

## 故障診断における遠隔協同問題解決の方策

前川督雄 浜田 洋 小川克彦

NTTヒューマンインタフェース研究所

エキスパートと初心者のオペレータとによる、電話を介した故障診断シミュレーション実験を行い、協同問題解決における問題解決方策とコミュニケーション方策とを分析した。その結果、問題解決方策として、(1)帰納的、(2)演繹的、(3)試行錯誤による探索が抽出された。さらに、帰納的な探索は、(1-1)網羅的、(1-2)選択的な探索に分類された。また、コミュニケーションの方策については、(1)オペレータのメンタルモデル、あるいは(2)ディレクタのメンタルモデルに基づく視点で、(a)what or how、あるいは(b)whyを伝える方策群が抽出された。さらに、問題解決・コミュニケーションそれぞれの方策と、解決時間、問題解決時のエラーとの関係の分析を試みた。

## REMOTE CO-OPERATIVE PROBLEM SOLVING STRATEGIES IN TROUBLE DIAGNOSIS

Tadao Maekawa Hiroshi Hamada Katsuhiko Ogawa

NTT Human Interface Laboratories

1-2356 Take, Yokosuka-shi, Kanagawa 238-03, Japan

A computer game was developed to simulate trouble diagnosis and trouble-shooting. With this game, experiments were conducted involving remote co-operative problem solving. The results suggest three problem solving strategies: inductive searching, deductive searching, and trial and error. Inductive searching strategies can be further classified into inclusive and selective searching. We can divide communicating strategies into a listener's mental model oriented strategy and a speaker's oriented one. Both can be grouped into two classes, that telling what or how to do, and that explaining why to do it.

## 1. まえがき

テレコミュニケーションの発達にともない、互いに離れた場所にいる複数の人間が協同で問題解決や意思決定、判断をする機会が増えてきている。特に、一か所に技術や知識が局在している状況下での遠隔協同問題解決が多くなっている。たとえば、通信システムの監視・制御を行うセンタの大規模集中化にともない、システムの故障診断や修理を行う際、センタと故障現場とで複数の人間が協同で作業する形態が増えてきた。また、家庭内の機器の高度化や通信ネットワークサービスの多様化にともない、操作方法の伝授や故障診断が電話を介して行われる機会が増えている。互いに遠隔地にいる複数の人間が協同で行う問題解決を迅速正確に達成する方策を見出すことは重要である。

これまで、単独で行われる問題解決について、A.Newell & H.A.Simon (1)やJ.R.Anderson (2)による探索方策に関する検討や、安西(3)による思考からのアプローチなど、さまざまな心理学・認知科学的研究がなされている。また、プラントなどの異常診断の方略についてJ.Rasmussen (4)が検討している。これらの研究の応用問題のひとつとして協同問題解決に関する研究をとらえることができるであろう。

対面しないシチュエーションでの協同問題解決について、A.Chapanis (5)や、R.B.Ochsmanら(6)は、用いられるメディアや知識について検討を行い、コミュニケーションモード(メディア)は電話と手書きメモの交換(Faxなどを用いる)とを両方用いた形で行うのがもっとも効率がよく、なにかひとつに限定するならば電話が最善であることを示した。A.Chapanis, M.J.Kellyら(7,8)やJ.A.Hendlerら(9)は、コミュニケーションにおける語彙・用語の数や文法を制限したときの遠隔協同問題解決に与える影響について検討を行った。また、石井,広瀬ら(10,11)は、バーチャルリアリティをとまなう遠隔のコラボレーションについての検討を行っている。しかし、協同問題解決の方策についての研究はあまりみられず、重要な課題として残されている。

協同問題解決の方策は、問題解決の方策とコミュ

ニケーションの方策とに分けて検討できると考えられる。特に、限られたコミュニケーション手段を介しての遠隔協同問題解決においては、コミュニケーションを間にはさむことによって問題解決の過程をより明確に把握することが期待できる。

そこで我々は、遠隔協同問題解決における問題解決方策とコミュニケーション方策との抽出を目的として、互いに遠隔地におり、簡単のため役割分担を固定した2人による、電話を介した故障診断シミュレーション実験を行った。本報告では、実施した実験の概要、および、問題解決行動の解析によって、問題解決方策・コミュニケーション方策を抽出・分析した結果を報告する。

