模や知識利用形態に合わせて，それぞれのドメインで利用される知識やその利用方法を表現する方法として提案された。そこで本研究は，遠隔対話に利用されるユーザーの知識の表現方法としてVARAMM (**V**irtual–**A**ction **R**eal–**A**ction **M**apping **M**odel；バーラム)を提案する。VARAMM は，認知科学の分野で未だ研究が進められていない遠隔対話のドメインにおけるユーザビリティ評価の基盤となる知識表現である。

1.2　本論文の構成

最初に，VARAMMがメンタルモデルの構成要素として仮定している2種の知識について述べ，それらの表現方法，知識処理プロセスに関する仮定を述べる。その際，対面対話を仮想的に模倣するシステム(たとえば，ハイパーミラー[3]，3D-IES[4]など)の開発が盛んに進められていることを踏まえ，対面対話と遠隔対話の関係に注目して議論を進める。

次に，VARAMMの評価を行う。評価にあたっては，遠隔対話システムであるハイパーミラー[3]を事例とする。この環境において既に明らかになっている問題に対して，VARAMM

による問題の発見と説明が可能であることを示し，VARAMMによる知識表現が有効であることを示す。

2.　VARAMMが仮定する知識構造

VARAMMは，ユーザーのメンタルモデルを記述するために，これまでの認知科学的研究から2種の概念，スクリプト(Script)と行為写像(Action Mapping)を導入する。本節では，これらについて説明し，従来の概念を遠隔対話のドメインに適用するにあたり不十分な点を挙げ，それを補うための拡張について述べる。

2.1　VARAMMが導入する従来研究の概念

(1)　スクリプト

スクリプトは，一連の行動についてユーザーが持っている既有知識であり、Schankらによって提唱された概念である[5] [1]。たとえば,「レストランで食事をする」,「はじめて会った相手と挨拶する」,「握手する」などの知識はスクリプトである。これらは，長期記憶に貯蔵され，状況に応じて検索され，行動決定に利用される。人間がスクリプトレベルの知識を利用しているということは，これまでの研究により明らかにされている[8]。

VARAMMでは，Schankらが提案したものに準じ，スクリプトが階層的に長期記憶に貯蔵されており，遠隔対話環境における行動決定に利用されるとする。

(2)　行為写像

行為写像は，現実場面の行為を仮想空間の行為に写像する為の知識である。これは，Moranによる，実空間の操作系列をデバイス空間の操作系列に写像する知識表現法であるETIT(External Task Internal Task)にヒントを得ている[9]。ETITは，文章構造に対する操作とエディターに対する操作の写像構造を描き出す。エディターを新たに利用するユーザーは，文章構造に対する操作内容とエディターの機能との対応を学習しなければならない。その写像構造が複雑であれば学習が困難であることが予想される。また，過去に利用した経験のあるエディターの写像構造が新たに学習するエディターのものに類似していれば，写像知識の転移が予想される。しかし，その一方で干渉が生じる可能性もある。これらを勘案して，Moranはテキストエディターの学習容易性を評価した。

VARAMMでは，システムにより構築される仮想的な空間（仮想空間）における操作と，ユーザーが現実におかれている空間（現実空間）における操作の対応関係を「行為写像」と呼ぶ。たとえば,「アバター（自己を表す仮想キャラクター）の右手を挙げるためには，マウスの右クリックをする」という知識は行為写像の一例である。ユーザーは，起動したスクリプトを仮想空間において実行しようとするが，直接的に仮想空間を操作することはできない。実行したい行動は，行為写像により現実空間の行動に変換され，実行される。

2.2　スクリプトの拡張

---

[1]Schankはその後，スクリプトを発展させる形で，MOP(Memory Organization Packet)という概念を提唱している[6,7]。この2つの概念はいくつかの相違点があるが，一連の行動系列を持つ知識であるという点は変わらない。本研究では，“スクリプト”という用語を，これら2つの概念を包括するものとして用いる。

VARAMMは，スクリプトと行為写像の組み合わせによりメンタルモデルを表現する。しかし，従来のものの単純な組み合わせでは，遠隔対話環境の知識表現として問題が生じる。本節では，その問題を説明し，解決する為にVARAMMが導入する仮定を述べる。

(1) スクリプトの柔軟な運用

遠隔対話環境には，時間遅延や十分な解像度が得られないなどのシステムの性能に起因する制約，あるいは行いたい行動を実現する手段が分からないといったユーザーの知識に起因する制約が存在する。遠隔対話環境におけるユーザーは，スクリプト構造を柔軟に運用することで，このような制約に対処していると考えられる。しかし，これまでのスクリプト理論は，このような制約を想定していない。

