

2次元3値時系列としての ジャンケンデータの研究

Research Memorandum, No.759,
2000.6.22
統計数理研究所

石黒真木夫・佐藤整尚
統計数理研究所

アブストラクト ジャンケンの手の選択に表れる癖を捉えることを目的として坂元のCATDAPモデルにジャンケンの構造に由来する対称性を課した一群のモデルを提案した。これらのモデル群と、簡単な非定常解析法を利用して人間対コンピュータソフトの対戦記録を解析し、人間の手の選択が「一様乱数」になる場合があまりないこと、相手の手の出し方に応答するより、自己の手の履歴に影響されているとみられる場合のほうが多いこと、長い対戦の間に、パターンが変化することなどが観察された。この解析法と、ランダム戦略を組み合わせによるジャンケンソフトの構成法を示し、このソフトが対人間との対戦においてよい成績をあげたことも示した。

キーワード CATDAP, AIC, 離散システム解析, 非定常データ, 人間行動

Contents

1	はじめに	3
2	ジャンケンプレイヤーモデル	3
2.1	CATDAP 型モデル	5
2.2	その他のモデル	8
2.3	非定常性解析	9
3	データと解析	10
3.1	Janken (Stone-Scissors-Paper Game) Data	10
3.2	人間プレイヤーの特性	17
3.3	ジャンケンソフトの性能	19
4	謝辞	23
A	ジャンケンソフト	24
A.1	ランダム戦略	24
A.2	ゲーム設計	25
A.3	グラフィカルインターフェイス	26
A.4	入出力ファイル	27
B	統計科学の教材としてのジャンケン	30
B.1	子どもプラン	30
B.1.1	OHP	31
B.1.2	配布資料等	39
B.1.3	準備作業	45
B.1.4	反省点など	47
B.2	「日経 2000」	48
B.3	2000 年こどもプラン版	52
B.4	ジャンケンサブルーチン公募	52

1 はじめに

統計数理研究所では、1999年11月27日(土)に、中学生を対象とする研究所の公開を実施した。著者らは、その企画のひとつとして「ジャンケン」を担当した。計算機ソフトを相手にジャンケンをしてもらってデータを取り、「癖」の解析と適切な戦略の選択などの話題を手掛かりに統計科学への手引を試みるのが狙いであった。

この論文では、2次元3値時系列としてのジャンケンデータの解析法を提案し、上記企画の過程で得られたデータを解析する。

「付録」は同じような企画を再演する場合のマニュアルとした。必要に応じて参考にされたい。

2 ジャンケンプレイヤーモデル

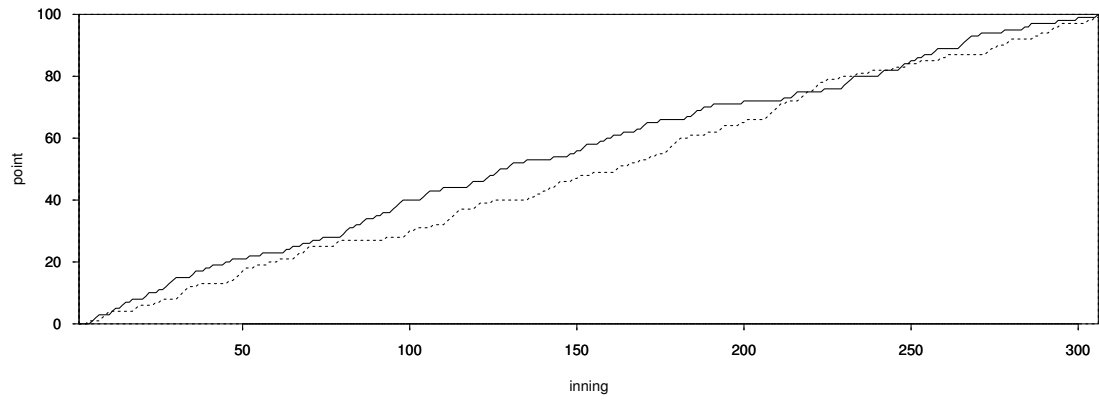
図1にジャンケンの試合の記録の例を示す。試合は2人のプレイヤーによって行われ、1回のジャンケンに勝った方に1点を与え、早く合計100点に達した方が勝ちというルールで行われた。中段と下段にそれぞれのプレイヤーの手、上段に得点の経過が示されている。このデータを $\{(x_{1j}, x_{2j}) : 1 < j \leq N\}$ で表す。 x_{ij} は1(GOO), 2(CHOKI) または 3(PAH) のいずれかである。プレイヤー i が「時刻」 j の時点で GOO, CHOKI, PAH を出す確率を G_{ij}, C_{ij}, P_{ij} とする。この「戦略」をベクトル形式にまとめて

$$s_{ij} \equiv (s_{1ij}, s_{2ij}, s_{3ij})^T = (G_{ij}, C_{ij}, P_{ij})^T \quad (1)$$

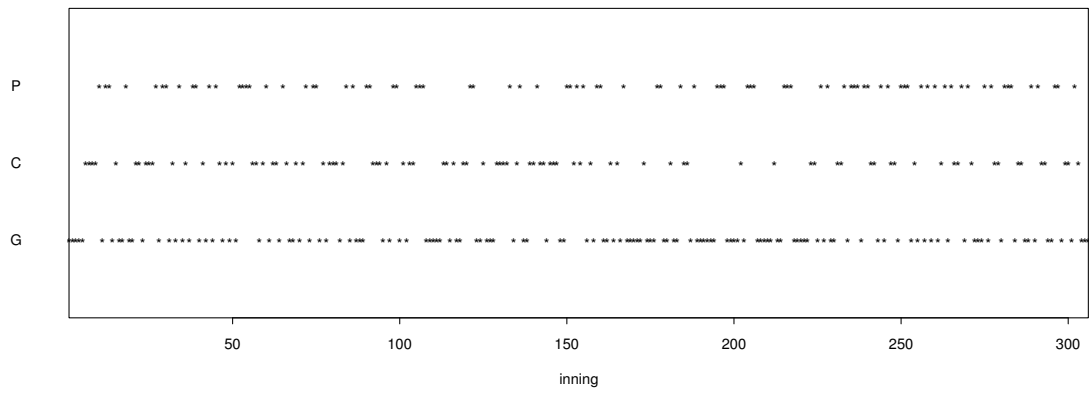
と書くことにする。プレイヤー1の観点にたって、相手の次の戦略 $s_{2(N+1)}$ を推定する方法を考える。

y-san.dat

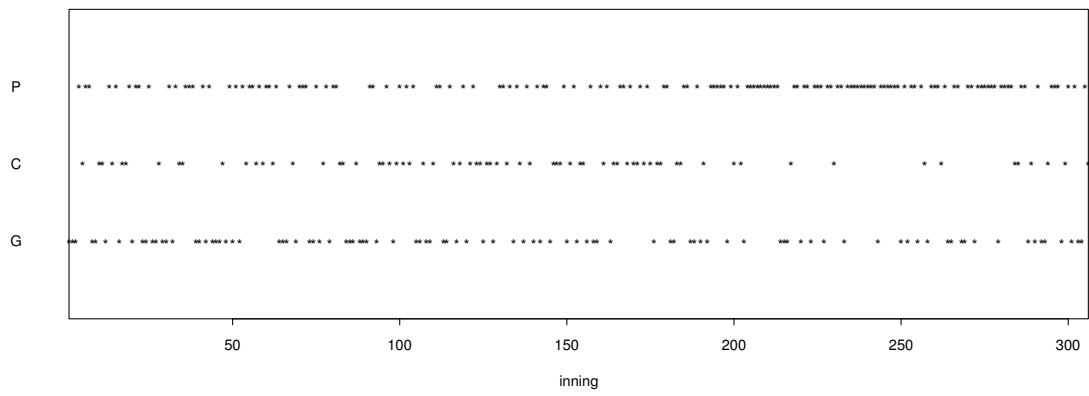
y-san(solid line) vs. janken_ism/f(dotted line)



y-san



janken_ism/f



2.1 CATDAP 型モデル

プレイヤー 2 の行動がデータ $\{(x_{1j}, x_{2j}) : 1 < j \leq n\}$ の全域において「定常」であり，前回あるいは前々回までの両者の手を考慮して s を決めているものとするモデル

$$s_{2j} = s(x_{1(j-1)}, x_{1(j-2)}, x_{2(j-1)}, x_{2(j-2)}) \quad (2)$$

を考える．このモデルは，3 値をとる目的変数の確率分布が同じく 3 値をとる 4 個の説明変数に依存するとする CATDAP モデルであり 54 個の自由パラメータを含んでいる．このパラメータに種々の制約を課すことによって，表 1 の M(1) から M(14) までが得られる．M(14) が無制約モデル (2) である．モデル M(0) は「後だし」のモデルである．

表 1. CATDAP 型モデル

MODEL	前々回の結果	着目する事象	対称性	パラメータ数
M(1)	見ない	なし	あり	0
M(2)	見ない	なし	なし	2
M(3)	見ない	自分の手	あり	2
M(4)	見ない	自分の手	なし	6
M(5)	見ない	相手の手	あり	2
M(6)	見ない	相手の手	なし	6
M(7)	見ない	勝敗	あり	6
M(8)	見ない	勝敗	なし	18
M(9)	見る	自分の手	あり	6
M(10)	見る	自分の手	なし	18
M(11)	見る	相手の手	あり	6
M(12)	見る	相手の手	なし	18
M(13)	見る	勝敗	あり	18
M(14)	見る	勝敗	なし	54
M(0)	見ない	「次回」の相手の手	あり	2

たとえば，モデル M(4) は， $s_{k2j}(x_{2(j-1)} = m)$ を m -k 成分とする，3 行 3 列の行列

$$\begin{array}{c|ccc}
 & & \begin{matrix} x_{2j} \\ \text{GOO} \quad \text{CHOKI} \quad \text{PAH} \end{matrix} \\
 \begin{matrix} x_{2(j-1)} \\ \text{GOO} \\ \text{CHOKI} \\ \text{PAH} \end{matrix} & \text{GOO} & \text{CHOKI} & \text{PAH} \\
 & a & b & * \\
 & c & d & * \\
 & e & f & *
 \end{array} \quad (3)$$

で表現される．表中 a, b, c, \dots, f を 6 個の自由パラメータとすると「*」の部分は確率モデルとしての制約

$$\sum_{k=1}^3 s_{k2j}(m) = 1$$

から自動的に決まる．これに対称性を導入して

$x_{2(j-1)}$	x_{2j}		
	GOO	CHOKI	PAH
GOO	a	b	*
CHOKI	*	a	b
PAH	b	*	a

(4)

とすると自由パラメータ数 2 のモデル M(3) が得られる．この記法を用いると，モデル M(7) は，

$x_{2(j-1)}$	$x_{1(j-1)}$	x_{2j}		
		GOO	CHOKI	PAH
GOO	GOO	a	b	*
	CHOKI	c	d	*
	PAH	e	f	*
CHOKI	GOO	*	e	f
	CHOKI	*	a	b
	PAH	*	c	d
PAH	GOO	d	*	c
	CHOKI	f	*	e
	PAH	b	*	a

(5)

と表現される．

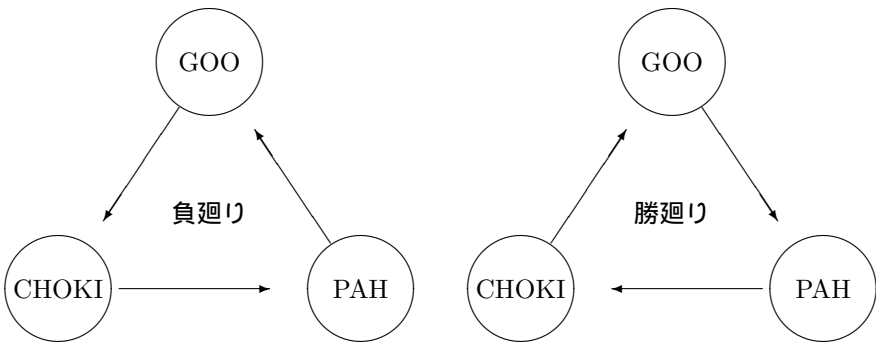


図 2 . ジャンケンの手の勝廻りと負廻り (GOO=1, CHOKI=2, PAH=3)

モデル (4) は図 2 に示したように「手」の間に「負廻り」, 「勝廻り」を定義すると

前回の自分の手に対して		
負廻りの手を出す確率	同じ手を出す確率	勝廻りの手を出す確率
b	a	*

(6)

と簡潔に表現できる．モデル (5) は

		前回の自分の手に対して		
		負廻りの手を出す確率	同じ手を出す確率	右廻りの手を出す確率
前回	勝ったとき	d	c	*
	あいこのとき	b	a	*
	負けたとき	f	e	*

(7)

と書ける．その他のモデルに関しても同じ様な表現が可能である．

モデル (4) のパラメータを推定するには、「分割表」

前回の自分の手に対して		
負廻りの手にした回数	同じ手にした回数	勝廻りの手にした回数
n_1	n_2	n_3

(8)

モデル (5) のパラメータを推定するには分割表

前回の自分の手に対して			
	負廻りの手にした回数	同じ手にした回数	勝廻りの手にした回数
勝った後で	n_{11}	n_{12}	n_{13}
あいこの後で	n_{21}	n_{22}	n_{23}
負けた後で	n_{31}	n_{32}	n_{33}

(9)

の型にデータを集計すればよい．

モデル M(3) のパラメータ a, b の最尤推定値 \hat{a}, \hat{b} はそれぞれ

$$\hat{a} = \frac{n_2}{n_{\cdot}}$$

$$\hat{b} = \frac{n_1}{n_{\cdot}}$$

で与えられる．ただしここで $n_{\cdot} = \sum_{k=1}^3 n_k$ である．

モデルの評価は分割表モデルの AIC によって与えられる．このモデルの最大対数尤度は

$$\sum_{k=1}^3 n_k \log \frac{n_k}{n_{\cdot}} = \sum_{k=1}^3 n_k \log n_k - n_{\cdot} \log n_{\cdot}$$

で与えられ，従って AIC は

$$AIC(3) = -2 \sum_{k=1}^3 \{n_k \log n_k - n_{\cdot} \log n_{\cdot}\} + 2 \times 2$$

となる．同様に考えてモデル M(7) の AIC は $n_{\cdot l} = \sum_{k=1}^3 n_{kl}$ として

$$AIC(7) = -2 \sum_{l=1}^3 \sum_{k=1}^3 \{n_{kl} \log n_{kl} - n_{\cdot l} \log n_{\cdot l}\} + 2 \times 6$$

となる．

2.2 その他のモデル

ドリフトモデル M(15): G_2, C_2, P_2 のそれぞれを推定する必要があるが, G で代表させて,

$$G_2 = \alpha G_0 + (1 - \alpha) \Delta G$$

$$\Delta G = \frac{1}{A} \left(\sum_m \tau^m \delta(G, x_{2(i-m)}) \right)^\beta$$

A は正規化の定数, $\delta(s, t)$ は $s = t$ で 1, それ以外で 0 を取る関数である. このモデルの独立なパラメータは $G_0, C_0, \tau, \alpha, \beta$ の 5 個. $\tau < 1$ であれば, 最近の自分の手の出方に依存して手を決めていることになる. $\beta < 0$ なら (G_0, C_0, P_0) に引き戻す向きの「力」が働いていることになる.

