

解説



ユーザインタフェース技法†

守屋 慎 次†

1. はじめに

情報技術にとって車の両輪ともいべき二つの重要な問題がある。一つは、複雑化する社会機構や爆発的に増大する情報を適正に吸収し組織化してゆく方式を確立することである。情報技術は人間による組織化の能力を大きく増幅³⁹⁾する上で、すでに大きな発展を遂げてきたが、成熟の段階はまだ遙か遠方である。もう一つの問題は、情報技術自身がつくり出す複雑さを最小限に抑えていく方式を確立することである。情報の吸収（たとえば入力）能力についても、情報技術は人間の力を増幅することに貢献してきたが、逆に、情報の激増を助長するという複雑さもつくり出している。その他の複雑さの例として、手作業入力、操作法、保守法、身体への影響、人間・機械間における性能と特性の極端な格差³⁶⁾などがある。複雑さは人と機械との間に発生する。ユーザインタフェース技法はさまざまなシステムの成否を決定する主要因の一つといえる。

ユーザインタフェース技法の目的は、われわれのアクセスの及ぶ範囲を拡大し、かつて可能でなかったことを可能にするために、人間の能力と限界、及び機械の能力と限界、そして達成しようとする仕事のそれぞれに関する知識を、系統的に応用することである³⁾。また同時に、利用者と仕事と機械の相互間の不整合を最小化し、生産性と満足度と心地よさを最大化することが、その目標である⁴⁷⁾。ユーザインタフェース技法は未成熟であり、その発展のためには設計（モデル構築）、製作（シミュレーション）、評価の過程をくり返す必要がある。そのようなくり返しを通じて蓄積される技術体系が、やがてユーザインタフェース工学（user interface engineering）⁴⁷⁾と呼べる分野に成長していくものと考えられる。

† User Interfaces: A Tutorial and Survey by Shinji MORIYA
(Department of Communications Engineering, Tokyo Denki University).

†† 東京電機大学工学部電気通信工学科

ユーザインタフェースは、システムが有するさまざまな側面のうちでも、その解明が最も遅れている分野の一つである²⁾。しかし、ユーザインタフェース技法は、今や情報システムの設計における基礎技術と言って過言でなく、広範囲の分野から数多くの関心を集めるに至っており、その結果、すでに多くの有用な知見が得られている^{2), 4), 45), 49)}。それらの知見はすでにユーザインタフェースにおける工学的基礎と位置づけ得る水準に達している。ユーザインタフェース研究の最前線は、それらの基礎に立ってより深くより系統的な理論や体系の構築へ向かっていると考えられる¹⁹⁾。

本稿の目的は大きく分けて二つある。一つは、ユーザインタフェース技法が統合化の時代に入っていることを解説すること。もう一つは、ユーザインタフェース及びインタラクションの概念を整理することである。そこで 2. ではユーザインタフェースが重視されている背景を本質的と現実的の両面から述べる。3. ではユーザインタフェースを位置づけた後、インタラクションを形づくる主要な要因が対象と操作と時間であることを紹介する。4. では、使いやすさを決定する要因がユーザインタフェースだけではないことを具体的に述べる。5. では対象とコンピュータグラフィックスの関係を述べた後、対象の分類を行う。対象の分類は隠喩の分類を意味する。6. では、操作とマルチメディアインタフェースの重要性を述べる。最後に 7. では、今後重要と思われる研究課題を紹介する。

2. ユーザインタフェース重視の背景

本章では、ユーザインタフェースが重視されている背景を、次のような三側面から概観する。すなわち社会的側面、人と機械の顕著な差、ユーザインタフェースの利用者と開発者の生産性、の各側面である。

2.1 社会とユーザインタフェース

ユーザインタフェースが社会において重視されている背景には二つのキーワードがある。「広範」と「依

存」である。広範囲の人、地域、仕事などで機械が使われるようになれば、当然、使いやすさが要求される。社会が機械に依存すればするほど、人の誤りに寛容で、人の誤りを誘発しない、人に危害を加えない、しかも信頼性の高い方式が求められることになる。

2.2 人と機械の差、及びユーザインタフェース

標題について考える場合、二つの座標軸が有効である。一つは人と機械の差の種類を表す軸で、特性、性能、生命、種類などの差が考えられる。もう一つの軸は人による機械の利用法を分類するもので、増幅と代行の二つに大別できる。機械は人の能力を増幅あるいは代行するために用いられてきた。しかし、人と機械の差が著しいところでは増幅や代行による不均衡が顕著化し、技術的・社会的問題を発生することになる。

特性差の例として次があげられる。人は図、表、絵、パターンの理解を、機械は符号の列の理解を得意とし、互いに相手の得意は自分の不得意なことである。その他、差が認められる特性として、直列・並列性、連続・不連続性などが考えられる。人の動きは並列的(空間的)かつ連続的を得意とするが計算機の動きは原理上、直列的かつ不連続的といえる。不連続の例として、キーボード入力、記憶階層、画面の大きさや記憶容量の限界などがある。生命差の例として寿命がある。最近の機械の寿命は、人のそれと比較して著しく短い。便利で長寿命であれば、多少使いにくい機械であっても学習意欲が湧いてくる。ユーザインタフェースの長寿命化は重要な課題と考える。

2.3 ユーザインタフェースの利用者と開発者の生産性

ユーザインタフェースまわりにはさまざまな職種の人がいるが、本節では、利用者と応用プログラムの開発者だけに絞りを絞る、その生産性とユーザインタフェースとの関係について述べる。

(1) 利用者の生産性

文献 9) によると、過去 15 年間、オフィスで働く人の、一人当たりの生産性はほとんど向上していないと述べている。ところが、この間、オフィスに導入された情報機器の投資額は指数関数的に増大している。

ユーザインタフェースの改善は利用者の生産性向上に寄与するであろうか。答えは肯定的である。ユーザインタフェースの構成要素には、たとえばメニュー、

表-1 対話型システムのうちユーザインタフェース部が占める割合

調査者	調査年	対話型システムのうちユーザインタフェースが占める割合 (%)	調査の対象と方法
Foley	1987	50~80	
守屋	1987	35~60	テキストエディタ、CAD システムなど調査者らが開発した 5 つのシステム
Bobrow, Mittel, Stefik	1986	30~50	エキスパートシステム
Sutton と Sprague	1978	59	22 個のビジネスシステム