そこで，VARAMMでは，制約に対処するためのスクリプトの運用ルールを明確に定め，表現できるようにする。スクリプト構造の各要素に評価が与えられ，その評価に応じ，既有のスクリプトがそのまま適用されたり，スクリプトが変更されて運用されたりする。

(2) スクリプトの細かな展開

一般的なスクリプトの記述では，記述要素として通常意識可能なレベルの行動が用いられる。たとえばBowerらは，レストランにおける一連の行動（レストランスクリプト）の表現において,「テーブルに行く」,「座る」という記述要素を用いている[8]。

しかし，このような意識できるレベルの記述では，遠隔対話における行動を適切に表現できない。その理由は，システムにおける操作の単位が，必ずしも意識できるレベルにあるわけではないからである。たとえば，バーチャルなレストランがあり，その中で自己を表すアバターを操作する状況を考えてみる。そのシステムが,「右に動く」,「椅子に右手をかける」,「椅子に腰を下ろす」といった，単に「座る」よりも深いレベルに操作を対応付けているとする。この場合には,「座る」ことを表現するためには，このレベルに対応した知識を記述できなければならない。

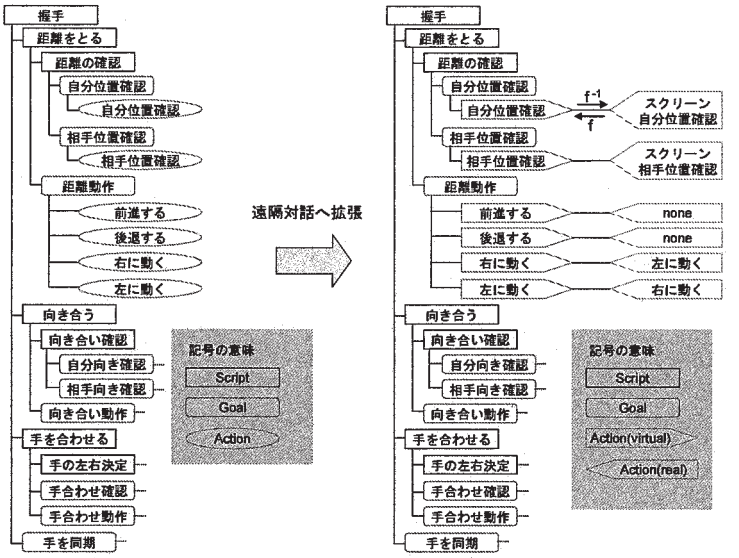
そこで，VARAMMでは，スクリプトの記述のレベルを，通常現実世界での行動を記述する際に意識的に行えるレベルではなく，仮想空間と現実空間の行動の対応付けを適切に表現することが可能になるレベルにまで詳細化したレベルに設定する。したがって，VARAMMでは，通常のスクリプトよりも詳細なレベルまで行動が展開されることになる。

3. VARAMMの詳細

前節に述べたVARAMMの仕様をより詳細に述べる。はじめにVARAMMによる知識表現を述べ，次に処理プロセスを述べる。その後，実行したい行動ができなかった場合の対処プロセスを述べる。

3.1 知識表現

VARAMMは，ユーザーが実行したい行動に関する知識をスクリプト–目標–行為の樹状図によって表現する。図1の左側に示した階層構造は，対面対話で利用される握手のスクリプト構造の表現である。握手が「距離をとる（相手との距離を握手にふさわしいように



注：左側は対面対話で仮定されるスクリプト。右側は遠隔対話で仮定される拡張されたスクリプト。

図 1: 握手行動の表現

調整する)」,「向き合う」,「手を合わせる」,「手を同期させる（相手の手とあわせて軽く上下に振る)」の4つの要素によって成立していることが示されている。これらの要素は，さらに下位の要素まで階層的に展開される。最下位の要素である行為まで展開が行われ，実行されることで，具体的な行動が生じる。

現実環境では，スクリプトの展開により導かれる行為をそのまま実行すればよいが，遠隔対話環境では，環境に適した行動に変換する必要がある。VARAMMは，この変換を表現するために，行為にあたる部分を拡張する。

図1の右側が，後述する遠隔対話システムにおいて，握手に関する知識が変換されて適用される例である。スクリプトの展開によって導かれた行為は，遠隔対話システムの構築した仮想空間の行為として表現される（“Action(virtual)”の要素）。続けて，f^{-1}に示す写像により，それを実現できると考えられる現実空間の行為に変換する（“Action(real)”の要素)。変換された現実空間の行為を実行することで，fに示す写像に対応する仮想空間の行為を実行したことになる。