## 2. 実験方法

問題の解決法に関して経験をつんだエキスパート(ディレクタ)が、経験の少ないひとりのオペレータと、電話で情報収集・指示を行いながら、協同で問題解決する実験を行った。

課題として、問題の複雑度を変化させられる、故障診断・障害修復のシミュレーションゲームを作成して、実験に使用した。

実験は、2人の被験者が互いには見えない状況、かつ、被験者以外は室内にいない状況で行い、被験者間のコミュニケーションは、機器操作、メモ書きに与える影響を最低限におさえるために、スピーカホンによってハンドフリーの遠隔通話ができる状態を設定した。実験中、VTRや録音による記録((1)機器操作の履歴,(2)VTR(画面,メモ,実験全景),(3)会話録音,(4)両被験者のメモ)を行った。そこから、遠隔協同問題解決における問題解決方策・コミュニケーション方策を抽出し、時間やエラーを尺度にその評価を試みた。

また、比較のため、問題解決の経験をつんだ被験者(ディレクタ)がひとりで問題解決をおこなう実験も行い、同様に解析した。

## 2.1 シミュレーションゲームの概要

故障診断・障害修復のシミュレーションゲームを開始したときの画面を図2.1に示す。画面右に表示されている、黒いウィンドウ内の縦5段、横4列の計20個の白い箱は、色や形の異なる4種類の図形をふりわけ、下に落していく。各箱には、上の段から落ちてきた図形の色と形とに応じて、下の段のどの箱にふりわけられるかをあらかじめ決めておき、正常な状態では、最上段から落ちてきた図形が、最下段の4つの箱に同色同形の図形ごとに整然とふり分けられる。しかし、実験では、このどれかひとつの箱のふりわけ規則を変更して、最下段で正しくふり分けられていない状態をつくった(図2.1)。それを障害の発生と考え、被験者にふりわけ規則の誤った箱を発見し、その規則を修正させるという診断・修復を行わせた。被験者は、画面右下の表示から正常な結果を知ることができる。また、図形ふりわけ規則をひとつ箱ずつ調べて、それを変更できるように、マウス操作によって規則確認・編集を行うためのウィンドウを画面左に設定した。

## 2.2 被験者

パソコンを日常使用している20才台の男女20名10組(A~J)を被験者とした。各組の被験者をディレクタ役とオペレータ役とにそれぞれ役割分担して、実験を行った。

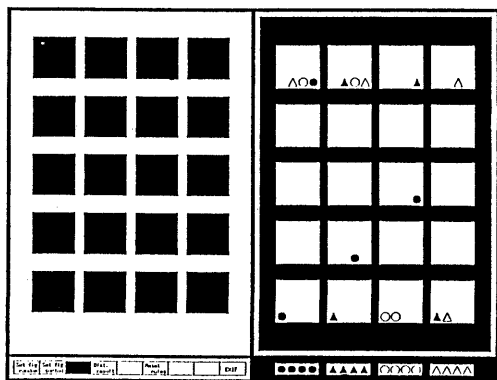


図2.1 故障診断シミュレーションゲーム画面

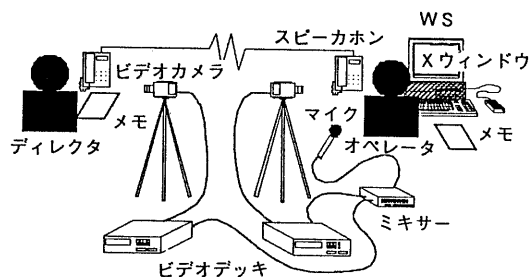


図2.2 実験システム

## 2.3 実験システムの構成

協同問題解決実験において使用した実験システムを図2.2に示す。解決する問題となるソフトウェアをWS上のXウィンドウ上に作成し、被験者に同WSを用いて解決にあたらせた。問題解決中の操作は全てマウスを用いて行う。また、両被験者間のコミュニケーションのため、スピーカホンを準備した。