ウィンドウ、コマンド、画面配置、応答速度、入力機器、マニュアルなど多数があり、これらのそれぞれについて、その改善が利用者の生産性向上につながるという研究がすでに数多くなされている。

たとえば、Kiger (1984) の実験によると、一つのメニュー内の項目数(すなわちメニューの木の幅)は 4~8、メニューの木の深さは 3~4 以下が最適、という結果が得られている。Smith (1983) の実験によると、応答速度を改善することにより、インタラクション回数が劇的に増加するという。この他にもいくつかの実験結果が、入手しやすい本 (Shneiderman, 1987) に述べられている。

(2) 応用プログラム開発者によるユーザインタフェース開発の生産性

応用プログラムの総量のうちでユーザインタフェース部分は何%ぐらいを占めているのであろうか。表-1 に 4 つの調査結果を載せた。より最近の調査を上側にしている。割合は 30~80% の間にある。各調査における割合の最大値だけを見ると、年代が進むに従って、おおむね増加傾向にある。調査の対象や方法には幅がある。したがってこれだけの調査から断定は困難であるが、上記の増加の傾向と、割合の大きさは、この問題に対するかなり積極的な対応の必要性を示していると考えられる。

ユーザインタフェース部分の大きさの主原因は、ユーザインタフェースに対する利用者側の要求と、ユーザインタフェースを記述する言語やツールとの間の、semantic gap の大きさと考えられる。適切なモデルに基づいたユーザインタフェースツールの開発が望まれる。また、ユーザインタフェース開発の生産性向上を阻んでいる主原因の一つとして、現存のユーザ

インタフェースツール（ウィンドウシステムやツールキット）がシステムや入出力装置に依存していることが考えられる。その標準化が、今後の重要な課題である。

3. ユーザインタフェースとインタラクションの構成要素

本章ではユーザインタフェースという言葉の範囲を明らかにしておく。また、ユーザインタフェースまわりの、対話の主要構成要素や用語についても簡単に整理しておく。

3.1 ユーザインタフェースの構成要素³⁰⁾

図-1の箱はユーザインタフェースまわりの機能単位を、矢線は情報の流れを示す。図にはユーザインタフェースの範囲も示されている。ユーザインタフェースには次の二つの機能単位が含まれている。

a. 仮想入出力装置

入出力装置と装置ドライバを合わせた機能単位。

b. ユーザインタフェース管理プログラム (UIM, User Interface Manager)

標題の UIM に “S” を追加した UIMS という用語、すなわちユーザインタフェース管理システム (User Interface Management System) は一般に次のようなものを指す²⁾：ユーザインタフェースソフトウェアのプロトタイピングを行うためのプログラム技法、ユーザインタフェースソフトウェア作成用のツール群や作成環境。そして UIMS によって作成されたユーザインタフェースソフトウェアを UIM と呼ぶ。ウィンドウシステムやメニューシステムは UIM の一種と考えられる。

ユーザインタフェースの範囲内には、図-1の破線③④⑤で示す、機能単位間の接続 (binding) 方式が存在する。接続方式とは、ある機能単位への入出力情報の意味、構文、語彙、そして送受の規約 (protocol) に関する定めをいう。以上のように、ユーザインタフェースとは、利用者と応用プログラムとを接続する機能単位と接続方式を指す。

以上が対話型システムの場合におけるユーザインタフェースの定義である。電気釜やクレーラや複写機の場合は、上の定義における「応用プログラム」を、電気釜やクレーラや複写機における「機能遂行部」で置き換えることにより、それぞれのユーザインタフェースを同様に定義可能である。

人間・計算機インタラクション (HCI, human-com-

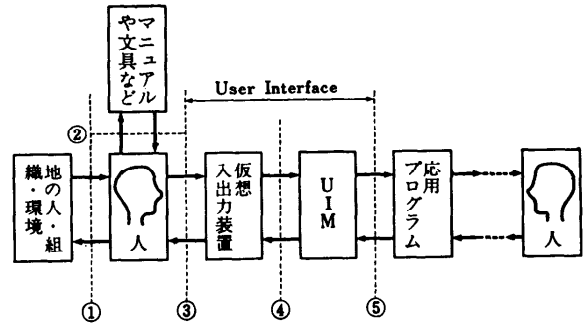


図-1 ユーザインタフェースの範囲とインタラクションの構成要素

puter interaction) という言葉もよく耳にする。これは、人間である利用者が計算機とインタラクトする際に生ずる動き (action)、対話 (dialogue)、処理の流れ (process) の集まりを指している²⁾。interaction は相互作用とか交際⁵³⁾と訳す人もいる。

ヒューマンインタフェース (human interface) という用語も広く使われている。この用語の主役も人間であるが、相手役が機械に限られていない点が、ユーザインタフェースという用語と大きく異なる。

3.2 インタラクションの構成要素³⁴⁾

図-1 から、人間・計算機インタラクションの主な“構成メンバ”は次の4つであることが分かる。

- 利用者
- 文具やマニュアル
- システム
- 環境

このうちのシステムだけに注目する。人間・計算機インタラクションにおいて、システムの動きを形づくる主要な要素は次の三つである³⁴⁾。

- 対象 (object)
- 操作 (operation)
- 時間 (time)

対象とは、情報と“もの”であり、操作の対象となるものである。たとえば、字、語、行、文書、メニュー、ウィンドウ、マウス、キーボードなど。操作と時間は自明と思われる。

文献 34) では、この三つの座標軸から成る3次元空間をインタラクション空間と呼んでいる。この名前は、人間・計算機インタラクションにおけるシステム側の主要な動きが、対象と操作の時間的変動によって表現可能なことから命名されている。

そこで本解説の主題であるユーザインタフェース技法も主としてこの空間に注目する。5. では対象について、6. で操作について述べる。時間については割

愛する。ただし、システムの使いやすさとなると、対象と操作と時間だけで表現することはできない。計算機システムそのもののアーキテクチャ、応用プログラムの構造、通信の速度と容量など、ユーザインタフェース以外の多くの要因に影響される。そこで本解説では、計算機システムそのものと応用プログラムの構造に限って、それらの発展段階とユーザインタフェースの関係にも言及する。次章でこれを述べることにしよう。

4. ユーザインタフェースと情報技術の発展段階

対話型システムの使いやすさはユーザインタフェースだけの改善では達成できない。前章の最後に述べたようにユーザインタフェース以外の多くの要因にも依存する。それらの要因のうち、本章では次の二つに関する発展段階とユーザインタフェースの関係について述べる。(1)計算機システム、(2)応用プログラム。