以下，VARAMMによる知識表現を，要素ごとに説明する。

(1)　行為

「右を向く」のような行動の最小単位を行為(Action)と呼ぶ。行為は，仮想空間と現実空間の行動の対応付けを適切に表現することが可能になるまで行動を詳細化したものである。行為aは，フレーム表現的にAction(Name = a)と表現される。ここで，“Name”はActionのスロット(slot)，“a”は値(value)である。

行為は，現実空間と仮想空間における行為に分けられ，それぞれAction(Name = a_1, Space = real)，Action(Name = a_2, Space = virtual)と表現される。なお，以下では，混乱しそうな場

合を除き，スロット名を省略することがある。

(2) 行為写像

VARAMMでは，仮想空間の行為と現実空間の行為の対応関係を行為写像と呼び，行為写像に関する知識を活用することによって，仮想空間の行為と現実空間の行為の関連付けが行われると考える。行為写像には，システムの仕様により決定される物理的行為写像と，ユーザーの知識を表現する心的行為写像の2種類がある。物理的行為写像は，デザイナーのメンタルモデル，心的行為写像はユーザーのメンタルモデルに対応する[10]。

物理的行為写像はシステムの物理的な性質によって規定される。現実空間の行為から仮想空間の行為への写像を，

$$f_p(\mathrm{Action}(a_1, \mathrm{real})) = \mathrm{Action}(a_2, \mathrm{virtual})$$

あるいは

$$f_p^{-1}(\mathrm{Action}(a_2, \mathrm{virtual})) = \mathrm{Action}(a_1, \mathrm{real})$$

と表現する。

たとえば，マウスを右に動かすとアバターの手が右に動くようにデザインされているシステムにおいては，アバターの手を右に動かすための知識は以下のように表現される。

$$f_p^{-1}(\mathrm{Action}(\text{手を右に動かす}, \mathrm{virtual})) = \mathrm{Action}(\text{マウスを右に動かす}, \mathrm{real})$$

ここでの「右」とは，ユーザーの視点から見た右側を表現していると仮定する（以下，左右の記述については同様）。

システムの仕様により，現実空間の行為に対応する仮想空間の行為が存在しない場合，あるいはその逆の場合がある。このような場合には，対応のない行為をAction(none, virtual)あるいはAction(none, real)と表現する。

心的行為写像は，システムの機能に関するユーザーの知識である。これを，物理的行為写像に対応させてf_mおよびf_m^{-1}と表現する。物理的行為写像が存在していても，ユーザーがその対応を誤って認識している，あるいは認識していないことがある。たとえば，上記のシステムにおいて，ユーザーがアバターの右手を動かすための知識を獲得している場合には，その知識は，

$$f_m^{-1}(\mathrm{Action}(\text{手を右に動かす}, \mathrm{virtual})) = \mathrm{Action}(\text{マウスを右に動かす}, \mathrm{real})$$

と表現される。一方，獲得していない場合には，

$$f_m^{-1}(\mathrm{Action}(\text{手を右に動かす}, \mathrm{virtual})) = \mathrm{Action}(\mathrm{none}, \mathrm{real})$$

と表現される。

(3) 目標

行為の直接上位にある行動を目標と呼ぶ。ある目標gを，Goal(Name = g)と表現する。目標は行為の集合であり

$$\mathrm{Goal}(g) = \{\mathrm{Action}(a_1), \mathrm{Action}(a_2), \cdots, \mathrm{Action}(a_n)\}$$

と表現される。

Goal(g)は，Goal(g)に含まれる行為の部分集合を選択して達成される。実行される行為は，目標の性質とおかれた状況により変動する。Goal(g)を満足のいくレベルで達成するために，すべての行為を選択する必要があることもあれば，一つのみ選択すれば十分であることもある。

(4)　スクリプト

目標の上位にある行動をスクリプトと呼ぶ。ある行動sがスクリプトであることを，Script(Name = s)と表現する。スクリプトは，目標と下位スクリプトの集合であり，

$$\mathrm{Script}(s) = \{\mathrm{Goal}(g_1), \cdots, \mathrm{Goal}(g_n); \mathrm{Script}(s_1), \cdots, \mathrm{Script}(s_m)\}$$

と表現される。Script(s)は，含まれる下位スクリプトあるいは目標の部分集合を選択して実行される。目標とスクリプトの違いは下位にある要素であり，目標は行為のみを持つことに対して，スクリプトは目標と下位スクリプトを持つ。

