

# 洪水制御支援情報提供システムの最適設計 モデルに関する研究

## AN OPTIMIZATION MODEL OF USER INTERFACE FOR FLOOD CONTROL SUPPORTING

堀 智晴<sup>1</sup>・和気 秀智<sup>2</sup>・村田 大宣<sup>3</sup>・高埴 琢馬<sup>4</sup>

Tomoharu HORI, Hidetomo WAKE, Hironobu MURATA and Takuma TAKASAO

<sup>1</sup>正会員 工博 京都大学助教授 大学院工学研究科 (〒 606-01 京都市左京区吉田本町)

<sup>2</sup>学生員 京都大学大学院工学研究科 (〒 606-01 京都市左京区吉田本町)

<sup>3</sup>正会員 住友金属工業(株) (〒 314-02 茨城県鹿島郡波崎町砂山 16)

<sup>4</sup>フェロー会員 工博 京都大学名誉教授 (〒 606 京都市左京区浄土寺小山町)

An optimization model of a user interface for flood control supporting is developed to analyze the human evaluation mechanism. In the design model proposed here, the evaluation function of the user interface is its users. The optimum combination of various types of display elements are automatically searched based on genetic algorithm(GA) according to the user's marking. GA-based optimum design model is applied to the selection of display information for the flood control of the Amagase dam reservoir for verification of the proposed theory.

**Key Words :** decision support system, flood control, user interface, optimization, genetic algorithm

### 1. 序論

洪水時のダム貯水池操作を支援するシステムとして、人工知能技術やファジイ理論、ニューラルネットワークを用いるものなど様々な形態のものが提案されてきた<sup>1)~11)</sup>。ところで、これらシステムの目指す意思決定支援とは、計算機と人間とが互いに情報を交換しあいながら、全体としていずれか一方のみの場合より高いパフォーマンスを得ようとする考え方である。したがって、計算機側のシステムの持つ情報処理能力の高さや信頼性が重要であると同時に、ユーザである人間に処理結果などの情報を分かりやすく提供したり、ユーザからの指示をコンピュータシステムに伝える能力、言い替えばユーザとの対話機能もまた極めて重要である。

このような視点から、これまでに開発されてきた洪水制御支援システムも何らかの形のユーザインターフェース(情報提供システム)を備えている。梅田ら<sup>8)</sup>はグラフィック記述言語のGKSを用いて、洪水警報の発令に関してユーザへの注意喚起機能やデータの履歴再生機能を持つ洪水制御支援情報提供システムを開発している。また、山口ら<sup>9)</sup>はエンジニアリングワークステーション(EWS)の画面を利用し、洪水の時間的・空間的

変化をユーザに知らせる機能と、ユーザによるデータ検索機能を備えた対話型のシステムを開発した。広瀬ら<sup>10)</sup>は操作の簡易性と説明性の確保を目指し、状況に応じて必要な情報を自動的に表示し、ユーザが現在行なうべき行動を指示するシステムを開発している。また堀<sup>11)</sup>はマルチウインドウを採用して、ファジイ推論内部の動きをリアルタイムで表示するとともに、ユーザの要求に応じて放流量を変更したり、推論過程を視覚的に表示することが可能な対話型画面表示システムを提案している。さらに、伊藤ら<sup>12)</sup>はマルチメディア技術を利用して貯水池操作支援するGUI(グラフィカルユーザインターフェイス)を提案している。

ところで、実務レベルで洪水制御支援情報提供システムを作成する場合には、ユーザ(実務者)の作成した仕様書をもとに開発者がプロトタイプを作成し、ユーザによるチェックと開発者による修正を何度か繰り返すという手順を経ることが多い。この方法は、一つのシステムを受注生産する場合には有効と考えられるが、反面、この過程を繰り返しても、洪水制御支援情報提供システムの一般的な設計指針が得られるとは考えにくい。もちろん、このような経験を繰り返すことで、開発

者自身は無意識の内にシステム設計のノウハウを蓄えられると考えられるが、このようなノウハウが一般的な設計指針として確立されるには至らない。いや、それどころか、ユーザが情報提供システムをどのような構造で評価しているかといった機構さえよく分かっていないのが現状である。