ランダム戦略プレーヤモデル M(16):

$$G_2 \propto \exp \left\{ \frac{\tilde{C}_1 - \tilde{P}_1}{R} \right\}$$

ただし, ここで $\tilde{G}_1, \tilde{C}_1, \tilde{P}_1$ のうちたとえば \tilde{G}_1 は

$$\tilde{G}_1 \propto \sum_m \tau^m \delta(G, x_{1(i-m)})$$

による「推定値」である. このモデルのパラメータは R と τ の 2 個である. このモデルはプレーヤー 2 が, プレーヤー 1 に表 1 のモデル M(2) をあてはめ, その結果に基づくランダム戦略 (??) を採用していると仮定していることになる.

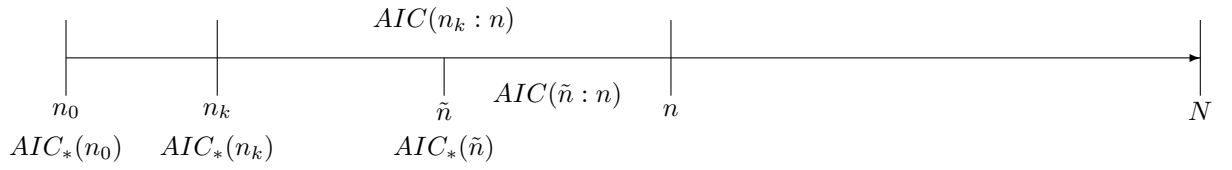
2.3 非定常性解析

長いデータの場合，全域にわたってプレーヤーの特性が変わらないという仮定は非現実的である．「区分的定常」を仮定した取り扱いを提案する．

$$\begin{aligned} AIC(n_1 : n_2) &= \text{データ } \{(x_{1i}, x_{2i}) : n_1 < i \leq n_2\} \text{ に対するモデル } M_1, M_2, \dots \text{ の AIC の最小値} \\ MAICE(n_1 : n_2) &= AIC(n_1 : n_2) \text{ を最小化するモデル} \end{aligned}$$

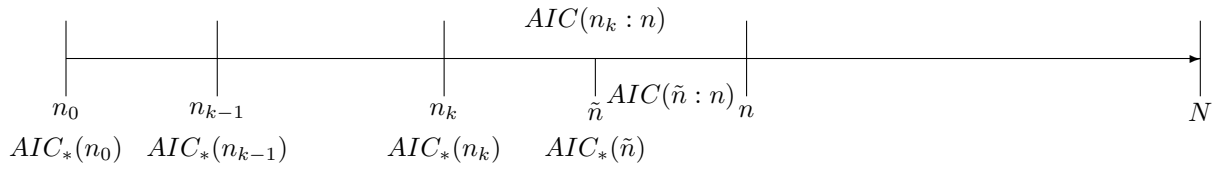
を定義する． $k = 0, n_0 = 0, AIC_*(0) = 0$ として， $n = 1, 2, \dots, N$ に対してつぎの手続きで $AIC_*(n)$ を計算し，モデル $MAICE(M_1, M_2, \dots)$ を選ぶ．モデル群 M_1, M_2, \dots は前節の「定常モデル群」のサブセットとして，あらかじめ選ばれているものとし， $W = 2, L = 50$ である． W が 0 なら本来の AIC 最小化法である． $W = 2$ としてモデルの過度の切替えを抑制している．

$$1. \tilde{n} = (n + n_k)/2; AIC' = AIC_*(n_k) + AIC(n_k : n); AIC'' = AIC_*(\tilde{n}) + AIC(\tilde{n} : n) + W$$

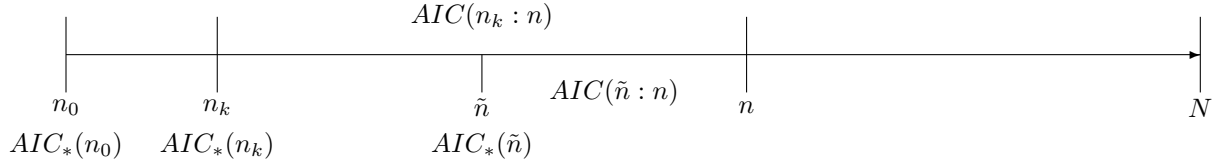


$$2. n > n_k + L \ \& \ AIC' > AIC'' \text{ なら}$$

$$k = k + 1; n_k = \tilde{n}; AIC_*(n) = AIC''; MAICE(M_1, M_2, \dots) = MAICE(\tilde{n} : n) .$$



$$3. \text{ それ以外の場合: } AIC_*(n) = AIC', MAICE(M_1, M_2, \dots) = MAICE(n_k : n) .$$



3 データと解析

3.1 Janken (Stone-Scissors-Paper Game) Data

付録 A.1 節の表 7 で説明されている 10 種のプレーヤールーチン a_0, a_1, \dots, a_9 と人間の対戦の記録, 371 セットのデータが集まっている.

このようなデータを取得するには, ある程度以上の性能を有するソフトが必要であり, 今回得られたデータを公開することは意義があると思われる. ISMLIB(ftp://ftp.ism.ac.jp/pub/ISMLIB/janken_data) にデータを置いてある. 公開条件は Open Market Licence である. ISMLIB の README を示しておく.

Janken Data Package

Copyright_OML 2000 M. Ishiguro & S. Sato

The Institute of Statistical Mathematics

This data package can be obtained from

ISMLIB(ftp://ftp.ism.ac.jp/pub/ISMLIB/janken_data) of the Institute of Statistical Mathematics without any charge.

On the conditions that terms of the OPEN MARKET LICENCE for data (version:OML-DT-E-1996, <ftp://ftp.ism.ac.jp/pub/ISMLIB/OML>) are observed, this data package can be used freely. On the condition that this note is attached as it is, Janken Data Package can be redistributed. Appropriate reference must be made at the time of publishing results obtained using this data package.

Janken is a game played by Japanese children. Every Japanese children know how to play this game. Even adult people play the game in some occasion. Actually this game is believed to be originated in China. Though there is a wide variation, it is played by two players in its simplest form.

Players synchronize their hands up-and-down motion by shouting together the words 'Jan---Ken---Pon'. In each game, when they call 'Pon' every player make any of the shape of 'Stone', 'Scissors' or 'Paper' by their hands. They have to make the shape at the same instant.

'Stone' is stronger than the 'Scissors'. 'Scissors' is stronger than the 'Paper'. 'Paper' is stronger than the 'Stone'. One who showed the stronger hand wins the game/session. Delaying ones motion is the most serious violation of the rule. The reason why the delaying of the motion is forbidden will be clear. This foul play is called Ato-dashi (Delayed-showing).

In 1999, ISM gave a program for children. Janken is chosen as a topic through which the way of statistical thinking can be introduced effectively.

20 PC's are prepared and a specially prepared Janken playing software is loaded. Instead of making shape with their hands, children made their choice by clicking the mouse on any one of three patterns representing Stone, Scissors and Paper on the screen. One important point was how to remove children's suspicion about PC's Ato-dashi. This problem was solved by showing a number which announces PC's next hand before hand. It is so designed that this number is clearly seen if one watches carefully, but the number is not very obvious so that the player can choose their hands not violating the rule. In the introductory lecture the role of the 'announcing number' was explained.

Children are invited to play games and some introductory talk about statistics with a little bit of Markov chain was given.

This software game is designed for two players (computer and the player). The 'match' is over if one gets hundred points first. One point is added when one wins a game/session. It means that in one match about 300 clicks are necessary. We had been worrying that this is a too heavy tasks for children. But we had to demonstrate the power of statistics. Statistics can beat children only when a sufficient number of data are supplied. After all our worry turned out to be groundless. Children enjoyed clicking and playing the game very much. And the strength of Statistics was impressive enough!

We took the log/records of the games, which are collected here. Some data are also collected during the preparation stage.

Five types('a', 'c', 'd', 'e' and 'f') of algorithms are prepared. First four type('a','c','d' and 'e') algorithms have adjustable parameters. With differentiating the setting of the parameters, there are 10 algorithms a0, a1, c0, c1, c2, d0, d1, e0, e1 and f0. 'a' type algorithm does not have learning ability. 'c' type algorithm provides a simple learning ability. c0, c1 and c2 differ

in their levels of randomization. 'c0' employs the non-randomized optimal strategy. 'd' type algorithm provides a sophisticated learning ability and a set of CATDAP type models. 'd1' employs largely randomized strategy. 'e' type algorithm is a deterministic strategy. 'f0' is an extension of 'd0' with more models some of which require a heavy numerical optimization computation. Details about these algorithms are given in "A study of Janken Data as Two Dimensional Tri-nomial Time Series", Research Memorandum No. 759 of the Institute of Statistical Mathematics (in Japanese).

The name of the files in this package have the form gcp.xm.nn, where 'xm' is the code of the algorithm with which the player fought and 'nn' is the sequential number.

Format of data is simple. A file is composed of three parts divided by lines 'DATASTARTINGLINE' and '-1 -1'. Data between the 'DATASTARTINGLINE' and '-1 -1' is a N x 2 matrix, where N is data length. The first and the second columns of the matrix represent hands of human player and the software, respectively. Here, 1, 2 and 3 denote the 'Stone', 'Scissors' and 'Paper', respectively. Everything above 'DATASTARTINGLINE' and below '-1 -1' are free memo.

A perl script 'batch.prl' is contained. It can be modified to conduct a systematic analysis of data in this package.

As explained above, the 'announcing number' was shown always on the screen. Some games were played with 'post-it' on the number. It is possible that some player may try ato-dashi in some games.

Open Market Licence for data(version:OML-DT-E-1996)

0. In the following, 'Copyright_OML notice' means 'the copyright notice with a statement saying that the said data is made public under this Open Market Licence for data'.
 1. On the condition that 'Copyright_OML notice' and attached statements are copied as they are, all of the said data can be copied or redistributed.
 2. Any portion of the data can be extracted and used freely.
 3. Appropriate reference must be made at times of publishing results of the study of the data.
-

2.3 節の非定常解析の結果を表 2.1 ~ 2.10 としてまとめた。各表において

A 欄 ファイル名

B 欄 ゲーム終了時の得点差

C 欄 「仮想的得点差」である．仮想的得点差は，非定常モデルあてはめを各時点で行って， (G_2, C_2, P_2) を推定し，(10) を最大化する手を出していたとしたら得られたであろう得点差である．相手が戦略を変える効果が入っていないためにここに表れている得点差が実現するはずはないが，相手の手の「読みやすさ」を示す指標になっている．

D 欄 プレーヤーのタイプ. 非定常解析によるデータ全体を定常な区間に分けた結果により：

TYPE-0 $M(0)$ モデルで説明される区間の長さの和が最長である場合

TYPE-1 $\{M(1), M(2)\}$ で説明される区間の和が最長

TYPE-2 $\{M(3), M(4), M(9), M(10), M(15)\}$ で説明される区間の和が最長

TYPE-3 $\{M(5), M(6), M(11), M(12), M(16)\}$ で説明される区間の和が最長

TYPE-4 $\{M(7), M(8), M(13)\}$ で説明される区間の和が最長

E 欄 2.3 節の記号で $n = N$ における k .

