

制約充足による人狼ゲームの役職絞り込み

Inferring Each Player's Role of a Werewolf Game by Constraint Satisfaction

林 友超*¹ 呉 双*¹ 板東 勇樹*¹ 宇津呂 武仁*²
 Youchao Lin So Go Yuki Bando Takehito Utsuro

*¹筑波大学大学院システム情報工学研究科
 Grad. Sch. Sys. & Inf. Eng, Univ. of Tsukuba

*²筑波大学システム情報系
 Fclty. Eng, Inf. & Sys, Univ. of Tsukuba

While playing the communication game “Are You a Werewolf”, a player always guesses other players’ roles through discussions, based on one’s own role and other players’ crucial utterances. The underlying goal of this paper is to construct an agent that can analyze the participating players’ utterances and play the werewolf game as if it is a human. For the first step of this underlying goal, given a specific player participating in the wolf game, this paper studies how to generate a digest of inferring other players’ roles from the viewpoint of the given specific player. In this inference process, we regard the werewolf game rules as well as certain common sense as inference rules. Then, we formalize the inference process as a constraint satisfaction problem and solve it through a solver. Furthermore, we propose a framework based on a weighted constraint satisfaction method which is used to implement theories of the werewolf game mined from werewolf game log data.

1. はじめに

人狼ゲームは、少数の人狼側と多数の村人側の間の争いを背景としたゲームであり、日本を含めて世界中の多くの国で知られている。人工知能の研究分野においては、2014年に、人狼ゲームは汎用人工知能の標準問題の一つであるという提案がなされた [篠田 14]。また、2015年8月には、人狼プロジェクト*¹ が公開したサーバ [鳥海 14] を用いて、第一回の人狼知能大会が開催された*²。このように、人狼ゲームを題材とする人工知能研究が近年行われている。

ここで、本論文では、人間のレベルの人狼 AI を実現するための要素技術の一つとして、人間のプレーヤーによる人狼ゲームのプレーログを解析し、各プレーヤーの視点において、他プレーヤーの役職が確定していく様子を定式化する。この方式においては、各プレーヤーによってなされる多様な役職宣言発言を同定し、この発言内容と人狼ゲームのルール、人狼ゲームにおける前提知識として用いられる常識、及び、人狼ゲームプレーヤーの一定の傾向を表すセオリーに基づく推論により、他プレーヤーの役職の可能性を絞り込む。本論文で利用する役職宣言発言の典型例としては、本物の占い師による自らの役職宣言発言 (占い師 CO)、あるいは、偽りの役職宣言発言によって人狼ゲームを有利に進めようとする人狼・狂人によってなされる偽りの占い師役職宣言発言 (占い師 CO) が挙げられる。人狼ゲームにおけるこの役職絞り込みの過程は、大別すると、(1) 人狼ゲームに関する知識、および、(2) 知識を用いたプレーヤーの役職割り当ての計算、に分けられる。このうち、(1) の「人狼ゲームに関する知識」は、人狼ゲームのルールと常識、および、それらに基づいてプレーヤーの役職を絞り込むための各種の制約条件に対応する。一方、(2) の「知識を用いたプレーヤーの役職割り当ての計算」の部分は、人狼ゲーム等の特定の課題とは独立に、与えられた制約条件を満たす解を導き出すための汎用の計算手順に対応する。そこで、本論文では、(2) の計算手順部分の課題を解決するための既存の汎用的枠組みとして、制約充足の枠組 [西原 97, Schiex95] を適用す

連絡先: 林 友超, 筑波大学大学院システム情報工学研究科,
 〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, 029-853-5427

*¹ <http://www.aiwolf.org/>

*² <http://cedec.cesa.or.jp/2015/session/AC/7649.html>

表 1: 人狼ゲームのルールおよび常識

(a) ルール

1	占い師, 霊能者, 狩人, 狂人はそれぞれ一人だけ.
2	共有者は二人でかつ相手の正体を互いに知っている.
3	人狼同士は互いの正体を知っている.
4	人狼は人狼を襲撃することができない.
5	人間の人数が人狼の人数以下まで減ると, 人狼陣営の勝利.
6	人狼を全て処刑できれば, 村人陣営の勝利.

(b) 常識

1	村人, 占い師, 霊能者, 狩人, 共有者は村の勝利のために, 事実と矛盾しない情報を発言する.
2	占い師, 霊能者は村のために名乗り出る.
3	人狼, 狂人は人狼陣営の勝利のために事実と矛盾する情報を発言する.