一方、近年のデジタル情報の圧縮技術や転送技術の進歩は、計算機が文字・図形だけでなく、音声・動画といった形態で情報を取り扱うことを可能にしている。音声・動画による情報の提示と、ユーザとの双方向通信とを備えたシステムを扱う技術はマルチメディアと呼ばれている。マルチメディアは、扱う情報の形態が現実と非常に近く、今後、計算機システムのユーザインターフェースを設計する上での中心的な技術となっていくことは間違いない。洪水制御支援の分野でも既にマルチメディア技術を用いたユーザインターフェースの試作が試みられている<sup>12)</sup>。

しかし、前述したように、このような情報処理の要素技術の進歩に比べ、洪水制御支援の分野では、ユーザが画面をどのような構造で評価しているのかさえよく分かっていない。このままの状態では、新しい情報表現技術を取り込んだシステムを作成するだけでは、本当の意味でのユーザインターフェース設計の技術は確立されない恐れがある。情報処理・表現の技術が新しい局面を迎えつつある今こそ、ユーザがどのような機構でインターフェースを評価しているのか、あるいは、洪水制御支援システムに一般的に必要とされる要素は何で、各ダムに固有な要素は何なのかといった点を直接分析する手法を確立することが急務であると考えられる。

そこで本研究では、ユーザが洪水制御支援情報提供システムをどのように評価しているかを分析するためのモデルについて検討する。具体的には、情報提供画面を、ユーザのつける評点に基づいて自動的に最適化する設計モデルを提案する。

## 2. 洪水制御支援情報提供システムの最適設計モデル

ユーザの情報提供システムに対する評価構造を分析するためには、ユーザの画面に対する評価過程を保持しつつ、過度に設計者の経験や感性に依存しない客観的なシステム設計法、言い替えれば、最適設計手法が必要になる。この際、問題となるのが、

- (a) 代替案の評価関数、
  - (b) 表示情報の種類や提供形態といった非数値的設計変数の表現手法
  - (c) 解探索の手法
- である。

前述したように、2. の設計変数がどのような機構で1. の評点に関係しているかといった機構が現在明らかにされておらず、それを分析するためのモデルを開発することが本研究の目的である。そこで、代替案の評価関数としてユーザ自身を最適化モデルに組み込む方法を提案する。すなわち、計算機が用意する代替案にユーザがその印象に基づいて満足度を表す得点をつけるという対話型のプロセスを経ながら最適化を進めることにする。

ところで、人間の印象に基づく評価機構そのものを評価関数とした場合には、

- (a) 与えられた代替案に対して完全に整合性のある得点づけは期待できず、最適化過程のある段階で提供される複数の代替案の相対評価を与えることになる、
- (b) 評価関数であるユーザは、与えられた情報に応じて得点のみを与えるため、解曲面は全くのブラックボックスとなる

といった問題が生じることは容易に想像できる。これらの問題に対処するためには、ブラックボックス的な評価構造を取り扱いながら、探索の各段階で解曲面の特徴を自己組織的に把握することができる最適化手法が必要になる。さらに、非数値的な設計変数を統一的に表現することも必要である。

人間を評価関数としたときに考えられる以上のような特徴を踏まえ、本研究では解の探索法として、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, GA) を採用する。GA は、設計変数をデジタルなビット列 (遺伝子) で表現し、このビット列に対する評価値をもとに、淘汰、突然変異、交差といった処理を行なうことで世代交替を繰り返す、最適解を探索する方法である<sup>13)</sup>。この手法は、最適化問題の解局面の性質を予め知る必要が無いため、本研究で行なうような人間の評価に基づいて代替案を絞り込んでいく方法に適している。また、決定変数をビット列で表現するため、例えば、ユーザに与える情報の種類を各ビットで表現し、各ビットの値を表示形態に対応させるといった方法をとれば、非数値的な決定変数を容易に表現することができる。

以上で考察した洪水制御支援情報提供システムの最適設計モデルの流れをまとめると、図-1のようになる。すなわち、まず、個体 (情報提供画面の代替案) を複数発生させ、これら個体に対してユーザによる評点づけを行なう。次に、各個体に与えられた評点をもとに、GA の淘汰・交差・突然変異の処理を行ない、次世代の個体群を決定する。これら新たな個体群に再びユーザによる評点づけを行なう。以上の手順を、評点が予め設定した値に達するまで繰り返す。そして、最適化過程の各世代における評点の推移や、世代を通じて残された