## 2.4 実験手順

実験は、被験者の負担を考慮して、2日間にわけて行った。

〔1日目〕

ディレクタ役の被験者について、以下の手順で実験を行った。

- (1)実験の概要を説明する。
- (2)問題解決に使用するWSおよびその上の故障診断シミュレーションゲームを操作する練習を約10分間行わせる。
- (3)難易度をやさしく設定した練習問題を数題解くことによって、故障診断・障害修復を行う本実験における問題解決法を習得させる。その時、問題解決に要する時間が概ね一定(約4分)に収束したときをもってエキスパートの域に達したとみなす。
- (4)翌日の2名の被験者による協同問題解決実験に対する比較データとするため、翌日の実験と同程度の難易度の問題解決を単独で行わせる。

ここまでで約1時間を要する。

〔2日目〕

2名の被験者(ディレクタ役とオペレータ役)について、以下の手順で実験を行った。まずオペレータ役の被験者について、前日の(1)(2)と同じ手順を実行する。

(3)一日前にエキスパートになったディレクタ役の被験者とオペレータ役の被験者との2人が、協同問題解決の実験を行う(問題数3問)。

このとき、以下のように被験者に指示した。

- (a)問題を解いてください。
- (b)オペレータは、ディレクタの指示に従うか、ないしは、ディレクタに相談してから行動してください。
- (c)2人とも自由にメモをとってもかまいません。

3.実験結果

単独ならびに協同問題解決実験の結果として、(1)機器操作の履歴、(2)VTR(画面、メモ、実験全景)、(3)会話録音、(4)両被験者のメモを得た。

遠隔協同問題解決に要する時間は、3問の実験のうち2問目では収束した。今回は、問題解決方針とコミュニケーション方針との分析を目的とするので、2問目のデータを詳細な分析に用いた。1問目は、コミュニケーションや判断のミスがよく見られ、コミュニケーションを確立していく過程の分析の対象としては有効なデータであるが、被験者の特性に依存する部分が多いため、今回の解析からは除外した。

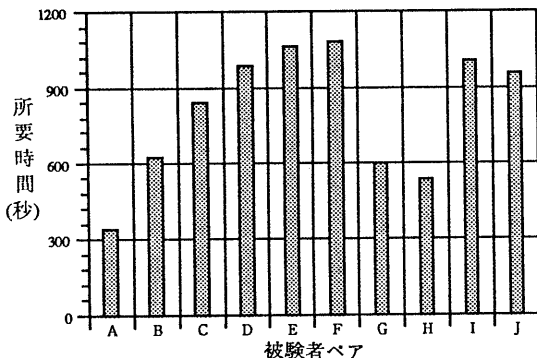


図3.1 遠隔協同問題解決に要した時間(単位: 秒)

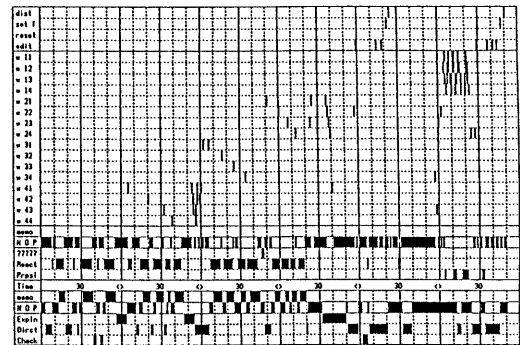


図3.2 プロトコル推移グラフ(例)

協同問題解決に要した時間を図3.1に示す。6分〜18分に分布(平均値は14分)しており、10分と17分に集中がみられた。

協同問題解決のVTR録画、実験時に記録したオペレータの機器操作履歴、被験者のメモ書きを用いたプロトコル解析の結果の一例を図3.2に示す。縦に被験者の協同問題解決プロトコルをカテゴリ分けしたものを、横軸に実験における経過時間を取り、カテゴリごとの被験者の行動時間を帯状に塗りつぶすことによって、被験者の協同問題解決のプロトコルの推移を表した。このとき、オペレータについては、各種のマウス操作・メモ・発話(返答・提案・質問)・その他を、ディレクタについては、メモ・発話(説明・具体的指示・確認)・その他を、協同問題解決プロトコルのカテゴリとした。