る方式を提案する。

2. 人狼

人狼ゲームにおいては、ゲーム開始時に、各プレーヤーが一つの役職を与えられて、役職に応じて「人狼陣営」と「村人陣営」に分けられ、各自の陣営の勝利を目指してプレーする。人狼陣営は、自身の勝利のために、事実と矛盾する発言を行い、村人陣営側を混乱させる。それに対して、村人陣営は、議論の内容の真偽を判別して、人狼の正体を見破り、議論を通じて人狼を処刑することを目指す。人狼ゲームには、何通りかの人数制が設けられているが、本論文では、最も一般的な 16 人のプレーヤーのゲームを対象とする。その他、人狼ゲームにおけるルールおよび常識の一覧を表 1 に示す。表中、ゲームのルールとは、決して覆ることはなく、各プレーヤーが確実にそれに従ってゲームを進行する規則を指す。一方、ゲームの常識とは、あらかじめ明示的に規定されているわけではないが、一般的には、各プレーヤーにとって周知の知識であり、通常はその知識の範囲内で行動すると考えているものである。例えば、「1. 村人陣営のプレーヤーは事実と矛盾しない情報を発言する」の常識について、厳密には、村人陣営の村人も事実と矛盾する情報を発言する可能性もあり得るが、事実と矛盾する情報を発言することによって、村人陣営の他の人間の混乱を招き、

結果的に村人陣営の不利益となる可能性が高い。したがって、本論文においては、これらの一連の常識についても、役職推論における前提知識として用いる。

3. 人狼ロケ

本論文では、ネット上の人狼ゲームサイトである人狼BBS*3において公開されているゲームログを対象とする。人狼BBSサイトにおいては、各プレイヤーは匿名で人狼ゲームをプレーする。各プレイヤーは専用の掲示板に文字を入力して、議論を行う。各プレイヤーは表示される発言ログに対して真偽判断を行いながら、ゲームを進行する。

4. 重みなし制約充足による役職の絞り込み

4.1 制約充足問題

本節では、[西原 97]に基づき、制約充足問題を定式化する。制約充足問題は、「変数集合」、「ドメイン集合」、及び、「制約集合」の3つの要素を用いて定式化される。

変数集合: $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\} (n \geq 1)$. 各 X_i はそれぞれ独立な変数である。

ドメイン集合: $D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\} (n \geq 1)$. D_i は有限集合で、その要素を値という。 $D_i = \{d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{im}\} (m \geq 1)$. 各変数 X_i には、 D_i の要素である値 $d_{ij} (j = 1, \dots, m)$ が割り当てられる。

制約集合: $C = \{C_1, C_2, \dots, C_l\} (l \geq 1)$. 各 C_i は制約で、直積 $D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$ の部分集合で表現される。

制約充足問題においては、各変数に対応するドメインから値を選択し、全ての制約を充足する値の組合せを求めることによって制約充足解が求められる。

4.2 役職絞り込みのための制約式的设计

本節では、前節で述べた制約充足問題の定式化に基づいて、役職絞り込み過程を制約充足問題として定式化する。

変数: 本論文では、プレイヤー P に対して可能な役職を全て求める。そこで、

j 番目のプレイヤーの役職は i 番目の役職か否か

を変数 $X_{i,j}$ によって表現する。図 1 に示す例では、役職の種類が 7 種類、プレイヤー数が 16 人であり、合計 $7 \times 16 = 112$ 個の変数を用いる。この例では、例えば、1 番目のプレイヤーの役職が、1 番目の役職である「占い師」か否かを、変数 $X_{1,1}$ で表現する。

ドメイン: 本論文では、実際のソルバーを用いた実装における計算効率を考慮して、各変数 $X_{i,j}$ が取りうる値を、以下に示す 1 または 0 に限定する。

$$X_{i,j} = \begin{cases} 1 & (j \text{ 番目のプレイヤーは } i \text{ 番目の役職である}) \\ 0 & (j \text{ 番目のプレイヤーは } i \text{ 番目の役職ではない}) \end{cases}$$

制約: 本論文では、表 1 のゲームルール及び常識に基づいて、表 2 の制約式を設計した。そのうち、表 2(b) の 1~5 は、発言者・行為者自身に対する役職割り当ての更新規則であり、一方、6~11 は、ゲーム中の行為の対象となったプレイヤーに対する役職割り当ての更新規則である。