4.1 計算機技術の発展とユーザインタフェース

Gains と Shaw (1986) は、技術の勃興から成熟までの学習曲線を6期に分割し、各期を次に示す B, R, E, T, A, M で表現している。

B: 大進展期 (breakthrough) —— 独想的な大進展がなされる。

R: 複製期 (replication period) —— 大進展をまねて体験を積む。

E: 経験期 (empirical period) —— 体験から設計規則が形成される。

T: 理論形成期 (theoretical period) —— 理論が形成され、検証される。

A: 自動化期 (automation period) —— 理論により結果が予測され、理論から規則が考案される。

M: 成熟期 (maturity) —— 理論が身につく日常化する。

さらに Gains らは、計算機システムの世代とユーザインタフェース技法の発展段階とを、上記の6期と対応させて次のように位置づけている。[]内が6期を示す。

[] 第0世代 (1940-1947) … 計算機の設計者自身が利用者であった時期。

[] 第1世代 (1948-1955) … 計算機が主人であった時期。

[B] 第2世代 (1956-1963) … 計算機分野で初めて人間工学 (ergonomics) が重視され始めた時期。MIT の

MAC 計画、RAND 社の JOSS システム、ダートマス大学の BASIC システム、MIT の Scketchpad⁴¹⁾、Coons (1963) らの CAD システムなどが大進展の源である。

[R] 第3世代 (1964-1971) … 人間・機械系の研究が行われ、対話の体験を積んだ時期。TSS360, APL360, UNIX, 対話型端末の開発が行われた。

[E] 第4世代 (1972-1979) … 人間・計算機系の設計規則形成期。パーソナルコンピュータ、Videotex サービス、Apple 社の PC, Visicalc などが開発された。

[T] 第5世代 (1980-1987) … 利用者が馴染みやすい、系統的な原理の形成期。Star, Macintosh, IBM PC, Videodisk などが開発された。

[A] 第6世代 (1988-1995) … 人に整合した、自動化期。統合されたマルチモーダルシステム (multi-modal system⁴²⁾、情緒の検出などが実現される。

以上の区分と位置づけは、多少の異論はあっても大方の賛同は得られるものと考えられる。

4.2 応用プログラムの発展段階とユーザインタフェース

対話型システムの利用者は主として、応用プログラムを使う。したがって応用プログラムの構造の「成熟度」は、使いやすさに大きく影響することが容易に想像できる。応用プログラムの成熟度 (application maturity) とは、必要性が理解されている技術のうち、一般利用者用に実現されている技術の割合をいう²³⁾。利用者の操作面からみると、成熟度を測る尺度として、その応用プログラムと、利用者の計算環境に存在する他の構成要素との間の、相互結合の割合 (interconnectedness) を採用することが考えられる²³⁾。

Huff ら²³⁾は相互結合の割合によって、応用プログラムの成熟段階を表-2 に示す5つに区分した。現在がどの段階に位置しているかは簡単には断定できないが、およそ第3ないし第4の段階と考えられる。しかし、どの段階に位置するかは、次のような多様な要因に依存する。たとえば通信設備、コンピュータ、オペレーティングシステム、応用プログラム、データベースなど。

5. 対象とグラフィックス

本章では計算機システムの利用者による操作の対象を主な話題とする。対象は図形や画像で示されることが多いので、グラフィックスによるユーザインタフェースという観点にも言及する。

表-2 応用プログラムの成熟の5段階. 文献³³⁾から転載

段 階	相 互 結 合 の 度 合
1 孤 立 (isolation)	他の応用プログラムとの間のデータ交換は皆無, またはほとんどない.
2 独 立 (stand-alone)	応用プログラムは独立に作動するすなわち, データは各応用プログラムへ, 個々に, 手で入力される (複数の応用プログラムが順をつくって実行されることがあっても.).
3 手動による統合 (manual integration)	データは応用プログラムへ, 手動によるファイル転送により交換される. (例. 手でディスクを移動する. LAN上を または結合されたメインフレームを経由して, ファイル転送が手作業で制御される.)
4 自動による統合 (automated integration)	いくつかの応用プログラムが, 共用のデータベースに接続されている. 応用プログラムは, マイクロワークステーションとメインフレームのデータベースの間で, あるいはメインフレーム間で日常的にデータ転送を行う. 転送は, 応用プログラム内に組み込まれたルーチンにより自動化されている.
5 分散化した統合 (distributed integration)	応用プログラムは, ネットワークの一構成要素であって, ある組織体の全域にまたがって分散されたデータにアクセスできる. データの所在位置 (例. マイクロコンピュータ上とかメインフレーム上) による差はなくなる.

5.1 ユーザインタフェースにおけるコンピュータグラフィックス

コンピュータグラフィックスは情報技術における基幹技術であり, ユーザインタフェースにおいてもしかりである. 図形処理システムはたとえば GKS (Graphical Kernel System)⁴⁴⁾ のように応用プログラムから順次分離されてきた. しかし今やその一部はたとえば Macintosh の MacDraw のようにオペレーティングシステムの主構成要素となっている. ワークステーションなどの, 利用者が接するオペレーティングシステムには, グラフィックスのさまざまな機能が今後も急速に組み込まれ順次ハードウェア化されていくことは確実である.

5.2 図と言語によるコミュニケーション

人にとって, 目は最も情報量の大きい入力器官である. 人が絵や図に親しみやすいのは, われわれや祖先が長い間3次元の可視世界に住んできたからであろう. 本節では, 図と言語の知覚及び透明性, アイコンによるコミュニケーションなどについて述べる.

(1) 図形と言語の知覚

韓 (1977) によると, 図形の知覚は全体から部分へ, 言語の知覚は部分から全体へと進む. すなわち, 図形はまず全体が把握されたあと要素に分解され, 言語はまず要素が弁別されたあと全体が構成される, という. さらに韓は次のように述べている. 図形は構文に頼らずに直接に“全体的意味”を伝えるという特徴をもち, 言語は構文を頼りに個々の要素間に関係をつけてはじめて“構成的意味”を伝えるという特徴を

もつ.

