

対話型進化計算を用いた「合コン」問題の解法と評価

黒岩 将^{†1,†2} 安本 慶一^{†1}
村田 佳弘^{†3} 伊藤 実^{†1}

合コン（お見合いパーティ）では、できるだけ多くのカップルを成立させたいという要求が発生する。本論文では、合コン結果から、カップルが成立しやすい男女の属性情報の組（好相性と呼ぶ）を、対話型進化計算を用いて求めることで、理想的な合コンメンバー（合コン参加者名簿）を決定するシステムを提案する。提案システムでは、男女の属性情報の組を進化計算の解候補集合としてシステムに持たせ、合コンでのカップル成否を解候補の評価値としてフィードバックしながら、好相性を表現する解集合の獲得を目指す。提案システムを評価するため、比較手法として一般的に考え得る単純なグリーディ手法を用意し、実施した計算機シミュレーションの結果を報告する。

A Method for “Gokon” Problem using Interactive Evolutionary Computation and Its Computational Evaluation

SHO KUROIWA,^{†1,†2} YASUMOTO KEIICHI,^{†1}
YOSHIHIRO MURATA^{†1} and MINORU ITO^{†1}

There is a demand to maximize the number of successful couples in match-making party called Gokon. In this paper, we propose a method to find good affinity patterns between man and woman from resulting matches of Gokon by encoding their attribute information and using interactive evolutionary computation scheme. We also propose a system to assign the best members to each Gokon based on the method. The purpose of the proposed system is to derive good affinity patterns. For this purpose, a specified number of candidate solutions as chromosome of evolutionary computation (EC) are initially prepared in the system. By feeding back the results of Gokon to the candidate solutions as fitness value of EC, semi-optimal solutions are derived. To evaluate the system, we prepared a greedy method to compare the system. We report the result of computer simulation to test the proposed method and the greedy method.

1. はじめに

2005年以降、我が国の人口増加率は0%以下で推移してきた¹⁾。そのため、政府は、2003年より少子化社会対策基本法を整備、内閣府に少子化対策室を設置するなど、その対策に乗り出している。内閣府によるアンケート調査では、未婚の主たる理由は、適切な相手に巡り合わないからであることが判っている²⁾。そのため、適切な相手と巡り合える場を提供するサービスを、民間企業や地方自治体が提供してきた³⁾。そうしたセティングサービスでは、カップル成立数を高めることが課題となっている。しかし、相性の良い男女を同じ合コンに参加させるためには、どのような男女が好相性なのか（予測問題）、また、既知となった好相性をどのように用いて、いくつの合コンをセティングすれば良いのか（組合せ最適化問題）、という2つの問題が存在する。そこで、本論文では、この2つの問題を合わせて解くシステムを提案する。

前者の予測問題の解決には、対話型進化計算（IEC, Interactive Evolutionary Computation⁴⁾）を用いる。男女の属性情報の組合せを進化計算（EC, Evolutionary Computation⁷⁾）の解候補（染色体あるいは個体）としてシステムに持たせ、カップル成否を解候補の評価値（適応度）としてフィードバックしながら、好相性の解候補集合を求める。後者の組合せ最適化問題には、好相性を表す解候補毎に、それに似ている属性値を持つ男女を15名ずつ集めるといった単純な方法を採用し、段階的に「合コン問題」が解けるような構成にする。

相性空間（男女の属性の組が取り得る値の範囲）は多峰性であり、多様なカップルを成立させるためには、IECによって、この多くの峰を求める必要がある。しかし、従来のIEC研究は、一つの最適解を求めるものが大半である。我々の以前行った研究でも、一つの最適解を求める手法しか考えていない⁵⁾。提案システムでは、相性空間のような多峰性関数の複数極大値算出手法として、EC分野において定評がある混雑度（CF, Crowding Factor⁶⁾）を用いた手法を導入する（3.2.1項, CF選択法）。対象問題の最適解を求めるためには、様々な参加者による多数の合コンを実施する必要がある。そこで、解候補に対して合コンを行

†1 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

†2 ホープフルモンスター株式会社
Hopeful Monster, Ltd.