4. 考察

4.1 問題解決の方策

以下の考察を行うに先だて、問題解決行動から観察・抽出した問題解決プロトコルの間の相似性は問題解決方策間の相似性に起因することを仮定する。ただし、本実験においては、ディレクタとオペレータという役割分担をあらかじめ設定していたので、問題解決方策の選択権は、一方的にディレクタが保持していたと考えられる。

故障診断の問題解決には、本来あるべき正常な結果や故障状況の把握、原因箇所や正常な状態に戻す

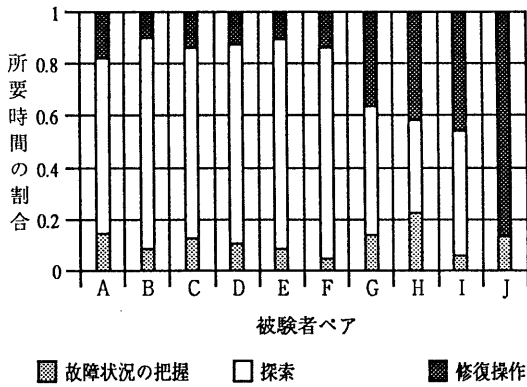


図4.1 遠隔協同問題解決各ステップに必要な時間(割合)

設定の探索、障害修復の操作の3段階のステップが観察された。各ステップごとに費やされた時間の分布を図4.1に示す。6組の被験者A,B,C,D,E,Fは障害修復の操作にそれぞれの問題解決所要時間の1~2割を費やしているが、3組の被験者ペアG,H,Iは4~5割を費やしており、被験者ペアJにおいては9割が障害修復の操作にあてられている。被験者ペアJは、障害修復をすべて試行錯誤によって行っていたため、他のペアにみられた探索にあたるステップは観察されなかった。

次に、各ディレクタの協同問題解決プロトコルカテゴリごとの所要時間を累積したものを図4.2に示す。被験者ペアA,B,C,D,Iは、ディレクタがメモをとっている時間が他のペアに比べて長く、被験者ペアE,F,Jは、問題解決に費やしている総時間ももっとも長いグループに属しているながらディレクタは殆どメモをとっていないことがわかる。

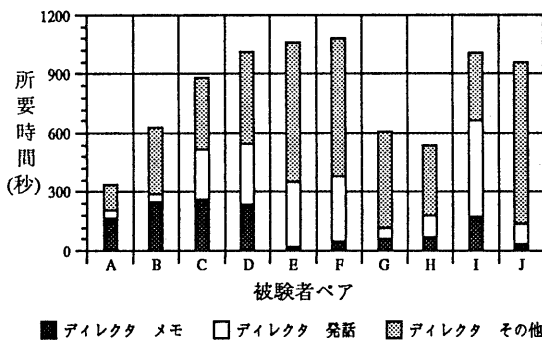


図4.2 ディレクタが各プロトコルカテゴリに費やした時間(単位:秒)

本実験における問題解決プロトコルのステップ間の時間配分の違いは、帰納的探索・演繹的探索・試行錯誤それぞれを行う問題解決方策の違いに、また、ディレクタのメモ書きに費やす時間の差は、その探索方策が網羅的であるか選択的であるかに依存していた。以上の結果および会話内容の分析から、被験者ペアを(A~F),(G,H),(I,J)の3種に分類できる。

(1)[帰納的探索]を行う方策-----A,B,C,D,E,F  
障害が発生している結果から、あるいは、正常な結果から、その原因を遡って調べていき、障害の原因となっている箇所、あるいは、正常な動作をさせるための設定を探索する方策。

[帰納的探索]はさらに2つに分けることができる。

(1-1)[網羅的探索]-----A,B,C,D  
全ての結果から遡って探索する。

(1-2)[選択的探索]-----E,F  
遡る対象とする結果を選び出して探索する。

(2)[演繹的探索]を行う方策-----G,H  
システムの実際の動作をトレースして、障害の原因となっている箇所、あるいは、正常な動作をさせるために行うべき設定を見出す方策。