3.2　知識利用プロセス

ユーザーの知識利用プロセスを，前節で導入した知識構造のもとに記述する。

(1)　スクリプト・目標・行為の選択と期待値の付与

ユーザーは，ある行動sを起こすとき，sに対応するスクリプトやそれに含まれるスクリプト・目標を長期記憶から検索して実行する。しかし，遠隔対話環境ではそれらが満足に実行できない可能性がある。そこでVARAMMでは，ユーザーは行動sにかかわるスクリプトや目標に対して，それらがどの程度満足に実行できそうかということに関する主観的評価として期待値を付与する。その値を考慮して，置かれた状況において最も適切な行為を選択して実行すると仮定する。

形式的には，検索したScript(s)に期待値e_xが付与された状態をScript(s, Exp = e_x)と表現する(ExpはExpectationの略)。期待値は，スクリプトの内容の成功の程度（例えば,「成功」,「やや成功」,「失敗」），あるいは適切さの程度（「適切」,「やや適切」,「不適切」）といった値をとる。目標，行為についても，スクリプトと同様に期待値が付与され，その状態をそれぞれGoal(g, Exp = e_x)，Action(a, Exp = e_x)と表現する。

たとえば，握手を実行しようとしているとする。このとき，置かれた状況を勘案し，握手が可能であると考えた場合に知識が利用されるプロセスを追ってみる。

まず，握手が実行可能と考えたので，Script(握手, Exp = 成功)となる。次に，Script(握手)に含まれる全要素の中から適切なものを選択する。握手は一般的に，図1に示したScript(握手)の4つの下位要素が成立して初めて成功すると考えられるので，Script(握手, Exp = 成

功)はScript(距離をとる, 成功), Script(向き合う, 成功), Script(手を合わせる, 成功), Script(手を同期, 成功)の4つのスクリプトを選択する。この中のスクリプトScript(距離をとる, 成功)はさらに下位要素に展開される。以下同様に，Action(自分位置確認, virtual, 成功)などの行為レベルまで展開される。

(2) 行為の実行および行為・目標・スクリプトの評価

仮想空間の行為Action(a_1, virtual)は，心的行為写像を利用して，対応する現実空間における行為 f_m^{-1}(Action(a_1, virtual)) = Action(a_2, real)として実行される。

行為を実行したあとは，その行為の評価を行い，行為表現において期待値を評価値に置き換える。評価値がe_vであったとき，当該行為は，Action(a, Eval = e_v)と表現される(EvalはEvaluationの略)。

目標に対して選択された全ての行為が完了したら，目標の評価を行う。Goal(g)に対して，評価が得られた状態をGoal(g, Eval = e_v)と表現する。このようにして，もっとも下位にある行為の評価が定まることで目標の評価が定まり，上位にあるスクリプトの評価も同様に行われる。最初に検索されたスクリプトの評価が定まることで，処理が完了する。

3.3 行動の修正

仮想空間の操作においては，現実空間におけるスクリプトをそのまま適用できないことから，スクリプト構造を適当に変更しながら行動を決定する必要がある。VARAMMでは，知識構造の変更が行為レベルと目標–スクリプトレベルで起こると仮定する。

(1) 行為レベルの修正

ある仮想空間の行為に対して，物理的行為写像と心的行為写像が異なる場合がある。この場合には，行動は失敗する。VARAMMではそのような場合，ユーザーが失敗の原因となった心的行為写像の修正を試み，あらたに形成された写像構造のもとで再度行為の実行を行うと仮定する。たとえば，図1に示した握手の例では，Action(前進する, virtual)の実行に失敗した場合に，Action(前進する, virtual)に対応する心的行為写像を変更し，実行する。

(2) 目標–スクリプトレベルの修正

仮想空間の行為の実行に失敗した場合には，その上位にある目標レベルにおいて選択する行為の集合を変更する。すなわち，現在選択している行為を実行することをあきらめ，あらためて行為を選択し直し，目標の達成を試みる。このプロセスは，スクリプトにおいても同様に行われる。たとえば握手の例では，Script(向き合う)が実行できない場合，Script(握手)の要素からScript(向き合う)を除いて握手を成立させようとする。

4. ハイパーミラーの事例

本節では，遠隔対話システムであるハイパーミラー[3]における対話を取り上げ，VARAMMが知識表現手法として妥当であり，有用であることを示す。はじめに，遠隔地にいるユーザー同士の握手を事例として，その行動がVARAMMによって説明できることを示す。その後，さらに2事例を紹介し，その行動が3.3節において述べた行動の修正により説明でき