F 欄 n_1 時点でプレーヤーのモデル

G 欄 n_1

H 欄 ゲーム終了時点でプレーヤーが従っていたモデル．

表 2.1

A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H
gcp.a0.01	-29	-103	2	3	3	59	4	gcp.a1.01	18	-57	2	3	15	70	2	gcp.c0.01	58	-94	4	2	0	27	7
gcp.a0.02	-7	-116	2	2	5	29	9	gcp.a1.02	37	-193	1	3	2	30	16	gcp.c0.02	47	-46	2	4	3	30	11
gcp.a0.03	6	-127	2	2	15	183	9	gcp.a1.03	20	-268	2	0	4	305	4	gcp.c0.03	26	-42	4	3	15	64	7
gcp.a0.04	12	-109	2	1	3	37	10	gcp.a1.04	37	-45	4	2	1	35	8	gcp.c0.04	69	-55	4	3	15	27	7
gcp.a0.05	21	-95	2	2	9	55	9	gcp.a1.05	-9	-280	1	2	2	105	3	gcp.c0.05	61	-43	3	1	7	79	16
gcp.a0.06	2	-131	2	3	9	100	3	gcp.a1.06	43	-209	1	1	4	72	2	gcp.c0.06	46	-48	4	2	3	54	13
gcp.a0.07	2	-64	2	3	4	116	3	gcp.a1.07	100	-25	0	0	0	100	0	gcp.c0.07	57	-79	3	2	16	27	16
gcp.a0.08	17	-67	2	1	4	72	10	gcp.a1.08	51	-247	1	0	2	247	2	gcp.c0.08	-99	-101	1	0	2	101	2
gcp.a0.09	99	33	0	0	0	104	0	gcp.a1.09	-3	-148	4	3	2	30	7	gcp.c0.09	48	-116	3	1	11	35	11
gcp.a0.10	40	-197	1	1	3	32	2	gcp.a1.10	19	-187	4	1	7	98	7	gcp.c0.10	99	-2	0	0	0	102	0
gcp.a0.11	-19	-351	1	0	2	356	2	gcp.a1.11	2	-163	2	0	10	308	10	gcp.c0.11	66	-208	4	2	5	65	7
gcp.a0.12	-50	-208	1	0	2	208	2	gcp.a1.12	62	-232	1	0	2	232	2	gcp.c0.12	-100	-101	1	0	2	101	2
gcp.a0.13	26	-209	3	2	3	27	4	gcp.a1.13	60	-227	2	0	9	234	9	gcp.c0.13	41	-126	3	1	3	27	11
gcp.a0.14	-29	-242	2	2	9	60	3	gcp.a1.14	40	-278	2	0	4	286	4	gcp.c0.14	63	-170	4	1	9	59	7
gcp.a0.15	13	-121	3	2	9	71	6	gcp.a1.15	48	-258	3	0	16	258	16	gcp.c0.15	56	-152	3	2	3	27	16
gcp.a0.16	36	-146	3	1	6	106	6	gcp.a1.16	6	-205	2	5	2	27	9	gcp.c0.16	-100	-101	1	0	2	101	2
gcp.a0.17	41	-185	1	1	2	31	2	gcp.a1.17	17	-76	2	2	4	145	4	gcp.c0.17	40	-120	4	1	7	98	16
gcp.a0.18	-9	-212	2	1	3	53	9	gcp.a1.18	16	-99	2	3	4	28	10	gcp.c0.18	41	-100	2	3	3	61	16
gcp.a0.19	37	-204	3	1	9	45	16	gcp.a1.19	-7	-104	2	4	9	62	3	gcp.c0.19	48	-116	4	1	7	40	7
gcp.a0.20	50	-186	1	0	2	196	2	gcp.a1.20	16	-73	2	4	7	27	3	gcp.c0.20	-100	-100	1	0	2	100	2
gcp.a0.21	4	-33	4	5	3	27	1	gcp.a1.21	21	-175	2	4	4	27	3	gcp.c0.21	55	-98	3	0	6	170	6
gcp.a0.22	-7	-80	2	5	15	56	3	gcp.a1.22	6	-25	2	2	16	134	4	gcp.c0.22	60	-89	3	2	16	27	7
gcp.a0.23	32	-206	4	0	7	245	7	gcp.a1.23	17	-88	2	2	9	42	7	gcp.c0.23	31	-15	2	4	15	33	1
gcp.a0.24	29	-222	2	0	3	261	3	gcp.a1.24	10	-105	4	2	5	31	7	gcp.c0.24	42	-135	3	1	7	82	16
gcp.a0.25	-44	-218	1	0	2	218	2	gcp.a1.25	5	-170	2	1	9	151	3	gcp.c0.25	90	-126	2	1	15	34	9
gcp.a0.26	13	-197	4	1	3	27	7	gcp.a1.26	14	-179	3	4	5	27	6	gcp.c0.26	38	-200	2	0	10	236	10
gcp.a0.27	23	-237	2	0	3	268	3	gcp.a1.27	46	-254	2	0	4	261	4	gcp.c0.27	50	-96	4	1	8	136	16
gcp.a0.28	97	12	0	0	0	104	0	gcp.a1.28	10	-288	2	1	2	109	3	gcp.c0.28	40	-32	3	2	6	42	6
gcp.a0.29	30	-109	2	1	7	94	4	gcp.a1.29	55	-247	1	0	2	247	2	gcp.c0.29	34	-89	2	1	9	164	4
gcp.a0.30	27	-218	1	2	2	67	3	gcp.a1.30	18	-133	3	4	15	85	4	gcp.c0.30	33	-57	2	1	16	115	4
gcp.a0.31	13	-247	2	0	4	278	4	gcp.a1.31	35	-184	1	3	2	38	2	gcp.c0.31	56	-88	4	1	6	70	7
gcp.a0.32	11	-155	2	5	5	27	3	gcp.a1.32	55	-252	1	0	2	252	2	gcp.c0.32	36	-127	3	1	3	27	16
gcp.a0.33	47	-150	1	2	3	66	2	gcp.a1.33	70	-195	3	0	16	195	16	gcp.c0.33	52	-78	4	1	16	27	8
gcp.a0.34	99	20	0	0	0	101	0	gcp.a1.34	62	-236	1	0	2	236	2	gcp.c0.34	53	-75	4	1	15	33	7
gcp.a0.35	30	-129	2	2	0	27	9	gcp.a1.35	30	-249	2	1	1	27	4	gcp.c0.35	54	-51	4	1	7	53	8
gcp.a0.36	27	-236	3	1	3	89	16	gcp.a1.36	49	-261	1	0	2	261	2	gcp.c0.36	62	-77	4	1	7	68	7
gcp.a0.37	14	-49	1	4	1	91	3	gcp.a1.37	61	-234	1	0	2	234	2	gcp.c0.37	38	-143	2	2	9	55	10
								gcp.a1.38	22	-105	3	1	4	116	6	gcp.c0.38	48	-141	3	1	2	52	5
								gcp.a1.39	18	-119	2	3	16	32	9	gcp.c0.39	51	-139	3	0	11	152	11
								gcp.a1.40	42	-162	2	1	4	90	9	gcp.c0.40	-40	-151	4	2	7	59	7
								gcp.a1.41	13	-97	2	4	9	27	15	gcp.c0.41	63	-80	0	2	11	27	0
								gcp.a1.42	99	-35	0	0	0	104	0	gcp.c0.42	49	-144	3	0	5	152	5
								gcp.a1.43	25	-139	4	0	7	248	7	gcp.c0.43	48	-141	3	1	2	52	5
								gcp.a1.44	6	-77	2	5	3	27	9	gcp.c0.44	100	-1	0	0	0	101	0
								gcp.a1.45	47	-238	2	0	9	261	9	gcp.c0.45	48	-133	3	1	7	69	16
								gcp.a1.46	52	-254	3	0	16	254	16	gcp.c0.46	69	-82	4	0	7	157	7
								gcp.a1.47	50	-213	1	1	9	39	2	gcp.c0.47	56	-104	2	2	9	27	9
								gcp.a1.48	97	-20	0	0	0	109	0	gcp.c0.48	77	-137	2	2	6	52	3
								gcp.a1.49	19	-184	2	4	15	68	9	gcp.c0.49	52	-208	2	0	9	231	9
								gcp.a1.50	53	-252	2	0	4	259	4	gcp.c0.50	81	-181	4	0	7	203	7
								gcp.a1.51	24	-177	2	4	7	31	3	gcp.c0.51	53	-144	3	0	5	149	5
								gcp.a1.52	55	-268	1	0	2	268	2	gcp.c0.52	61	-76	2	4	4	53	5
								gcp.a1.53	98	-21	0	0	0	103	0	gcp.c0.53	88	-2	0	1	3	53	0
																gcp.c0.54	51	-150	4	2	3	33	7
																gcp.c0.55	49	-123	3	2	9	27	16
																gcp.c0.56	52	-109	3	1	7	63	5
																gcp.c0.57	99	-1	0	0	0	104	0
																gcp.c0.58	37	-130	3	1	4	69	16
																gcp.c0.59	49	-112	4	1	9	71	7
																gcp.c0.60	56	-98	4	1	16	38	7
																gcp.c0.61	98	0	0	0	0	102	0

表 2.4

A	B	C	D	E	F	G
gcp.c1.01	-100	-103	1	0	2	103
gcp.c1.02	-21	-23	0	4	9	35
gcp.c1.03	-64	-129	4	0	7	139
gcp.c1.04	-100	-100	1	0	2	100
gcp.c1.05	-11	-113	2	1	3	27
gcp.c1.06	23	-79	2	4	15	36
gcp.c1.07	13	-245	2	3	4	27
gcp.c1.08	21	-28	3	3	16	36
gcp.c1.09	-11	-108	3	5	5	27
gcp.c1.10	-6	-38	3	6	3	27
gcp.c1.11	11	-68	2	4	3	27
gcp.c1.12	-9	-39	2	5	9	27
gcp.c1.13	4	-286	3	0	5	302
gcp.c1.14	19	-49	2	4	1	29
gcp.c1.15	-32	-186	2	0	3	197
gcp.c1.16	31	-208	3	1	0	27
gcp.c1.17	-15	-157	4	2	6	40
gcp.c1.18	-24	-180	2	2	2	32
gcp.c1.19	9	-94	4	1	7	29
gcp.c1.20	-12	-158	2	4	15	111
gcp.c1.21	-4	-198	2	3	3	27
gcp.c1.22	-7	-180	2	3	3	28
gcp.c1.23	50	-84	2	3	3	47
gcp.c1.24	-8	-112	2	4	15	41
gcp.c1.25	44	-220	2	0	3	231
gcp.c1.26	17	-256	3	0	16	271
gcp.c1.27	36	-102	2	3	0	27
gcp.c1.28	56	-22	2	2	0	27

表 2.5

A	B	C	D	E	F	G	H
gcp.c2.01	-15	-95	2	3	16	31	7
gcp.c2.02	-15	-92	2	1	4	68	10
gcp.c2.03	9	-87	4	1	1	54	7
gcp.c2.04	10	-20	4	3	7	66	16
gcp.c2.05	100	0	0	0	101	0	0
gcp.c2.06	17	-172	4	2	16	27	7
gcp.c2.07	3	-110	4	2	7	149	9
gcp.c2.08	-25	-132	4	2	7	65	7
gcp.c2.09	-4	-248	4	0	7	330	7
gcp.c2.10	18	-124	2	5	3	27	7
gcp.c2.11	22	-174	2	2	3	31	10
gcp.c2.12	7	-90	2	4	11	30	9
gcp.c2.13	3	-118	2	3	15	43	3
gcp.c2.14	-5	-94	4	3	1	27	7
gcp.c2.15	-14	-37	2	3	3	36	15
gcp.c2.16	-19	-88	4	3	9	52	0
gcp.c2.17	47	-24	2	3	9	54	0
gcp.c2.18	13	-20	2	5	0	27	3
gcp.c2.19	4	-66	2	5	7	28	4
gcp.c2.20	-14	-4	0	2	3	79	0
gcp.c2.21	9	-19	2	4	15	27	1
gcp.c2.22	15	-149	4	3	5	27	7
gcp.c2.23	14	-61	4	4	7	53	7
gcp.c2.24	15	-149	4	3	5	27	7
gcp.c2.25	12	-161	4	1	7	71	8
gcp.c2.26	8	-141	2	1	7	69	9
gcp.c2.27	11	-192	2	2	15	28	3
gcp.c2.28	1	-43	2	6	15	53	3
gcp.c2.29	-13	-84	3	5	6	91	0
gcp.c2.30	100	1	0	0	0	101	0
gcp.c2.31	100	8	0	0	0	100	0

表 2.6

A	B	C	D	E	F	G	H
gcp.d0.01	-4	-6	4	5	7	27	7
gcp.d0.02	-21	-22	2	4	3	95	9
gcp.d0.03	11	-40	2	2	1	56	10
gcp.d0.04	-42	-29	2	1	7	77	15
gcp.d0.05	-27	-56	2	3	5	53	7
gcp.d0.06	-6	-36	2	2	3	60	10
gcp.d0.07	-64	-83	4	0	7	184	7
gcp.d0.08	-2	-87	2	2	9	54	9
gcp.d0.09	-29	-67	4	5	7	27	11
gcp.d0.10	-24	-69	4	2	7	29	7
gcp.d0.11	-22	-53	2	5	15	43	9
gcp.d0.12	-22	-30	2	5	4	27	4
gcp.d0.13	-3	-10	2	5	4	58	1
gcp.d0.14	-12	-58	2	4	3	76	3
gcp.d0.15	-39	-33	2	4	15	52	4
gcp.d0.16	-16	-59	2	3	9	34	7
gcp.d0.17	-38	-62	2	2	3	28	4
gcp.d0.18	-11	-2	1	4	9	28	1
gcp.d0.19	-43	-69	3	4	6	65	5
gcp.d0.20	-61	-112	2	1	3	66	9
gcp.d0.21	-42	-116	2	1	3	58	9
gcp.d0.22	-96	-119	3	0	16	124	16
gcp.d0.23	-6	-47	2	4	7	58	15
gcp.d0.24	-45	-64	2	2	6	61	4