ただし、本実験においてペアG,Hは、[演繹的な原因箇所探索]の後は、下記の[試行錯誤による探索・修復]を行う方策をとった。

(3)[試行錯誤による探索・修復]を行う方策-----I,J  
実際に修復操作を試み、成功するまで修復操作の内容や修復の対象を変えて試行錯誤をくりかえす方策。

ただし、本実験においてペアIは、正常な動作をさせるために行うべき設定を[網羅的]に[帰納的探索]することによって可能性を絞りこんだ後に、[試行錯誤による修復]を行った。

以上の問題解決の方策について整理したものを表4.1に示す。

(A~F)は、探索によって障害原因箇所と正しい設定とについて仮説をたててから、それを検証する形で修復操作を行うので、修復操作に費やす時間は

表4.1 観察された問題解決の方策

障害修復における問題解決のステップ			被験者ペア
状況把握	原因箇所・正常状態探索	障害修復操作	
故障状況の把握	網羅的探索	探索結果の検証	A, B, C, D
	帰納的探索		E, F
	選択的探索		G, H
	演繹的探索		I, J
	試行錯誤による探索と修復		

短い。(J)は、故障原因箇所も正常設定もわからないまま試行錯誤しつつ修復操作を行うので、総解決時間の9割にあたる時間をそれにあてている。(G, H)は、原因箇所について演繹的探索によって仮説をたてた後、正常設定がわからないまま試行錯誤による修復操作を行い、逆に(I)は、正常設定について帰納的探索によって仮説をたてた後、故障原因の箇所がわからないまま試行錯誤による修復操作を行うので、それぞれ(J)の半分にあたる4~5割の時間を修復操作にあてている。また、(A, B, C, D, I)の各ディレクタは、オペレータに行かせた[網羅的探索]の結果を考察の材料として記録するため、メモ時間が比較的長く、(E, F, J)のディレクタは、オペレータが行った探索・考察の結果を記録するだけなので、メモ時間をほとんど必要としていない。

なお、協同問題解決実験時に観察・抽出された問題解決方策は、ディレクタが行った単独問題解決実験において観察・抽出された問題解決方策と一致していた。ただし、本実験では例外的に、被験者ペアBは、単独時の選択的な帰納的探索を行う方策から網羅的な帰納的探索を行う方策に問題解決方策を変更した。これは、オペレータのもつ問題解決力への依存度合をより減らす方向への変更であり、協同問題解決を考えていくうえで、重要な現象である。さらに実験例を得て考察を行いたい。

## 4.2 コミュニケーションの方策

それぞれのディレクタが行った単独問題解決実験においては、いずれの問題解決方策をとるディレクタもほぼ同じ問題解決時間を必要としていた。遠隔協同問題解決実験において、ペアによって3倍もの時間の差が現れた(図3.1)ことは、遠隔コミュニケー

ションの影響であると考えられる。

問題解決の場合と同様に、コミュニケーションから観察・抽出したコミュニケーションプロトコルの特徴は、コミュニケーション方策の特徴に起因していると仮定する。

石井ら(11)によって、コラボレーションにおけるコミュニケーションでは、双方のコード体系(メンタルモデル)の共有が重要な要因となることが指摘されている。今回の実験において、コミュニケーション方策には、まず、伝えたい内容を言語化するとき、聞き手のメンタルモデルを推測してそれにあわせる方策と、話し手自身のメンタルモデルに基づく方策とが観察された。また、その分類と独立して、(whatやhowの)指示を伝える方策と、教育的に(whyやwhatを)解説する方策とを観察・抽出できた。

ただし、問題解決の場合と同じく、本実験におけるコミュニケーションはディレクタが優位にたっており、方策の選択権を一方的に保持していると考えられる。ここでいう聞き手はオペレータ、話し手はディレクタに等しい。また、コミュニケーション方策は、常に一貫しているとは限らなく、聞き手(オペレータ)の反応によって変化していくものもあった。