表 2: 制約式一覧

(a) ゲームのルールに対応する制約式

番号	制約式	説明
1	$\sum_{i=1}^7 X_{i,j} = 1 (j = 1, 2, 3, \dots, 16)$	j 番目のプレイヤーは必ず 1 つの役職を持っている。
2	$\sum_{j=1}^{16} X_{1,j} = 1$	占い師はゲームの中にただ 1 人存在する。
3	$\sum_{j=1}^{16} X_{2,j} = 1$	霊能者はゲームの中にただ 1 人存在する。
4	$\sum_{j=1}^{16} X_{3,j} = 2$	共有者はゲームの中に 2 人存在する。
5	$\sum_{j=1}^{16} X_{4,j} = 1$	狩人はゲームの中にただ 1 人存在する。
6	$\sum_{j=1}^{16} X_{5,j} = 7$	村人はゲームの中に 7 人存在する。
7	$\sum_{j=1}^{16} X_{6,j} = 1$	狂人はゲームの中にただ 1 人存在する。
8	$\sum_{j=1}^{16} X_{7,j} = 3$	人狼はゲームの中に 3 人存在する。
9	$\sum_i X_{7,i} < |L|/2, i \in L, L = \{k|k \text{ は生存者の番号}\}$	ゲームが続けられているなら、生存している狼の人数は生存者全員の人数の半分以下になる必要がある。

(b) ゲーム中の行為に対応する制約式

番号	制約式	説明
1	$X_{1,j} + X_{6,j} + X_{7,j} = 1$	プレイヤー P_j が占い師と名乗り出た。
2	$X_{2,j} + X_{6,j} + X_{7,j} = 1$	プレイヤー P_j が霊能者と名乗り出た。
3	$X_{3,j} = 1$	プレイヤー P_j が共有者と名乗り出た。
4	$X_{4,j} + X_{6,j} + X_{7,j} = 1$	プレイヤー P_j が狩人と名乗り出た。
5	$X_{7,j} = 0$	プレイヤー P_j が人狼に襲撃された。
6	$X_{1,i} + X_{7,j} \leq 1$	占い師と名乗り出たプレイヤー P_i は「プレイヤー P_j が人間でした」と発言した。
7	$X_{1,i} + \sum_{k=1}^6 X_{k,j} \leq 1$	占い師と名乗り出たプレイヤー P_i は「プレイヤー P_j が人狼でした」と発言した。
8	$X_{2,i} + X_{7,j} \leq 1$	霊能者と名乗り出たプレイヤー P_i は「プレイヤー P_j が人間でした」と発言した。
9	$X_{2,i} + \sum_{k=1}^6 X_{k,j} \leq 1$	霊能者と名乗り出たプレイヤー P_i は「プレイヤー P_j が人狼でした」と発言した。
10	$X_{4,i} + \sum_{k=1}^6 X_{k,j} \leq 1$	狩人と名乗り出たプレイヤー P_i は「プレイヤー P_j を護衛した」と発言した。
11	$X_{3,i} + X_{3,j} = 1$	共有者と名乗り出たプレイヤー P_i は「プレイヤー P_j は私の相手です」と発言した。

*3 <http://ninjin002.x0.com/wolff/>

		プレイヤー番号						
		1	2	3	.....	14	15	16
役職	占い師	$X_{1,1}$	$X_{1,2}$	...	...	...	...	$X_{1,16}$
	霊能者	$X_{2,1}$	...	...	...	...	...	...
	共有者	$X_{3,1}$	...	...	...	...	...	...
	狩人	$X_{4,1}$	...	...	...	...	...	...
	村人	$X_{5,1}$	...	...	...	...	...	...
	狂人	$X_{6,1}$	...	...	...	...	...	...
	人狼	$X_{7,1}$	$X_{7,2}$	...	...	...	...	$X_{7,16}$

図 1: 各プレイヤーに対する役職割り当てを表す変数の一覧

4.3 制約式を用いた役職絞り込み手順

本節では、人狼 BBS 上の実在する村の状況を例として、前節で述べた制約式を用いることによって、プレイヤーの役職可能性を絞り込む手順を示す。

4.3.1 初期化

ゲーム開始時には、プレイヤーの役職絞り込みに関する手ごかりは何も得られていないので、表 2(a) の制約式が全て適用され、全制約式の集合 C の要素は表 2(a) の全制約式となる。