言語は直線的であり, 図形は空間的である. 言語情報の大半は大脳の左半球で, 視覚的・空間的情報は主として右半球で処理される³⁰⁾. 言語は, 人間の短期記憶へいったん蓄えられてから長期記憶へ送られる³⁰⁾. 短期記憶の容量は少ないこと (7±2 チャンク) が知られている³⁰⁾. 一方, 視覚的・空間的情報の意味は人間の長期記憶に入る. 長期記憶の容量に上限が存在するとする根拠はまだ知られていない³⁰⁾. Lodding (1983) は, 人と機械のコミュニケーションにおいて, 図や絵は文より, 1~2 桁多量の情報を送受できると推測している.

(2) 図形と言語と透明性³⁶⁾

対話型システムの使いやすさを代弁するあいまいな言葉として利用者との友好性 (user friendliness) がある. Dehning ら (1980) によると, 友好性の要因は次の5つに集約される. ①柔らかさ (flexibility), ②透明性 (transparency), ③使いやすさ (ease of use), ④学びやすさ (ease of learning), ⑤信頼性 (reliability). ここでは, 透明性をとりあげてみる. 守屋 (1986) によると, システムが透明であるとは, 利用者が目的とする動きだけが見え, 他の動きは利用者には見えないこと, としている.

システムの動きを不透明にしている巨大要因は, 構文と計算機の知識⁴⁵⁾の存在である. したがって, 可能なかぎり構文や計算機の知識を減らすことが透明度を高める上で重要である. しかし, 現状は, 構文も計算機の知識もなしでシステムを使うことは不可能であ

る。したがって、それらを学習し、記憶を保持することの必要性を減らすことが重要となる。これは、学びやすさを高めることにも通ずる。

守屋 (1988) は、透明性を高める上で、“大局・小局性”の重要性を次のように述べている。目的とすべきものを見せる際に、わかりやすくする方法は、森から木を見せること、表通りから裏通りに向かうこと、全体から部分に進むこと、意味から構文に向かうこと、図による表現から言葉による表現に移ること、である。

このように、図形と言語の適切な組み合わせにより、ユーザインタフェースの透明性を高めることが可能と考えられる。

(3) アイコンによるコミュニケーション

Lodding (1983) によると、図を正しく解釈するためには次の三つが必要である。

①イメージコード (image code) …表現されたイメージそのもの。

②説明文 (caption) …イメージコードを説明する文章。

③文脈 (context) …イメージコードと説明文を解釈するのに必要な文脈。

上記①を、または、①と②の組をアイコン (icon) と呼ぶ。①②の組は、上記(1)で述べた知覚の過程と、(2)で述べた大局・小局性とを配慮した、適切な組み合わせとすることができる。

関連のあるアイコンの相互に構造を与えて集めたアイコン群をアイコン体系 (iconic system) と呼ぶ¹¹⁾。アイコン体系の要素を空間的に配置したものをアイコン文 (iconic sentence) と呼ぶ¹¹⁾。アイコン文には上記③の文脈が存在する。

アイコン体系に与えられる構造は、たとえば、デスクトップ (机上) の対象が有する構造、電子回路部品が有する構造、機械部品が有する構造など、多種多様である。アイコン体系とそれに与えられた構造は、それを用いて現実の対象や現象を電子世界でシミュレーションすることから、隠喩 (metaphor) と呼ばれる。利用者が頭に想い描く現実の姿と、電子世界上の隠喩との間の不整合が大きいつき、利用者は戸惑いを感じ、学習の必要性が生ずることになる。隠喩の適否は、人と機械の間の、アイコンによるコミュニケーションにとって非常に重要である。

アイコン体系に与えられる構造の一例として構文と意味が考えられる。構文と意味が与えられて空間的に

配置された視覚文 (visual sentence) の集まりを視覚言語 (visual language) と呼ぶ¹¹⁾。アイコン体系に与えられる構造、すなわち隠喩の分類を 5.4 で述べる。

5.3 対象と言語とモデル

本節では、ユーザインタフェースのまわりの主要な言語と主要な構成要素について調べ、対象というものをより一般的に捉えるためのモデルを示す。

(1) 対象まわりの言語

アイコンやウィンドウなどの対象はプログラム言語や図形エディタで定義され、マウスやカーソルなどの入出力装置を用いて操作される。操作法には約束ごとが定められている。これらの約束ごとを操作言語と呼ぶことにする。操作言語は、主として利用者の動作によって、また場合によっては音声や目の動きなどによって駆動される。このような利用者の動作や音声などを利用者言語と呼ぶことにする。

このように、対象まわりの言語には主なものだけでもプログラム言語、操作言語、利用者言語の三つがある。利用者言語については黒川 (1988) のよい解説がある。操作言語については Shneiderman (1987) が詳しい。プログラム言語とユーザインタフェースとの関係は 5.4 (5) で簡単に触れる。

(2) 対象まわりにおける対話の構成要素

対象まわりにおける主要構成要素を図-2 内の実線矩形で示した。図-2 は図-1 の UIM 部を対象だけに注目して拡大した図である。矢線で情報の流れを示す。破線矩形内のプログラム言語は、その上の実線矩形の動きを記述するための言語である。プログラム言語については 5.4 (5) c で述べる。次節では、このモデルに基づいて対象を分類する。

5.4 対象の分類 (隠喩の分類)

本節では図-2 に注目して対象を分類する。対象の

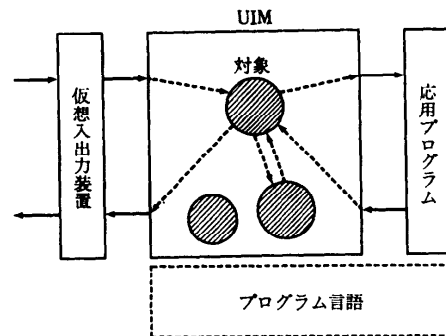


図-2 対象への入力と出力

分類は隠喩の分類とみなすことができる。対象は次の5つの座標軸、すなわち、対象が存在する場、対象の特性と対象同士の関係、対象への入力、対象からの出力、対象の接続方式、によって分類される。

(1) 対象の場、利用者の場、場の融合

最初の座標軸として、対象が存在する場 (field) の種類、及び対象が存在する場と利用者を含む場との関係、がある。はじめに対象が存在する場の例をあげる。電・磁場、重力場、音場、机上の場、機械部品の設計の場、文書編集の場、楽譜の場、ゲームの場などがある。場は限りなく存在する。