### (1-a) [聞き手オリエント][指示]方策

聞き手のメンタルモデルをイメージし、その視点にたって、聞き手が理解できると思われる指示を行っていく方策。

### (1-b) [聞き手オリエント][解説]方策

聞き手のメンタルモデルをイメージし、その視点にたって、聞き手が理解できないと思われる指示に対して、理解させるための解説を加えていく方策。

### (2-a) [話し手オリエント][指示]方策

話し手のメンタルモデルに基づいたレベル・概念で指示を行う方策。

### (2-b) [話し手オリエント][解説]方策

話し手のメンタルモデルに基づいて解説する方策。指示をしない場合が多い。

協同問題解決時間の比較的短い被験者ペアA, B,

G,Hにおいて、コミュニケーションは円滑に行われていたと観察された。これは各ペアのディレクタが発話している時間が短く、さらに、A,Bはその頻度も少ないことから裏付けられる。これは、彼らを選択していたと考えられる、[聞き手オリエント][指示]方策を主としたコミュニケーション方策の有効性を表している。逆に、協同問題解決時間の比較的長い被験者ペアE,F,Iにおいては、探索のやり直しなどに結びつくコミュニケーション上の失敗が観察された。これは、全ペアの各オペレータが行った質問に要した時間を調べ、その度数分布を調べた結果から裏付けられた。大半の質問は、「どの箱を調べるのか」などの確認程度のものであり、3秒以内に発話が終了している。しかし、6秒以上にわたって、理解できなかった指示内容についての質問が発せられたことが7件あり、これらは被験者ペアE,F,Iに集中していた。この3ペアが被験者ペアAの3倍の時間を問題解決に要している原因のひとつに、[話し手オリエント]方策を主としたコミュニケーション方策に基づいていることを指摘できる。また、協同問題解決時間が比較的長かった被験者ペアC,D,F,Iにおいて、ディレクタが一方向的に発話するが、その内容がその後のオペレータの行動に有効に反映されないという、問題解決の観点からみれば無駄なコミュニケーションが観察された。その原因のひとつに[解説]コミュニケーション方策をあげることができる。

さらに、協同作業であることの相乗効果による問題解決の促進は見られなかったかを検討した。オペレータ側からの提案の有無、それらの提案がどの程度生かされたかを調べた。提案が1件もなかったのはA,Fの2ペアのみで、他の8ペアはどれもオペレータからの提案があった。全提案の9割を占める、次の操作指示を先取りした提案は、コミュニケー

表4.2 観察されたコミュニケーションの方策

コミュニケーション方策	被験者ペア
[聞き手オリエント][指示]方策	A, B, G, H
[聞き手オリエント][解説]方策	C
[話し手オリエント][指示]方策	E, F, I, J
[話し手オリエント][解説]方策	D, F, I

表4.3 問題解決方策とコミュニケーション方策との関係

問題解決方策	コミュニケーション方策	聞き手オリエント		話し手オリエント	
		指示	解説	指示	解説
帰納的探索	網羅的	A,B	C		D
	選択的			E,F	F
演繹的探索		G,H			
試行錯誤				I,J	I

ションを、双方向化によって豊かなものにしてしたが、提案がある場合と無い場合との時間差は数秒以下であり、協同問題解決の促進に役立つほどの円滑化があったとはいえない。また、問題解決方策レベルの提案がいくつかみられたが、いずれもディレクタに採用されず、かえって時間をかける結果に結びつくことが少なくなかった。本実験におけるオペレータからの提案は、必ずしも協同問題解決の促進とは関係がみられなかったと評価できる。

ディレクタが主に選択していたコミュニケーションの方策を、以上の結果と会話内容の分析とから整理した結果を表4.2に示す。

遠隔協同問題解決実験の結果からそれぞれ抽出・整理した、問題解決方策と、コミュニケーション方策との関係を、それぞれの方策を選択・実行した被験者ペアを介してまとめたものを表4.3に示した。遠隔協同問題解決実験において同じ被験者ペアに選択された問題解決方策とコミュニケーション方策との間には、なんらかの相関の存在を予想できる。たとえば、[選択的]な探索を行う問題解決方策や[試行錯誤]による障害修復を試みる問題解決方策は、[話し手オリエント]のコミュニケーション方策とともに現れる傾向を読みとることができる。実験数の増加によって両方策間に安定した相関関係を見出すことが可能だろう。