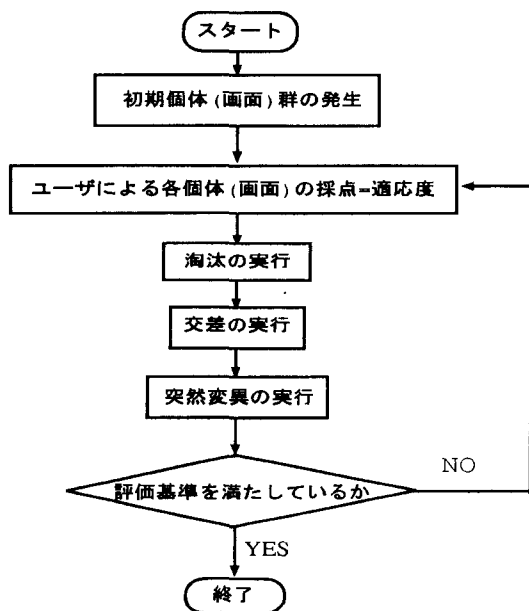


図-1 画面最適化のフローチャート

個体の特徴を分析することにより、提供すべき情報の種類や形態が抽出でき、ユーザの情報提供システムに対する評価構造を分析する。また、このような設計実験を複数の実務者や異なった貯水池に対して行なうことにより、情報提供システムに共通して必要とされる要素や、個々のダム貯水池の特性に依存する要素を明らかにできる可能性もある。

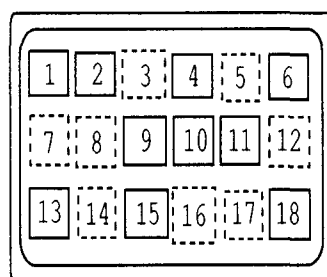
### 3. GA を用いた画面最適化手法

2. で提案した洪水制御支援情報提供システムの最適設計手法の可能性と問題点を分析するため、天ヶ瀬ダムの操作支援を対象とし、観測データの表示画面を設計する問題を考える。筆者らは、既に同ダムを対象とした洪水制御支援システムについて検討しているが<sup>5),7)</sup>、ここでは画面最適設計のアルゴリズムを検証するため、人工知能技術を用いて作成される支援情報ではなく、実務者の判断に必要であり、かつ必要な情報の組合せが比較的明らかな観測データの表示のみを対象とする。

表示の対象となる情報は、天ヶ瀬ダム流域の雨量・流量などのデータを表やグラフ形式で表現したものである（表-1参照）。表示対象の画面要素は全部で 18 個あるので、18 ビットの遺伝子を用い、図-2に示すように各ビットが 1 のときは該当するデータを表示し、0 のときは非表示とする。この場合、遺伝子によって定義された実際の画面構成が個体となる。この場合、可能な代替案の個数（全個体数）は、 $2^{18}$  個あることになる。また、適応度は既に述べたように各画面に対するユーザの評点で 0～100 までの値をとるものとする。

表-1 画面要素

| NO | データの種類    | 形式     |
|----|-----------|--------|
| 1  | 台風情報      | 表      |
| 2  | 予測降雨      | 棒グラフ   |
| 3  | 流域平均雨量    | 棒グラフ   |
| 4  | 島ヶ原地点雨量   | 棒グラフ   |
| 5  | 加茂地点雨量    | 棒グラフ   |
| 6  | 多羅尾地点雨量   | 棒グラフ   |
| 7  | 雲井地点雨量    | 棒グラフ   |
| 8  | 大鳥居地点雨量   | 棒グラフ   |
| 9  | 宮村地点雨量    | 棒グラフ   |
| 10 | 黒津地点雨量    | 棒グラフ   |
| 11 | 天ヶ瀬ダム貯水量  | 折れ線グラフ |
| 12 | 天ヶ瀬ダム空き容量 | 折れ線グラフ |
| 13 | 天ヶ瀬ダム流入量  | 折れ線グラフ |
| 14 | 天ヶ瀬ダム放流量  | 折れ線グラフ |
| 15 | 槇尾山地点流量   | 折れ線グラフ |
| 16 | 枚方上流河道流量  | 折れ線グラフ |
| 17 | 枚方地点流量    | 折れ線グラフ |
| 18 | 枚方地点水位    | 折れ線グラフ |



□ 画面要素

(110101001110101001)