†3 広島市立大学情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

わずに、過去の合コン履歴を活用して任意の解候補の評価を行う方法を導入する(3.4.2項, ストック利用評価法)。

提案システムを評価するため、カップル成立した男女の属性を好相性としてそのまま活用する比較手法を用意して、計算機シミュレーションにより比較を行った。結果、提案システムが、比較手法に比べて、半分の合コン実施回数で、約2倍のカップル成立数を達成できることを確認した。

2. 合コン問題

合コン問題とは、大規模な利用者集合から、好相性の男女混合グループを複数作る問題である。

入力: 問題の入力は男性利用者集合 $B = \{b_1, b_2, \dots\}$ と女性利用者集合 $G = \{g_1, g_2, \dots\}$ と定義する。男性 $b_i \in B$ と女性 $g_j \in G$ は、それぞれ k 個と l 個の属性情報 $(b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ik})$, $(g_{j1}, g_{j2}, \dots, g_{jl})$ を持つ。属性情報は、例えば、身長や体重、経歴や性格に関する情報である。

出力: B と G をそれぞれ L 人ずつの部分集合に重複を許して分ける、男女同数の部分集合の組(合コン)に割り当てる。得られる合コンの数を h とし、 i 組目の合コンを $[B_i, G_i]$ と表す。問題の出力は、以下の目的関数を最適化する合コン集合 $[B_1, G_1], \dots, [B_h, G_h]$ と未知の評価関数 F である。

目的関数: $[B_i, G_i]$ のカップル成立数を返す評価関数を F とし、 h 回の合コンにおけるカップル成立数の総和を最大化する目的関数を以下のように与える。

$$\text{maximize} \sum_{i \in \{1, \dots, h\}} F(B_i, G_i) \quad (1)$$

3. 提案システム

図1に示すように、IECを用いて、合コン問題の評価関数 F を推定し、合コン割当名簿を出力(=参加者を決定)するシステムを提案する。提案システムは、男女の相性の良さを表現する解候補集合と、その解候補集合に対しECを実行する進化計算オペレータ群(選択, 交叉, 突然変異), 生成されたテスト解候補集合に対し合コン割当名簿を生成する合コン割当オペレータ, 合コン結果を評価値としてテスト解候補に与える合コン評価オペレータから構成される。解候補集合に対して、進化計算, 合コン割当, 合コン評価の各オペレータ(それぞれ3.2節, 3.3節, 3.4節で後述)を適用し、評価値付きのテスト解候補集合を

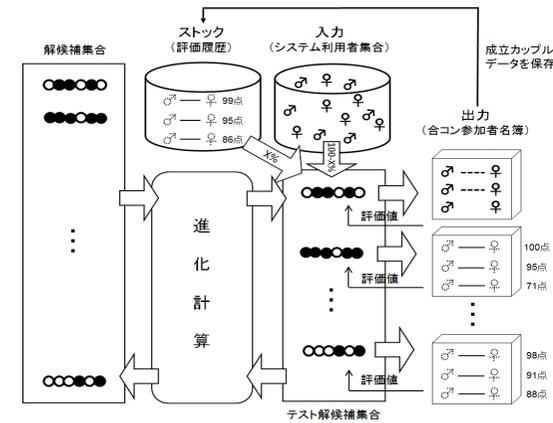


図1 提案システム概要

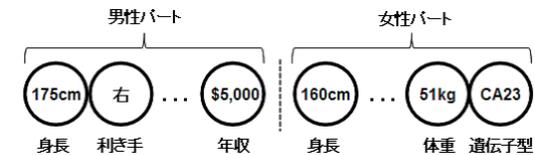


図2 解候補例

生成する。このテスト解候補集合を用いて解候補集合の更新を行う。ここで、初期解候補集合を1世代、 $t-1$ 回目の更新後の世代を t 世代と呼ぶ。世代を経ながら、最適解集合、すなわち、 F の推定を目指す。なお、図1内のストックについては、3.4.2項で詳述する。