表 2.7

A	B	C	D	E	F	G	H
gcp.d1.01	57	-76	0	1	3	119	0
gcp.d1.02	-2	-189	4	3	7	27	7
gcp.d1.03	-6	-70	2	4	7	84	9
gcp.d1.04	6	-234	2	1	3	36	3
gcp.d1.05	10	-154	2	2	15	41	3
gcp.d1.06	7	-135	2	0	10	287	10
gcp.d1.07	2	-69	2	1	9	234	7
gcp.d1.08	9	-2	2	1	6	71	15
gcp.d1.09	-34	-54	2	4	4	33	8
gcp.d1.10	20	-54	2	2	3	30	4
gcp.d1.11	3	-293	3	0	5	299	5
gcp.d1.12	-16	-61	2	3	3	27	10
gcp.d1.13	-4	-115	4	2	7	31	8
gcp.d1.14	-18	-38	3	4	6	29	15
gcp.d1.15	-6	-36	2	2	3	60	10
gcp.d1.16	4	-234	3	3	9	53	5
gcp.d1.17	-5	-233	2	1	5	56	9
gcp.d1.18	-8	-105	1	3	3	77	9
gcp.d1.19	15	-60	2	2	11	35	4
gcp.d1.20	12	-245	2	0	3	273	3
gcp.d1.21	-2	-49	2	1	15	153	2
gcp.d1.22	-8	-42	2	5	5	34	9
gcp.d1.23	9	-11	2	4	5	37	3
gcp.d1.24	8	-35	2	4	1	37	4
gcp.d1.25	-3	-51	2	2	7	27	4
gcp.d1.26	-15	-112	2	0	10	259	10
gcp.d1.27	57	-24	0	2	6	58	0
gcp.d1.28	2	-68	2	4	3	47	6
gcp.d1.29	-12	-95	2	2	15	109	4
gcp.d1.30	7	-63	2	3	7	59	4
gcp.d1.31	-5	-127	4	3	7	72	6
gcp.d1.32	-6	-176	2	4	3	27	3
gcp.d1.33	-7	-32	2	4	1	27	0
gcp.d1.34	6	-207	2	0	15	283	15
gcp.d1.35	-30	-56	4	3	7	85	7
gcp.d1.36	6	-34	2	4	12	52	9
gcp.d1.37	8	-46	3	5	11	28	11
gcp.d1.38	22	-175	3	4	16	63	6
gcp.d1.39	-20	-120	3	3	11	57	6
gcp.d1.40	5	-47	2	5	16	40	9
gcp.d1.41	-3	-253	2	0	10	288	10
gcp.d1.42	5	-144	4	0	8	301	8
gcp.d1.43	-5	-280	2	1	3	139	9
gcp.d1.44	-23	-34	2	5	3	72	9
gcp.d1.45	-10	-41	4	5	11	48	7
gcp.d1.46	16	-125	4	1	2	27	8
gcp.d1.47	-29	-257	1	0	2	259	2
gcp.d1.48	-6	-112	2	1	1	29	4
gcp.d1.49	92	1	0	1	1	27	0
gcp.d1.50	31	-89	2	2	15	38	15
gcp.d1.51	-7	-119	2	1	15	251	15
gcp.d1.52	-3	-248	2	0	4	294	4
gcp.d1.53	14	-74	0	7	0	28	2
gcp.d1.54	3	-151	2	4	7	75	9
gcp.d1.55	-20	-70	2	4	9	54	15
gcp.d1.56	5	-75	2	2	3	86	10
gcp.d1.57	1	-183	2	2	3	67	9
gcp.d1.58	15	-73	2	4	4	62	9
gcp.d1.59	74	-48	0	2	7	60	0
gcp.d1.60	-1	-113	2	3	3	139	9
gcp.d1.61	16	-224	4	1	16	27	7
gcp.d1.62	3	-54	2	3	7	57	9
gcp.d1.63	83	12	0	1	7	53	0
gcp.d1.64	24	-253	2	0	3	257	3

表 2.8

A	B	C	D	E	F	G	H
gcp.e0.01	-36	-137	2	5	1	27	1
gcp.e0.02	1	-162	2	0	4	286	4
gcp.e0.03	7	-67	3	5	7	29	11
gcp.e0.04	15	-67	4	1	1	35	8
gcp.e0.05	76	-61	4	1	8	122	0
gcp.e0.06	-4	-64	2	5	5	27	7
gcp.e0.07	3	-277	2	0	4	294	4
gcp.e0.08	7	-50	2	1	15	90	10
gcp.e0.09	8	-60	2	2	10	70	9
gcp.e0.10	8	-81	2	2	7	96	10
gcp.e0.11	19	-58	4	3	2	31	8
gcp.e0.12	11	-96	4	3	5	37	7
gcp.e0.13	-8	-84	2	2	15	50	10
gcp.e0.14	36	-115	4	0	8	236	8

表 2.9

A	B	C	D	E	F	G	H
gcp.e1.01	-19	-59	2	3	9	27	4
gcp.e1.02	-8	-163	2	2	9	114	3
gcp.e1.03	-6	-25	2	6	15	27	9
gcp.e1.04	20	-78	2	4	4	30	4
gcp.e1.05	10	-87	2	3	5	33	4
gcp.e1.06	-2	-128	2	3	9	52	9
gcp.e1.07	-11	-162	2	2	5	67	15
gcp.e1.08	-13	-60	2	5	9	27	7
gcp.e1.09	-8	-79	2	2	4	79	8

表 2.10

A	B	C	D	E	F	G	H
gcp.f0.01	-56	-90	2	1	4	82	4
gcp.f0.02	99	1	0	0	0	101	0
gcp.f0.03	-87	-98	1	1	2	90	3
gcp.f0.04	-63	-99	2	0	10	173	10
gcp.f0.05	-35	-75	2	2	4	183	4
gcp.f0.06	-17	-31	1	1	2	177	15
gcp.f0.07	-6	-19	2	0	15	291	15
gcp.f0.08	-30	-50	4	2	7	121	7
gcp.f0.09	-89	-112	1	1	3	27	2
gcp.f0.10	-65	-102	2	2	4	73	7
gcp.f0.11	-4	-11	2	4	0	31	9
gcp.f0.12	5	0	2	5	9	27	1
gcp.f0.13	-38	-51	3	4	2	44	7
gcp.f0.14	1	-44	2	4	3	27	10
gcp.f0.15	-26	-33	2	3	15	27	9
gcp.f0.16	-39	-49	2	4	11	34	3
gcp.f0.17	-13	-67	2	3	15	53	9
gcp.f0.18	-22	-15	1	4	16	52	1
gcp.f0.19	-30	-65	2	2	15	71	7
gcp.f0.20	-31	-47	3	3	6	63	6
gcp.f0.21	-12	-33	3	3	7	27	15
gcp.f0.22	-15	-23	2	4	9	55	6
gcp.f0.23	3	-19	2	4	9	136	1
gcp.f0.24	-57	-79	2	3	9	52	3
gcp.f0.25	-4	-52	2	4	3	36	3
gcp.f0.26	-36	-28	2	3	9	67	3
gcp.f0.27	-17	-14	4	4	6	32	8
gcp.f0.28	-17	-47	1	7	2	28	5
gcp.f0.29	-10	-50	4	3	15	34	7
gcp.f0.30	-2	-31	2	4	11	48	4
gcp.f0.31	2	-15	2	4	4	98	1
gcp.f0.32	-53	-64	2	3	9	27	7
gcp.f0.33	-59	-79	3	4	15	28	5
gcp.f0.34	-29	-29	2	2	8	87	4
gcp.f0.35	-43	-87	2	4	7	52	3
gcp.f0.36	-53	-57	2	4	3	27	9
gcp.f0.37	-26	-56	2	2	4	38	4
gcp.f0.38	-45	-82	2	3	3	32	15
gcp.f0.39	-7	-31	2	5	5	27	4
gcp.f0.40	-7	-26	2	4	9	91	5
gcp.f0.41	-14	-26	2	4	1	27	8
gcp.f0.42	-20	-16	4	3	16	31	5
gcp.f0.43	-39	-73	2	1	4	92	15
gcp.f0.44	-22	-59	2	4	4	46	4
gcp.f0.45	-24	-38	2	4	3	30	11
gcp.f0.46	5	-40	4	4	1	45	5
gcp.f0.47	-13	-51	2	4	8	85	9
gcp.f0.48	-34	-49	2	5	3	27	3
gcp.f0.49	-28	-1	3	4	1	34	6
gcp.f0.50	-59	-63	2	1	15	58	9

3.2 人間プレイヤーの特性

D 欄の値の頻度分布、E 欄の値の (TYPE-0 の結果を除外した) 平均、F 欄の値の (TYPE-0 の結果を除外した) 平均をまとめたのが表 3, F 欄 と H 欄 の頻度分布をまとめたのが 表 4 である。

表 3. プレーヤーのタイプの分布

	total	a0	a1	c0	c1	c2	d0	d1	e0	e1	f0
No. of data	371	37	53	61	28	31	24	64	14	9	50
TYPE-0	6.7	8.1	7.5	9.8	3.6	12.9		9.4			2.0
TYPE-1	9.7	24.3	24.5	6.6	7.1		4.2	3.1			10.0
TYPE-2	52.3	45.9	47.2	19.7	57.1	45.2	70.8	65.6	57.1	100.0	68.0
TYPE-3	13.7	13.5	11.3	31.1	21.4	3.2	8.3	9.4	7.1		10.0
TYPE-4	17.5	8.1	9.4	32.8	10.7	38.7	16.7	12.5	35.7		10.0
model change	2.2	1.6	1.6	1.3	2.3	2.9	2.9	2.4	2.1	3.3	3.1
first span	88.2	108.1	136.2	76.4	75.6	58.9	60.0	100.8	102.1	50.7	64.1

表 4. Model distribution

model	total			a0		a1		c0		c1		c2		d0		d1		e0		e1		f0	
0	6.2	7.8	10.8	8.1	7.5	7.5	8.2	9.8	10.7	3.6	12.9	22.6				1.6	9.4		7.1			4.0	2.0
1	4.3	3.0	2.7	2.7	3.8			1.6	3.6	3.6	6.5	3.2	4.2	8.3	6.2		14.3	7.1				6.0	8.0
2	9.7	7.8	16.2	18.9	26.4	22.6	9.8	6.6	10.7	7.1						3.1	4.7	7.1				8.0	2.0
3	16.2	11.3	29.7	24.3	1.9	13.2	13.1	1.6	28.6	21.4	12.9	12.9	25.0	4.2	23.4	9.4					11.1	14.0	14.0
4	8.9	11.3	8.1	10.8	18.9	15.1	3.3	3.3	3.6	10.7	3.2	3.2	8.3	16.7	4.7	12.5	14.3	14.3	22.2	33.3	14.0	14.0	
9	10.8	13.2	13.5	13.5	13.2	13.2	11.5	4.9	7.1	14.3	6.5	9.7	12.5	20.8	4.7	20.3		7.1	44.4	22.2	14.0	12.0	
10	1.9	6.5		5.4	1.9	3.8	1.6	3.3		10.7		6.5		8.3	4.7	9.4	7.1	21.4				2.0	4.0
15	9.4	4.3	5.4		5.7	1.9	8.2		10.7		12.9	3.2	8.3	8.3	9.4	9.4	14.3		11.1	11.1	14.0	10.0	
5	5.7	4.0	5.4		3.8		4.9	9.8	7.1	3.6	6.5		4.2	4.2	6.2	3.1	14.3		22.2			2.0	10.0
6	3.8	3.5	2.7	5.4		3.8	6.6	3.3	3.6		3.2		8.3		4.7	6.2						4.0	6.0
11	2.7	2.4					4.9	6.6		3.6	3.2			4.2	6.2	1.6		7.1				4.0	2.0
12	0.3														1.6								
16	5.4	5.4		5.4	9.4	7.5	8.2	18.0	7.1	3.6	6.5	3.2	4.2	4.2	4.7							4.0	
7	13.2	15.1	5.4	5.4	7.5	9.4	18.0	26.2	7.1	14.3	25.8	32.3	25.0	20.8	17.2	7.8	14.3	14.3		11.1	6.0	12.0	
8	1.6	4.0				1.9	1.6	3.3		3.6		3.2			1.6	6.2	14.3	21.4		11.1	4.0	4.0	
13		0.3						1.6															

a0 との対戦記録ではタイプが, 1 あるいは 2 と判定されているプレイヤーが多い. a0 というソフトはもともと相手の手によらずに, 一定の確率で手を出すソフトであることが何らかの形で反映しているかもしれない. 同じことが a1 についてもいえる. 何件か後出しと判定されちるケースが見受けられる. プレーヤーソフト c0 の結果をみると対象的にタイプとして 4 あるいは 3 が多くなっている. これは c0 が学習機能をそなえ, a0, a1 に対すると同じような戦略をとっていると, ほぼ確実に負けるために, プレーヤーが異なる戦略をとった結果と思われる. 全体を通してどちらか一方, 100 点に達するほぼ 300 回のジャンケンを通して一定のモデルを続けるプレイヤーはほとんどなく, 平均 2.2 回戦略を変えている. 最初のモデルが続く長さの平均は 88.2 であり, 100 に達していない場合が多い.

表 5 に f0 との対戦記録の途中経過を示した. これを見ると, どちらかが 30 点に達するまで, というルールでゲームを行えば, 「統計的解析」に耐えるデータが得られて, それに基づいて相手に勝ちに行く事が可能と思われる.