4.3.2 制約充足過程

役職絞り込み過程において用いる情報を全て処理し終わるまで、以下の手順を繰り返し実行する。

制約式の追加

役職絞り込み過程において用いる情報が一つ読み込まれると、表 2(b) の制約式のうち、読み込まれた情報に該当する制約式 c を制約式集合 C に追加する ($C \leftarrow C \cup \{c\}$)。

役職絞り込み

更新された制約式集合 C に対して、制約充足を行うことにより、全 112 個の変数に対する値の組合せを求める。変数に対する値の組合せの一つを $V (\in VV)$ とすると、 V は次式で表される。

$$V = \{ X_{1,1} = 0/1, X_{1,2} = 0/1, \dots, X_{7,16} = 0/1 \}$$

そして、全 112 個の変数に対する値の組合せに基づき、16 人のプレイヤーに対する役職割り当ての組合せ $R (\in RR)$ を求める。ただし、プレイヤーに対する役職割り当ての組合せの集合を RR とする。また、16 人のプレイヤーを P_1, \dots, P_{16} 、7 種類の役職を r_1, \dots, r_7 とすると、役職割り当ての組合せ R は次式で表される。

$$R = \{ (P_1, r_i), \dots, (P_{16}, r_j) \}$$

4.3.3 具体例

一例として、プレイヤー P_j が占い師と名乗り出た場合について、制約充足により役職候補が絞り込まれる過程を説明する。

ゲーム開始時には、プレイヤー P_j の役職可能性は全部 7 種類の役職が考えられる。プレイヤー P_j に対して制約式を用いた役職絞り込みにおいては、表 2(a) の 1 の制約式 $\sum_{i=1}^7 X_{i,j} = 1$ によって、変数 $X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{7,j}$ のうちのいずれかの値が 1 となるという制約が表現されており、この制約によって、プレイヤー P_j の役職の候補として、図 1 の 1~7 番までの 7 種類の役職が可能となる。

次に、プレイヤー P_j が占い師と名乗り出た場合、表 1 のゲームのルール及び常識に基づいて、プレイヤー P_j の役職候

補集合は、{ 占い師, 狂人, 人狼 } となる。一方、制約式を用いた役職絞り込みにおいては、表 2(b) の 1 の制約式が追加され、以下の二式を連立すると、

$$\sum_{i=1}^7 X_{i,j} = 1, \quad X_{1,j} + X_{6,j} + X_{7,j} = 1$$

次式だけが残る。

$$X_{1,j} + X_{6,j} + X_{7,j} = 1$$

上式より、変数 $X_{1,j}, X_{6,j}, X_{7,j}$ のうちのいずれかのみが 1 になることから、プレイヤー P_j の役職の候補は「占い師, 狂人, 人狼」の三種類に絞り込まれる、ということが表現できる。

以上のように、表 2(b) の制約式を用いることによって、ゲームの進行とともにプレイヤー P_j の役職の候補が絞り込まれる過程を表現することができる。

5. 重み付き制約を用いた人狼セオリーの導入

本節では、4.2 節で述べたゲームのルールおよびゲームで規定された行為に関する知識のように、人狼ゲームにおいて必ず満たさなければならない条件とは別に、必ず満たされるという保証はないが、多くの場合にプレイヤーが参考に行っていると考えられる経験則等の違反可能な知識を用いて役職絞り込みを行う枠組について述べる。本節では特に、違反可能な制約式を導入した重み付き制約充足の枠組 [Schiex95] をこの問題に適用する方式について述べる。

5.1 基本的な枠組

本論文では、違反可能な制約式に付与されている重みを、その制約式に違反した場合のペナルティとみなす。また、それらの重みは、違反可能な制約式に相当する経験的セオリーを人狼ゲームログからマイニングする際に推定される経験的セオリーの確からしさ (確率値) [板東 17] から得られると仮定する。以上の考え方に基づき、本論文において、重み付き制約式の違反を表すための記法を以下で述べる。