図 2: ハイパーミラーによる対話の様子

ることを示す。

4.1　ハイパーミラーの仕様

ハイパーミラーは，各地で撮影された映像をリアルタイムに合成することで，全員が同じ場所にいるような映像を作成・利用し，対話を行う遠隔対話システムである。図2は対話中のユーザー，図4は対話中に表示される映像を示している。ユーザーの正面にはスクリーンが設置され，相手画像とともに自身の鏡映反転像が映される。お互いのスクリーン上の映像は同一である。ハイパーミラーでは，対話者がスクリーン上を自由に動くことができるので，握手のような対話者同士のオーバーラップが必要な行動を擬似的に行える。

4.2　VARAMMによる説明１：ハイパーミラーにおける握手

我々のハイパーミラーの実践においては，ハイパーミラーに初めて接するユーザーに対して，まず握手をしてもらい，システムに慣れてもらうことが多い。これまでハイパーミラーにおける対話を多数観察してきたが，ほとんどのユーザーは，問題なくスムーズに握手できている。本節では，握手がスムーズに実行できたユーザーの認知プロセスを，VARAMMにより表現できることを示す。図3にVARAMMによる表現の一部を示す。

(1)　スクリプトの実行

ハイパーミラーを初めて利用するユーザーは，ハイパーミラーで握手を行うように求められたとき，対面対話に関する握手のスクリプトScript(握手)を長期記憶から検索し，それを流用する。その際に，ユーザーは期待値に「成功」を付与する。実験者の教示から「成功」が期待されていると評価すると考えられるからである。この段階は，図3では(1)→Script(握手, Exp = 成功)と表現されている。なお，“→”は，当該知識単位(スクリプト, 目標, あるいは行為)の処理の開始，“←”は処理の完了を示している。

次に，Script(握手)の期待と現在の状態を考慮し，Script(握手)の下位要素を選択する。図3では，(1)→Script(握手, Exp = 成功)において，図1に示した4つの下位要素が選択されたことを示している(2～5)。“+”は選択された下位要素を示す。

以下，Script(距離をとる)の処理を詳しく見ていく。Script(距離をとる)とは，握手に適切であるように相手との距離を調整する行動である。図3では，(6)Script(距離をとる, Exp = 成功)を成立させるための条件として，(7)Script(距離の確認, Exp = 適切)を選択したことを示している。Script(距離の確認)は，相手との距離が握手に適切であるかどうかを確認する行動である。図1に示したようにScript(距離をとる)の下位要素には，Goal(距離動作)も含ま

1 →Script(握手, Exp = 成功)
2 +Script(距離をとる, Exp = 成功)
3 +Script(向き合う, Exp = 成功)
4 +Script(手を合わせる, Exp = 成功)
5 +Script(手を同期, Exp = 成功)
6 →Script(距離をとる, Exp = 成功)
7 +Script(距離の確認, Exp = 適切)
8 →Script(距離の確認, Exp = 適切)
9 +Goal(自分位置確認, Exp = 成功)
10 +Goal(相手位置確認, Exp = 成功)
11 →Goal(自分位置確認, Exp = 成功)
12 +Action(自分位置確認, virtual, Exp = 成功)
13 →Action(自分位置確認, virtual, Exp = 成功)
14 f_m^{-1}(Action(自分位置確認, virtual, Exp = 成功))
15 = Action(スクリーン自分位置確認, real, Exp = 成功)
16 Action(スクリーン自分位置確認, real, Eval = 成功)
17 ←Action(自分位置確認, virtual, Eval = 成功)
18 ←Goal(自分位置確認, Eval = 成功)
19 →Goal(相手位置確認, Exp = 成功)
20 +Action(相手位置確認, virtual, Exp = 成功)
21 →Action(相手位置確認, virtual, Exp = 成功)
22 f_m^{-1}(Action(相手位置確認, virtual, Exp = 成功))
23 = Action(スクリーン相手位置確認, real, Exp = 成功)
24 Action(スクリーン相手位置確認, real, Eval = 成功)
25 ←Action(相手位置確認, virtual, Eval = 成功)
26 ←Goal(相手位置確認, Eval = 成功)
27 ←Script(距離の確認, Eval = 適切)
28 ←Script(距離をとる, Eval = 成功)
29 →Script(向き合う, Exp = 成功)
……

図 3: 握手のプロセスの記述

れている。しかし，Goal(距離動作)は，距離の確認の結果を見て実行するかどうかが決まる。なぜなら，相手との距離を適正なものにするための動作は，それが実現できていない場合にのみ実行が必要になるからである。それを反映して，ここでは距離の確認だけが選択されている。