実現されている場も膨大である。その一部を述べると、机上の場としては Xerox Star の desk top の概念、計算機上で買物をするための商店街という場¹⁹⁾、音響機器などの制御パネルという場^{19), 21)}などがある。Smith (1987) の Alternate Reality Kit (ART) については画面例を図-3 に示した。これについて以下で簡単に説明する。各ウィンドウとウィンドウ内の対象が、「替りの現実」(alternate reality) を表している。中央の手はマウスで操作される。手の影は、手が替りの現実の上にあることを示す。手は対象をつまんだり、運んだり、ボタンを押すのに使われる。右中央に Gravity と書かれた対象が見える。その on ボタンを押すと重力場が与えられることになる。

また、利用者を含む場も次のように多彩である。視覚的と聴覚的な場を中心に、触覚・味覚・嗅覚的な場などがある。これらそれぞれの場を、対象が存在する場と関係づけることができる。関係の例として、「含む」、「等しい」、及びそれらの否定がある。たとえば、ステレオをヘッドフォンで聞いている人の場合、機械がつくる音場と人が聴く聴覚的場とはほぼ「等しい」と考えられる。人がワープロを使って文書編集をしている場合、利用者を含む場は機械上の文書編集の場を「含む」。人工現実感 (artificial reality^{26), 27)} の場合、すなわち頭部搭載型のディスプレイを2眼で立体視している人の場合、機械が生成する立体的な場と人の視覚的場とは「等しい」といえる。この場合、二つの場は「融合」しているといえる。(しかし、「整合」しているとはいえないかも知れない。)

通常の対話型システムでは、利用者を含む場は、対象が存在する場を「含む」場合がほとんどである。したがって、二つの場を類似させ、ほぼ等しくさせ、あるいは完全に融合させる試みは、ユーザインタフェースにおける新次元を拓くものといえる。人工現実感とは

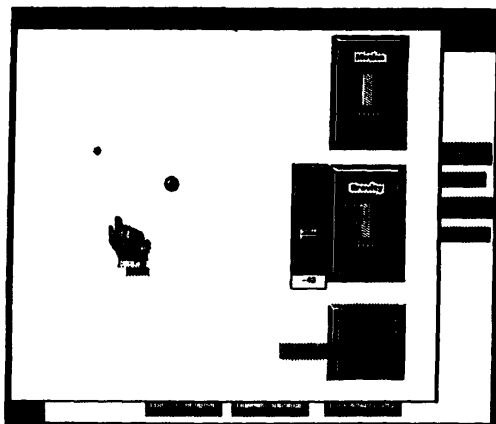


図-3 The Alternate Reality Kit の画面例。
文献¹⁹⁾から転載。

二つの視覚的な場の融合を強制的に達成する方式ではあるが、上の意味で評価に値する。融合を強制せずに達成する方式、たとえば、対象の場へ利用者を心理的に引き付ける方式は、さらに価値あるものと考えられる。

利用者は通常、複数の仕事を並行的に進めてゆく。このとき、対象が存在する場は複数個あることになる。さらに、利用者も複数個のとき、利用者を含む場が複数個存在する。以上に述べた複数の場と場の間には、次のような興味ある検討課題が存在する。場と場の「一貫性」、場と場の「連続性」、場と場の「融合可能性」、場と場の「整合性」などである。一貫性については、文献^{34), 35)}で基礎的な検討が行われている。なお、人工現実感についてはフォーレイ (1987) のよい解説がある。

(2) 対象の特性、対象同士の関係

特性とは、対象が固有する量や性質、ならびに場による対象への作用を意味する。対象同士の関係とは、与えられた場における対象と対象の相互関係や相互作用を意味する。関係には設計者が定めたものと、利用者が定めるものの2種類がある。幾何学的、物理的など、上記(1)で述べたように無数の特性や関係が存在する。

図-3 の右上に Motion と書かれた対象がある。そのボタンを手で押すと、重力場の対象は、与えられた速度に従って運動する。このシステムにおける対象は、設計者が定めた特性と関係 (literal feature と呼ぶ⁵⁰⁾)、及び利用者が定めるそれ (magical feature と呼ぶ⁵⁰⁾)、に支配される。

(3) 対象への入力

対象への入力には、利用者や計測器などから入力装置を通じて与えられる入力、他の対象からの入力、応用プログラムからの入力、オペレーティングシステムからの入力と考えられる。

入力の種類として、少なくとも、GKS¹⁴⁾が定める6種類の入力類(input class)がある。すなわち locator, stroke, valuator, choice, pick, string. このほかに、音声や画像、それになんらかの時系列信号などを受理する対象も考えられる。入力という動作のモード(operating mode)としても、GKSが定める3種類がある。すなわち、request, sample, eventの各入力モードである。

(4) 対象からの出力

出力先として、(3)で述べた入力先が考えられる。出力の種類は、可視化、色表示、強調表示、陰影付け、2眼による立体視、静止画と動画、機械の動作そのもの(例、ロボットの腕の動き)など非常に豊かである。たとえば、音は利用者の注意を引いたり、ディスクが読込み中であることを示すためなどに使われている。われわれの日常生活には、交通信号やドアのロック、足音や拍手など、非言語の音情報がたくさん使われている。目の不自由な利用者、目を画面に向けていられない仕事に従事する利用者も増加傾向にあると思われる。非言語も含めた音の積極的な利用は、検討に値する課題と考える。そのような研究の例として earcon²⁾ または auditory icon²⁰⁾がある。また、earcon と icon を使い分けるためのガイドラインが Baecker と Buxton (1987) の p. 397 に示されている。楽器の標準インタフェースが Loy (1985) によって報告されている。なお、2眼による立体視の重要性については前記(1)の人工現実感ですでに述べたとおりである。

(5) 対象の接続方式

対象と「他」との接続方式によって、対象を性格づけることができる。「他」として主なものにオペレーティングシステム、入出力装置、応用プログラム、プログラム言語、他の対象、それに利用者がある。