個体のもつ遺伝子型

図-2 遺伝子型に対応する画面要素の表示

### 4. 適用結果と考察

#### (1) 遺伝的アルゴリズムのパラメータに関する検討

ここでは、GA のパラメータと解探索効率との関係性を考察するため、予め最適画面及び得点づけの方法を決めた状態で、最適化シミュレーションを行なう。具体的には、前述の 18 個の画面要素の内、ダム貯水量、流入量、放流量、枚方地点流量および水位、台風情報、予測降雨、流域平均雨量の 8 要素のみが画面上に表示されている状態を最適解 (100 点) とする。そして、最適

表-2 GA のパラメータと解探索の効率

| ケース | 個体数 | 交差率 | 突然変異率 | 平均適応度 |
|-----|-----|-----|-------|-------|
| 1   | 18  | 0.2 | 0.02  | 68.75 |
| 2   | 6   | 0.2 | 0.02  | 61.45 |
| 3   | 6   | 0.4 | 0.02  | 64.58 |
| 4   | 6   | 0.4 | 0.1   | 56.25 |
| 5   | 3   | 0.2 | 0.02  | 58.74 |
| 6   | 3   | 0.6 | 0.06  | 70.83 |

化過程で現れる代替案（個体）が、上記 8 つの要素の内 1 つを含むたびに 12.5 点を加算し、8 つの要素以外のデータを表示した場合には、1 つにつき 6.25 点減点するというルールを設定している。この場合、最適化の過程で現れる個体に対する特点の付け方は、被験者によらないので、比較的簡単に GA パラメータの値と解探索効率との関係を調べることができる。

最適化シミュレーションの手順は以下の通りである。まず、予め定めた個体数だけ、図-2 に示す個体（画面代替案）をランダムに発生させる。すなわち、表示データの組合せが異なる個体を発生させることになる。そこで、各個体に上述のルールに基づいて得点を与え、この得点をもとに交差・突然変異を行なって次世代の個体を作成する。

表-2 は、6 ケースの GA パラメータの組合せに対して行なった最適化シミュレーションにおける第 30 世代での平均適応度を示したものである。平均適応度とは上述の規則にしたがって個体群に与えられた得点を平均したものである。したがって、この値は、29 回の交差・突然変異の結果残った個体がどの程度最適解に近いかを表す指標となっている。

表-2 より、ケース 1 と 6 が比較的高い適応度を与えていることが分かる。これらのケースについて世代毎の適応度をプロットしたものが図- 3, 4 である。両図を比較するとケース 1 の方が比較的早い時期から適応度が上昇し、安定した探索状況であるのに対し、ケース 6 では初期世代では適応度が低く、28 世代で急な適応度上昇が見られる。これは、ケース 1 では各世代で比較する個体数が 18 であるのに対し、ケース 6 では 3 個と少ないことが原因であると考えられる。ある程度個体数が多くないと、GA アルゴリズムは評価の特徴を掴みにくいことは容易に想像できる。しかし、ケース 1 では一つの世代で 18 個の個体を比較して得点をつける必要があり、このシミュレーションのように得点づけルールを決めておくのではなく、被験者の主観的な相対評価を行なう場合には、得点づけに困難を覚え