まず、 N 個の違反可能な制約式の集合を VC とし、 i ($i = 0, \dots, N-1$) 番目の違反可能な制約式に違反したことを $Y_{i-1} = 1$ 、違反しないことを $Y_{i-1} = 0$ によって表すと、 N 個の違反可能な制約式の違反の有無の組合せは次式の N 桁の 2 進数によって表される。

$$(j)_{10} = (Y_0 Y_1 \dots Y_i \dots Y_{N-1})_2$$

この表記法を用いると、プレイヤーに対する役職割り当ての組合せの集合 RR は、 N 個の違反可能な制約式の違反の有無の組合せによって、 2^N 個の互いに素な部分集合に分割される。

$$RR = RR_0 \cup RR_1 \cup \dots \cup RR_j \cup \dots \cup RR_{2^N-1}$$

$$RR_j \cap RR_{j'} = \phi \quad (j \neq j')$$

ここで、 j 番目の部分集合 RR_j は、 N 個の違反可能な制約式の違反の有無の組合せを表す 2 進数 $(j)_{10} = (Y_0 Y_1 \dots Y_i \dots Y_{N-1})_2$ に対応しており、実際に、 N 個の違反可能な制約式の違反の有無の組合せ $(Y_0 Y_1 \dots Y_i \dots Y_{N-1})_2$ を満たす役職割り当ての組合せの集合となる。

5.2 具体例

本節では、人狼 BBS 中の人狼ゲームログを情報源としてマイニングした人狼ゲームのセオリー [板東 17] を違反可能な制約式として表現し、前節の枠組を適用する手順について述べる。

5.2.1 複数の矛盾する占い結果に着目したセオリー

[板東 17] においては、「占い師として名乗り出た複数のプレイヤーが、相互に矛盾する占い結果を出す場合に着目したセオリー」として、以下のマイニング結果を報告している。

同一占い対象プレイヤー P_j に対して、占い師として名乗り出た三人のプレイヤーのうちの二人が「人狼」役職を占い結果とし、残りの一人が「人間」役職を占い結果とした場合に、プレイヤー P_j の役職は 100% の確率で「人狼」となる。

違反可能な制約式としてこのセオリーを表現して前節の枠組を適用する場合には、このセオリーに対応する違反可能な制約式集合 VC の要素は以下の制約式

$$vc_1: X_{7,j} = 1$$

となる。この制約式に対する違反の有無を表す 2 桁の 2 進数を Y_0 で表現すると、役職割り当ての組合せの集合 RR は、この制約式に違反しない役職割り当て部分集合 RR_0 と違反する役職割り当て部分集合 RR_1 に分割され、それぞれ $P(RR_0) = 1$, $P(RR_1) = 0$ の確率となる。

5.2.2 襲撃被害者の生前発言に基づくセオリー

[板東 17] は、「襲撃被害者が生前に行なった発言に着目したセオリー」として、以下のマイニング結果を報告している。

特別な能力を持たず、かつ、村の総意を取りまとめる「まとめ役」を務めていないプレイヤー P_i が襲撃された場合、プレイヤー P_i が、「人狼」役職である」という疑いを持つ対象となった別のプレイヤーの役職は、0.57 の確率で「人狼」となる。

ここで、一例として、プレイヤー P_i がプレイヤー P_j とプレイヤー P_k の 2 人を疑った場合について、違反可能な制約式としてこのセオリーを表現して前節の枠組を適用する場合には、このセオリーに対応する違反可能な制約式集合 VC の要素は下記の制約式

$$vc_2: X_{7,j} = 1, \quad vc_3: X_{7,k} = 1$$

になる。この制約式に対する違反の有無を表す 2 桁の 2 進数を Y_0Y_1 で表現すると、役職割り当ての組合せの集合 RR は RR_0, RR_1, RR_2, RR_3 に分割され、それぞれ

$$P(RR_0) = 0.57 \times 0.57, \quad P(RR_1) = 0.57 \times (1 - 0.57)$$

$$P(RR_2) = (1 - 0.57) \times 0.57, \quad P(RR_3) = (1 - 0.57) \times (1 - 0.57)$$

の確率となる。

6. 制約充足ソルバーを用いた実装

本節では、重みなし制約充足ソルバー Choco [Jussien08] および重み付き制約充足ソルバー toulbar2*4 を用いて本論文の枠組を実装した結果について述べる。

まず、重みなし制約充足ソルバー Choco [Jussien08] を用いて、4 節の枠組を実装した。ここでは、人狼 BBS における 7 ゲーム分のログデータを対象として、表 2(b) の 1~11 の各行為に相当する情報を人手で抽出し、表 2(b) 中の対応する制約式に変換した。そして、各制約式のもとで制約充足ソルバーを実行することによって役職候補の絞り込み計算を行なった。ここで、全 7 ゲームのうち 1 ゲームにおいては、人手による役職候補絞り込み結果と、制約充足ソルバーによる役職候補絞り込み結果の比較を行い、両者が正確に一致することを検