3.1 解候補

図2に示すように、解候補は、男性と女性の、身長や収入、学歴といった属性情報の組合せから構成される。前半分を男性の属性、後半分を女性の属性に対応させる。これらの情報はアンケートによりシステム利用者から取得する。初期解候補集合サイズは h 個とし、解候補集合の各要素はランダムに生成する。

3.2 進化計算オペレータ

本オペレータは、図1に示すように、解候補集合に対して選択, 交叉, 突然変異という3つのECの操作を加える。

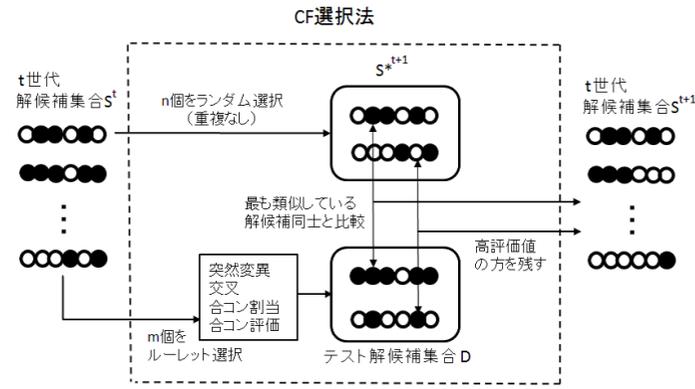


図3 Crowding Factor 利用のイメージ

合コン問題は複数の最適解（好相性）を持つ問題であり，提案システムでは，多点探索を行う必要がある．そこで，解候補集合の多様性を維持する手法として代表的な混雑度（CF，Crowding Factor⁶⁾を導入した選択手法を採用する（3.2.1項に後述）．交叉は一点交叉とし，突然変異と共に，一般的な EC の定石に従う．

3.2.1 CF 選択法

CF 戦略は， t 世代解候補集合 S^t から $t+1$ 世代解候補集合 S^{t+1} を生成する際，類似の解候補が増えないようにする（減らす）選択戦略である．

図3に示すように，まず， S^t から m 個 ($m \leq |S^t|$) 重複なしでランダムに選び出した集合 S^{*t} を生成する． t 世代解候補集合 S^t からルーレット戦略で n 個 ($n \leq |S^t|$) 選び出し，一点交叉させ，突然変異を加え，合コン参加者を割当て，評価を行う．その結果，テスト解候補集合 D^t を得る．尚，一般的な EC に従い，EC 操作によって選択されたテスト解候補数 n の変更は行わない ($|D^t| = n$)．次に，全テスト解候補 $d \in D^t$ と距離（両者の要素の一致率）が最短の $s^* \in S^{*t}$ を探し， d と s^* の評価値を比較する．評価値が大きい方を $t+1$ 世代解候補集合 S^{t+1} に代入する． m と n は， $|S^t|$ の 8~10 割程度の大きさとする．通常の CF 戦略は，上記のステップ 4.b において，無条件で d を残す．しかし，提案システムでは，高い評価値を持つ解候補を効率的に求めたいため，高評価値の方のみ残すことにする．

3.3 合コン割当オペレータ

合コン割当オペレータは，テスト解候補に対し，システム利用者の割り当てを行う（合コ

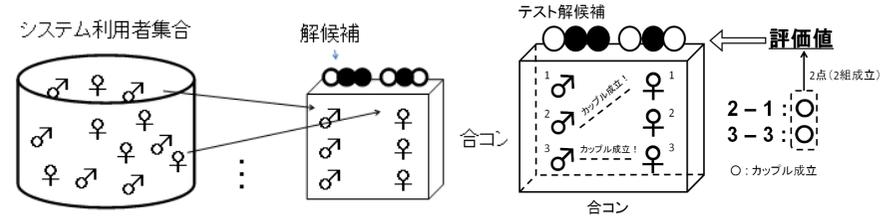


図4 合コン割当オペレータの動作

図5 合コン評価オペレータの動作

ン割当名簿の出力)．テスト解候補が好相性を表現しているかどうかを評価するため，テスト解候補と同じ属性を持つ男女のカップル成否を確かめる必要がある．しかし，一般に，テスト解候補とまったく同じ属性を持つ男女は少ないと予想されるので，できる限り「似ている」属性を持つ男女を割り当てる．具体的には，本オペレータは次のステップ 1-3 を実行する．