表 5. f0 との対戦記録の途中経過				
	10 点まで	20 点まで	30 点まで	100 点まで
1	8:10	11:20	15:30	44:100
2	10:1	20:1	30:1	100:1
3	2:10	2:20	2:30	12:100
4	6:10	10:20	10:30	37:100
5	10:3	19:20	26:30	65:100
6	8:10	20:16	25:30	83:100
7	10:9	20:15	30:28	94:100
8	10:7	20:13	26:30	70:100
9	4:10	11:20	11:30	11:100
10	6:10	8:20	8:30	35:100
11	7:10	20:16	27:30	96:100
12	10:9	15:20	26:30	100:95
13	9:10	18:20	23:30	62:100
14	10:6	20:13	30:27	100:99
15	7:10	16:20	20:30	74:100
16	7:10	11:20	14:30	61:100
17	10:9	20:17	26:30	87:100
18	7:10	16:20	17:30	78:100
19	2:10	18:20	22:30	70:100
20	9:10	14:20	18:30	69:100
21	10:5	20:17	30:25	88:100
22	8:10	20:17	27:30	85:100
23	5:10	20:19	27:30	100:97
24	10:9	20:19	27:30	43:100
25	8:10	17:20	26:30	96:100
26	6:10	14:20	17:30	64:100
27	10:7	12:20	23:30	83:100
28	5:10	16:20	26:30	83:100
29	10:7	20:17	30:29	90:100
30	4:10	20:19	26:30	98:100
31	8:10	13:20	24:30	100:98
32	6:10	15:20	23:30	47:100
33	1:10	10:20	19:30	41:100
34	10:9	20:18	30:28	71:100
35	7:10	13:20	19:30	57:100
36	8:10	12:20	16:30	47:100
37	6:10	13:20	23:30	74:100
38	8:10	10:20	18:30	55:100
39	10:6	20:11	30:25	93:100
40	4:10	12:20	16:30	93:100
41	10:6	14:20	23:30	86:100
42	8:10	19:20	26:30	80:100
43	10:3	18:20	24:30	61:100
44	7:10	20:19	30:27	78:100
45	3:10	15:20	20:30	76:100
46	10:7	20:18	30:23	100:95
47	7:10	17:20	25:30	87:100
48	0:10	4:20	9:30	66:100
49	5:10	15:20	21:30	72:100
50	3:10	5:20	9:30	41:100
勝負	16:34	17:33	9:41	6:44

3.3 ジャンケンソフトの性能

B 欄の値を集計して表 6 を得た .

表 6. 得点差 $M_1 - M_2$ の分布										
得点差範囲	プレイヤーチン									
	a0	a1	c0	c1	c2	d0	d1	e0	e1	f0
105:****										
94: 104			.07	.07		.04				
83: 93										.04
72: 82										
61: 71				.04		.08				.04
50: 60	.03									.12
39: 49	.03		.02			.21				.08
28: 38	.05			.04		.08		.07		.15
17: 27	.03			.07	.06	.21	.06		.11	.17
6: 16	.08	.04		.29	.16	.21	.19	.07	.56	.19
-5: 5	.08	.06		.07	.19	.12	.31	.21	.11	.19
-16: -6	.19	.17		.11	.35	.04	.25	.43	.11	
-27: -17	.16	.23	.02	.14	.10		.05	.07	.11	
-38: -28	.16	.08	.11	.07			.02			
-49: -39	.08	.13	.25	.03	.03			.07		
-60: -50	.03	.15	.28	.07			.03			
-71: -61		.08	.13							
-82: -72			.03				.02	.07		
-93: -83			.03				.03			
-104: -94	.08	.08	.07		.10					.02
****: -105										
データセット数	37	53	61	28	31	24	64	14	9	50

f0 がかなり強いソフトである事が分った . ある手を出す確率が他の手の 2 倍 , あるいは半分という片寄は , 比較的すぐに察知されるようである . $H(r)$ 戦略の r の取り方の手掛かり得られたがこれに関して何らかの「理論」が有り得るかどうか目下のところ不明である . deterministic プレーヤーがそれほど弱くないのは意外であった .

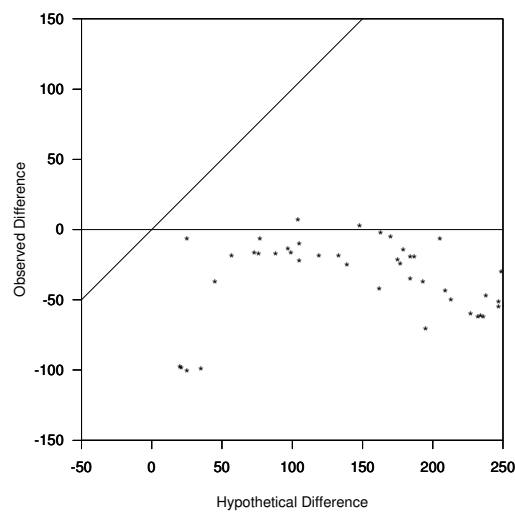


図. 3.1 a1 の対戦結果

たて軸が実際の得点差，ソフトの得点 マイナス 人間の得点, である．ほとんどの点が得点差 0 を示す水平線より下に分布している事が a1 の弱さを示している．横軸は「仮想的得点差」であり，2.3 節の手法で読みやすい相手に対しては大きな値をとる量である．

点の分布が右のはしで下がっている．これは，a1 に対して効率のよい戦略であるほど 2.3 節の手法で読みやすい戦略になる事を示している．左下の数個の点は，表 2.2 の中で「あと出し」(TYPE-0) と分類されているデータによるものである．

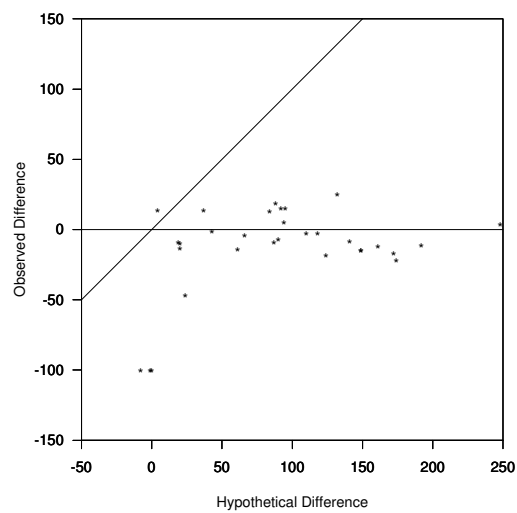


図. 3.2 c2 の対戦結果

得点差 0 の線の下上に点がちらばり、C2 プログラムがほぼ互格に人間と戦っている事が分かるが、分布が右に延びて c2 が相手の弱点を十分に利用していない事を示している。

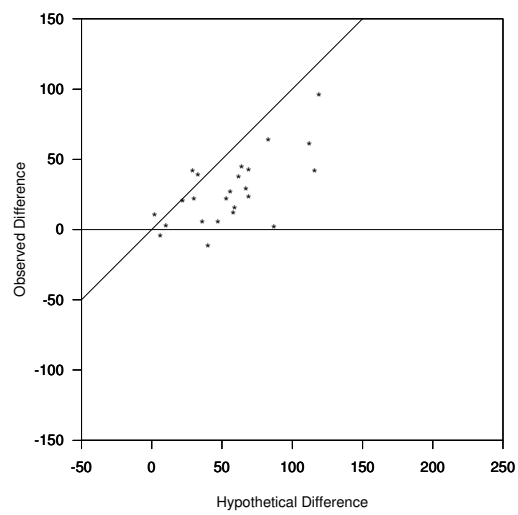


図.3.3 d0 の対戦結果

図 3.3 は d0 がかなり強いプログラムである事を示している .

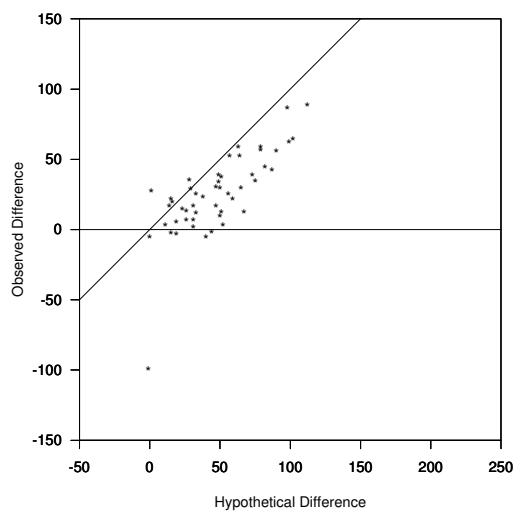


図.3.4 f0 の対戦結果

f0 はかなり強い．0 を通る傾き 1 の直線の近くに点が集まっている事は相手の手の予測がかなり良くあたっている事を反映している．直線の下に点が集まっているのは「ランダムイズ戦略」その他の影響によって，「仮想的得点差」が実現不可能である事に由来する．左下にプロットされた点に対応する試合の相手は，この f0 ソフトでは読み切れない戦略をたてていたプレーヤーである．なお，完全ランダムなプレーヤーとの対戦の結果は原点 (0,0) を中心とする分布になるはずである．

4 謝辞

そもそも，ジャンケンに眼をむけさせて下さったのは，統計数理研究所の村上征勝教授である．心からお礼申し上げたい．開発にあたって主に IBM の並列計算機を使用したのが，IBM の大澤さん，増田さんのサポートに感謝したい．統計数理研究所の丸山さんには貴重な文献を紹介いただいた．なお，実験にご協力いただいた方々，これからおつきあい頂く方々にも感謝申し上げる．

References

- [1] かこ さとし, (1970), しらないふしぎなあそび, かこ さとし・あそびの本 5 童心社.

[2] 清水 義範, ジャンケン入門, 天山出版.

[3] 高橋秀俊 (1974). 「虎穴に入らずんば虎子を得ず」, 数理の散策, 日本評論社, pp.35-38.

A ジャンケンソフト

A.1 ランダム戦略

添字の 1 と 2 がそれぞれ「コンピュータソフト」と「人間」を指すものとする. 各時点 j における戦略 (G_{1j}, C_{1j}, P_{1j}) を決める手続きを決めればジャンケンソフトが出来る. たとえば, 固定した戦略 (G_1, C_1, P_1) をとるのも一つの方法である. 相手の戦略 (G_2, C_2, P_2) が分れば, プレーヤー 1 と 2 の得点の差の期待値

$$E\{M_1 - M_2\} = G_1 \times (C_2 - P_2) + C_1 \times (P_2 - G_2) + P_1 \times (G_2 - C_2) \quad (10)$$

を大きくするように (G_1, C_1, P_1) をとるべきである. $(C_2 - P_2), (P_2 - G_2), (G_2 - C_2)$ のうち $(C_2 - P_2)$ が最大であればグーを出すのが「最適」戦略ということになる. この戦略をランダム化するには, たとえばグーを出す確率をランダム戦略 $H(r)$:

$$G_1 = \frac{\exp\{(C_2 - P_2)/r\}}{\exp\{(C_2 - P_2)/r\} + \exp\{(P_2 - G_2)/r\} + \exp\{(G_2 - C_2)/r\}}$$

.....

```
\defmy{RANDOM}
```

とすれば, $r \rightarrow 0$ の極限で確定値をとり, $r \rightarrow \infty$ の極限で完全ランダム戦略となる. この戦略と相手の次の戦略 (G_2, C_2, P_2) を「予測」する手続きを組み合わせることによってジャンケンソフトが構成される.

表 7. プレーヤルーチン

code	memo
a0	$(G_1, C_1, P_1) = (0.25, 0.25, 0.5)$
a1	$(G_1, C_1, P_1) = (0.4, 0.4, 0.2)$
c0	$M(2) + H(0)$
c1	$M(2) + H(0.25)$
c2	$M(2) + H(0.5)$
d0	$MAICE(1, 2, \dots, 8) + H(0.5)$
d1	$MAICE(1, 2, \dots, 8) + H(15.0)$
e0	deterministic player {GPPGPGCCCC}
e1	deterministic player {GPPGPGCCCCPGC}
f0	$MAICE(1, 2, \dots, 13, 15, 16) + H(0.5)$
d0++	$MAICE(1, 2, \dots, 13) + H(0.5) +$ 後出し診断
x	後出しプレーヤ, 交互に勝と負になる.