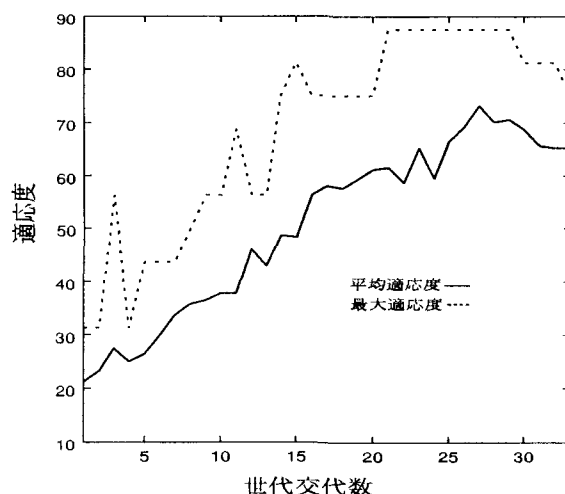


図-3 個体数 18、交差率 0.2、突然変異率 0.02 の場合の各世代の平均適応度と最大適応度

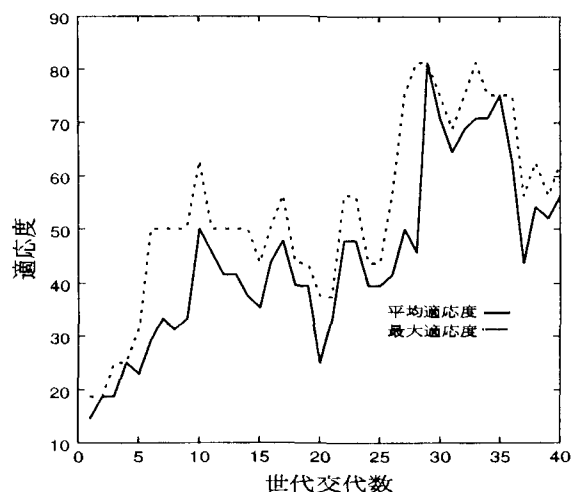


図-4 個体数 3、交差率 0.6、突然変異率 0.06 の場合の各世代の平均適応度と最大適応度

るという指摘があった。人間の比較・評価能力を考えた場合には個体数はなるべく少ない方がよく、次節以降のシミュレーションは、ケース 6 の場合のパラメータ値、すなわち個体数 3、交差率 0.6、突然変異率 0.06 の条件で行なうことにする。

## (2) 評価の揺らぎに関する分析

次に、別の被験者を用いて、実際に画面に対する印象に基づいて相対評価を行なってもらい、画面最適化シミュレーションを行なった。なお、洪水操作の場面の違いによる特徴を見るため、予備放流前と二次調節前のそれぞれにおいて、ユーザが必要とする情報を抽出する実験を行なった。図-5 と図-6 は、ユーザの相対評価をもとに行なった予備放流に入る前と二次調節に入る前の画面の最適化の様子を示したものである。