対象と、これらのいずれの間にも共通する接続の概念として、互いが有する“変数”同士の間の、対応付け、関係、制約、更新の方式などがある。Foley と McMath (1986) の考え方を土台として、上にあげた「他」のいくつかについて、対象との間の接続方式を整理すると次のようになる。

a. 対象と利用者との接続方式

利用者対象との間の“変数値”の主なもの、対象を創成する、保存する、更新する、再利用する、送受信する、である。再利用のためには、対象を応用プログラムと接続し、試行する機能も便利である。これらが対話型で行える必要がある。Foley と McMath (1986) では対話型でアイコンとビュー(アイコン文)を定義することが可能であり、定義したアイコンとビューはライブラリに保存される。応用プログラムとの接続実験も可能である。

b. 対象と応用プログラムとの接続方式

この接続には、静的と動的の二面がある。静的接続としては、応用プログラムが有する変数名との対応付け、データ型や範囲の整合、変数を用いた計算などがある。Foley と McMath (1986) では上記の全項目を実現している。

動的接続とは、対象と応用プログラムのいずれか一方の変数値変化が、即時に、接続されている他方の変数値変化を生ずる接続方式である。Foley と McMath (1986) はこれも実現している。

c. 対象とプログラム言語との接続方式

図-2の破線で示すプログラム言語は、対象と応用プログラムを記述するためのものである。対象の記述法によってプログラム言語を大別すると次の2種類がある。

(イ) 対象をプログラム内に埋め込んで記述する言語

例. C, Pascal, Fortran などの通常のプログラム言語。

(ロ) 対象の記述言語がプログラムの記述言語とは分離しているもの

例. ほとんどすべての UIMS がこの方式をとっている。対象の記述には有限オートマトンや状態遷移表の形式を用いるものが多い。そのような例として初期のものに Newman (1968) があり、最近のものでは Wasserman と Shewmake (1985) がある。

特筆に値する先進的 UIMS として、対象の記述が、利用者による例示(demonstration)で達成可能な Peridot システムがある^{40),41)}。Peridot では対象がルールと制約によって記述されている。利用者が画面上で対象の利用例を示すと、Peridot は利用者の意図を推論し、推論結果の適否を利用者に尋ねながら、対象の場や特性や対象同士の関係などを定めていく。最終的には、メニューやカーソルやウィンドウといった

対象群から成るユーザインタフェースを構築していく。文献⁴¹⁾の発表時に開発者の Myers は、Peridot によって Macintosh のユーザインタフェースが構築可能と述べている。

その他の UIMS については文献^{2), 30)}などを参照されたい。

対象を上記(1)~(5)の座標軸で分類してきた。本解説の分類は Chang (1987) によるそれを包含して矛盾しない。Chang は視覚言語の分類を目的として二つの座標軸を導入している。一つは視覚言語で扱う対象が可視か否かの軸、もう一つは視覚言語の構文要素が可視か否かの軸である。これにより視覚言語を4種類に分類している。対象の分類法としては素朴な段階にあるといえる。

6. 操作とマルチメディアインタフェース

人間・計算機インタラクションを特徴づける主要素は、対象と操作と時間である。フォーレイ (1987) は、操作には技術上の遅れがあり、まだ幼稚なもの、と位置づけている。操作といっても、人間の動作、入出力機器の動き、画面上の対象の操作など、さまざまな側面がある。本章では人間の動作面に焦点を絞る。主な話題は対話メディアの多重化である。

6.1 人の対話メディア

本節では、人と人との対話メディア、マルチ対話メディアの利点、マルチ対話メディアへの条件、について述べる。

(1) 人と人との対話メディア

マジョリー F. ヴァーガス (1987) によると、人と人の対話において伝達される情報は、35% は言葉により、65% はその他の非言語メディアによるという。そして非言語メディアを次の9つに分類している。

- [1] 人体……………性別、年齢、体格、皮膚の色など。
 - [2] 動作……………人体の姿勢や動き。
 - [3] 目……………視線の交差や目つき。
 - [4] 周辺言語……話し言葉に付随する音声上の特性や特徴。
 - [5] 沈黙
 - [6] 身体接触
 - [7] 对人的空間…対話のために人が利用する空間。
 - [8] 時間……………文化的形態と生理学の二つの次元における時間。
 - [9] 色彩
- 言葉を含めた合計 10 のメディアのうち、多くの対

話型システムが利用しているのは、ただ一つ身体接触のみである。身体接触による代表的入力機器は、キーボード、マウス、タブレットなどである。特殊な場合を例にとると、患者と医者との対話であれば、上記の10メディア以外にも、次のように多様なメディアが存在する。体温、脈拍、最高血圧、最低血圧、筋電、心電、脳波、蛋白、糖、総コレステロール、ウロビリノーゲン、G.O.T.、などなど。人と人の対話メディアは、このように大変豊かである。しかし、ほとんどの場合は身体接触というメディアだけを用いて、5. で述べた多様な対象を操作している。言葉は通じない、相手は寡黙、画面は小さく、キーボードは混み合っている。

(2) マルチ対話メディアの利点

対話メディアを多重化（またはマルチモーダル化）することの主な利点として Bolt (1987) は次の三つをあげている。

● 負荷の分散

たとえば入力は手だけ、機械からの出力は目だけを用いていると、負荷が集中し体に悪影響がでる。

● 多元情報による精度向上

ある対話メディアから得られたあいまいな情報や不完全な情報は、他の対話メディアからの情報によって、より堅固にすることが期待できる。(例)音声認識と口唇認識の合流。

● 豊かな操作法

対話メディアを豊かにすることにより、多種多様な利用者、仕事、作業環境に対応できる。

(3) マルチ対話メディアへの条件

対話メディアの多重化を進める上での主要な技術的課題として次の二つがある。

● 利用者言語の計測法

たとえば手の動きや視線の動きを計測する方法。

● 利用者言語の認識・理解法

計測された情報から意味を認識して理解する方法。

ここで重要な点は、計測の手段が利用者にとって自然なこと、すなわち利用者に特別な負担を感じさせないことである。特殊な仕事や特別な使用環境の場合を除いて、上の条件は、対話メディアの多重化が広く受け入れられるか否かを決定する要件である。

6.2 マルチメディア（またはマルチモーダル）インタフェース

話し言葉で機械と対話したい。大画面に向かって「それをどうしろ」とか「次はこうしろ」とか指差し

ながら、目の動きで画面上の対象を示しながら、機械の方も声や音で応答する。大量のデータを豊富な図とともに大画面へ映し出しながら、もちろん図は即時に描かれる。……これは計算機の出現以来の、部分的には出現以前からの、人類の夢である。そして今でもまだ夢のままである。しかし、上記のすべてを目指し、一部を実現した試作システムが、MITの Architecture Machine Group^{6),42)}によって作られた。マルチモーダルインタフェースと呼ばれている。これについては Bolt (1984) に詳しく述べられている。よく知られたシステムと思われるので、本解説はこれ以上説明しないことにする。