表 7 中の c0, c1, c2, d0, d1, f0 がこの種のものである。a0 と a1 は固定戦略型であり，c0, c1, c2 はいずれも定常モデル M(2) を仮定して相手の戦略を推定するソフトであり，a0 あるいは a1 と対戦すれば勝てるはずのものである。d0, d1, f0 はいずれも非定常モデルにもとづくソフトであるが，考慮するモデルの範囲とランダム戦略のパラメータが異なる。e0 と e1 は「決定論的プレーヤー」で同じ手を循環させる。人間が循環気付く過程への興味から用意したモデルである。

d0++ は d0 にモデル M(0) の AIC を利用して，人間の「後出し」を監視する機能を付加したものである。モデル M(0) は相手の手の予測には使えない。M(0) モデルが選ばれた時は，まず AIC の値が第 2 位のモデルによって手を選択する。M(0) と第 2 位のモデルの AIC の差が所定の値 $Q(=5.0)$ を越えていると「後出しチェックモード」に入り完全ランダム戦略に切り換える。論理的な手の選択では相手に読まれる可能性を排除できないからである。

A.2 ゲーム設計

ゲームソフトとして完結させるには，得点の与え方とゲーム回数を決める必要がある。

回数 $M_1 - M_2$ の分散は

$$V = G_1(C_2 + P_2) + C_1(P_2 + G_2) + P_1(G_2 + C_2), \quad (11)$$

標準偏差は $\sigma = \sqrt{V}$ となる。 $G_1 = C_1 = P_1 = 1/3$ または $G_2 = C_2 = P_2 = 1/3$ の少くとも一方が成り立っている場合

$$V = \frac{2}{3} \quad S = \frac{\sqrt{6}}{3} = \frac{2.43}{3}$$

となり， $N = 400$ の時

$$\frac{20 \times 2.43}{3} = \frac{48.6}{3} = 16$$

であるから，400 回ジャンケンした場合の 32 点差位までは特に強弱によらないと考えてよい。

少し一般化して

$$\begin{aligned} G_2 &= \alpha \\ C_2 &= P_2 = \frac{1-\alpha}{2} \\ P_1 &= \alpha \\ C_1 &= G_1 = \frac{1-\alpha}{2} \end{aligned}$$

とすると

$$E\{M_1 - M_2\} = C_1 \left(\frac{1-\alpha}{2} - \alpha \right) + P_1 \left(\alpha - \frac{1-\alpha}{2} \right) = \left(\frac{3\alpha-1}{2} \right)^2 \quad (12)$$

であり，

$$\alpha = \frac{1}{3} + \beta$$

とすると

$$E\{M_1 - M_2\} = \left(\frac{1+3\beta-1}{2} \right)^2 = \left(\frac{3\beta}{2} \right)^2 = \frac{9}{4}\beta^2 \quad (13)$$

となる。 $\beta = 1/10$ とすると $E\{M_1 - M_2\} = 9/400$ であり， $N = 400$ で $E\{M_1 - M_2\} = 9$ となる。 $N = 400$ 程度のゲームの結果でプレーヤーの強弱を判定してよさそうに思える。実際問題として，これ以上の回数をプレーさせるのは人道的に不可能であろう。

配点 アイコの時の得点を 0 とするのは当然であるが, k 回アイコが続いたあとの勝ちの得点を $(k+1)$ とするというルールにすると, 得点の分布はアイコの状況に依存して

表 8.

アイコの連続回数	その確率	得点差
0	$(2/3)^2$	1
1	$(1/3)(2/3)^2$	2
2	$(1/3)^2(2/3)^2$	3
k	$(1/3)^k(2/3)^2$	$(k+1)$

この場合, ある回得られる得点差の期待値は 0, 分散 V は

$$\begin{aligned}
 V &= \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{1}{3}\right)^k \left(\frac{2}{3}\right)^2 (k+1)^2 = \frac{4}{3} \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{1}{3}\right)^{k+1} (k+1)^2 = \frac{4}{3} \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{r=1}^n \left(\frac{1}{3}\right)^r r^2 \\
 &= \frac{4}{3} \lim_{n \rightarrow \infty} S_2 \left(\frac{1}{3}\right) \\
 &= \frac{4}{3} \frac{\frac{1}{3} \cdot \frac{4}{3}}{\left(1 - \frac{1}{3}\right)^3} = \frac{4^2}{3^2} 3 \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^3 = \frac{4^2}{2^3} = 2
 \end{aligned}$$

と計算され, もとの配点では分散 0.8 程度であるからこちらの方がギャンブル性が高くなる. ここで, 級数

$$S_k(x) = \sum_{r=1}^n r^k x^r$$

に関する公式

$$S_{k+1}(x) = x \frac{d}{dx} S_k(x)$$

を使った.

A.3 グラフィカルインターフェイス

じゃんけんゲームのユーザー・インターフェイスは以下の事を目標として開発した.

1. 小中学生にもわかりやすいインターフェイスであること.
2. 計算機が後出ししていないことを証明できること.
3. スーパーコンピュータ (IBM 並列計算機) と対戦できること.
4. 開発が容易なこと.
5. エンジン部分とインターフェイス部分がある程度独立していること
6. PC 上でも動くこと.

1 の条件から GUI を採用した。結局 GUI としては「グー」「チョキ」「パー」のボタンを画面上に図 2 に示した形に配置し、その上をクリックする事でプレーヤの手の選択をするようにした。2 に関してはインターフェイスとして「マウス」を使用したため、人間同志のジャンケンのように 2 者が同時に手を出すようにするのは不可能であるため、画面上の目立たない位置にソフトの次の手を予告する数値を表示してコンピュータが後出しをしていない証とした。このことによって、人間による「あと出し」が可能となっている。

3 に関することはやや厄介であった。2 つの選択肢を考えた。

解決法 A：計算のみをスーパーコンでやらせて、端末上で、別のクライアントプログラムを動かす、そこで、GUI を構築する。

解決法 B：GUI を X のプログラムとして作り、両方をスーパーコン上で動かす。ただし、実際の操作は PC 上に Window を開いて行う (X サーバソフトを使用)

スマートな方法は A であると思われるが、4 の制約もあり、うまく行かないリスクもあった。たとえば、毎回、ユーザーの手とコンピュータの手を瞬時にネットワーク上でやり取りしなければならない。今回は B の無難な選択肢を選んだ。しかしながら、X のプログラミングは容易なものではなく、また、6 の PC 上で動かすことを考えると、共通に動く何らかのアプリケーションの上で開発するのが早道であると考え、R と呼ばれるフリーのソフトウェアを使うことにした。この R については詳しくは <http://www.ci.tuwien.ac.jp/R> を参考にさせていただきたいが、要は S 言語と互換性を持つアプリケーションである。ソースが公開されているので、統計数理研究所のスーパーコンでも利用可能であった。インストールにはやや手間取ったが、問題なく動いた。また、PC でも利用ができる。よって、本プログラムはインターフェイス部分は R で書かれ、エンジン部分は C 言語で書かれたモジュールを R から呼び出すことになった。今回 R で用いた機能は主に次の 2 つである。

1. あるイメージ (絵など) や文字を Window 上に表示する。2. ユーザーが Window 内をマウスでクリックするとその座標を取得する。

この 2 つを組み合わせると GUI を構築した。今回のプログラム作成で一番面倒だったのが並列処理であった。実は R 自身も複数のプロセッサで動いており、互いに通信しながら動作するように設計した。また、今回は、あるプロセッサで GUI の処理をやり、残りで実際の計算をこなすという仕組みにしたため、より複雑になった。

A.4 入出力ファイル

このソフトは表 9 にまとめたファイルを参照する。

表 9. ファイル

入力 専用		
1	janken.cnf	
2	janken.par	
出力 専用		
3	janken.n.rec	ログ採取用。無限にサイズ増大 (適宜吸い上げる必要あり)
4	summary.txt	サイズ 有限 (小) 「画面」を作るための情報を集約
入出力		
5	total.txt	累積得点 (1 行)

1. janken.cnf 実例

```
1 30 1
```

マシン番号 (1 ~ 20)、ゲーム回数、「日経 2000 モード」(1)、
その他 (0))

マシン番号は画面に表示される。

2. janken.par 実例

pc_character	マシン番号で区別される各 PC の「個性」
20	PC 台数
1 0 0 0	PC 番号 i j k プレーヤルーチン
2 0 0 1	i =0 e0
3 1 0 1	1 e1
4 1 0 0	j=0 a0
5 0 1 0	1 a1
6 0 1 0	k=0 c2
7 0 0 0	1 c1
8 0 0 1	
9 1 0 1	
10 1 0 0	
11 1 1 0	たとえば、マシン番号 11 又は 12 の PC では
12 1 1 0	e1, a1, c2 が走る
13 0 1 0	
14 0 1 0	
15 0 1 1	たとえば、マシン番号 15 又は 16 の PC では
16 0 1 1	e0, a1, c1 が走る
17 1 1 1	
18 1 1 1	以上は、会場に複数の PC をおいて
19 1 1 0	プレーヤソフトのパラメータ設定の違い
20 1 1 0	の効果を調べるために用意された機能である。
d_factor	非常用 . 1 に固定
1.0	
randomize_factor	非常用 . 1 に固定
1.0	
dead_time	2.3 節 L
50	
break_cost	2.3 節 W
2.0	
weight_factor	a0, a1 ルーチンパラメータ
2.0	
loop_length	e0, e1 ルーチンパラメータ
9	

3. janken.x.rec /ログファイル 実例

RESET:jankend	janken.x.rec の x はマシン番号
100. 6.13 16:41:43	(janken.cnf の最初の数値)
BK: 3 3	左が人間, 右がコンピュータ
BK: 3 1	1 = グー
BK: 2 2	2 = チョキ

```

BK: 1 2          3 = パー
BK: 1 1
BK: 3 1
BK: 1 1
BK: 3 3
BK: 3 3
BK: 1 1
BK: 3 1
BK: 2 1
BK: 2 2
BK: 2 2
途中省略
BK: 2 1
-1 -1
point = 79 vs. 100
hensa_chi = 35

```

4. summary.txt 実例

```

INFO:2
HANDS:(3:2)
WINNER:1
HENSA_TI: 31
POINT:(16:30)
TOTAL POINT:(2180:3312)
HYPO-POINT:(22:29)
DATA:76
  1 4(3-76)<142.313080/0>
ATODASI MARKER:0(-11.19)
MODEL CHANGE:0
LAST DATA:74
LAST MODEL:4
DIAGNOSIS MODEL:4
PATTERN:4
TYPE:2

```

	グー	チョキ	パー
グー の後で	4	15	0
チョキ の後で	14	9	12
パー の後で	1	10	9

```

COMMENT:
君はゴーイングマイウェイタイプじゃな。
グー のあとで パー が 無いのが目立っとる。

```

5. total.txt 実例

B 統計科学の教材としてのジャンケン

プレイヤー 1 と 2 がジャンケンをして勝った方に 1 点を与えとした時の 1 と 2 の得点の差の期待値 (10) は $G_1 = C_1 = P_1 = 1/3$ あるいは $G_2 = C_2 = P_2 = 1/3$ の少くとも一方が成り立てば $E\{M_1 - M_2\} = 0$ である。

これはジャンケンに関して最も基本的な「必勝法が原理的にあり得ない」という事を示している。対戦相手がいかなる戦略をとろうとも自分の手を完全に等確率で出しさえすれば、勝、負の確率を等しくできる。これはサイコロなげ、コイン投げ等に比べてジャンケンが最も「公平」なギャンブルである事を意味している。コイン、サイコロに関しては用意された道具が正しいものでなかった可能性を主張できるが、ジャンケンに関しては相手に文句を言うのは筋違いである。全責任を自分で負わなければならない。もちろん「後出し」がないものとしてである。

その一方で、相手が分布に偏りのある確率変数発生機であり、それがいかなる偏りを持っているか知っており、無限回の試行が可能であれば確率 1 で「勝てる」という事も明らかである。

相手が人間であれば、その「手」の分布に偏りがあると期待されるが、どのように偏っているか未知であるのが普通である。この場合、まず相手のクセを見抜き、そのクセに乗じて勝ちにいくというのが論理的である。つまり、ジャンケンというゲームは相手の確率的構造の把握とそれにもとづく行動決定のゲームであり、統計科学の実践の好例と見なすことができる。ことばの対応を表 9 にまとめておいた。

表 10. ジャンケンと統計科学

ジャンケン	統計科学
クセ	(条件付き) 分布, マルコフ性
クセを見抜く	モデルのあてはめ, 評価
クセに乗じて ...	不確実性のもとでの行動決定
クセの種類と分布の把握	メタ・アナリシス

B.1 子どもプラン

昨年、統計数理研究所が取り組んだ「子供プラン」のなかで参加者に計算機を相手の「ジャンケン」をしてもらってデータを取り、「癖」の解析と適切な戦略の選択などを手掛かりに統計科学への手引をするという企画を実施した。「じゃんけんゲーム」はほぼ 2 時間を使い、20 台の PC を 40 人の参加者に操ってもらいながら、「マルコフ過程」というようなテクニカルタームの初歩的な解説をまじえて、表 2 にまとめたプレイヤールーチンとの対戦を行ってもらった。

プログラム

I. 練習

1. PC と GUI の扱い方説明
 - スーパーコンピュータについて説明 (OHP)
 - 後出しについて説明 (x-プレイヤールーチンを使用)
2. 偏りモードでゲーム (a0,a1-プレイヤールーチンを使用)
 - 「じゃんけん公式」と最適戦略について説明
3. 学習モードでゲーム (c0, c1, c2-プレイヤールーチンを使用)
 - ランダム戦略と乱数について説明

II. 予選 (d1-プレイヤールーチンを使用)

1. ゲームのルール説明
2. 試合
3. 順位発表

III. スーパーコンピュータ対戦 (f0-プレイヤールーチンを使用)

1. 上位 3 名はスーパーコンピュータ, その他大勢は PC
2. ゲームのルール説明
3. 試合
4. 順位発表

IV. スーパーコンピュータ見学

B.1.1 OHP

司会にあたって使用した OHP 6 枚 .