ステップ1：テスト解候補の前半分（男性の属性に対応）と利用者集合の全男性の属性間の距離を計算（女性についても同様の操作を行う．テスト解候補の後ろ半分を利用）

ステップ2：最短距離の属性を持つ男性1名をその合コン参加者名簿に追加．利用者集合からその男性を削除（女性についても同様の操作を実行）

ステップ3：合コンの定員が埋まるまで，ステップ1と2を反復（女性についても同様）

以上の過程により，合コンメンバーが確定し，合コンが実施可能となる．この割当ての際，ほぼ確実に発生する合コン参加者の属性値とテスト解候補間の距離には注意が必要である．その理由は次節で後述する．

3.4 合コン評価オペレータ

本オペレータは，合コンを実施し，テスト解候補に評価値を与えるオペレータである．評価には，図5に示すように，その合コンでのカップル成立数を用いる．しかし，その際，テスト解候補と割り当てられた利用者の属性値間の距離を用いた補正を行う．なぜなら，本研究では利用者の属性値で相性が決まるという仮定を置いており，テスト解候補が，カップル成立した男女の属性値と距離が離れていれば，その結果（カップル成立）がテスト解候補の良さとは異なる（離れる）と考えられるからである．そこで，テスト解候補と利用者属性値間の距離の指標として，割当一致率（次項で説明）を導入する．また，この割当一致率を活用し，合コンを行わずに，履歴データを使ってテスト解候補に評価値を与えるストック利

用評価法 (3.4.2 項に後述) を導入する。

3.4.1 割当一致率を用いた評価法

テスト解候補をベクトル $s = (s_1, \dots, s_{k+l})$ で表わす。男女の組 (b, g) を、 b の属性情報 (b_1, b_2, \dots, b_k) と g の属性情報 (g_1, g_2, \dots, g_l) を組み合わせたベクトル $x = (b_1, b_2, \dots, b_k, g_1, g_2, \dots, g_l) = (x_1, x_2, \dots, x_{k+l})$ で表わす。このとき、 s と x の割当一致率 $C(s, x)$ を次のように与える。

$$C(s, x) = \frac{\sum_{i=1}^{k+l} \text{match}(s_i, x_i)}{k+l} \quad (2)$$

ここで、

$$\text{match}(s_i, x_i) = \begin{cases} 1 & \text{when } (s_i = x_i) \\ 0 & \text{(otherwise)} \end{cases} \quad (3)$$

図 6 に示すように、その合コンで成立した全カップルの属性情報ベクトルとテスト解候補との割当一致率の総和を、テスト解候補の評価値として与える。カップル成立数が 0 の場合は評価値を 0 とする。

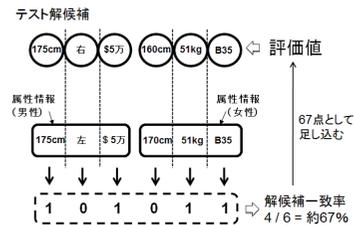


図 6 割当一致率

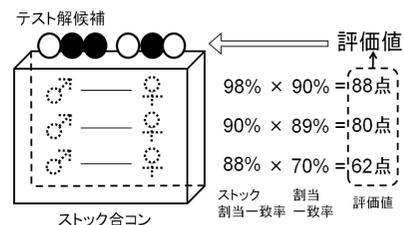


図 7 ストックを利用した評価値の与え方

3.4.2 ストック利用評価法

テスト解候補を評価する際、実際の合コン参加者による評価をなるべく減らしたい。なぜなら、理想的な男女の属性値の組 (属性ベクトルと呼ぶ) が求まるまでは最適な合コンへの割り当てが行われないため、参加者はカップル成立数の面で不利になるからである (すなわち、参加者が人柱になる)。利用者を用いずに、テスト解候補の評価を行うことができれば、利用者の時間的、経済的負担、不利益享受を減らすことができる。そこで、利用者の評価履歴データを利用する方法を導入する。