Baecker と Buxton (1987) は「このシステムで最も特徴的なことの一つは、このシステムがその時点における既知の技術を集積して作られたこと」と述べている。人類の夢の、一部分であるならば、その実現のための技術的条件は整っている、という。重要なのは、どのような「夢の一部」を想い描くかである。この方向の注目すべき研究として、Baecker と Buxton (1987) は次の8システムをあげている。Put-That-There⁶⁾, Gage-Orchestrated Dynamic Windows⁷⁾, The Movie Map²⁹⁾, The Movie Manual¹⁾, Artificial Reality²⁶⁾, VIDEOPLACE²⁷⁾, Spatial Database Management System²³⁾, Phone Slave⁴⁴⁾。

7. おわりに

ユーザインタフェース技法の位置づけ、目標、そして流れと向きの一部について述べた。人間・計算機インタラクションにおいて、計算機側の動きを特徴付けるものの主役は対象と操作と時間である。そこで本解説では対象と操作に主要なページを割いた。対象についてはグラフィックスとの関係及び対象の分類(隠喩の分類)に焦点を当てた。操作についてはマルチメディアインタフェースに話題を絞った。時間については割愛した。使いやすさの実現は、ユーザインタフェースだけの改善では達成できないので、計算機システムと応用プログラムの発展段階にも触れた。ユーザインタフェースを重視する本質的な理由(2.1, 2.2)と現実的な理由(2.3)にも言及した。

ユーザインタフェース技法はまだ成熟の域に達していない。しかし、統合化の時代には入っていると考えられる。この分野の潮流や方向について二、三のよい解説があるので以下でこれを最後の話題としよう。

Shneiderman (1986) は人間・計算機インタラクシ

ョンにおける7つの中心的課題を次のように述べている。

- インタラクションスタイル——「自然な」とはどんなもの？
- 入力技法——意図を行動に移す適切な手法は？
- 出力の構成——より優れた画面の構成法は？
- 応答時間——適切な応答時間とは？
- 誤り処理——利用者が誤りを起こさないようにするには？
- 個人差——さまざまな違いの垣根を越えるには？
- 法則と理論——実際のフィロソフィと生産的なガイドラインとは？

Baecker と Buxton (1987) は来る5年間における重要研究課題として次の6つをあげている。

- 文字と身振りの認識——印刷及び手書きの文字や記号を受理するインタフェース。
 - マルチモーダルインタフェース——6. に述べた。
 - 拡張できるインタフェース——例示と記号による入力を受理できる、また利用者によって拡張可能なインタフェース。
 - 知的インタフェース——人工知能分野の研究を応用したインタフェース。たとえば、より柔軟で、よりふところの深い、教え方のうまいインタフェース。
 - 体の不自由な人のインタフェース——たとえば目や耳の不自由な人、老人のためのインタフェース。
 - 共同作業——複数の人が異なる場所で、一つまたは複数の仕事を共同で行うことができるシステム。
- ユーザインタフェース技法は広大であり、本小文で触れていない分野や文献の中で重要なものがたくさんあることを最後に述べておきたい。

参考文献

- 1) Baker, D. S. and Gono, S.: Dynamically Alterable Videodisc Displays, Proc. of Graphics Interface '82, Canadian Man-Computer Communication Society, pp. 365-371 (1982).
- 2) Baecker, R. M. and Buxton, W. A. S.: Readings in Human-Computer Interaction, Morgan Kaufman Publishers, INC., Los Altos (1987).
- 3) Bobrow, D. G., Mittel, S. and Stefik, M. J.: Expert Systems: Perils and Promise, Comm. of the ACM, Vol. 29, No. 9, pp. 880-894.
- 4) Boff, K. R., Kaufman, L. and Thomas, J. P.: Handbook of Perception and Human Performance, Vol. 1 and Vol. 11, John Wiley and Sons-New York (1986).
- 5) Bolt, R. A.: The Human Interface: Where