(2) 目標・行為の実行・評価およびスクリプトの評価

選択されたScript(距離の確認)を実行するために，2つの下位目標が選択される(9,10)。ここでは，最初の目標である(9)Goal(自分位置確認, Exp = 成功)を，目標の実行例として見ていく(11～17)。Goal(自分位置確認)は，(12)Action(自分位置確認, virtual)を選択する。この行為は仮想空間におけるものなので，対応する現実空間の行為を特定する必要がある。これは，心的行為写像f_m^{-1}により行われる。ハイパーミラーでは，仮想空間上で自分の位置を確認するためには，現実的にはスクリーン上で自己像がどこにあるのかを確認することが必要である。つまり，f_m^{-1}(Action(自分位置確認, virtual)) = Action(スクリーン自分位置確認, real)である(14,15)。この行為が実行されることで評価が行われ，(17)Action(自分位置確認, virtual, Eval = 成功)を得る。

以上から，上位にある目標の評価が(18)Goal(自分位置確認, Eval = 成功)と定まる。相手位置確認も同様に処理され(26)Goal(相手位置確認, Eval = 成功)を得る。次に，距離が適切であると判断され，(27)Script(距離の確認, Eval = 適切)を得る。

図 4: 左手を出すユーザー(右側男性)

以下，同様のプロセスが実行されることで，ハイパーミラーにおける握手が成立すると考えられる。

4.3　VARAMMによる説明２：行動の修正事例

3.3節にて，VARAMMでは，知識構造の修正が(a)行為レベルと(b)目標–スクリプトレベルの2つのレベルで起こるとした。本節では，握手を事例として，これらの行動の修正過程を具体的に表現する。

(1)　行為レベルの修正事例

図4は，左側のユーザーが握手を求めて手を出し，それに右側のユーザーが応じている場面である。一般的に握手は，左右同じ側の手を出し合うことで成立する。しかし，図4の場面では，握手を求められた右側のユーザーが，左側のユーザーと反対の手を差し出してしまい，握手が成立しなかった。この後すぐに，右側のユーザーは反対の手を出し直し，握手が成立した。

我々のハイパーミラーにおける実践において，図4のように握手の際に左手を出すケースが多数観察されている。このような人々のとった行動は，経験的には次のように説明できる。ハイパーミラーは鏡映反転を用いているため，左側のユーザーは実際には右手を出しているが，スクリーン上では左手を出しているように見える。そこで，右側のユーザーは，自分も左手を出せばよいと考え，左手を差し出す。これが，図4の状態である。その後，右側のユーザーは反対の手を出せばよいことに気づき，握手を成立させる。

この際の右側のユーザーの認知過程をVARAMMにより表現すると，次のようになる。Action(左手を右に動かす)を実行する際，はじめf_m^{-1}(Action(左手を右に動かす, virtual, Exp = 成功) = Action(左手を左に動かす, real, Exp = 成功)として行動するが失敗する。その後，その行為写像が誤りであると認識し，f_m^{-1}(Action(左手を右に動かす, virtual, Exp = 成功) = Action(右手を左に動かす, real, Exp = 成功)と行為を修正・実行し，Script(握手)を成立させる。

(2)　目標–スクリプトレベルの修正事例

握手では，手を合わせる動作を行い，手を合わせたことを確認する必要がある。対面対話における握手を考えると，手を合わせたことの確認には，視覚的な手がかりだけでなく，触覚的な手がかりも利用されている。しかし，ハイパーミラーにおいては，触覚的な手がかりは利用できない。そのため，対面対話における握手のスクリプトを起動した場合には，

触覚的な手がかりの利用を制限するようにスクリプト構造を変更することが必要になる。

具体的には，図1におけるScript(手を合わせる)の下位にあるGoal(手合わせ確認)は，Action(視覚的)，Action(触覚的)の2つの行為を持つ。対面対話では，これら2つの行為をともに利用しているため，Goal(手合わせ確認)はAction(視覚的, Exp = 成功)およびAction(触覚的, Exp = 成功)を実行しようとする。しかし，ハイパーミラーではAction(触覚的, Exp = 成功)に対応する物理的行為写像が存在しないため，この行為の実行に失敗する。その際には，Action(視覚的, Exp = 成功)のみで実行するようにGoal(手合わせ確認)の構造を変更し，再度実行を試みると考えられる。

5. ユーザビリティ向上のための支援策の提案

本節では，ここまでの議論を踏まえ，VARAMMから導かれるユーザビリティ向上の支援策について考察する。

VARAMMは，スクリプト理論とETIT分析を基礎にしている。そのため，スクリプトの学習・運用理論[5–7]や，行為写像の性質からみたシステム評価の方法[9]を，そのまま利用することが可能である。