図 1 に示すように、この方法では、まず、カップルが成立した男女の属性ベクトルと割

当一致率 (前 3.4.1 項で導入) のセットを保存する。この集合をストックと呼ぶ。図 1 にストックを付け足したシステム全体像を示す。これ以降、提案システムとは、図??ではなく、図 1 を指すものとする。

システム解候補を評価する際、まず、合コン割当オペレータの全適用対象の $X\%$ をストックから取り出して割当て (システム利用者集合からの割当ては $100\% - X\%$)。 X は、ストックが十分蓄積された段階で 50 ~ 100% の間に設定する。

テスト解候補に距離が近い属性ベクトルを持つストック内の男女 (ストック男女と呼ぶ) を、距離が近い順に規定人数割当て。これより、図 7 に示すように、ストック男女 (の属性ベクトル) の現テスト解候補に対する割当一致率と、ストック男女の属性ベクトルが保持する過去の別のテスト解候補に対する割当一致率 (ストック割当一致率) を用いて、テスト解候補に評価値を与える。これら 2 つの割当一致率が小さいほど、テスト解候補の評価値を下げるべきと考えられるので、この両割当一致率の積を評価値に加算するものとした。ストックからテスト解候補 s に距離が近い順に L 個取り出したストック男女の集合を O 、ストック男女を $o \in O$ 、 o のストック割当一致率を C^o 、 o の s に対する割当一致率 $C(s, o)$ として、 s の評価値 E_s の計算式を式 (4) に示す。

$$E_s = \sum_{o \in O} C(s, o) \quad (4)$$

4. 実験

提案手法を評価するため、以下の 3 つの手法との比較を、それぞれ計算機シミュレーションにより行った。

実験 1: 解候補集合の多様性を保つ手法として CF 選択法 (3.2.1 項) を導入しなかった場合との比較

実験 2: 合コン回数を低減させるストック利用評価法 (3.4.2 項) を導入しなかった場合との比較

実験 3: グリーディ手法 (4.3 節) との比較

評価は、提案手法が、真の好相性集合にどれだけ近い解集合を求めているか (最適解到達率, 4.2 節に後述)、また、その得られた解集合を用いて何組のカップルを成立させることができるか (カップル成立数) によって行った。

ベンチマークテストとして N 個のピークを持つ多峰性関数である $NMax$ 問題 (次節で説

明)を導入した。

4.1 NMax 問題 (ベンチマークテスト)

3.4.1 項で定義した任意の男女の属性ベクトルを表わすベクトル \mathbf{x} と好相性の一つを表わす最適解 \mathbf{p} との一致率を返す関数 $lovematch(\mathbf{x}, \mathbf{p})$ を以下のように与える。

$$lovematch(\mathbf{x}, \mathbf{p}) = \frac{\sum_{i=1}^{|\mathbf{x}|} g(i)}{|\mathbf{x}|} \quad (5)$$

$$g(i) = \begin{cases} 1 & (x_i = p_i) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad (6)$$

ここで i は、ベクトルの i 番目の要素を表す。N-MAX 問題では N 個の最適解 p^1, \dots, p^N が存在すると定義する。NMax 問題を、任意の男女の相性の良さを返す関数として、以下のように与える。

$$f_{NMax}(\mathbf{x}) = \max_{1 \leq j \leq N} (lovematch(\mathbf{x}, \mathbf{p}^j)) \quad (7)$$

j は NMax 問題の N 個のピークのインデックスである。ビット列 \mathbf{x} と、各ピークのビット列の間で一致率が計算され、その最大値が f_{NMax} の出力値となる。NMax 問題は、進化計算のベンチマークとしてよく知られる OneMax 問題を一般化したもので、 $N = 1$ 、 $\mathbf{p}^1 = \{1, 1, \dots, 1\}$ の時、OneMax 問題と同値となる。

本実験では、カップル成否を返す評価関数として NMax 問題を与えたい。しかし、NMax 問題の出力は、好相性との一致度であり、確率的な要素が含まれていない。実際の合コンでは、相性が良くてもカップルに成らない場合や、多少悪くても成る場合がある。そうした点を、本実験では評価関数に組み込みたい。そこで、本実験では、カップル成立有無の評価関数をカップル成立確率 P として、 f_{NMax} を用い、式 (8) として与えた。

$$P = \begin{cases} 1 - \frac{1-f_{NMax}}{1-\beta} & (\beta \leq f_{NMax}) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad (8)$$