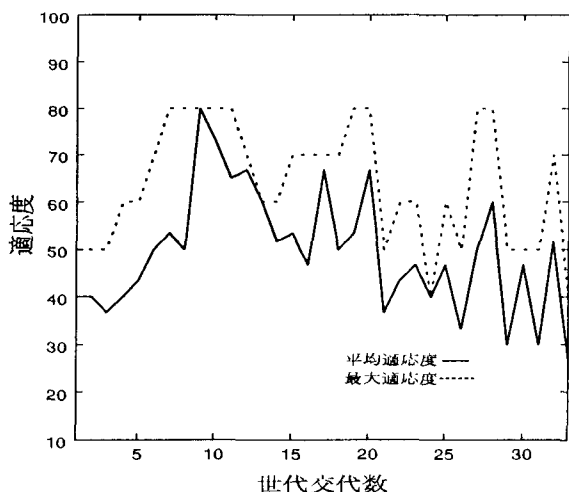


図-5 二次調節に入る前の画面の最適化のプロセス（個体数 3，交差率 0.6，突然変異率 0.06）

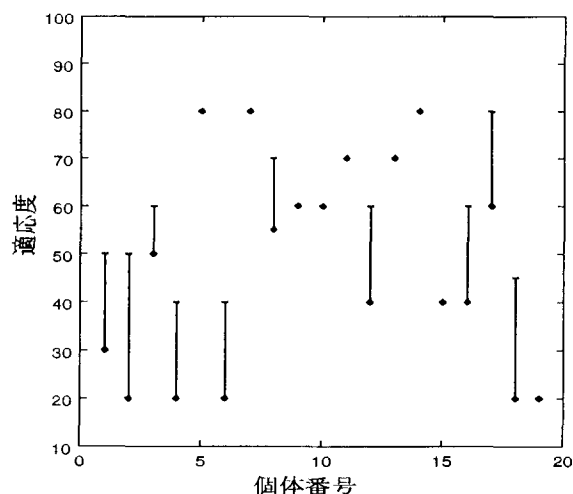


図-7 同一の個体に対する評点の推移（二次調節に入る前の画面の最適化結果から）

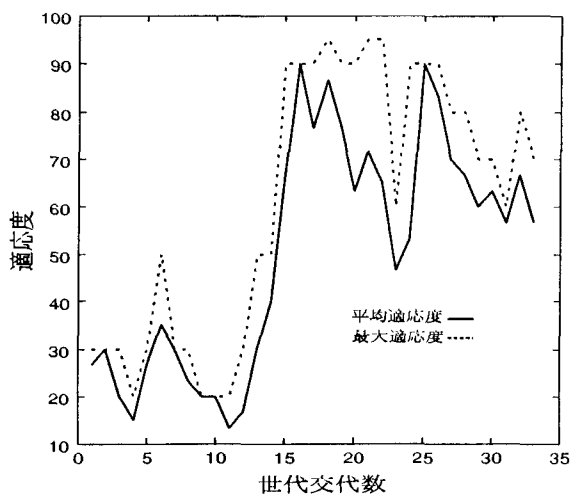


図-6 予備放流に入る前の画面の最適化のプロセス（個体数 3，交差率 0.6，突然変異率 0.06）

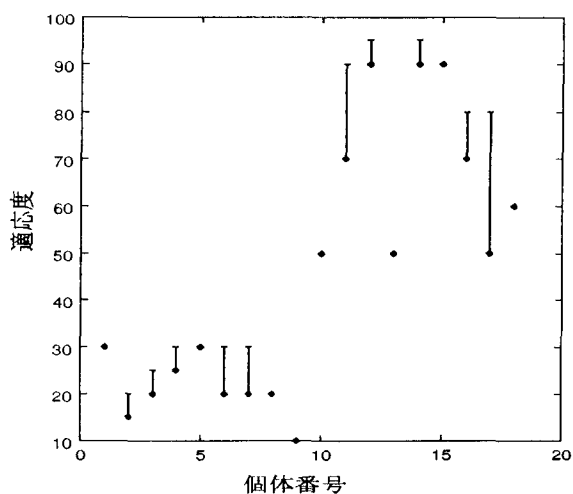


図-8 同一の個体に対する評点の推移（予備放流に入る前の画面の最適化結果から）

図-5と図-6を比べると、図-5の適応度が大きく揺れていることが分かる。これは、画面代替案に対する人間の評価プロセスに揺らぎがあることを示唆している。そこで次に、人間による評価の揺らぎを詳しく分析してみる。図-7と図-8はそれぞれ、二次調節前と予備放流前の画面最適化シミュレーションの過程で、2回以上表示された個体（画面代替案）に対する評点の範囲を表したものである。ここで個体番号とは、最終世代までに2回以上表示された個体のうち、世代数の小さいものから順に番号づけをしたものである。また、図中の線分はその個体につけられた評点の幅を示している。

図-7をみると、シミュレーション開始から7世代にかけて、評点が大きく揺らいでいるのが分かる。中でも、3、4世代に表示された個体番号2に対する評点に

ついては、図-7中最大の揺らぎ（評点幅 30 点）となっている。これは、図-7が最初に行なったシミュレーションであったため、シミュレーションの開始からしばらくの間は被験者が評価の基準を明確に持てなかったためであると考えられる。また両プロセスとも、最終世代近傍で評点に揺らぎがあり、しかもその幅が大きくなっている。この原因としては、個体の性能の差が大きいときには評価が比較的容易なものの、淘汰が進んで表示される代替案が一定水準以上になるとそれに対する評価構造が変化することなどが考えられる。

この他、人間の評価構造をさらに分析するために、図-6の初期ステップの個体群の表示順序を逆にしたシミュレーションを行なってみた（図-9）。この場合、図-6よりも評点の揺らぎが小さくなるという結果になった。最

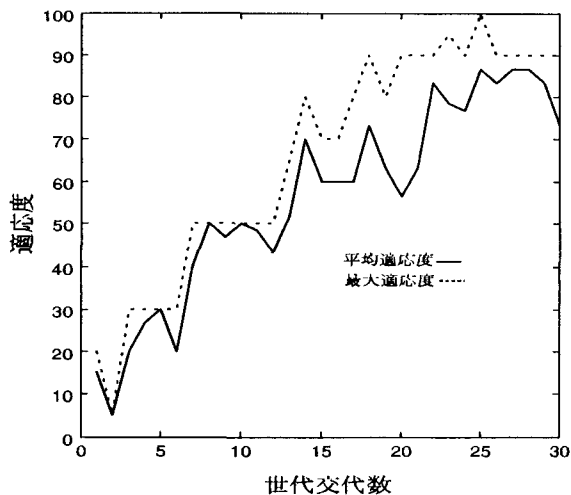


図-9 初期状態での個体の表示順序を変えた場合の画面最適化のプロセス (予備放流に入る前の画面)

終世代における平均適応度も図-6のケースよりも大きくなっていることがわかる。このことから画面最適化シミュレーションは1回で終了するよりも、時間をあけて数回行なう方が正確な情報が得られると考えられる。