- People and Computers Meet, Boston : Lifetime Learning Publications (1984).
- 6) Bolt, R. A. : Put-That-There: Voice and Gesture at Graphics Interface, Computer Graphics, Vol. 14, No. 3, pp. 262-270 (1980).
 - 7) Bolt, R. A. : Gaze-Orchestrated Dynamic Windows, Computer Graphics, Vol. 15, No. 3, pp. 109-119 (1981).
 - 8) Bolt, R. A. : New Directions in Multi-Modal Interface Design, CHI+GI '84, Tutorial 17 (1987).
 - 9) Office Automation : Making It Pay off, Business Week, Oct. 12, pp. 72-80 (1982).
 - 10) Card, S.K. and Henderson Jr., A. : A Multiple, Virtual-Workspace Interface to Support User Task Switching. CHI+GI '87 Proceedings, pp. 53-59 (1987).
 - 11) Chang, S.K. : Visual Languages : A Tutorial and Survey, IEEE Software, pp. 29-39 (Jan. 1987).
 - 12) Coons, S. A. : An Outline of the Requirement for a Computer-Aided Design System, AFIPS Conference Proceedings, Vol. 23, pp. 299-304 (1963).
 - 13) Dehning, W., Essig, H. and Maass, S. : The Adaptaion of Virtual Man-Computer Interface to User Requirements in Dialogs, Lecture Notes in Computer Science 110, Springer-Verlag, Tokyo (1980).
 - 14) Enderle, G., Kansy, K. and Pfaff, G. : Computer Graphics Programming, Springer-Verlag, Tokyo (1984).
 - 15) Fisher, G.L. and Joy, K.I. : A Control Panel Interface for Graphics and Image Processing Applications, CHI, pp. 285-290 (1987).
 - 16) Foley, J.D. : Managing the Design of User Computer Interfaces, SIGCHI '87, Tutorial 15 (1987).
 - 17) Foley, J.D. and McMath, C.F. : Dynamic Process Visualization, IEEE Computer Graphics and Applications, pp. 16-25 (Mar. 1986).
 - 18) フォーレイ, J.D. : 近未来のインタフェース, サイエンス, 12月号, pp. 77-85 (1987).
 - 19) Gains, B.R. and Shaw, M.L. : From Time-sharing to the Sixth Generation : the Development of Human-Computer Interaction. Part I, Int. J. Man-Machine Studies, Vol. 24, pp. 1-27 (1986).
 - 20) Graver, W. : Auditory Icons : Using Sound in Computer Interfaces, Human Computer Interaction, Vol. 2, No. 2, pp. 167-177 (1986).
 - 21) Helfman, J.I. : Panther : Specification System for Graphical Controls, CHI+GI '87, pp. 279-284.
 - 22) Herot, C.F. : Graphical User Interfaces, in Human Factors and Interactive Computer Systems, Vassillion (Ed.), Norwood, NJ : Ablex Publishers, pp. 83-103 (1984).
 - 23) Huff, S.L., Munro, M.C. and Martin, B.H. : Growth Stages of End User Computing, Comm. of the ACM, Vol. 31, No. 5, pp. 542-550 (1988).
 - 24) 韓 太舜 : 言語システムとディスプレイ, 吉川弘之編「コンピュータグラフィック論」, 2.1 節, 日科技連, pp. 9-18 (1977).
 - 25) Kiger, J.I. : The Depth/Breadth Trade-Off in the Design of Menu-Driven User Interfaces, Int. J. of Man-Machine Studies, Vol. 20, pp. 201-203 (1984).
 - 26) Kruger, M.W. : Artificial Reality, Reading, MA : Addison-Wesley (1983).
 - 27) Kruger, M.W., Ginofriddo, T. and Hinrichsen, K. : VIDEOPLACE--An Artificial Reality, Proceedings of CHI '85, pp. 35-40 (1985).
 - 28) 黒川隆夫 : ヒューマンインタフェースとしての動作言語, 計測と制御, Vol. 27, No. 1, pp. 49-55 (1988).
 - 29) Lippman, A. : Movie-Maps : An Application of the Optical Videodisc to Computer Graphics, Computer Graphics, Vol. 14, No. 3, pp. 32-42 (1980).
 - 30) Lodding, K.N. : Iconic Interfacing, IEEE Computer Graphics and Applications, March/April, pp. 11-20 (1983).
 - 31) Loy, G. : Musician Makes a Standard : The MIDI Phenomenon, Computer Music Journal, Vol. 9, No. 4, pp. 8-26 (1985).
 - 32) マッシュリー F. ヴァーガス著, 石丸正訳 : 非言語コミュニケーション, 新潮選書, p. 15, 東京 (1987).
 - 33) Marcus, A. : Design for Computer Graphics, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 3, No. 4, pp. 63-70 (1983).
 - 34) 守屋慎次 : インタラクシヨンの空間と記述ツール系, 情報処理学会「計算機システムのヒューマンインタフェース—モデル・評価・展望」シンポジウム, 4月 (1988年).
 - 35) 守屋慎次, 中谷吉久 : 時相図 : インタラクシヨンの図化・分析・検査の一手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 29, No. 6, pp. 596-604 (1988).
 - 36) 守屋慎次 : 人間・機械インタフェース, 情報信号処理 (中田, 南, 平松編), 第6章, オーム社, 東京 (1986).
 - 37) 守屋慎次 : ユーザインタフェースの透明度, 情報処理学会第36回 (昭和63年前期) 全国大会 (1988).
 - 38) 守屋慎次 : ユーザインタフェースおよびその管理システムと標準化, PIXEL 12月号, pp. 61-66 (1987).
 - 39) Miller, G. : The Magical Number Seven, Plus or Minus Two : Some Limits on Our Capacity

- for Processing Information, in Psychology of Communication, Basic Books, New York (1967).
- 40) Myers, B. and Buxton, W.: Creating Highly Interactive and Graphical User Interfaces by Demonstration, Computer Graphics, Vol. 20, No. 3, pp. 249-258 (1986).
- 41) Myers, B.: Creating Dynamic Interaction Techniques by Demonstration, CHI+GI '87 Proceedings, pp. 271-278 (1987).
- 42) Negroponte, N.: The Architecture Machine: Towards a More Human Environment, Cambridge, Mass.: MIT press (1970).
- 43) Newman, W. M.: A Graphical Technique for Numerical Input, Computing Journal, Vol. 11, pp. 63-64 (1968).
- 44) Schmandt, C. and Aarons, B.: Phone Slave: A Graphical Telecommunications Interface, In Society for Information Display 1984 International Symposium Digest of Technical Papers, San Francisco, CA (1984).
- 45) Shneiderman, B.: Designing the User Interface, Addison-Wesley, Menlo Park (1987).
- 46) Shneiderman, B.: Seven Plus or Minus Two Central Issues in Human-Computer Interaction, CHI '86 Proceedings Human Factors in Computing Systems pp. 343-349 (Apr. 1986).
- 47) SIGCHI: Report on the SIGCHI Workshop on Planning for User Interface Standards, SIGCHI Bulletin, Vol. 17, No. 2, pp. 11-15 (1985).
- 48) Smith, D.: Faster is Better: A Business Case for Subsecond Reponse Time, Computerworld, April 18, pp. 1-11 (1983).
- 49) Smith, S. L. and Mosier, J. N.: Guidelines for Designing User Interface Software, MITRE, Bedford, Massachusetts (1986).
- 50) Smith, R. B.: Experience with the Alternate Reality Kit: An Example of the Tension between Literalism and Magic, IEEE Computer Graphics and Applications, pp. 42-50 (Sep. 1987).
- 51) Sutherland, I. E.: Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System, AFIPS Conference Proceedings, Vol. 23, pp. 329-346 (1963).
- 52) Sutton, J. A. and Sprague, R. H. Jr.: A Case Study of Display Generation and Management in Interactive Business Applications, IBM Research Report RJ 2392, Yorktown, N. Y. (1978).
- 53) 田村 博: ヒューマンインタフェースの工学的側面, 計測と制御, Vol. 27, No. 1, pp. 11-16 (1988).
- 54) Tombaugh, J. W., Akin, M. D. and Dillon, R. F.: The Effects of VDU Text-Presentation Rate on Reading Comprehension and Reading Speed, Proc. CHI '85—Human Factors in Computing Systems, pp. 1-6 (1985).
- 55) Wasserman, A. I. and Shewmake, D. T.: The Role of Prototypes in the User Software Engineering (USE) Methodology. In Hartson, H. R. (Ed.), Advances in Human-Computer Interaction, Norwood, N. J.: Ablex Publishing (1985).

(昭和 63 年 8 月 15 日 受付)