β はカップル成立の閾値であり、 f_{NMax} の出力が、 β 未満の時はカップ成立確率 P は 0 になり、 β 以上の時は P が線形に増加するよう設定した。

4.2 最適解到達率

得られた解候補集合を評価するため、解候補が、最適解にどれくらい到達できているかを示す指標として最適解到達率を定義する。解候補 s の最適解到達率 R は、最適解集合 \mathbf{p} (図 8 に示す) と、式 (3) の match 関数を用いて、以下の式で与える。

$$R = \max_{1 \leq i \leq n} (match(s, \mathbf{p}^i)) \quad (9)$$

獲得した解候補集合がどれくらい相性空間を推定できているかは、この解候補集合の解候補

```
Peak1 00000000000000000000
Peak2 00000000001111111111
Peak3 11111000001111100000
Peak4 11111111110000000000
Peak5 11111111111111111111
```

図 8 NMax 問題 ($N = 5$)

の最適解到達率の平均値によって確認することができる。

4.3 比較手法

提案手法と比較するため、次のようなグリーディな手法を考える。これは、図??に示すように、合コンの度に、その合コンでカップル成立した男女の属性ベクトルの中で、その解候補に最も類似する属性ベクトルを、解候補に上書きする方法である。良い組合せが見つかった場合、それがそのまま解候補として次世代に受け継がれる単純な探索手法である。

4.4 実験設定

本実験では、まず、入力データのビット列への単純化を行った。入力であるシステム利用者を、ビット列で与える。

合コンの実験パラメータは、利用者集合サイズ：6000 名 ($|B| = 300, |G| = 300$)、利用者の属性情報長 ($|b_{ik}|, |g_{jl}|$): 10 ビット、利用者調整理想度：0~100% (一様乱数)、合コンサイズ：30 名 ($|B_i| = 15, |G_i| = 15$)、ストックサイズ：500 レコード、カップル成立閾値 β : 0.5、最低参加回数：5 回、とした。また、進化計算の実験パラメータは、解候補集合サイズ：30 個、解候補長：20 ビット、CF 選択率：0.5、交叉率：0.95、突然変異率：0.2、スケール：なし、とした。

本実験では、図 8 の 5 つの好相性に近い男女が、式 (8) に従いカップル成立するという設定で実験を行った。そのため、利用者の属性値を一様乱数で生成すると、カップル成立数が極端に減り、探索が進まない。したがって、本実験では、図 8 の N 個の各ピークとの類似度 (利用者調整理想度) がある程度高くなるよう利用者の属性情報を生成することにした。

また、カップル成立した利用者を逐次、新しい利用者に入れ換える設定とした。ただし、合コンへの参加が最低参加回数に満たない場合を除く。

4.5 結果

表 1 に、実験 1 の結果として、CF 選択法を用いた場合と用いなかった場合の、1,000EC 世代後に得られた解候補集合の最適解到達率 R 及びその解候補集合を用いて合コンを行った場合のカップル成立数を、それぞれ示す。いずれも 30 回の試行の平均値と S.D 値を示した。この結果から、CF 選択法が最適解到達率を約 22% 高め、カップル成立数約 2 倍増に

表 1 CF 選択法の効果

	CF 選択法あり	CF 選択法なし
最適解到達率 \bar{R}	91 ± 1 %	64 ± 2 %
カップル成立数	3440 ± 112 組	1473 ± 113 組

表 2 ストック利用評価法の効果

	ストック利用評価法あり	ストック利用評価法なし
合コン実施回数	5250 回	10000 回
最適解到達率 \bar{R}	86 ± 2 %	91 ± 1 %
カップル成立数	3098 ± 153 組	3440 ± 112 組