たとえば，Schankはスクリプトの学習について，予測に反したエピソードに出くわした際にそのエピソードがスクリプトに付加され，その経験が繰り返されることによって，新たなスクリプトが構成されるとしている[6]。これは，ハイパーミラーや電話といった特定の状況におけるスクリプトの獲得過程の説明に適用できる。たとえば，ハイパーミラーで握手を繰り返すことで，触覚を利用する「対面対話の握手」から，触覚を利用しない「ハイパーミラーの握手」がスクリプトとして獲得できると考えられる。VARAMMでは，不具合の生じている行動に対して，行為レベルの修正や目標–スクリプトレベルの修正が実施されると仮定している。この修正が繰り返し実行され，成功経験を重ねることによって，新たなスクリプト–目標–行為の構造が構築されると考えられる。また，このようにして獲得されたスクリプトは，現実世界のスクリプトが仮想世界の行動に利用されるのと同じように，現実世界のスクリプトを補強し，類似した他の未知のシステムに流用される。

以上に加えて，次の2点を新たなユーザビリティ向上に関する視点として提案し，議論する。

5.1 満足度の評価に基づくデザイン支援

技術開発の現場においては，実装すべき機能の優先順位の決定は重要な問題である。技術的に様々な機能の搭載が可能となっている現在では，実装する機能を効率的に選択しなければならない。VARAMMが導入した満足度の評価は，克服すべき制約とさしあたり克服しなくてもよい制約を区別する方法を提供する。

たとえば，ハイパーミラーにおいては，触覚的な感覚が欠如しているにもかかわらず，我々の実践では「握手ができない」という反応をするものはみられていない。この事実は，Goal(手合わせ確認)の下位にあるAction(触覚的)が実現できない状態であっても，Script(握

手)はある程度満足されると解釈することができる。このことから，握手を想定するシステムを開発する場合，この制約はさしあたり克服する必要がないことが分かる。

様々な種類のシステムが開発されているが，それを使うときに必要とされるユーザーの知識は共通である。経験や心理実験によるデータをVARAMMの枠組みで蓄積しておくことで，様々なシステムの開発に生かすことができる。

5.2　代替手段の評価による技術的な手段によらない問題解決

従来，遠隔対話環境のユーザビリティ向上は，必要とされる機能の技術的な実現により行われてきた。しかし，技術的な機能の実現が常にできるとは限らない。これに対しVARAMMは，代替手段の提供という技術的手段によらない問題解決法を提案することができる。

たとえば，視線一致は対話において重要な役割を果たす。そのため，遠隔対話環境における視線一致の技術的な実現が試みられてきたが，未だ満足できるパフォーマンスを発揮するに至っていない。この問題に対して，VARAMMは，視線一致に係わる機能に注目することで，解決策を提案できる。

視線一致は，相手の態度をさぐったり，意思を伝達したりといった機能がある[11]。Argyleらは，そのような機能の一つとして，親密感を高める機能を指摘している。そして，親密感の高低には，視線一致のみではなく，相手との距離が近いかどうかもかかわっており，たとえ視線一致が実現しなくても，相手との距離が近いことによって親密感が高められるとしている[12]。

この理論をVARAMMで解釈すれば，Script(親密感を高める)の下位要素に，視線一致を行おうとするScript(視線一致)と，相手との距離を小さくしようとするScript(距離を縮める)があることになる。ここから，たとえ視線一致が実現されていなくても，相手が近くにいると認識させる，あるいは相手に近づくことができると認識させることに成功すれば，親密感を高めるという目的を満足させることができると考えられる。

ある行動がシステムの仕様上不可能であっても，それを代替的な手段により実現するようなシステムを構築することで，十分な満足度ではないかもしれないが，本来の目的が達成できるようになる。VARAMMは，そのような解決策を導き出すツールとして利用できる。

6.　VARAMMの限界と拡張性

本節では，VARAMMの限界と拡張性について議論する。

6.1　VARAMMの適用ドメインについて

VARAMMは，遠隔対話環境をドメインとしている。本節では，遠隔対話環境におけるVARAMMの限界と，遠隔対話以外のドメインへの拡張について述べる。

まず，遠隔対話環境におけるVARAMMの限界である。VARAMMは，知識がスクリプトによって表現されることを前提としている。したがって，分析したい行動にVARAMMが

適用できるかどうかは，その行動をスクリプトによって記述できるかどうかに依存する。たとえば，ハイパーミラーにおいて，通信の時間遅延が大きいと，握手における手の同期が難しくなる。しかし，VARAMMでは，この行動を分析することが難しい。なぜなら，スクリプトは，手の同期の調整といった細かなインターラクションが必要な行動の表現が難しいからである。