OHP 1 枚目

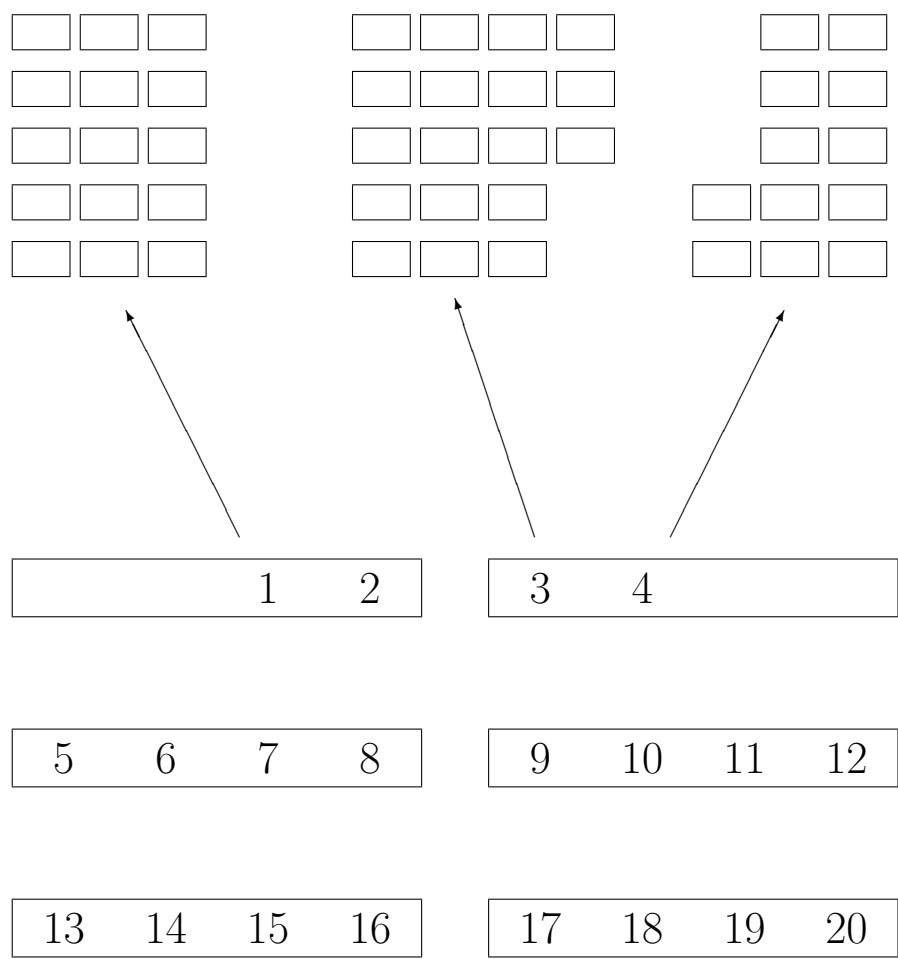
はじめまして!!

AA BB です .

よろしくおねがいします .

OHP 2枚目

スーパーコンピュータ



OHP 3枚目

ジャンケン公式

$$E = G \times (c - p) + C \times (p - g) + P \times (g - c)$$

E = わたしの「もうけ」

G = わたしが「グー」を出す確率

C = わたしが「チョキ」を出す確率

P = わたしが「パー」を出す確率

g = あなたが「グー」を出す確率

c = あなたが「チョキ」を出す確率

p = あなたが「パー」を出す確率

もしも、

$$g = 20\%$$

$$c = 50\%$$

$$p = 30\%$$

だったら、

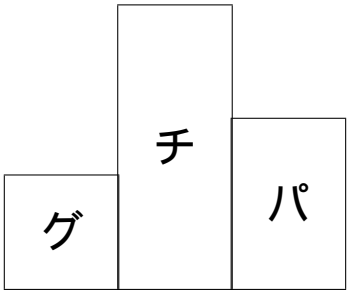
$$E = G \times 0.2 + C \times 0.1 - P \times 0.3$$

OHP 4枚め

度数分布で確率を知る

チチパパグチパチグチ

ググ
チチチチチ
パパパ



パチパチパチパチパチ

	チ	パ
--	---	---

マルコフ過程

チググパチグググパチグチググパパパパチチグチパチグパチパチグググパチグググパチチパググパチグ
グチチパパチチチパチパパパパチチググパパ

度数分布

ググググググググググググググググググググググ
チチチチチチチチチチチチチチチチチチチチ
パパパパパパパパパパパパパパパパパパパパパ

グ	チ	パ
---	---	---

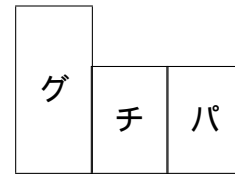
「グー」の後の度数分布

グググググググググググ
チチチ
パパパパパパパパ

グ	チ	パ
---	---	---

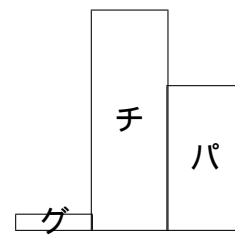
「チヨキ」の後の度数分布

ググググググググググ
 チチチチチチ
 パパパパパパ



「パー」の後の度数分布

グ
 チチチチチチチチチチチ
 パパパパパパパパ



OHP 6 枚目

ジャンケンはこれでおわり．

おつきあいありがとうございました．

B.1.2 配布資料等

ジャンケンゲーム

1. マウスを使います．以下「クリック」というのはマウスの 左ボタンを押すことです．
2. マウスマークには位置を分かりやすくするように縦線、横線をつけています．
3. 左上の「プログラム停止」の位置でクリック しないでください．再起動しなければならなくなります．
4. 右上の A,B,C,D,E,F,X のどれかをマウスでクリックすることによってあなたの相手をするソフトが切り替えられます．選択されているソフトは文字が 青で表示されます．ゲームの途中でクリックするとポイントがリセットされて 0 点にもどります．司会者の指示に従って切り替えて下さい．
5. 画面の下にグー、チョキ、パーがマークで表示されています．そのマークの上、あるいははその近くの範囲以内をクリックすると、その「手」が選択されます．
6. 「手」を選択した場合に赤いわくがでますが、それが消えるまで待つて次の手を選択してください．消えないうちのクリックは無視されます．「手」を選択すると上方にコンピュータの手が表示され、どちらが勝ったか判定が出ます．
7. 勝った側に 1 点のポイントが加えられ左上に表示されます．
8. ポイントの表示は得点されるたびに延びていき、右の方にある縦線のところまで先に到達した方が 勝ちです．
9. クリック 30 回ごとに画面が一度消えて書き直されます．あまり気分よくありませんが、ソフトの都合上ちょっと待つて下さい．
10. しばらくマウスを操作しないしていると画面が消えます．その後、画面が再び表れた時にもとの状態の画になるまでにいままでの手が繰り返されて表れる形になっています．そのつもりで見て下さい．
11. 分からないことがあったら手をあげて下さい．

司会者用メモ

- A をクリックして始まるゲームはコンピュータの点の確率がたよりを持っている場合．実は人間の手を見ていないので、ある手を出し続ければ勝てるはず．
- B をクリックして始まるゲームはコンピュータが人間の手の分布を学習して自分の手を決めるゲーム．人間が同じ手を出し続けると必ず負ける．ただし、最も良い手を選択するように作られているので一旦、相手の手についてある分布を正しいと思うと、同じ手を出し続けるというおろかな行動を示す．このプログラムに勝つのはさして難しくない．
- C というキーで選ばれるプログラムは人間の手の分布を学習し、自分の手をランダム化します．従って、人間には自分の手がばれているかどうかすぐには分らない．このプログラムはかなり強い．

- D というプログラムは人間のいろいろなクセのパターンを認識する機能を持っている。このプログラムはかなり強いはず。
- E で始まるゲームは同じパターンを繰り返す。このパターンを見破れば勝つのはなんでもない。
X で始まるゲームは後だしモードです。人間とコンピュータが交互に勝つように出来ている。コンピュータが後だしをするように作るのとはわけがないことなので、コンピュータとゲームをする場合には気をつける必要がある。
- A をクリックすると 1 回目は出ないが、2 回目以降 右下をよく見ると 1 か 2 か 3 の数字がでている。しばらくこの数字がどういう意味をもっているのか考えてもらう。この数字は実はコンピュータが次に出す手を予告している。この数字を手がかりに手を選べ、「後だし」出来る。これ以後のゲームに関してはこの部分を見ないでやるようお願いする。どうしても気になるという場合にはこの部分に postit を貼るのがよい。

ルール

予選

1. 「コンピュータの手の予告」の上に紙をはる .
2. 全員がゲーム終了した時点で順位をつける .
3. 順位は「あなたのポイント」－「コンピュータのポイント」でつける .
4. 同点の場合はジャンケンで決める .

決勝戦

1. 「コンピュータの手の予告」の上に紙をはる .
2. 予選成績上位者 3 名がスーパーコンピュータと対戦
3. 4 位以下 17 名が PC と対戦
4. 順位は「あなたのポイント」－「コンピュータのポイント」でつける .
5. 同点の場合はジャンケンで決める .
6. 3 位入賞までの方に , ジャンボポスター進呈 .
7. 5 位入賞者まで研究所ホームページに写真掲載 .

予選成績

お名前：

あなたのポイント：

コンピュータのポイント：

決勝戦成績

お名前：

あなたのポイント：

コンピュータのポイント：

じゃんけんゲームについての
アンケート

(机の上に置いて帰って下さい)

Q1. PC 番号

Q2. お名前

Q3. 各ゲームの得点

ゲーム	得点 (1 回目) あなた：コンピュータ	得点 (2 回目) あなた：コンピュータ	感想
A	:	:	
B	:	:	
C	:	:	
D	:	:	
E	:	:	
F	:	:	
X	:	:	

Q4. 次のいくつかのキーワードについての説明は

- スーパーコンピュータ
 - ・ (何となく) 分った
 - ・ (さっぱり) 分らなかった
- ジャンケン公式
 - ・ (何となく) 分った
 - ・ (さっぱり) 分らなかった
- 度数分布
 - ・ (何となく) 分った
 - ・ (さっぱり) 分らなかった

- マルコフ過程
 - ・ (何となく) 分った
 - ・ (さっぱり) 分らなかった
- ランダム
 - ・ (何となく) 分った
 - ・ (さっぱり) 分らなかった

Q5. 全体としての感想

(裏にもどうぞ)

B.1.3 準備作業

1999 年 11 月の場合	事項
18(木)	会場配置決定
19(金)	じゃんけんソフトテスト
22(月, 午前)	パソコン搬入
22(月)	会場設営
22(月, 夜)	ソフトインストール
24(水, 午前)	ソフトテスト
24(水, 午後), 26(金, 午後)	予行練習
26(金, 夜)	設営・点検等
27(土)	受付, 写真とり, じゃんけんゲーム
29(月)	設営解除

1999.11.12 の設定 PC 配置は司会側から見て

```

20 19 18 17      16 15 14 13
12 11 10 09      08 07 06 05
-- -- 04 03      02 01 -- --

```

会場係用 マニュアル (version-1/1999.11.22)

仕事の内容

- PC へのソフトインストール + メンテナンス
- PC からデータの回収
- 当日の消耗品の用意とあとかたづけ
- 当日のトラブル処理

1. 事前の作業

- PC へのソフトのインストール
 - ジャンケンソフト
- PC へのファイルの書き込み
 - janken.par
各マシン共通

- janken.cnf

マシンごとに違う．画面上に表示される数値と机に添付してある数字が一致しているかどうかで確認できる。

- 消耗品の用意

- プレーヤー用マニュアル (30 枚)
- 試合成績表
- 試合のルール
- アンケート用紙 (40 枚)
- メモ用紙 (40 セット)
- 鉛筆 (40 本)
- ポストイット (ひと束)

2. パラメータ変更時の作業手順

janken.par を全マシンについて新しいもので書き換える。この設定が正しく行われているかの確認はファイルを読まないといけないので間違えないようにマシンごとにリストをチェックしながら作業のこと。

3. 開始時の作業 (各マシン毎に)

- プレーヤー用マニュアル配付
- アンケート用紙 (2 枚ずつ) 配付
- メモ用紙 (2 セットずつ) 配付
- 鉛筆 (2 本ずつ)
- ポストイット PC のモニターの右上の角に 2 枚ずつ添付
- PC 番号の確認

4. ゲーム中の作業

各参加者の様子がよく見える位置に立って適宜援助．(司会者はなにか困ったことがある時は手を挙げるように言います．)

5. 終了時の作業

- janken.n.rec の回収 (n は PC 番号)
- アンケート用紙の回収

各マシンから回収する。確実に回収することと、回収前に削除しないことに注意のこと。回収後、削除せずに名前を付け変える。さらにこの際、アンケート用紙も回収のこと。そのアンケート用紙に PC のナンバーが正しく記入されていることを確認。回収したファイルを納めたディスクには

janken.x.rec yyyy.mm.dd

と明記したラベルをはり司会者に．(yyyy.mm.dd は日付)

チェックリスト

日付

作業者

PC 番号	事 項				
	janken.cnf の設定	janken.par の設定	開始時の確認	janken.rec の回収	
#1					
#2					
#3					
#4					
#5					
#6					
#7					
#8					
#9					
#10					
#11					
#12					
#13					
#14					
#15					
#16					
#17					
#18					
#19					
#20					

B.1.4 反省点など

1. 予選の集計，決勝出場者決定がスムーズにいなかった．採点票を2部作ってもらって手もとに残してもらえば「...点」以上の人，でアナウンスできるが...なかなか難しい問題である．
2. メモをとりながらじっくりと取り組むプレーヤーがいた．集団のなかでこれをやられるとたいへん．それ自体はいいことなのだ．
いくつか(統計学的な)話題を用意しておいてこの隙をとらえて話すという作戦が best と思われる．
3. スパコンの早さがあまり印象的でなかったように思われる．もうすこし手の混んだソフトを載せればこの点は改良されるが....
4. できれば，全員の得点の集計結果をグラフ化して示せればよかった．
5. janken_ism version-1 が予想以上に強いことがわかった．これならサイコロ(かなにか)を用意しておいて，それに手の選択を任せる方がいいことをデモできるかもしれない．
6. 将来的に，ジャンケンソフト公募と組み合わせる手があり得る．