表 3 提案手法とグリーディ手法の比較

	提案手法	グリーディ手法	最適解集合を与えた場合
合コン実施回数	5250 回	10000 回	—
最適解到達率 \bar{R}	86 ± 2 %	64 ± 2 %	100 ± 0 %
カップル成立数	3098 ± 153 組	1456 ± 106 組	4494 ± 6 組

提案手法には CF 選択法とストック利用評価法が含まれる

貢献していることがわかる。

次に、実験 2 の結果を表 2 に示す。ストック利用評価法を導入し、合コン実施数を約半分にした場合、最適解到達率及びカップル成立数は、それぞれ約 5 %、約 10% 減ることが分かった。同評価法を導入せずに行う合コンの回数を 5250 回に減らしてみても、10000 回の場合の最適解候補集合は同じであった。つまり、提案手法は、5250 回以前に最終的な解候補集合の獲得に至っていると言える。

実験 3 の結果を表 3 に示す。この結果より、提案システムが、比較手法に比べて、約 22% 以上高い最適解到達率を求めることができ、約 2 倍のカップル成立数が多い合コンの実施に、約半分の合コン回数で至ることが確認できた。

4.6 考 察

ストック利用評価法を導入した際、最適解到達率が下がった理由には、ストック男女が、特定のピークに偏っていたり、テスト解候補の評価に用いたストック男女の組の数 (3.4.2 節の L) が適切でなかった可能性がある。ストックの保存方法 (現在はカップルになった男女の属性値を無条件で順番に保存) の工夫や L 値の調整が必要である。

提案手法が、最適解集合を与えた場合のカップル成立に及ばなかった理由としては、カップル成否の評価関数を確率で与えているため、解候補の評価値が変動し、たまたま良い値を

つけた解候補が、改善されずに解候補集合に残ることが考えられる。とくに、カップル成立閾値 β が小さい場合、この問題が顕著になるはずである (偶然、カップルになる数が増加するから)。また、利用者調整理想度が低く、最適解から遠い属性を持つ利用者ばかりの場合も、カップルが成立し難いことに加え、成立しても偶然の確率が高いため、最適解到達率は下がる。カップル成立確率 P をどのように与えるかによっても変る点に注意が必要である。

5. おわりに

本論文では、実際に実施されている合コンセッティングサービスで、ICE によって複数の未知の相性を予測し、カップル成立数を増やすシステムを提案した。計算機実験を用いて、最適解に平均 86%一致する解候補集合を求めることができた。また、一般的に考え得る単純なグリーディ手法に比べて、半分の合コン実施数で、約 2 倍のカップルを誕生させることが可能なことを示した。

主要な今後の課題は、 β や利用者調整理想度が低い場合の対策であり、これにはテスト解候補の評価を統計的に行う方法などが考えられる。また $NMax$ 問題の N 個のピークを特定するためには、解候補集合から N のピークを選び出す必要がある。これにはクラスタリング手法等が必要である。

参 考 文 献

- 1) 国立社会保障・人口問題研究所：人口統計資料集 (2011).
<http://www.ipss.go.jp/syoushika/>
- 2) 内閣府：少子化社会白書 (2004).
<http://www8.cao.go.jp/shoushi/whitepaper/w-2004/html-g/indexg.html>
- 3) 内閣府少子化対策室：子ども・子育て白書 (2011).
<http://www8.cao.go.jp/shoushi/whitepaper/index-w.html>
- 4) Takagi, H.: Interactive Evolutionary Computation: Fusion of the Capacities of EC Optimization and Human Evaluation, *Proc. IEEE*, Vol.89, No.9, pp.1275–1296 (2001).
- 5) Kuroiwa, S., Murata, Y., Kitani, T., Yasumoto, K. and Ito, M.: A Method for Assigning Men and Women with Good Affinity to Matchmaking Parties through Interactive Evolutionary Computation, *Proc. SEAL2008*, pp.645–655 (2008).
- 6) Deb, K. and Goldberg, D.E.: An Investigation of Niche and Species Formation, *Proc. 3rd Int'l Joint Conf. Genetic Algorithms*, pp.42–50 (1989).
- 7) Foster, J.A.: Evolutionary Computation, *Nature Rev. Genet.*, Vol.2, pp.428–436 (2001).