証した。一方、残りの 6 ゲームに対しては、実際に各プレイヤーがゲーム開始時に割り当てられた役職が、制約充足ソルバーによる役職候補絞り込み結果の中に含まれることを人手で検証した。以上の結果により、重みなし制約充足ソルバー Choco [Jussien08] を用いた 4 節の枠組の実装が有効であることが検証された。

次に、重み付き制約充足ソルバー toulbar2 を用いて、5 節の枠組を実装した。ここでは、5.2.1 節のセオリーに該当する一つの村、および、5.2.2 節のセオリーに該当するもう一つの村のそれぞれにおける人狼ゲームログから得られる情報に基づいて重み付き制約充足を行った。その結果、違反可能な制約式に対する違反の有無の組合せにしたがって、役職割り当ての組合せの集合 RR が分割され、各部分集合における制約違反の有無が適切に分布することが検証された。

7. 関連研究

本論文に関連して、[平田 15] においては、人狼 BBS ログ中の役職宣言発言を抽出し、人狼エージェントにおいて襲撃対象・処刑対象を選定する確率モデルのパラメータとして組み込む方式を提案した。この研究では、マイニングしたセオリーの確率を人狼エージェントにおける行動選択確率モデルのパラメータ調整に用いているが、一方、本論文では、マイニングしたセオリーの確率に基づいて、プレイヤーの役職絞り込み過程を定式化した。また、本論文の重み付き制約充足の枠組において対象とする人狼ゲームのセオリーの候補としては、[板東 17] のセオリーの他にも、「他人の意見に対して、人狼は同調より反駁の方が多く」という傾向を報告している [稲葉 14] のセオリー、「襲撃対象となったプレイヤーは雑談が少なく、疑いをかける発言が多い」という傾向を報告している [稲葉 16] のセオリーが挙げられる。

8. おわりに

本論文では、人狼ゲームにおける AI 実現の一環として、人狼ゲームのルールおよび常識を推論規則として用い、人狼ログ中の役職宣言発言を手がかりとして役職を絞り込む過程を制約充足問題として定式化した。今後の課題としては、6 節で述べた評価を大規模化するとともに、重み付き制約充足の枠組において用いるセオリーに付与する確率の推定方式を確立することが挙げられる。

謝辞

本研究を行うにあたり、人狼 BBS のデータ使用を許可していただいた ninjin 氏に感謝いたします。

参考文献

- [板東 17] 板東勇樹, 呉双, 林友超, 宇津呂武仁: 人狼ゲームログからの狼役職絞り込みセオリーのマイニング, 第 31 回人工知能学会全国大会論文集 (2017).
- [平田 15] 平田佑也, 稲葉通将, 高橋健一: プレイログから獲得した行動選択確率を用いた人狼ゲームのシミュレーション, 第 29 回人工知能学会全国大会論文集 (2015).
- [稲葉 14] 稲葉通将, 鳥海不二夫, 大澤博隆, 片上大輔, 篠田孝祐, 西野順二: 同調と反駁に着目した人狼ゲームの分析, 第 28 回人工知能学会全国大会論文集 (2014).
- [稲葉 16] 稲葉通将, 大島菜央実, 高橋健一, 鳥海不二夫: 雑談ばかりしていると殺される? 人狼ゲームにおける発言行為タグセットの提案とプレイヤーの行動・勝敗の分析, 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 11, pp. 2392-2402 (2016).
- [Jussien08] Jussien, N., Rochart, G. and Lorca, X.: Choco: an Open Source Java Constraint Programming Library, *Proc. OSSICP*, pp. 1-10 (2008).
- [西原 97] 西原清一: 制約充足問題の基礎と展望, 人工知能学会誌, Vol. 12, No. 3, pp. 351-358 (1997).
- [Schiex95] Schiex, T., Fargier, H. and Verfaillie, G.: Valued Constraint Satisfaction Problems: Hard and Easy Problems, *Proc. 15th IJCAI*, pp. 631-639 (1995).
- [篠田 14] 篠田孝祐, 鳥海不二夫, 片上大輔, 大澤博隆, 稲葉通将: 汎用人工知能の標準問題としての人狼ゲーム, 第 28 回人工知能学会全国大会論文集 (2014).
- [鳥海 14] 鳥海不二夫, 梶原健吾, 大澤博隆, 稲葉通将, 片上大輔, 篠田孝祐: 人狼知能サーバの構築, ゲームプログラミングワークショップ 2014 論文集, pp. 127-132 (2014).

*4 <http://www7.inra.fr/mia/T/toulbar2/>