問題解決方策とコミュニケーション方策との相互作用によって、遠隔協同問題解決は、そのパフォーマンスにどのような効果を受けているか。コミュニケーション手段を電話に限定し、役割分担を指示する側とされる側とに固定して、故障診断を行う、本実験の設定においては、[聞き手オリエント][指示]方

策のコミュニケーションで、[網羅的][帰納的探索]方策に基づく問題解決を行う場合に、もっとも迅速確実に問題解決を達成できていた。それ以外の問題解決方策はコミュニケーション内容を複雑・高度なものにするため、また、[話し手オリエント]のコミュニケーション方策は、コミュニケーションを混乱させるため、解決時間をより長く必要とし、エラーの発生が多かったと評価できる。また、[解説]方策は、オペレータの教育上効果的な場合もあるが、その場の迅速確実な問題解決を求める立場からは有効とはいえないことがわかった。

## 5.まとめ

コミュニケーション手段を電話に限定し、役割分担を指示する側とされる側とに固定した遠隔協同問題解決実験を、故障診断・障害修復シミュレーションゲームを用いて行った。その結果をプロトコル解析することによって、協同問題解決を行うにあたっての問題解決方策とコミュニケーション方策とを抽出し、時間・エラーを尺度にそれぞれの評価を試みた。問題解決方策を、(1)帰納的探索、(2)演繹的な探索、(3)試行錯誤による探索に整理した。帰納的な探索は、さらに、(1-1)網羅的な探索と(1-2)選択的な探索とに分類した。コミュニケーション方策については、(1)聞き手のメンタルモデルに基づく視点、あるいは、(2)話し手のメンタルモデルに基づく視点にたつて、(a)指示、あるいは、(b)解説を行う方策群を抽出した。協同で故障診断を行うにあたって、コミュニケーション手段を電話に限定し、役割分担を指示する側とされる側とに固定した本実験の設定においては、聞き手のメンタルモデルに基づく視点で指示することによって、網羅的帰納的探索を行う協同問題解決がもっとも迅速確実であった。今後、方策を確立していく過程の検討やさらに多人数の被験者によるデータの安定化によって、問題解決方策・コミュニケーション方策の検討を重ね、さらに、その他の要因を含めた、より一般的な遠隔協同問題解決の方策の検討をすすめる。

(謝辞)

日頃ご指導いただくNTTヒューマンインタフェース研究所ヒューマンインタフェース方式研究部 遠藤部長、徳永主幹研究員に感謝いたします。

(参考文献)

- (1)Newell,A. & Simon,H.A.(1972): Human problem solving, Prentice-Hall,Inc.,Englewood Cliffs, N.J.
- (2)Anderson,J.R.(1980): Cognitive psychology and its implications, W.H.Freeman and Company.
- (3)安西祐一郎(1985):問題解決の心理学,中公新書.
- (4)Rasmussen,J.(1986): information processing and human-machine interaction, Elsevier Science Publishing Company, Inc.
- (5)Chapanis,A.(1976): Interactive human communication: some lessons learned from laboratory experiments, technical report of Johns Hopkins university.
- (6)Ochsman,R.B. & Chapanis,A.(1974): The effects of 10 communication modes on the behavior of teams during co-operative problem-solving, int.J.Man-Machine studies, 6,579-619.
- (7)Kelly,M.J. & Chapanis,A.(1977): Limited vocabulary natural language dialogue, int.J.Man-Machine studies, 9,479-501.
- (8)Michaelis,P.R., Chapanis,A., Weeks,G.D. & Kelly, M.J.(1977): Word usage in interactive dialog with restricted and unrestricted vocabularies, IEEE transactions on professional communication, PC-20,4,Dec.1977.
- (9)Hendler,J.A. & Michaelis,P.R.(1984): The effects of limited grammar on interactive natural language, human factors in computing systems, proc.CHI'83.
- (10)石井威望,広瀬通孝,葛岡英明(1988):リモート・コラボレーション・システム,計測自動制御学会第4回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集,145-150.
- (11)石井威望,広瀬通孝,葛岡英明(1989):多人数作業における協調,計測自動制御学会第9回自律分散システム研究会講演論文集,5-6.