最後に、洪水制御の状況に応じて必要とされる情報の違いを見ておく。予備放流前と二次調節前の画面最適化プロセスの最終ステップにおける適応度最大の個体(画面)で表示されているデータを比較すると、前者は予測情報、雨量データ中心に、後者は流量データ中心の表示となるという結果になった。予備放流前は、どの程度の規模の洪水になるかが興味の対象となるため比較的雨量データ注意対象の中心となり、二次調節以降時は流入量ピーク生起時期の判断が鍵となるため流量データに注意が移っているものと考えられる。

以上、本適用例では、洪水制御支援情報提供システムの最適設計モデルの可能性と問題点を探るため、比較的単純な観測・予測データ表示に限った情報提供画面の設計実験を行なった。これらの結果を総合すると、本研究で提案した手法はユーザによるユーザインターフェースの評価構造を分析に十分役立つということが確認できたといえる。

## 5. 結語

本研究では、洪水制御支援システムのユーザインターフェースの設計について、特に、ユーザによる評価構造が明らかになっていない現状を踏まえ、これを分析するモデルとして、ユーザによる評価を直接最適化プロセスに組み込む設計手法を提案した。これは、ユーザによる評価とGAによる最適解探索とを対話的に組み合わせることにより、提供情報の組合せを最適化す

ると同時に、解探索の過程を分析することでユーザの持つ評価構造を分析しようとするものである。さらに、提案した手法の精度と可能性を検証するため、天ヶ瀬ダム の操作支援に関して観測・予測データの表示状態を最適化するシミュレーション実験を行なった。この結果、本手法が実務者によるユーザインターフェースの評価機構を分析する有力な手段となり得るという感触を得た。

今後、表示するデータの形式や知識ベースに基づく推論結果とその表示方法についても扱えるように、本手法を拡張するとともに、実際に実務者を評価者として最適設計実験を行ない、ユーザインターフェースの評価構造やそれに基づく設計指針の抽出を進めていきたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 小尻利治・池淵周一・十合貴弘：ファジー制御によるダム貯水池の実時間操作に関する研究，京都大学防災研究所年報，第30号B-2，pp. 323-339，1987。
- 2) 池淵周一・宮川裕史・河端伸一郎：貯水池操作システムへのファジー制御理論の適用に関する研究(その2)，京都大学防災研究所年報，第32号B-2，pp. 371-382，1987。
- 3) 高埴琢馬・椎葉充晴・堀智晴：洪水制御支援のためのエキスパートシステムに関する基礎的検討，京都大学防災研究所年報，第31号B-2，pp. 357-368，1988。
- 4) 神田徹・井辻英雄・上田至宏：ダム洪水調節操作支援エキスパートについて，水文・水資源学会誌第2巻2号，pp. 33-39，1989。
- 5) 高埴琢馬・椎葉充晴・堀智晴・佐々木秀紀：協調問題解決型洪水制御支援環境の設計，水工学論文集，第34巻，pp. 595-600，1990。
- 6) 岩下修・西川和也・福西祐・日向博文：ダム集中制御の為にエキスパートシステムの開発，土木学会水工学論文集，第34巻，pp. 583-588，1990。
- 7) 高埴琢馬・椎葉充晴・堀智晴：洪水制御支援のための知識構成と獲得法に関する一考察，水文・水資源研究のためのAI技術の利用に関するシンポジウム論文集，pp. 25-32，1992。
- 8) 梅田昌郎・伊藤一正・秋葉努・深見親雄：洪水管理に適用するエキスパートシステムの研究(その2)，水文・水資源学会1990年研究発表会要旨集，pp. 266-269，1990。
- 9) 山口高志・中山比佐雄・伊藤一正・秋葉努：洪水管理に適用するエキスパートシステムの研究(その3)，水文・水資源学会1991年研究発表会要旨集，pp. 326-329，1991。
- 10) 広瀬昌由・宮井貴大：ダム貯水池操作支援システムの開発，水文・水資源学会1993年研究発表会要旨集，pp. 94-95，1993。
- 11) 堀智晴：洪水災害軽減のための流域-人間系のモデル化と管理に関する研究，京都大学学位論文，pp. 31-51，1993。
- 12) Ito, K., T. KOJIRI, T. HORI, Y. SHIMIZU: Decision Support System of Reservoir Operation with Object-oriented Programming and Multi-media Technologies, Proc. of International Conference on Water Resources and Environment Research: Towards the 21st Century, Vol. 2, pp. 103-110, 1996。
- 13) 安居院猛・長尾智晴：ジェネティックアルゴリズム 昭晃堂，pp.1-52，1993。

(1997.9.30受付)