このようなVARAMMの限界はあるが，日常の行動の多くがスクリプトによって説明されていることから[5]，遠隔対話における行動の多くはVARAMMによって表現できると考えられる。しかしながら，今後の発展を考えると，スクリプトが苦手とする行動表現技法を考案する必要がある。

次に，遠隔対話以外のドメインへの拡張についてである。VARAMMは，知識のスクリプト表現と行為写像の2つによって行動を説明する。これらの2つの要素によって行動が説明できるドメインには，VARAMMを拡張できる。そのようなドメインとして，仮想現実環境が挙げられる。仮想現実環境はさまざまなものがあるが，少なくともその一部には，スクリプトをトップダウン的に利用し，行為写像によって行動を決定するモデルが適用できるはずである。

6.2 スクリプトの記述方法の問題

VARAMMMはスクリプトを前提としているが，スクリプトの記述方法が定まっておらず，主観に頼らざるを得ないという問題がある。しかし，程度の差はあるが，潜在的な知識を完全に記述することはできないので，従来提案されている知識表現方法でも同様の問題が生じている。その状況でも，知識表現を人間行動の理解や環境改善に生かそうとして，ある程度の主観が交わることを認めた上で分析を行うという現実的な解決策がとられ，実際に生かされている。VARAMMにおいても，本研究が事例として述べた程度の記述をもって，そこから明らかになる問題があるはずである。

しかし，遠隔対話環境を広く表現することを優先したという事情から，VARAMMにはスクリプトの記述に主観が入る余地が比較的大きい。したがって，スクリプトの記述方法をより妥当にしていく方法を考案することは今後必要となる。その方法としては，次の2つが考えられる。一つは，いったん記述したスクリプト表現を，機器開発への応用を通して常に評価し，修正していくことである。これを繰り返すことで，スクリプト表現をより妥当にしていくことができる。もう一つは，本研究が視線一致のスクリプト表現をしたように，過去の心理学的研究から，スクリプト表現を導くことである。また，Bowerらのような手続き[8]で，必要に応じて心理学的研究を実施し，妥当なスクリプト表現を導くこともできる。

7. おわりに

遠隔対話システムにおけるユーザーの行動を適切に評価し，予測するためには，ユーザーの持っている知識，知識の活用方法と行動の関係を明らかにし，その関係を記述でき

るようにする必要がある。本研究では，認知科学的手法に基づき，知識の表現方法としてVARAMMを提案した。そして，ハイパーミラーにおける事例を参照し，その妥当性を示した。本研究が提案した手法によりユーザーの行動を評価することにより，よりユーザビリティの高い遠隔対話環境の実現に寄与するだろう。

注

本研究は，11th International Conference on Human-Computer Interactionにおいて発表された内容をまとめたものである。

参考文献

[1] Newell, A., Simon, H. A.: Human problem solving; Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall (1972).

[2] Brown, J. S., VanLehn, K.: Repair theory: A generative theory of bugs in procedural skill; Cognitive Science, Vol.4, pp.379–426 (1980).

[3] Morikawa, O., Maesako, T.: HyperMirror: Toward pleasant-to-use video mediated communication system; Proceedings of Conference on Computer Supported Cooperative Work '98, pp.149-158 (1998).

[4] 野村総合研究所: NRI 3D-IESホームページ; http://www.3d-ies.com/, 2007年4月29日 (2007).

[5] Schank, R. C., Abelson, R. P.: Script, plans, goals and understanding: An inquiry into human knowledge structures; Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates (1977).

[6] Schank, R. C.: Dynamic memory: A theory of reminding and learning in computers and people; New York, NY: Cambridge University Press (1982). (黒川利明，黒川容子(訳): ダイナミック・メモリ—認知科学的アプローチ; 近代科学社 (1988).)

[7] Schank, R. C.: Dynamic memory revisited; New York, NY: Cambridge University Press (1999).

[8] Bower, G. H., Black, J. B., Turner, T. J.: Scripts in memory for text; Cognitive Psychology, Vol.11, pp.177–220 (1979).

[9] Moran, T. P.: Getting into a system: External-internal task mapping analysis; Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.45–49 (1983).

[10] Norman, D. A.: Cognitive engineering; User centered system design: New perspectives on human-computer interaction (D. A. Norman, S. W. Draper (Eds.)), Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, pp.31-61 (1986).

[11] 深田博己: インターパーソナル・コミュニケーション—対人コミュニケーションの心理学—; 北大路書房 (1998).

[12] Argyle, M., Dean, J.: Eye-contact, distance and affiliation; Sociometry, Vol.28, pp.289–304 (1965).

(2009年12月17日　受付)
(2010年３月８日　受理)