B.2 「日経 2000」

本質的に「子供プラン」と同じであるが、20 台の PC を用意した「講義」でなく、不定時にきまぐれにやってくるプレーヤーとの対戦であることを考慮した「差」は以下の通り。

- PC は 1 台。ただしモニターを 2 台用意し、一方を「プレーヤー用」、もう一方を「観客用」とした。
- 対戦中第 2 モニターでは相手の手の予測分布、自分が次に出す手の予告を表示する事によって、「統計科学は予測の科学」をアピールする。
- ゲーム回数はどちらかが 30 点に達するまでとした。3.2 節の解析によって、人間プレーヤーが手の選択ボタンをかなり変えることが分った。これはこの戦略切り換えのボタンを問題にしないのなら、ある程度以上はゲームを長くしても「クセ」の検出には役立たない事を意味している。
- プレーヤールーチンとしては d0++ ルーチンを用いた (A.1 節)。このルーチンは最適化を要しない。
- 診断機能を充実させた「診断」は d0++ が実際に対戦中に用いたモデルは説明がむずかしくなる場合があることと、結果の印刷が出来ないことを考慮してパラメータ数 6 以下のモデルのなかで最良のものによった。さらに、表 1 のモデル番号は、かならずしも分りやすくないため、以下の表に示した「くせボタン番号」を用意し、診断にはこのボタン番号を用いた「くせボタン 10」に関しては次項。
- A.1 節の「後出しチェックモード」が 10 回以上継続した状態でゲームが終了し、その時の M(0) モデルの AIC と第 2 位のモデルの AIC の差が 10 以上あれば、「後出し」(くせボタン 10) があったと判定する。
冤罪を出すことはないと信ずる。
- 診断結果を印刷して渡すことが不可能なため、画面に表示される結果を「ブローシャ」にメモしてもらうようにした。

表 11. 「くせボタン番号」と CATDAP 型モデルの対応

くせボタン番号	MODEL	前々回の結果	着目する事象	対称性	パラメータ数
1	M(1)	見ない	なし	あり	0
2	M(2)	見ない	なし	なし	2
3	M(3)	見ない	自分の手	あり	2
4	M(4)	見ない	自分の手	なし	6
5	M(9)	見る	自分の手	あり	6
6	M(5)	見ない	相手の手	あり	2
7	M(6)	見ない	相手の手	なし	6
8	M(11)	見る	相手の手	あり	6
9	M(7)	見ない	勝敗	あり	6
10	M(0)	見ない	「次回」の相手の手	あり	2

パネル原稿

「スタッツとジャンケンしよう」

--- ジャンケン百連発，統計科学は予測の科学 ---

[ジャンケン診断]

ゲームをすると統スターが君のくせパターンを診断してくれます。ゲームのルールは簡単。君かスタッツどっちかが30点とるまでジャンケンするだけ。途中でやめると診断できないから最後までがんばってね。「診断」についてのかわしいことはパンフレットを見て下さい。

[ジャンケンウォッチング]

スタッツはゲームをしながら相手の手の出し方にいちばんよくあてはまるモデルを見つけて計算して確率予測をしています。その確率予測を特別大公開してます。どれくらいあたるか見てると面白いよ。スタッツが次に出す手もこっそり教えるけど、プレーヤーにはないしょだよ。

[スタッツのひとりごと]

ボクは研究所で生まれたジャンケン名人スタッツ。コンピュータに住んでいるソフトなんだ。いろんな所に行ったことがあるよ。並列計算スーパーコンピュータに住んでたこともあるんだ。楽しかったよ。18の分身に分れて大活躍したんだ。

ゲームの記録は研究所の人が研究して論文にするんだってさ。リサンジケーレツの研究なんだって。いろんなことが研究になるんだねー。

[すーがくが好きなひとのために]

ジャンケンの記録は3値をとる離散確率変数の2次元時系列です。この時系列にマルコフモデルをあてはめることによって、プレーヤーのくせを把握できます。詳しいことをお知りになりたい方には論文をさしあげます。統計数理研究所にお問い合わせ下さい。

スタッツとジャンケンしよう

— ジャンケン百連発/統計科学は予測の科学 —

	きみ	スタッツ
得点		

ジャンケン診断 ゲームをすると統スターが君のくせパターンを診断します。ゲームのルールは簡単。君かスタッツどっちかが30点とるまでジャンケンするだけ。途中でやめると診断できないから最後までがんばってね!「くせパターン」についてののくわしいことはこのパンフレットの後の方を見て下さい。

ジャンケンウォッチング スタッツはゲームをしながら相手の手の出し方にいちばんよくあてはまるモデルを見つけて計算して確率予測をしています。その確率予測を特別大公開してます。どれくらいあたるか見てると面白いよ。スタッツが次に出す手もこっそり教えるけど、プレーヤーにはないしょだよ。

ジャンケン名人スタッツの生みの親のひとりごと ジャンケンの記録は3値をとる離散確率変数の2次元時系列です。この時系列にマルコフモデルをあてはめることによって、プレーヤーのくせを把握できます。詳しいことをお知りになりたい方には論文をさしあげます。統計数理研究所にお問い合わせ下さい。この会期中に集まったデータも研究してみたいと思っています。

ジャンケンくせパターン

ゲームが終るとあなたのくせのパターン番号がでます。ゲームの最後の頃のあなたの「くせ」です。

診断画面にはあなたが実際に出した手の集計表も出ますからメモしておくといいいですよ。

出す順にくせがない「いつも新鮮タイプ」

パターン 1

ゲー	チョキ	パー

ゲー、チョキ、パーを同じように出しているし出す順にもくせがない。実際に出したゲーとチョキとパーの数が多少3分の1からずれていてもそれはほんの少しです。

パターン 2

ゲー	チョキ	パー

ゲーとチョキとパーの出し方に多い少ないがあるけど出す順にはくせがない。

自分が出した手が気になる「自己反省タイプ」

パターン 3

自分の前の手に対して		
負廻り	繰り返し	勝廻り

自分が前に出した手と次に出す手のつながりにくせが見えます。負廻りで手を変えるというのは「ゲー」「チョキ」「パー」「ゲー」という順に手を変えること。勝廻りはその逆。最後の図を見て下さい。

パターン 4

	ゲー	チョキ	パー
ゲーの後で			
チョキの後で			
パーの後で			

ゲーを出したあとの次の手の出し方と、チョキを出した後の出し方、パーを出した後の出し方がそれぞれちがう。

パターン 5

	自分の前の手に対して		
	負廻り	繰り返し	勝廻り
自分の 負廻り の後で			
自分の 繰り返しの後で			
自分の 勝廻り の後で			

3回の手の続け方にくせがあります。勝廻りにさらに勝廻りをつづけるとか、勝廻りの後では負廻りの手にすることが多いというようなちょっとふくざつなくせです。

相手が出した手が気になる「気配りタイプ」

パターン 6

相手の前の手に対して		
負廻り	繰り返し	勝廻り

たとえば、相手がゲーをだした時に次はチョキを出す、チョキをだした時に次はパーを出す、パーを出した時に次はゲーを出すというようなくせ。

パターン 7

	ゲー	チョキ	パー
相手のゲー の後で			
相手のチョキ の後で			
相手のパー の後で			

相手がゲーを出した時の次の出し方， チョキを出した次の出し方， パーを出した時の次がちがう．

パターン 8

	相手の手に対して		
	負廻り	繰り返し	勝廻り
相手の 負廻り の後で			
相手の繰り返しの後で			
相手の 勝廻り の後で			

3 回の勝負にくせが出ます。相手が勝廻りで手を変えてきた時に，自分が次にその手に対してさらに勝廻りにするとか，ふくざつなくせ．

勝ち負けが気になる「勝負こだわりタイプ」

パターン 9

	自分の前の手に対して		
	負廻り	繰り返し	勝廻り
勝った後で			
あいこの後で			
敗けた後で			

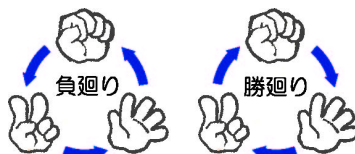
勝った時，負けた時，あいこの時の次の手の出し方がちがう．

「超能力者タイプ」

パターン 10

相手が出そうとしている手に対して		
負廻り	繰り返し	勝廻り

ちょっとめずらしいパターンです．相手が「次に」出す手が分って手を決めているとしか思えない．後出ししてなかったとすると、あなたは超能力者です。



ジャンケンの手の「勝廻り」と「負廻り」をこう決めています。

nikkei2000-1/2000.7.20

B.3 2000 年こどもプラン版

日経 2000 版 d0++ は original 版の d0 の表示/診断機能を強化したものであるが、この版は a~e のすべてのソフトに同じ表示/診断機能を持たせてある。以下の方法でインプリメントした。

1. 基本的に日経 2000 版を走らせる。
2. 日経 2000 版の「手の選択」の phase で original 版の janken? (?=a,b,c,e)(d,f に関しては日経版のままで O.K) を呼ぶように改変した。
3. この際、janken? (/+a,b,c,e) にも付加してあった「初期化」機能の一部を停止し、Janken による初期化との衝突を回避するようにした。
4. この結果、表示診断機能に関しては日経 2000 版、ゲーム機能に関しては original 版に等価な版となった。ただし、サブルーチン d 以外を選択すると「診断」と「戦略」が一致しない 2 重人格的な behavior を示すことになる。(日常よくあることが?)
5. 日経 2000 版では Janken.cnt の第 3 パラメータの値によって

0: original モード

1: 日経 2000 モード

が選択できるようになっていたが、2000 年こどもプラン版では

0: origidnal モード

1: 2000 こどもプランモード

2: 日経 2000 モード

が選択できる。

6. なお、original モードはこのゲームの記録の事後 (パッチ) 解析も (元通り) 可能である。
7. ゲームの記録は (元通り) janken?.rec ファイルに残る。

B.4 ジャンケンサブルーチン公募

こちらで用意したソフトを使ってもらうだけでなく、ソフト作りに挑戦してもらうのがより「教育的」である。

stats の皆様：

1999 年 9 月 16 日

ジャンケンサブルーチン公募

統計数理研究所
子供プラン実行委員会

統計数理研究所では、来る 11 月 27 日 (土) に、中学生を対象とする研究所の公開を計画しています。

その企画のひとつとして、計算機を相手に「ジャンケン」をしてもらってデータをとり、「癖」の解析と適切な戦略の選択などを手掛かりに統計科学へ

の手引をすることを考えています．

その中学生相手にジャンケンをするソフトを以下の要領で公募します．
是非ご応募下さい．関心のありそうな人をご存じでしたらこのメールを転送
していただければ幸いです．

ジャンケンサブルーチン公募要領

1．仕様：

「子供プラン実行委員会」で用意する main routine では，FORTRAN(または C による同等な) サブルーチン，

```
subroutine janken( input, output )
integer input, output
c  input = 人間の「前回」の手
c      1 = グー   2 = チョキ   3 = パー
c      この情報をサブルーチン内部に蓄積して利用するのは，もちろん，
c      自由です．
c
c  main routine では，一回のゲームが終了してプレイヤーが交代する
c  ときに input = -1 を渡します．必要に応じて内部で利用しているワ
c ークエリアなどを初期化するように組んでおいて下さい．
c
c  並列計算機ではこのサブルーチンが呼ばれるのは常に同時で，
c  各ノードに同じ値が渡されます．
c
c  なんらかの方法で output (整数) に 値を設定して返して下さい．
c  並列計算機を使う場合には各ノードで同じ値を返すようにして
c  下さい．
c
c  main routine では，
c      output < 2   グー
c              = 2   チョキ
c              > 2   パー
c      と認識します．たとえば，
c  if(input .eq. 1) output = 3
c  if(input .eq. 2) output = 1
c  if(input .eq. 3) output = 2
c      というサブルーチンは，相手が前回と同じ手を繰り返すと
c      想定して勝ちにいく戦略になります．これで中学生の相手
c      がつとまるとはとても思えませんが ....
return
end
```

の形を受け付けます。乱数が必要ならその発生ルーチンも含めて下さい。
並列計算機の利用も考えています。MPI による並列計算を組み込んだルーチン
が可です。最大 45 ノードの使用できます。

2. 説明文書：プログラムだけでなく、その logic, strategy に関する
documentation もつけていただけるとありがたいです。
3. 使用条件：応募ソフトにはいかなる形の license condition をつけられてもかま
いませんが、「子供プラン」での使用は許可していただかないと困ります。
4. ゲームのルール：勝った側に 1 点加算し、どちらかの合計点が 100 点に
達した時点で終了という形を考えています。基本的にはご応募いただいた
サブルーチン対中学生のゲームを考えていますが、サブルーチン相互の対
戦も考慮中です。
5. GUI 仕様：
入力：画面上にグー・チョキ・パーを示すボタンを用意し、それをク
リックすることで対戦相手に「手」の選択をしてもらいます。
出力：ジャンケンサブルーチン対戦相手双方の累積点数を表示。
6. 結果の公表：ゲームの結果は統計数理研究所の Web site で公表する予定
です。
7. データ配布：得られたデータは適当な条件のもとに希望者に配布する予定
ですが、詳細は未定です。
8. 締切：10 月末日。
9. プログラム受け付け および
問い合わせ窓口：石黒真木夫@統計数理研究所
ishiguro@ism.ac.jp

以上